

**MINISTERE DE LA SANTE
REGION DE PICARDIE**

—
Ecole des cadres de kinésithérapie
BOIS-LARRIS

**CHAINES ROTATOIRES INTERNES DE L'EPAULE :
ETUDE COMPARATIVE DE LA FORCE EN ISOMETRIQUE**

Rapport de recherches personnelles présenté par :
Jean-Louis **DEBEAUQUESNE**,
masseur kinésithérapeute, diplômé d'Etat, en vue de l' **obtention**
du certificat de moniteur cadre de masso-kinésithérapie

Année 1989-1990

Nous remercions :

Monsieur G. **PIERRON**, MCMK, formateur à l'ECK de Bois-Larris, qui patiemment tout au long de notre travail nous a guidé et conseillé.

Nous tenons également à remercier :

- Monsieur le Professeur **CY. GUEZENNEC**, Directeur de la Division métabolique et hormonale du CERMA (Brétignie-sur-Orge) de nous avoir accueilli dans son service et apporté l'aide matérielle nécessaire à la réalisation de ce travail.

- Monsieur **P. PORTERO**, Chercheur à l'Université de Compiègne, Division de biomécanique et d'innovation médicale, Département de génie biologique (Professeur **GOUBEL**) et au CERMA (Professeur **GUEZENNEC**) pour sa disponibilité et son aide précieuse.

- Mademoiselle **M. TISON** Bibliothécaire à l'ECK Bois-Larris.

- Les militaires et appelés du CERMA, qui ont eu la gentillesse de se prêter à notre expérimentation.

R E S U M E

Une étude comparative de la rotation interne de l'épaule est réalisée dans deux conditions sur quinze sujets (dix masculins, cinq féminins) :

- 1 - une rotation interne pure (chaîne série)
- 2 - une rotation interne associée à une abduction de la gléno-humérale.(chaîne parallèle)

Le travail réalisé est de type isométrique.

Par rapport à la première situation, on enregistre dans la seconde un gain de force de 21,3%, qui semble lié à la synergie des rotateurs internes et des abducteurs de la gléno-humérale.

Des propositions pour la rééducation sont formulées Il conviendrait d'en préciser les données par des études ultérieures.

S O M M A I R E

1- INTRODUCTION.....	Page 1
2 - MATERIEL ET METHODE.....	Page 2
2.1 - LA POPULATION	
2.2 - MATERIEL	Page 3
2.2.1 - <i>Un Cybex II</i>	
2.2.2 - <i>Un système de rétro-contrôle visuel</i>	
2.3 - METHODE	Page 4
2.3.1 - <i>Description des positions</i>	
2.3.2 - <i>Protocole de réalisation et chronologie</i>	
2.3.3 - <i>Traitement statistique</i>	
3 - RESULTATS.....	Page 8
4 - DISCUSSION.....	Page 12
4.1 - Géométrie des mouvements	
4.2 - Aspects moteurs	
4.3 - Contraintes au niveau de l'humérus	
4.4 - Cas particuliers	
4.5 - Quelques propositions pour la rééducation	
5 - CONCLUSION.....	Page 16

INTRODUCTION

Nous avons souhaité placer notre travail dans le cadre d'une étude en cours sur l'organisation des chaînes musculaires .G. Pierron, A. Leroy (1); J.Loiseau et P. Naulleau (2), prolongeant les travaux de Pauwels (3) considèrent qu'il n'existe en fait que deux types d'organisation en chaîne :

- 1 - une organisation en chaîne dite série
- 2 - une organisation en chaîne dite parallèle.

1) la chaîne musculaire série, est orientée vers la vitesse et l'amplitude. La force disponible à l'extrémité distale de la chaîne est réduite. Les muscles moteurs sont alors situés "en série" du même côté par rapport à l'axe articulaire.

2) la chaîne musculaire parallèle, est rencontrée lorsque le recrutement de la force est rendue nécessaire. L'amplitude et la vitesse sont alors réduites Les muscles moteurs sont disposés "en parallèle" de part et d'autre de l'axe articulaire.

Un même muscle, un même groupe musculaire peuvent participer aux deux types d'organisation.

On retrouve cette distinction dans un travail récent d'O. Gagey, H.Boufait, Cl. Gillot, F. Mazas (4) qui distinguent deux types de fonctionnement de l'épaule, l'un balistique (orienté vers la vitesse) et l'autre dynamique (orienté vers la force).

Les mêmes principes sont retenus par G. Peninou et M. Dufour (5) qui décrivent, au niveau du coude, des schémas de force et de vitesse.

Nous avons formulé l'hypothèse que si la chaîne parallèle est une chaîne de force l'on devrait enregistrer une force disponible supérieure à celle enregistrée en chaîne série.

Le but de notre travail est de vérifier cette hypothèse sur la rotation interne du membre supérieur selon les deux chaînes de rotation interne décrites par G. Pierron et A. Leroy :

- un mouvement de rotation interne selon l'axe huméral (chaîne série)
- un mouvement de rotation interne associé à une abduction (chaîne parallèle).

