

MINISTERE DE LA SANTE
REGION LORRAINE
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE
DE NANCY

**HYPOTHESE DE CORRELATION LINEAIRE
ENTRE LA RESISTANCE MAXIMALE
STATIQUE ET LA RESISTANCE MAXIMALE
DYNAMIQUE CONCENTRIQUE DES MUSCLES
FLECHISSEURS DU COUDE**

Mémoire présenté par **Jérémy MARTIN**
étudiant en 3^{ème} année de masso-kinésithérapie
en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat
de Masseur-Kinésithérapeute
2009-2010

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION.....	1
2 RAPPEL.....	2
2.1 Rappels généraux.....	2
2.1.1 La force musculaire.....	2
2.1.2 La résistance maximale dynamique concentrique.....	2
2.1.3 La résistance maximale statique.....	3
2.2 Rappels statistiques.....	3
2.2.1 Le risque α.....	3
2.2.2 Etude statistique univariée et multivariée.....	4
2.2.3 Coefficient de corrélation linéaire de BRAVAIS-PEARSON.....	4
3 MATERIEL ET METHODE.....	4
3.1 Matériel.....	4
3.1.1 Population.....	4
3.1.2 Matériel nécessaire à la mesure de la RMs.....	5
3.1.3 Matériel nécessaire à la mesure de RMdc.....	6
3.2 Méthode.....	6
3.2.1 Préambule.....	6
3.2.2 Mesure de la RMs.....	7
3.2.3 Mesure de la RMdc.....	8
3.2.3.1 Protocole de mesure de la RMdc théorique.....	9
3.2.3.2 Protocole de mesure de la RMdc objective.....	9
3.2.3.2.1 Préambule.....	9
3.2.3.2.2 En cas de réussite au premier essai.....	9
3.2.3.2.3 En cas d'échec au premier essai.....	10
3.2.3.3 Illustrations de la mesure de la RMdc.....	11

4 ETUDE STATISTIQUE.....	13
4.1 Présentations générales.....	13
4.2 Etude du coefficient de corrélation linéaire de BRAVAIS-PEARSON.....	14
4.3 Etude statistique analytique univariée et multivariée.....	16
4.3.1 Présentation des variables.....	17
4.3.1.1 Première variable.....	18
4.3.1.2 Deuxième variable.....	18
4.3.1.3 Troisième variable.....	18
4.3.1.4 Quatrième variable.....	19
4.3.2 Etude univariée.....	19
4.3.2.1 Influence de la pratique sportive sur la RMs et la RMdc.....	20
4.3.2.2 Influence du type de sport sur la RMs et RMdc.....	21
4.3.3 Etude multivariée.....	22
4.3.4 Etude de la variable la plus significative sur le ratio RMdc/RMs.....	23
5 CONCLUSIONS STATISTIQUES.....	23
5.1 Coefficient de corrélation linéaire de BRAVAIS-PEARSON.....	23
5.2 Analyse univariée et multivariée.....	24
6 RESULTATS.....	24
7 DISCUSSION.....	25
7.1 Concernant nos résultats.....	25
7.2 Analyse de la littérature.....	27
7.3 Réflexion sur notre étude.....	28
8 CONCLUSION.....	28
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

RESUME

Buts : Afin de faciliter la mise en place et le suivi d'un protocole de renforcement dynamique concentrique, nous proposons une étude cherchant à vérifier l'hypothèse d'une corrélation linéaire entre la Résistance Maximale dynamique concentrique (RMdc) et la Résistance Maximale statique (RMs). En effet, compte tenu de la difficulté et de la nécessité de définir la RMdc, nous cherchons à définir un coefficient permettant de déduire la RMdc à partir de la simple mesure de la RMs au moment de force maximale des muscles concernés.

Cette étude se porte sur les muscles fléchisseurs du coude.

Matériels et méthode : La RMdc et la RMs ont été déterminées chez 48 sujets jeunes et sains, à partir d'un dynamomètre Kinetec® pour la mesure de la RMs et d'un système de poids fixés à une poignée pour la mesure de la RMdc.

Une étude statistique à ensuite été réalisée.

Cette étude met en évidence la mesure du coefficient de corrélation linéaire de BRAVAIS-PEARSON.

Puis, à partir d'une étude analytique, nous avons cherché, parmi les variables pouvant influencer la force musculaire de nos sujets, quelle était la variable influençant le plus significativement la RMs et la RMdc.

Pour finir, nous avons comparé l'influence de cette variable sur le ratio RMdc/RMs.

Résultats : Nous trouvons un coefficient de corrélation très proche de 1 (0.95897) nous permettant de conclure que les deux variables sont linéairement très corrélées et suivent une fonction affine proportionnelle.

L'étude analytique nous amène à la conclusion que, parmi les variables définies, « le type de sport » est la variable influençant le plus significativement la RMs et la RMdc, et que cette même variable n'influence pas significativement le ratio RMdc/RMs.