Ce dernier mouvement associe deux groupes musculaires : les rotateurs internes-adducteurs et les abducteurs.

Si de nombreux auteurs (6,7,8), ont mis en évidence le rôle des rotateurs courts lors de l'abduction, M. Revel et Coll (9) ont souligné à partir d'une étude électrokinésilogique, l'importance du sous scapulaire, du grand dorsal, du grand pectoral lors du même mouvement et leur intérêt dans la rééducation des pathologies de la coiffe des rotateurs, notamment en cas de rupture.

Nous essayerons à l'issue de ce travail de dégager quelques propositions sur l'utilisation de la chaîne parallèle de rotation interne.

2 - MATERIEL ET METHODE

2. 1 - LA POPULATION

Les tests seront réalisés par 15 sujets sains : 10 hommes, 5 femmes dont les limites d'âge sont comprises entre 21 et 42 ans.

Tous ont déclaré être droitier et ne pas, ou ne plus pratiquer, de sport de façon intensive et être exempts de pathologie au niveau de l'épaule.

2. 2 - MATERIEL

2.2.1 - Un cybex II (10)

Les tests sont réalisés à l'aide d'un Cybex II. Celui-ci est composé :

2.2.1.1 - D'un frein dynamométrique.

Celui-ci est couplé à un régulateur de vitesse angulaire. L'ensemble offre une résistance asservie à la force musculaire développée par le sujet.

De l'axe de rotation de l'appareil part un bras de levier mobile muni d'un retour à 90°. Sur ce bras de levier coulisse ,éventuellement, un contre appui-coude .

L'axe de rotation autour duquel se fait le mouvement étudié correspond à l'axe de rotation du dynamomètre.

Le réglage de la vitesse d'exécution du mouvement sur le Cybex II se situe entre 0° et 300° d'angle par seconde. A 0° d'angle le mouvement réalisé est donc un mouvement isométrique versant concentrique (11).

2.2.1.2 - D'un enregistreur à double canal.

Il permet la lecture simultanée des couples de force développés. Le tracé est recueilli sur un papier millimétré. Le couple de force est mesuré en Newton par mètre (N/m).

2.2.2.- Un système de rétro-contrôle visuel.

Nous avons utilisé comme appareil de rétro-contrôle visuel un oscillographe conventionnel "Gould digital" monté en dérivation avec le Cybex.

Placé devant le sujet lors de l'expérimentation il permet à celui-ci de visualiser le niveau de son effort (12,13).

2.3 - METHODE

Chaque sujet réalise en position assise deux tests de force en rotation interne .

2.3.1 - Description des positions

1) Test N° 1 : "coude libre" (chaîne série).

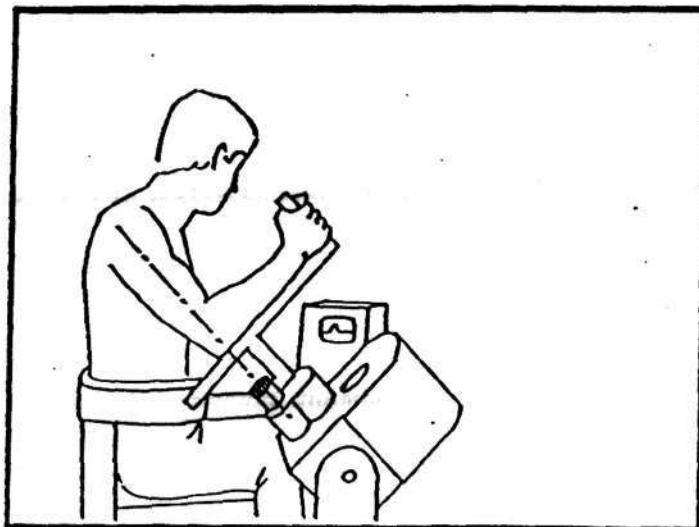


Fig 1 : Test N°1 "coude libre"

L'axe longitudinal de l'humérus est aligné avec l'axe mécanique du Cybex. Le coude est donc placé au niveau de l'axe de rotation de l'appareil. L'opérateur surveille pendant le test le respect du positionnement du coude. Le sujet saisit le retour perpendiculaire du bras de levier et réalise un mouvement isométrique vers la rotation interne (fig 1)

2) Test N° 2 : "contre appui-coude" (chaîne parallèle)

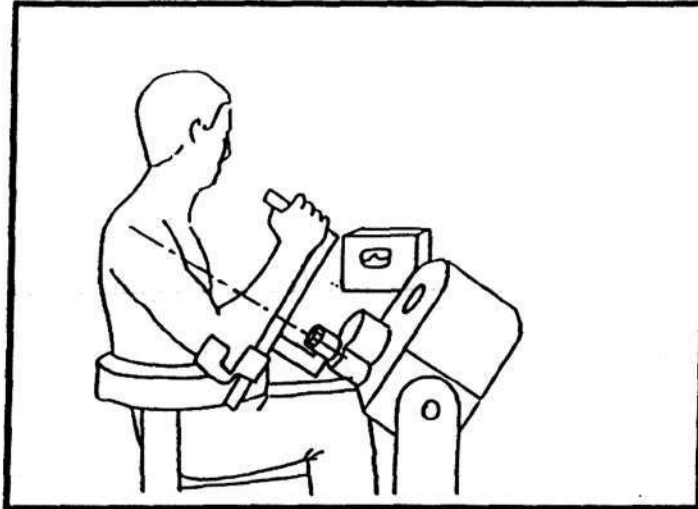


Fig 2 : Tests N°2 "contre appui-coude"

L'axe mécanique de l'appareil passe alors par le centre de la tête humérale et le milieu de l'avant-bras (mesuré entre le sommet de l'olécrâne et la styloïde cubitale). Un appui mobile sur le bras de levier est positionné à la face externe du coude.

On demande au sujet d'effectuer une rotation interne par la combinaison d'une élévation du coude dans le sens d'une flexion abduction en poussant, et en tirant sur la poignée dans le sens de la rotation interne (fig 2).

Le tableau I résume les deux mouvements étudiés :

TABLEAU I : Les mouvements étudiés.

Coude	Chaîne	Mouvement
Libre	"série"	Rotation Interne
Avec contre appui	"parallèle"	Rotation interne + abduction

2.3.2 - Protocole de réalisation et chronologie.

Dans les deux cas, les tests sont réalisés en position fonctionnelle associant 45° d'abduction et 45° de flexion.

L'avant-bras est à 45° par rapport au plan frontal. Le coude est à 90°.

A cet effet l'appareil est basculé à 45° par rapport à l'horizontale(14).

Le sujet est assis, pieds posés au sol, la hauteur de l'appareil est réglée en fonction de la taille du sujet et du test à effectuer.

Le membre supérieur gauche, non testé, est posé sur la cuisse homolatérale.

Le test par lequel le sujet débute l'épreuve est tiré au sort.

Le 2ème test ne sera réalisé qu'après qu'un autre sujet ait réalisé son épreuve.

Chaque test comporte trois essais pour déterminer la force isométrique maximale volontaire.

Un temps de repos d'une minute est respectée pour permettre le retour aux valeurs de repos des paramètres nécessaires pour la production maximale de force (15).

La figure 3 résume la chronologie du protocole :

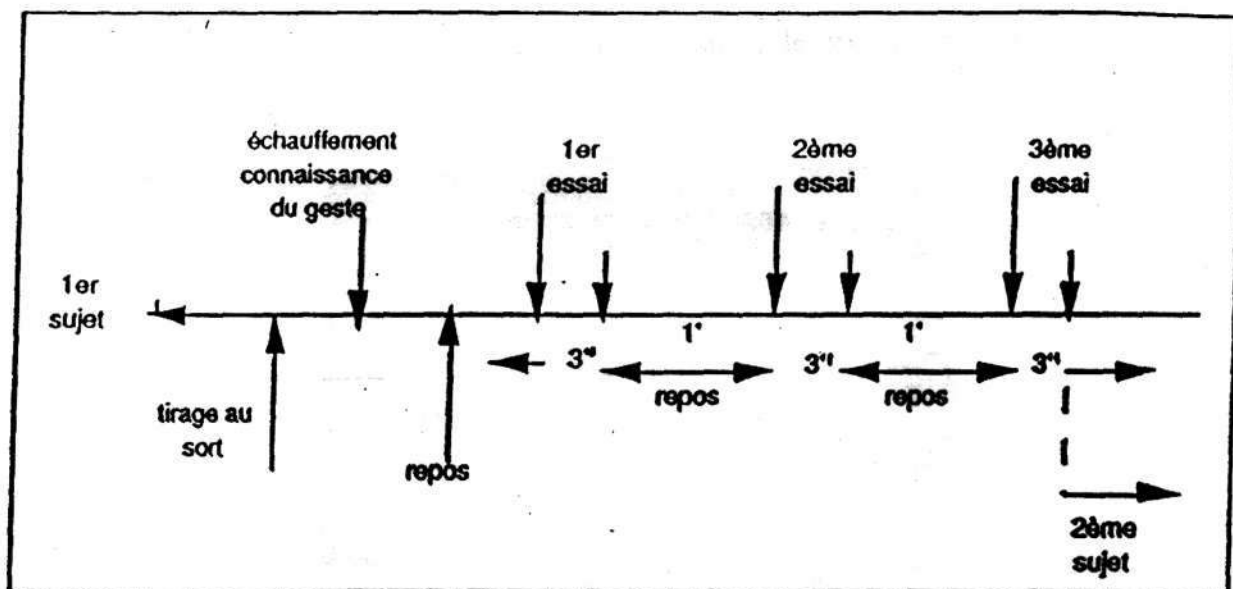


Fig 3 : Chronologie du protocole

La consigne est donnée de "forcer" au maximum. Le sujet à cet effet est stimulé verbalement par l'opérateur.