Tous sujets confondus, le ratio RMdc/RMs a pour moyenne : 0,71

Conclusion : Cette étude nous permet d'annoncer que la RMdc des fléchisseurs du coude de nos sujets correspond à 71% de la RMs de ces mêmes muscles. L'analyse de la littérature nous amène à penser qu'il existerait des coefficients de corrélation entre les différents type de contractions musculaires (concentrique, statique, excentrique) mais que ces derniers soient sexe et groupe musculaire dépendant. Ces travaux restant à effectuer.

Mots clés : RM, Résistance Maximale statique, Résistance Maximale dynamique concentrique, corrélation linéaire.

1 INTRODUCTION

La masso-kinésithérapie est une discipline active dont le principe est basé sur le mouvement. Qu'il soit actif ou passif, il est conditionné par les éléments responsables du mouvement : les muscles.

La perte de force musculaire est systématique et précoce après un traumatisme ou une intervention chirurgicale du fait de la moindre utilisation du segment de membre concerné, du repos ou de l'immobilisation prescrite.

De nombreuses techniques de renforcement musculaire en rééducation sont décrites. L'électrothérapie, le travail global ou l'isocinétisme en sont des exemples. Tous sont intéressants en fonction de la pathologie, de la sévérité de l'atteinte et de l'objectif fixé par le thérapeute et le patient.

En pratique le renforcement musculaire de type analytique ou segmentaire en série de répétitions de poids intervient dans la majorité des cas et tels les protocoles définis par Dotte, Delorme et Watkins, ou Waghmacker (1), la mise en place de l'un de ces protocoles et le suivi de l'évolution est rendu possible par la mesure de la Résistance Maximale dynamique concentrique (1 RMdc).

Au-delà de la difficulté de réalisation, la 1 RMdc consiste en une mesure pouvant se révéler périlleuse dans un contexte pathologique. En effet cette dernière peut être assujettie à des douleurs, à une fatigue excessive et précoce pouvant conduire à une interruption temporaire de l'activité jusqu'à récupération du sujet.

Compte tenu de la facilité, la reproductibilité et la fiabilité de la mesure de la résistance maximale statique (RMs) obtenue par dynamomètre, nous allons, à travers cette étude, chercher s'il existe une corrélation linéaire entre la RMs et la 1 RMdc.

En d'autre terme, existe-t-il un coefficient de proportionnalité entre la RMs, obtenue à un moment de force maximale, et la 1 RMdc ?

La mise en évidence d'un tel coefficient permettrait de faciliter la mise en place et le suivi d'un renforcement dynamique par déduction de la 1 RMdc à partir de la RMs.

Cette étude se porte sur les fléchisseurs du coude (muscles biceps brachial, brachial antérieur et brachio-radial).

2 RAPPEL

2.1 Rappels généraux

2.1.1 La force musculaire

La force musculaire se caractérise par la capacité d'un muscle à vaincre une résistance. Cette résistance peut être la pesanteur ou une charge externe. Il existe 3 types de force musculaire : la force statique où le moment de résistance est égal au moment moteur (la contraction est isométrique) ; la force concentrique où le moment de résistance est inférieur au moment moteur, ainsi le muscle se raccourcit ; et la force excentrique où le moment de résistance est supérieur au moment moteur, ainsi le muscle s'allonge.

La force musculaire d'un sujet sain est le reflet des ses activités sportives, professionnelles et de loisirs.

2.1.2 La résistance maximale dynamique concentrique

La résistance maximale dynamique concentrique (1 RMdc) est caractérisée par un mouvement de type concentrique réalisé avec une résistance telle, que le sujet ne puisse mobiliser cette charge qu'une fois et une fois seulement, dans la course musculaire prédéfinie. Cette résistance (généralement quantifiée en kg) détermine la valeur de référence à la mise en place de protocoles de renforcement musculaire concentrique. Elle peut est aussi valeur de référence quant au suivi de l'évolution du sujet.

2.1.3 La résistance maximale statique

La résistance maximale statique (RMs) est caractérisée par la force maximale que peut produire un muscle ou un groupe de muscle lors d'une contraction isométrique. Cette force maximale varie en fonction de la position de départ, elle est maximale si le muscle est placé en position de force maximale.

2.2 Rappels statistiques

2.2.1 Le risque α

Lors d'une étude statique, il convient de définir un risque α : ce risque fixe le pourcentage d'erreur permise à l'annonce du résultat.

Généralement ce risque est fixé à 5% ($\alpha < 5$), c'est-à-dire qu'à l'annonce du résultat, nous considérons comme significatif (S) l'hypothèse de corrélation si α est inférieur à 5% ($< 0,05$) et inversement, nous considérons l'hypothèse de corrélation comme non significatif (NS) si cette valeur est égale ou supérieur à 5% ($>$ ou $= 0,05$).

La valeur de ce pourcentage apparaît dans une étude comme la valeur de « petit p » notée : p.

En d'autres termes, à l'issue d'une étude statistique, le résultat p nous amène à pouvoir conclure quant à l'influence de variables, l'une par rapport à l'autre et inversement.

2.2.2 Etude statistique univariée et multivariée

Une étude univariée revient à étudier la corrélation entre une donnée et une variable.

Exemple : Chercher un lien potentiel entre des forces musculaires et la pratique d'une activité.