Nous n'avons pas cherché à limiter toutes les compensations; Cependant nous avons tenté de limiter celles liées à l'accompagnement du tronc.

Pour cela l'opérateur place un index sur le moignon de l'épaule controlatérale à l'épaule testée et demande au sujet de ne pas le repousser (fig 4)

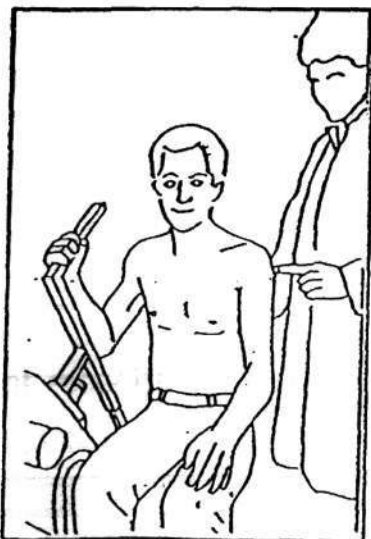


Fig 4 : Limitation des compensations du tronc

Après le 1er essai, on indique au sujet le niveau de force atteint en plaçant un repère horizontal sur l'oscillographe.(fig 5)

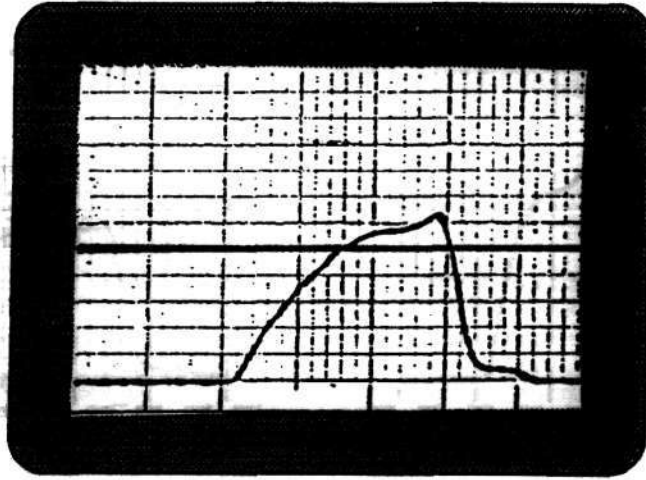


Fig 9 : *Retro-contrôle visuel*

Pour les deux essais suivant le sujet a pour consigne de dépasser le niveau préalablement atteint (effet rétro-contrôle visuel)

2.3.3 - Traitement statistique

- Pour chaque test, les résultats sont moyennés et l'écart-type déterminé.
- On utilise le test de Student Fischer en série appariée.
- Le seuil de signification est de 0,05 ($p < 0,05$.)

3 - RESULTATS

Six tracés sont recueillis par sujet : trois "coude libre", trois "contre appui coude".

Après mesure , pour chaque situation, le meilleur essai correspondant à la valeur maximale du couple de force est retenu (fig 6,7).

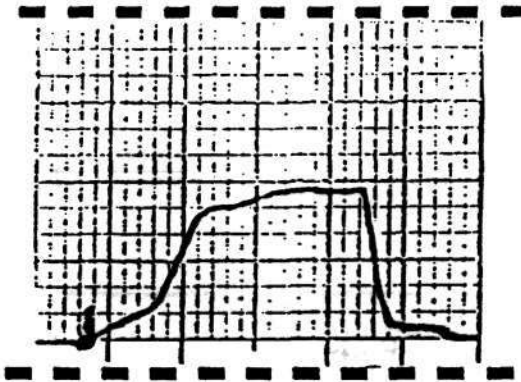


Fig 6 : "coude libre"

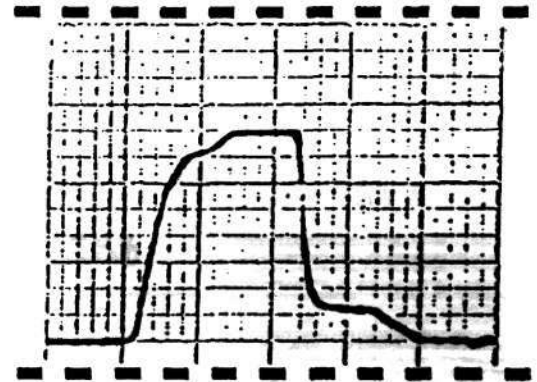


Fig 7 : "contre appui coude"

Les résultats (annexe I), groupés par situation de test sont moyennés et présentés en tableau. (tableau II) :

Tableau II : Comparaison des couples de force (N/m) dans les deux situations (ensemble de la population : N = 15)

TESTS	Moyenne de force N/m	Ecart type	Test (t) de Student
N°1 Coude libre	43,933	± 14,867	p < 0,0005
N°2 "Contre appui coude"	53,3	± 17,934	

www.kinedoc.org

La différence de force disponible entre le test n°1 et le test n°2 est hautement significative.: $t = 3,81, p < 0,0005$, soit un gain en pourcentage lors de la réalisation du test n°2 de 21,3% (fig 8).

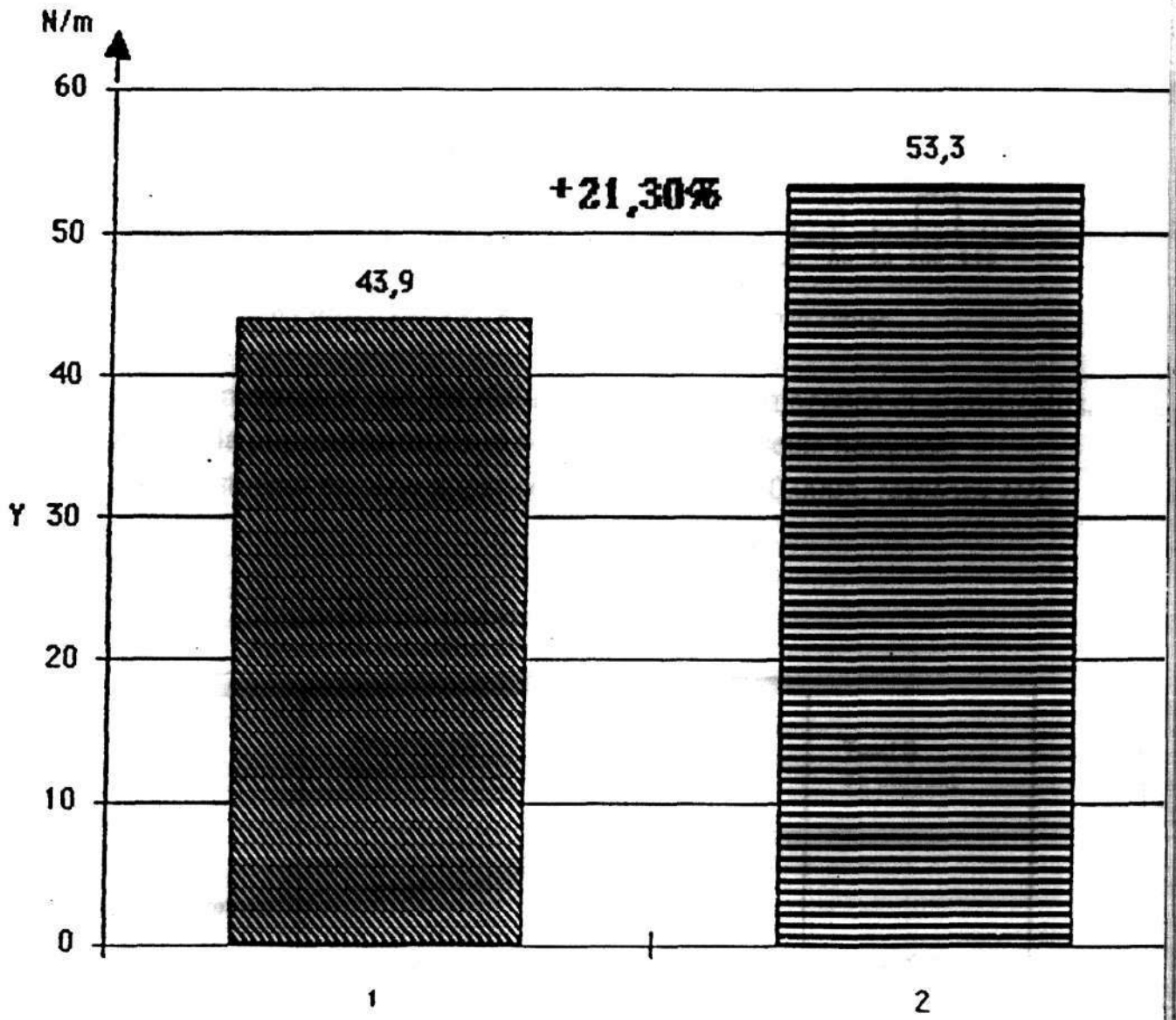


Fig 8 : Gain en pourcentage !

L'histogramme des fréquences des gains en pourcentage entre les deux situations (fig 9), montre lors du test n°2 : pour un sujet (n°8) une diminution de la force disponible, alors que pour un autre sujet (n°1), on enregistre un gain très important de force.