Une étude multivariée permet d'étudier simultanément une donnée à plusieurs variables.

Exemple : Etudier, simultanément, l'influence de la pratique du sport et du type de sport, à des forces musculaires.

2.2.3 Coefficient de corrélation linéaire de BRAVAIS-PEARSON

Il permet d'étudier l'intensité de la liaison qui peut exister entre deux variables. Il est égal à 1 dans le cas où l'une des variables est fonction affine croissante de l'autre variable, et égal à -1 dans le cas où la fonction affine est décroissante. Plus le coefficient est proche des valeurs extrêmes -1 et 1, plus la corrélation entre les variables est forte ; on emploie simplement l'expression « fortement corrélées » pour qualifier les deux variables. Une corrélation égale à 0 signifie que les variables sont linéairement indépendantes.

3 MATERIEL ET METHODE

3.1 Matériel

3.1.1 Population

L'étude comprend 48 sujets (19 femmes et 29 hommes) dont l'âge est compris entre 20 et 30 ans. Le membre supérieur testé est le dominant (46 droitiers et 2 gauchers). Tous ces

sujets sont sans antécédents médico-chirurgicaux pouvant interférer dans l'étude. Tous sont étudiants en masso-kinésithérapie.

Avant de débiter les mesures, le sujet remplit un questionnaire comprenant des renseignements généraux personnels (nom, prénom, adresse mail, renseignements médicaux) puis relate et évalue, avec l'examineur, sa pratique sportive (pratique sportive ou non, type de pratique, fréquence hebdomadaire) et de loisirs. (II)

3.1.2 Matériel nécessaire à la mesure de la RMs

La mesure de la RMs est effectuée grâce à un dynamomètre Kinétec® : fixé au sol, il permet de quantifier, en kg, la force musculaire maximale dans la course musculaire prédéfinie.



Figure 1 : Dynamomètre Kinétec® utilisé pour la mesure de la RMs

3.1.3 Matériel nécessaire à la mesure de RMdc

La mesure de la RMdc s'effectue à partir de poids mobilisés par le sujet à partir d'une poignée, les poids allant, dans cette étude, de 250g à 5kg.



Figure 2 : Matériel nécessaire à la mesure de la RMdc

3.2 Méthode

3.2.1 Préambule

Avant de débiter les mesures, les tests débutent par un échauffement d'une minute dynamique des fléchisseurs du coude par l'intermédiaire d'un haltère de 1 kg.

L'étude se veut sans compensation, ainsi les sujets sont placés talons, fesses et scapulas contre un mur afin de visualiser les compensations possibles de la chaîne postérieure. Le regard doit être maintenu à l'horizontal pour éviter les compensations des fléchisseurs du cou. Le poignet doit être dans l'axe de l'avant-bras pour éviter les compensations des muscles de l'avant-bras. Le coude côté testé ne doit pas prendre appui sur la crête iliaque homolatérale.

Le membre supérieur controlatéral doit rester détendu. Les tests sont effectués sur le temps expiratoire passif afin d'éviter le blocage respiratoire et une compensation par le caisson abdominal.

Le sujet est tenu informé des compensations possibles et l'examineur vérifie, durant les mesures, le respect de ces règles. Toutes compensations trop évidentes entraînent un résultat irrecevable.

Un délai de 15 minutes est fixé entre les mesures de RMs et RMdc afin de permettre une récupération par les sujets.

3.2.2 Mesure de la RMs

Après échauffement, le sujet se tient debout pieds écartés dans les conditions précédemment décrites. Le dynamomètre est fixé au sol. L'examineur place le coude du membre supérieur dominant à 90° de flexion (moment de force maximale des fléchisseurs du coude), l'avant-bras est en supination. Le sujet tient la poignée reliée au dynamomètre dans sa main.

Le sujet réalise 3 mesures avec un temps de récupération de 1 minute entre chaque mesure.

La valeur retenue comme RMs est le meilleur résultat des 3 mesures.



Figure 3 : Position de mesure de la RM

3.2.3 Mesure de la RMdc

La position du sujet et les conditions de mesures sont les mêmes que celles précédemment décrites. La position de départ est coude en extension, la position d'arrivée est lorsque le poids rentre en contact avec l'avant-bras, c'est-à-dire, à environ 140° de flexion de coude. Entre chaque mesure est laissé un temps de récupération de 1 minute.

Dans un premier temps nous cherchons la RMdc théorique de nos sujets à partir de l'équation défini par Brzycki (méthodologie expliquée ci-dessous), puis dans un second temps, nous objectivons ces mesures. Ceci nous permettant d'être le plus précis possible tout en étant le moins fatigable pour nos sujets.

3.2.3.1 Protocole de mesure de la RMdc théorique

La première mesure a pour but de déterminer la RMdc théorique du sujet.