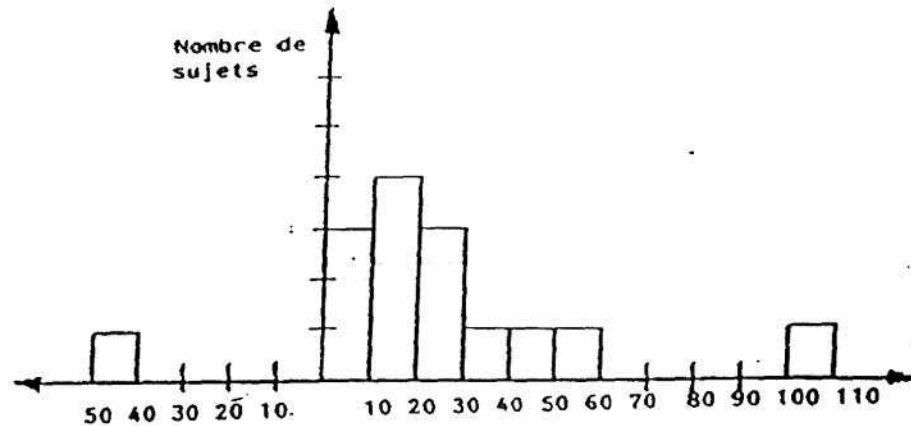


Fig 9 : Histogramme des fréquences des gains en pourcentage

Il est à remarquer que les résultats sont plus homogènes et significatifs, par rapport à la population totale si l'on s'en tient aux seuls hommes;

Le t de student en série appariée est de 3,96; $p < 0,0005$. (tableau III)

TABLEAU III : Comparaison des couples de force (N/m)
Population masculine (N=10)

TESTS	Moyenne de force N/m	Ecart type	Test (t) de Student
N°1 Coude libre	52,45	\pm 10,248	$p < 0,0005$
N°2 "Contre appui coude"	65,20	\pm 6,321	

La population féminine est trop peu importante, pour que l'on puisse en tirer des résultats significatifs.

4 - DISCUSSION

Les résultats confirment que la force disponible est supérieure lorsqu'on associe à la rotation interne un mouvement de flexion-abduction (chaîne parallèle).

4.1 - GEOMETRIE DES MOUVEMENTS .

La géométrie des mouvements est différente dans les deux situations :

a) coude libre

La résistance (R_1) au niveau de la main possède un bras de levier (d_1). L'axe du mouvement est confondu avec l'humérus. Nous sommes en présence d'un système moment ($d_1 \times \text{force}$)(Fig 10) :

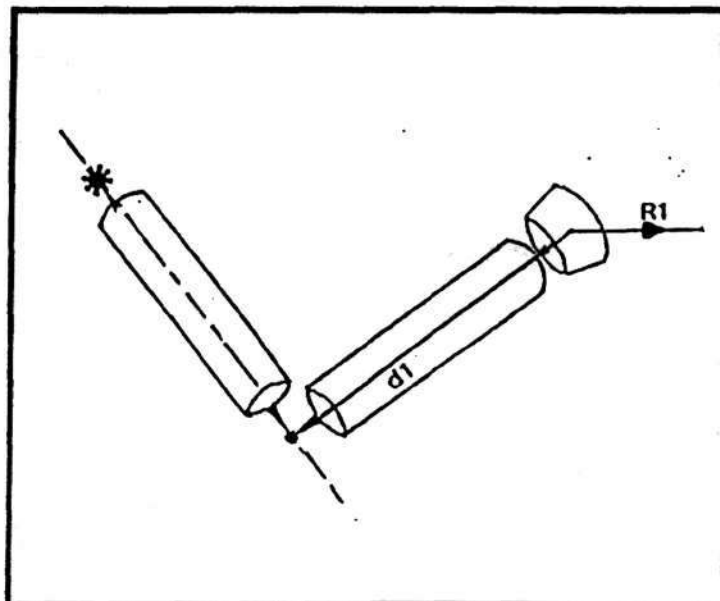


Fig 10 : "coude libre", résistance et bras de levier

b) double appui coude

Deux résistances :

1) une résistance au niveau de la main possède un bras de levier ($d'1$)
moins important que dans le cas précédent ($d'1 = \frac{d1}{2}$)

2) une résistance au niveau du coude ($R2$), et un bras de levier $d2$ tel que
 $d2 = \frac{d1}{2}$

Remarquons que $d1 = d'1 + d2$.

D'autre part dans cette situation, l'axe du mouvement passe en dehors de l'humérus. Nous sommes ici en présence d'un système couple avec deux bras de levier et deux forces. (Fig 11) :