La mesure de la RMdc théorique utilise la méthodologie proposée par Brzycki (1993) : une équation mathématique permettant de prédire la RMdc théorique à partir de la charge mobilisée et du nombre de répétitions réussies, à condition que ce nombre soit inférieur ou égal à 10 :

$$\text{RMdc théorique} = \text{Poids} / (1,0278 - (0,0278 * \text{Nbre de répétitions}))$$

Nous fixons arbitrairement le poids utilisé dans l'équation de Brzycki à 60% du meilleur résultat de la RMs. Le sujet réalise donc un maximum de répétitions avec un temps de travail égal au temps de repos. La vitesse de mobilisation est évaluée par l'examineur et doit être lente. Le temps de repos s'effectue en position de départ (en extension de coude). Un balancement ou une impulsion de départ rend la mesure inexploitable.

3.2.3.2 Protocole de mesure de la RMdc objective

3.2.3.2.1 La première charge

Un premier essai est réalisé après avoir arrondi, à l'excès, la valeur de la charge maximale théorique obtenue. Nous rappelons qu'une minute de récupération musculaire est réalisée entre chaque mesure.

3.2.3.2.2 En cas de réussite au premier essai

C'est-à-dire si le sujet est capable de mobiliser la première charge. Alors une deuxième charge lui est présentée avec une augmentation de 500g et ainsi de suite jusqu'à l'échec. A partir de l'échec, nous présentons au sujet une charge diminuée de 250g. Si le sujet réussit ce

test, cette valeur est considérée comme RMdc, sinon la charge du dernier test réussi est considérée comme RMdc.

Exemple : (en kg)

Ex 1 :

20,000 réussi

20,500 réussi

21,000 échec

20,750 réussi -> RMdc

Ex 2 :

20,000 réussi

20,500 réussi -> RMdc

21,000 échec

20,750 échec

3.2.3.2.3 En cas d'échec au premier essai

Ou en d'autres termes, si le sujet n'arrive pas à réussir le premier essai à la charge de la RMdc théorique. L'inverse se produit, nous réduisons la charge de 500g régulièrement jusqu'à réussite du test. Puis nous présentons au sujet une charge augmentée de 250g. Si le sujet réussit avec cette dernière charge, alors cette valeur est considérée comme RMdc, sinon la valeur du dernier test réussi (et dans ce cas il n'y a qu'un seul test réussi) est considérée comme la charge correspondante à la RMdc.

Exemples : (en kg)

Ex 1 :

20,000 échec

19,500 échec

19,000 réussi

19,250 réussi -> RMdc

Ex 2 :

20,000 échec

19,500 échec

19,000 réussi -> RMdc

19,250 échec

3.2.3.3 Illustrations de la mesure de la RMdc

Photographies en position de départ :



Figure 4 : Position de départ de la mesure de RMdc vue de profil



Figure 5 : Position de départ de la mesure de RMs vue de face

Photographies en position d'arrivée :



Figure 6 : Position d'arrivée de la mesure de RMdc vue de profil



Figure 7 : Position d'arrivée de la mesure de la RMs vue de face

4 ETUDE STATISTIQUE

4.1 Présentations générales

Tableau 1 : Résultats obtenus des RMs et RMdc et du ratio RMdc/RMs de chaque sujet

Sujet	RMs	RMdc	Ratio RMdc/RMs
1	15,8	11,75	0,74
2	15,1	9,5	0,63
3	13,53	10	0,73
4	21,4	15,5	0,72
5	12,5	7,25	0,58
6	9,25	7,5	0,81
7	14,45	9,5	0,64
8	11,15	6,5	0,58
9	12,55	8	0,63
10	21,8	15,25	0,56
11	16,9	14,75	0,87
12	19,65	14,25	0,72
13	25,7	17,25	0,67
14	20,45	14,75	0,72
15	24,75	17,25	0,69
16	22,5	16,5	0,73
17	11,95	8,5	0,71

18	10,5	7,75	0,73
19	26,65	19	0,71
20	20,15	14,25	0,71
21	13,9	9,5	0,68
22	16,6	11,95	0,72
23	26,25	19	0,72
24	11,6	8	0,69
25	20,4	16,5	0,81
26	26,1	21,25	0,81
27	18,7	13,5	0,72
28	16,3	12	0,73
29	18,1	12,75	0,7
30	22,7	15,75	0,69
31	11,35	7,5	0,66
32	10,8	8,5	0,78
33	10,4	8,5	0,82
34	20,6	15	0,73
35	13,6	9,25	0,68
36	18,85	16	0,84
37	17,5	12,25	0,7
38	14,6	10,75	0,74
39	19,15	14	0,73
40	27,5	19,25	0,7
41	15,75	12,5	0,79

42	20,7	15	0,72
43	22,5	16	0,71
44	11	8	0,73
45	9,3	6,75	0,73
46	10,15	8	0,79
47	26,9	17,5	0,65
48	25,65	18,75	0,73

Voici ici présenté le tableau où nous avons recensé les RMs et RMdc de nos sujets. Nous avons également calculé le ratio RMdc/RMs pour chacun d'entre eux.

Il est logique de trouver la RMs toujours supérieur à la RMdc chez chacun des sujets. En effet, à charge égale, la mesure concentrique nécessite de vaincre la résistance (mouvement dynamique), tandis que la mesure statique lui est égale (isométrie). La notion de course musculaire intervient aussi puisque la mesure statique est réalisée en position de force maximale tandis que la mesure dynamique est effectuée dans l'ensemble de la course.

Tableau 2 : Synthèse des résultats obtenus au sein de l'étude

	Nb de sujets	Moyenne	Ecart-type	Minima	Maxima
RMs	48	17,5404082	5,44371463	9,25	27,5
RMdc	48	12,6622449	4,02340199	6,5	19,25
RMdc/RMs	48	0,71489796	0,06387235	0,56	0,87

Nous notons surtout ici le faible écart-type entre les différents ratios.

4.2 Etude du coefficient de corrélation linéaire de BRAVAIS-PEARSON

Nous allons à travers cette étude chercher le lien de corrélation existant entre les RMs et RMdc de chacun de nos sujets.

Tableau 3 : Corrélation de la variable RMs par rapport à la variable RMdc.

Coefficient de corrélation de Bravais-Pearson		
	RMs	RMdc
RMs	1.00000	0.95897
Nb de sujets	48	48

Tableau 4 : Corrélation de la variable RMdc par rapport à la variable RMs

Coefficient de corrélation de Bravais-Pearson		
	RMs	RMdc
RMdc	0.95897	1.00000
Nb de sujets	48	48

Nous constatons la nette tendance de notre corrélation (0,96) à se rapprocher de la valeur +1, signe que les deux RM sont linéairement proportionnelles.

4.3 Etude statistique analytique univariée et multivariée

A travers cette étude, grâce aux données recueillies, nous cherchons quelles sont les variables influençant la RMs ou la RMdc de chacun de nos sujets.

Le choix de ces variables correspond, à l'influence de notre vie de tous les jours sur notre force musculaire. Sont donc pris en considération le sport et les loisirs. La vie professionnelle n'est pas ici retenue compte tenu de l'échantillon tous étudiants masseur-kinésithérapeutes.

4.3.1 Présentation des variables

4.3.1.1 Première variable

Elle détermine la pratique, ou non, d'une activité sportive. A partir de cette donnée, nous classons le sport en fonction de la partie du corps la plus sollicitée.

Tableau 5 : Sport(s) pratiqué(s)

Sport pratiqué :	1 - Pas de sport
	2 - MS unilatéral testé
	3 - MS bilatéral
	4 - MI

En exemple :

MS unilatéral testé pour la pratique du tennis, badminton ou handball.

MS bilatéral pour la pratique de la natation, volley ou judo.

MI pour la pratique de la course à pied, football ou ski de fond.

4.3.1.2 Deuxième variable

Le type de sport.

Tableau 6 : Type de sport

Type de sport :	1 - Pas de sport
	2 - En force
	3 - En endurance
	4 - Mixte

En exemple :

En force : culturisme, lancé de poids.

En endurance : natation, course à pied.

Mixte : judo, handball

4.3.1.3 Troisième variable

Variable permettant de prendre en compte la fréquence de l'entraînement hebdomadaire de chaque sujet.

Tableau 7 : Entraînement hebdomadaire

Nombre de séance(s) / semaine :	1 - Pas de sport
	2 - 1 séance / semaine
	3 - 2 à 3 séances / semaine
	4 - Plus de 3 séances / semaine

4.3.1.4 Quatrième variable

Variable permettant d'évaluer l'influence de nos loisirs sur la force statique ou dynamique.

Tableau 8 : Type de loisirs

Loisirs :	1 - Pas de loisirs influençant la force du MS testé
	2 - Influençant le travail statique du MS testé
	3 - Influençant le travail dynamique du MS testé

En exemple :

Influence le travail statique : pratique d'un instrument de musique, peinture.

Influence le travail dynamique : pratique du jardinage, bricolage.

4.3.2 Etude univariée

Après avoir défini parmi ces variables lesquelles sont d'influence significative, nous étudions les comportements des moyennes des RMs et RMdc en fonction de chacun des groupes.

Seuls les variables significatives sont présentées dans cette étude, les résultats non significatifs sont présentés en annexe (III).

4.3.2.1 Influence de la pratique sportive sur la RMs et la RMdc

Permet de corrélérer la pratique sportive (variable 1) à la RMs et RMdc de chacun de nos sujets.

Tableau 9 : Influence de la pratique sportive

Pratique de sport	Nombre de sujets	RMs		RMdc	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1	14	15,9	4,9	10,9	3,4
2	15	19,4	5,5	13,8	3,9
3	12	19,8	5,5	15	4,4
4	7	13,5	3,8	10,5	3
		p = 0,0189		p = 0,0168	

Ainsi nous constatons que, la pratique d'une activité sportive influence significativement la RMs et la RMdc ($p < 0.05$).

Cette étude nous permet de mettre en évidence la tendance des moyennes des RM à évoluer linéairement. Par exemple, les meilleures moyennes pour la RMs et la RMdc sont celles du groupe 3 « Sport MS bilatéral », les moins bonnes moyennes de RMs et RMdc sont celles du groupe 4 « Sport MI ».

Ces conclusions sont valables entre chaque groupe.