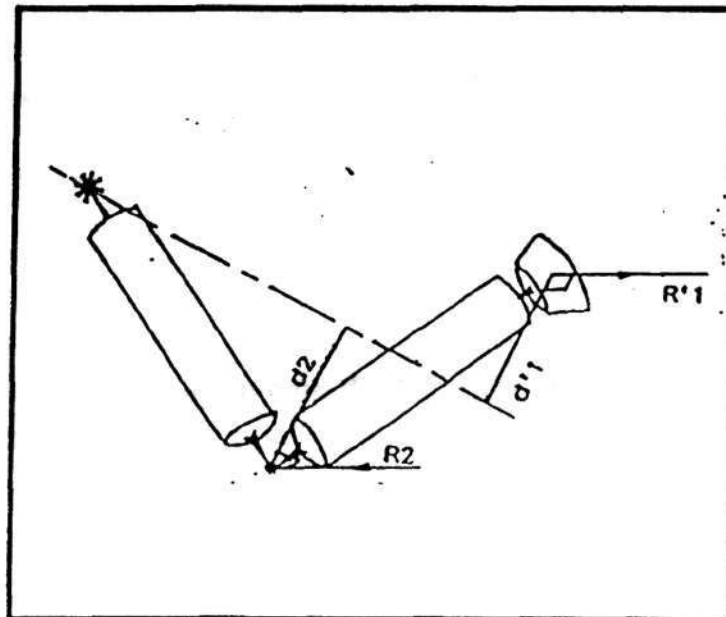


Fig 11 : "contre appui coude", résistances et bras de levier

(D'après G.Pierron et A.Leroy.)

4.2 - ASPECTS MOTEURS :

Dans la première situation le mouvement est essentiellement sous la dépendance des rotateurs de la gléno-humérale, alors que dans la seconde deux groupes musculaires participent au mouvement : les rotateurs et les abducteurs.

Nous avons voulu observer l'activité du grand pectoral (faisceau claviculaire) et du Deltoïde (faisceau moyen) dans les deux situations par E.M.G de surface. Nous avons noté une riche activité du grand pectoral coude libre.

Lors du double appui, si nous avons enregistré une forte activité des deux groupes musculaires, celle-ci est prédominante au niveau du Deltoïde. Cette observation de "curiosité" ayant été faite sur deux sujets demande à être confirmée et précisée.

Cette synergie , abducteurs-rotateurs internes (adducteurs) pouvant paraître "paradoxe" a été retrouvée par Revel et Coll (9) sur un mouvement différent (mouvement d'abduction) ; Le rapprochement des résultats de ces deux situations demanderait à être précisé ultérieurement.

4-3- CONTRAINTES AU NIVEAU DE L'HUMERUS :

Dans la situation "coude libre" l'axe de rotation est confondu avec l'humérus, la résistance au niveau de la main possède un bras de levier important. L'humérus subit d'importantes contraintes de torsion (Fig 10)

C'est dans ce type de mouvement que l'on décrit des fractures de la diaphyse humérale sous l'effet de contractions musculaires ("bras de fer").

Dans la situation "contre appui coude" l'humérus est en dehors de l'axe de rotation, il n'est plus sollicité en torsion. La résistance appliquée au niveau du coude sollicite l'humérus non en torsion mais en flexion (Fig 11)

Au lieu d'avoir un groupe musculaire participant au mouvement comme dans le cas précédent, nous en avons ici deux.

Ce type d'organisation "paradoxal" réalise une co-contraction musculaire qui permet un manchonnage actif plus efficace. Manchonnage qui pour certains auteurs renforcerait la protection de l'os soumis aux contraintes (16).

4 -4- CAS PARTICULIERS :

Globalement tous les sujets répondent suivant le même schéma, cependant on observe (fig 9) que le sujet n°8, enregistre une diminution de la force disponible lors de la réalisation du test n°2.

Il s'agit d'un sujet féminin; On peut penser qu'il a eu des difficultés à réaliser ce geste de force.

A contrario le sujet n°1 présente un gain de 104% lors du test n°2. (fi. 9) Il s'agit d'un ancien judoka de haut niveau. On peut relever que le mouvement associant l'abduction et la rotation interne de la gléno humérale est utilisé lors des mouvements d'épaule au judo.

4-5 - QUELQUES PROPOSITIONS POUR LA REEDUCATION :

De ce qui précède il semble qu'on puisse déduire quelques propositions sur l'utilisation de la chaîne parallèle de rotation interne qui pourraient faire l'objet d'études ultérieures.

4.5.1 - Travail des abducteurs

Dans une perspective de renforcement d'un muscle faible, ou de levée d'une sidération du Deltoïde.

Le travail des abducteurs pourrait être facilité en fournissant un point fixe à l'extrémité distale du bras tout en résistant à la rotation interne de la gléno-humérale par l'intermédiaire d'une prise au niveau de la main (coude à 90°).

4.5.2 - *Fractures de la diaphyse humérale :*

Les contraintes de torsions sont contre-indiquées dans le traitement fonctionnel des fractures de l'humérus. Elles le sont également dans les traitements chirurgicaux par plaques d'ostéosynthèses, clous plaques ...

On pourrait proposer, avec l'accord du chirurgien, tenant compte de la levée des contraintes de torsion et du phénomène de co-contraction que permet l'utilisation de la chaîne parallèle, d'introduire plus précocement ce mode de rotation dans les protocoles de rééducation.

4.5.3 - *Luxation antéro-interne d'épaule :*

La chaîne parallèle de rotation interne semble également être intéressante dans la rééducation des luxations antéro interne de la gléno humérale en permettant d'aborder l'abduction sous la protection des adducteurs.