4.3.2.2 Influence du type de sport sur la RMs et RMdc

Permet de corréler le type de pratique sportive (variable 2) à la RMs et RMdc.

Tableau 10 : Influence de type de sport

		RMs		RMdc	
Type de sport	Nombre de sujets	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1	14	15,9	4,9	10,9	3,4
2	6	23,1	3,2	17	2,7
3	14	14,7	4	10,8	3,8
4	14	20	4	14,2	3,4
		p = 0,0012		p = 0,0003	

Ici nous remarquons que le type de sport à aussi une influence significative sur les deux types de RM ($p < 0.05$).

Nous constatons à nouveau la linéarité de l'évolution des moyennes. Ainsi, les meilleurs moyennes de RM sont toutes les deux retrouvées dans le groupe 2 « Sport en force ». Les deux moins bonnes moyennes sont retrouvées dans le groupe 3 « Sport en endurance ».

Ces conclusions sont valables entre chaque groupe.

4.3.3 Etude multivariée

Cette étude nous permet de déterminer parmi les variables « pratique de sport » et « type de sport » laquelle influence le plus les deux différentes RM. Cette étude nous permettra de confronter cette variable déterminé au ratio RMdc/RMs.

Tableau 11 : Détermination de la variable la plus influençant

	RMs			RMdc		
	Carré moyen	Valeur F	p	Carré moyen	Valeur F	p
Pratique sportive	30	1,3	0,2768	24,7	2,2	0,1231
Type de sport	102,5	4,5	0,0164	78,5	7	0,0024

Ici nous constatons que la variable « type de sport » à plus d'influence sur les données RMs ($p=0,0164$) et RMdc ($p=0,0024$) que la variable « pratique sportive ».

4.3.4 Etude de la variable la plus significative sur le ratio RMdc/RMs

Nous allons ici opposer le « type de sport » au ratio RMdc/RMs afin de déterminer si le type de sport influence le rapport RMdc/RMs de nos sujets.

Tableau 12 : Influence de la variable la plus liée « type de sport » sur le ratio RMdc/RMs

		Ratio RMdc/RMs	
Niveau de Type de sport	Nombre de sujets	Moyenne	Ecart-type
Pas de sport	14	0,71	0,05
Sport en force	6	0,74	0,04
Sport en endurance	14	0,72	0,08
Sport mixte	14	0,75	0,09
		$p = 0,4686$	

Compte tenu de la valeur de p , nous constatons que le « type de sport » n'a pas d'influence sur le ratio RMdc/RMs.

5 CONCLUSIONS STATISTIQUES

5.1 Coefficient de corrélation linéaire de BRAVAIS-PEARSON

Lorsque nous comparons la RMs à la RMdc de chaque sujet, nous obtenons un coefficient de corrélation linéaire égal à **0.95897**. Nous pouvons ainsi conclure, qu'étant très proche de 1, ces deux variables *sont linéairement très corrélées et suivent une fonction affine proportionnelle*.

5.2 Analyse univariée et multivariée

L'analyse univariée nous permet de conclure que, considérant toutes les variables pouvant influencer la force des sujets, seule la pratique de sport et le type de sport influencent significativement la force musculaire maximale statique et dynamique.

L'analyse multivariée nous permet de conclure que, d'après les deux variables d'influences, le type de sport est la variable influençant le plus la RMs et RMdc de nos sujets.

Nous concluons également que le type de sport n'a pas d'influence sur le ratio RMdc/RMs.

6 RESULTATS

Compte tenu des résultats de l'étude statistique, nous pouvons conclure que la RMs et la RMdc de nos sujets suivent **une corrélation linéaire de proportionnalité**.

Nous concluons également de l'existence d'une influence très significative entre le type de sport et les moyennes de RMs et RMdc, cependant nous ne trouvons pas d'influence du type de sport sur le ratio RMdc/RMs.

Ainsi, tous sujets confondus, la moyenne du ratio RMdc/RMs est de 0.71.

Soit $RMd = 0.71RMs$

Soit $RMd = 71\%RMs$

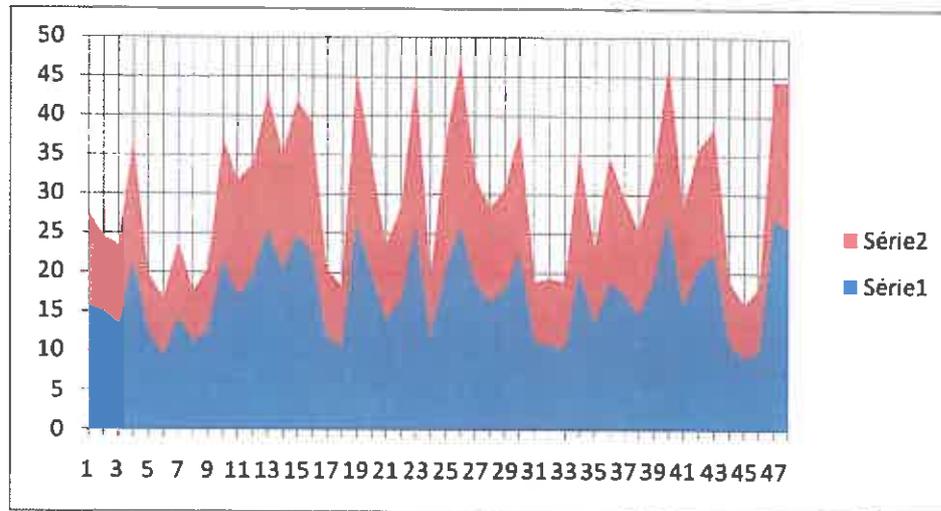


Figure 8 : Graphique représentant la RMs et RMd de chaque sujet.

Série 1 : Représente les différentes RMdc obtenues

Série 2 : Représente les différentes RMs obtenues

7 DISCUSSION

7.1 Concernant nos résultats

Nous constatons que notre étude est menée sur une population qui ne reflète pas l'ensemble de la population : en effet, notre échantillon est représentatif d'une population jeune, globalement sportive et en bonne santé.

La mesure de la RMs, par l'utilisation du dynamomètre Kinetec® nous apporte un résultat objectif alors que la mesure de la RMdc est obtenue avec un risque d'erreur de 250g.

Dans cette étude nous ne prenons pas en considération la force musculaire excentrique. En effet, au-delà de la difficulté de détermination de la RM dynamique

excentrique de façon manuelle, ce type de contraction à une force proche de sa 1RM peut occasionner des microlésions musculaires.

La force développée est inversement proportionnelle à la vitesse d'exécution. En effet, la vitesse à laquelle le sujet réalise la flexion de coude pendant la mesure de la RMdc, a directement un impact sur la force que le sujet développe. La vitesse déployée durant le test est laissée libre au sujet. Cependant nous avons pu constater qu'une vitesse élevée (plus de 70°/sec soit moins de 2 secondes pour réaliser la flexion totale) était souvent révélatrice d'une sous-estimation de la RMdc et qu'à l'inverse une vitesse trop lente (moins de 35°/sec soit plus d'une seconde pour réaliser le premier quart de la flexion totale) était souvent révélatrice d'une RMdc surestimée et donc échouée.

Ces analyses quantitatives de force musculaire sont faites en se basant sur une contraction concentrique des muscles étudiés. Or cette étude ne prend pas en compte la physiologie fonctionnelle du muscle : selon qu'un groupe musculaire ait préférentiellement une action stabilisatrice (muscle tonique) ou motrice (muscle phasique). Ainsi, dans cette étude, si la corrélation des RM est prouvée avec un groupe musculaire phasique, nous ne pouvons tirer de conclusion sur ce qu'il en serait avec un groupe musculaire tonique.

De nombreux auteurs tels que Constantinides, Fabri, Pereira et Domenech (2) nous indiquent les conséquences du vieillissement sur les propriétés fonctionnelles du muscle strié squelettique. Nous retiendrons l'augmentation de l'élasticité musculaire, la diminution de force, la diminution de vitesse de contraction ainsi qu'une puissance diminuée, et une perturbation du contrôle neurologique de la contraction musculaire. Ainsi, hors champs de cette étude portée sur une population jeune, nous pouvons nous interroger sur la véracité de ce ratio compte-tenu des effets de l'âge.

Qu'en est-il des conséquences proprioceptives à la suite d'un traumatisme ? Cette étude a pour but de faciliter la mise en place de protocole de renforcement musculaire dynamique utilisant comme valeur de référence la RMs. Par définition, cela consiste en la mise en place d'un protocole dynamique à partir d'une référence statique. Au cours d'une immobilisation ou d'une inactivité forcée, les récepteurs sont mis au repos et perdent une partie de leurs qualités de transmetteur d'informations proprioceptives. Ainsi considérant que la force musculaire statique (au moment de force maximale) et la force musculaire dynamique concentrique restent corrélées, en cas de diminution de force, il faut alors considérer l'atteinte de la programmation neuromotrice. Ainsi la RMdc (déduite par la RMs) pourrait être surestimée du fait de l'altération neuromotrice.

7.2 Analyse de la littérature

Aucun article trouvé à ce jour ne met directement en avant un lien direct entre la RMs et la RMdc. La littérature nous amène surtout bon nombre d'articles relatant des tablatures de détermination de RMdc (majoritairement destinées à une population de culturistes) dont l'une des plus utilisée est celle de Berger (IV) mais difficilement exploitable en rééducation du fait des difficultés de mise en place précédemment décrites et au contexte pathologique de nos patients.

Un article rédigé par Hollander et Kraemer datant de 2007 (13) (V) et publié dans *The Journal of Strength and Conditioning Research* met en avant les écarts entre la force maximale excentrique et concentrique entre jeunes hommes et femmes dans le cadre d'exercices à résistance dynamique.

Cet article n'est pas directement en lien avec l'objet de notre étude mais souligne deux éléments qui nous paraissent importants : Il existe une corrélation proportionnelle entre la RMdc et RMde (Résistance Maximale dynamique excentrique) en fonction du sexe et des groupes musculaires testés, mais cette corrélation est unisexe et ne s'étend pas à l'ensemble des groupes musculaires.