4.5.4 - *En pratique sportive :*

Lorsque le geste sportif a recours à un mouvement de force en rotation interne (mouvement d'épaule au judo par exemple) un travail spécifique en chaîne parallèle pourrait être introduit dans les programmes de renforcement musculaire.

5 - CONCLUSION

Ce travail nous a permis de répondre à la question que nous nous étions posée comme but de notre recherche.

www.kinedoc.org

La force disponible en rotation interne est bien supérieure en situation de chaîne parallèle (rotation interne + abduction) par rapport à celle en chaîne série (rotation seule).

Cette situation semble s'expliquer par le type d'organisation motrice de la chaîne parallèle : synergie rotateurs-internes / abducteurs de la gléno humérale.

En outre, ce type d'organisation supprime les contraintes de torsion et selon certains auteurs diminuerait les contraintes subies par l'os.

Les implications kinésithérapiques semblent intéressantes mais il conviendrait d'en préciser les données :

- 1) en étudiant l'hypothèse vitesse,
- 2) en vérifiant nos résultats dans d'autres situations et en particulier la rotation externe seule et la rotation externe plus adduction,
- 3) par une étude électromyographique,
- 4) en étudiant précisément la valeur et la nature des contraintes osseuses dans les deux cas.

REFERENCES

- (1) - Pierron. G, Leroy. A. : Analyse des systèmes d'organisation en chaîne musculaire et conséquences sur la stratégie thérapeutique; *Kinésither Sci* 255 : 19-52, 1987.

- Pierron. G. : "Les chaînes musculaires" cours à l'ECK Bois Larris, non publié.1989.
- (2) - Loiseau. J, Naulleau. P. "Les chaînes musculaires" Mémoire projet de fin d'étude N° 55 Paris ENSAM 1989.
- (3) - Pauwels F; Biomécanique de l'appareil moteur. Contribution à l'étude de l'anatomie fonctionnelle. Berlin Springer Verlag 1979.
- (4) - Gagey.O, Bonfait. H, Gillot. CL, Mazas. F. Anatomie fonctionnelle et mécanique de l'élévation des bras. *Rev Chir. Ortho* 74 : 209 - 217.1988.
- (5) - Peninou G., Dufour.M. Les gestes fonctionnels du coude *Ann. Kinésither*, 13/5, 225 - 228, 1986.
- (6) - Imman. V.I, Saunders. M, Abbot. L., Observations on the function of shoulder joint. *J Bone Jt Surg* 26 : 1 - 30, 1944.
- (7) - Laude. M, Viel. E, Blanc. Y. Rééducation des muscles intrinsèques dits "rotateurs courts" de l'épaule. *Journ. Reed*, 91 - 98, 1977.
- (8) - Laude. M, Kenesi.C, Patte. D, Riggs. E. L'abduction du bras. *Anat Chir.* 1 : 65 - 72, 1978.
- (9) - Revel. M, Amor. B, Corail. R, Anctil. R., Etude électrokinésiologique du sous scapulaire, du grand dorsal et du grand pectoral au cours de l'abduction. In *Actualités de Rééducation fonctionnelle et réadaptation*, Simon. L, Paris. Masson, 333 - 338, 1984.

- (10) - Cybex. Isolated-joints testing and exercise. A handbook for using Cybex II and the UB XT. 2100. Smith town avenue Ronkon koma. N-Y 11799; 1981.
- (11) - Dany. I, Mémoire du certificat de moniteur cadre en masso-kinésithérapie. Lamorlaye, Ecole de Cadres "Bois-Larris", . Evaluation de la force maximale isométrique mesurée (FMM).1989.
- (12) - Portero. P, Decarnin. G, Guezennec. Cy, : Effets d'un rétro contrôle visuel sur la performance musculaire. Congrès ACAPS, 28,30 octobre 1989.
- (13) - Giroud. M, Gonon.G.P, Ann. Kinésither. t 13, n°5, pp 207 - 217, 1986.
- (14) - Genot. Cl : Etude comparative du travail isocinétique maximal des muscles rotateurs internes et externes de l'épaule. Mémoire CES de Biomécanique, Paris-Créteil, 1982.
- (15) - Sahlin. K. Métabolic changes limitings muscle performance. In Bengt Saltined ed. biochemistry of exercices VI. International series on sport sciences vol VXi . Herman kinetic publishers 323- 343, 1986.
- (16) - Rabischong.P, Avril. J. Rôle biomécanique des poutres composites os-muscles. Rev Chir. Ortho 51/5 : 437 - 458, 1965.

ANNEXE 1

Résultats

N°	AGE	SEXE	1er TEST*	2ème TEST*
1	42	M	34,5	70
2	24	M	60	75
3	34	M	47	65
4	23	M	52	67
5	28	M	74	75
6	33	F	21	25
7	40	F	28	35
8	38	F	29	20
9	40	M	41	60
10	25	M	55	61
11	22	M	55	58
12	25	F	33	34
13	21	F	23,5	33,5
14	38	M	57	65
15	28	M	49	56

1er test : Coudre libre

2ème test : Contre appui coude

* N/m