7.3 Réflexion sur notre étude

Notre étude correspond à un échantillon non représentatif de la population et ne cible qu'un groupe musculaire, il serait donc faux de généraliser le coefficient déterminé à l'ensemble des patients quelque soit leur sexe, leurs pathologies et le groupe musculaire incriminé.

Cependant cette étude soulève une réflexion intéressante : il apparait en effet que chaque groupe musculaire pourrait avoir un coefficient de corrélation entre la RMs et la RMdc.

Il est, à l'heure actuelle, nécessaire de corroborer ces hypothèses à l'ensemble des muscles-clés de nos rééducations. En effet, il serait intéressant de réaliser ces mêmes mesures sur, entre autres, des muscles tels que les extenseurs d'épaule, le moyen fessier ou le muscle quadriceps.

Par l'analyse de la littérature nous retiendrons également l'importance de différencier le sexe quant à l'élaboration de ces ratios.

8 CONCLUSION

A la suite d'une bibliographie incluant des outils tels qu'internet, bibliothèques spécialisées et revues scientifiques, nous avons pu établir l'hypothèse de corrélation linéaire

entre ces deux types de RM. Puis à partir d'un protocole de test strictement défini et respecté, permettant des mesures dans des conditions reproductibles et sans compensation, nous avons pu recueillir une banque de données comprenant le mode de vie (influençant la force musculaire), la RM_s et la RM_{dc} des muscles fléchisseurs du coude de 48 sujets jeunes et sains. Par le biais d'études statistiques, nous avons pu mettre en évidence le lien fort existant entre la RM_s et la RM_{dc} de ces muscles.

Bien que le coefficient déterminé puisse être utilisé pour un sujet pouvant être inclus dans l'étude, ce travail doit être perçu comme pilote de définition de normes. En effet il nous reste à élargir la population de l'échantillon, déterminer la différence potentielle entre homme et femme, et entre groupes musculaires.

La définition de ces normes permettrait d'apporter à notre profession, avec simplicité, reproductibilité et efficacité, le choix judicieux des charges nécessaires, à la mise en place de protocole de renforcement musculaire.

BIBLIOGRAPHIE

1. **CANAL A. OATIS** – The Mechanics and Pathomechanics of human Movement - Mechanics and Pathomechanics of Muscle Activity at the Elbow – 2ème éd. – Baltimore, 2009. p. 219 - 228.
2. **BONNEL F., MARC T.** – Le muscle nouveaux concepts Anatomie – biomécanique – chirurgie – rééducation - 1ère éd. – Paris : Sauramps medical, 2009-559p.
3. **CRAPEL C., CRAPEL P.** - Physiologie et activité sportive - 1ère éd. -Paris : Vigot, 1986 - 427p.
4. **CHAPMAN A. E.** - Biomechanical Analysis of Fundamental Human Movements – 1^{ère} éd. – Toronto : Human Kinetics, 2008 - 304p.
5. **CHATARD J.C.** - Lutter contre le dopage en gérant la récupération physique - 1ère éd. - Saint Etienne : Publication de l'Université de Saint-Etienne, 2003 - 248p.
6. **Delorme T.L., WATKINS A.L.** – Techniques of progressive resistance exercise – Archives of physical medicine – 1948 – p268-273, 2
7. **DANIEL F., BRETON G., CARZON J., CORTILLON A.** – Méthodes d'exploration de la force musculaire : Une analyse critique - Annales de réadaptation et de Médecine Physique – p311-322, 42.
8. **DOUTRELOUX J. P., MASSEGLIA M., ROBERT P.** - Le muscle de l'entretien à la performance - Paris : Amphora, 1995 - 379p.
9. **GAIN H., HERVE JM., HIGNET R., DESLANDES R.** - Encyclo Méd Chir : Renforcement musculaire en rééducation, 2003, 26-055-A-11 - 10p.
10. **GUINCESTRE J. Y., SESBOUE B., CAVELIER V., HULET C.** - Principes, usages, mésusages et risques du renforcement musculaire. - Journal de traumatologie du sport, 2005, 22, p. 236 - 242.
11. **HELD J. P., DIZIEN O.** - Traité de médecine physique et de réadaptation - 1ère éd. - Paris : Flammarion, 1998 - 859p.
12. **HEULEU J.-N., SIMON L.** – Muscles et rééducation – Paris : Masson, 1988, 12
13. **HOLLANDER D.B., KRAEMER R.R., et al.** Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2007;21(1):34-40.

14. **KAPANDJI I. A.** – Physiologie Articulaire - 3^{ème} éd. – Paris : Ed Maloine S. A., 1968 – 205p.
15. **KOTZKI N., DUPEYRON A.** - Renforcement musculaire et reprogrammation motrice - 1ère éd. - Paris : Masson, 2008 - 165p
16. **R. POORTMANS J., BOISSEAU N.** - Biochimie des activités physiques - 1ère éd. - Paris : De Boeck Université, 2002 - 479p.
17. **SIMONET P.** – Apprentissages Moteurs : Processus et procédés d’acquisition – 1^{ère} éd. – Paris : Vigot, 1990 – 219p.
18. **STERNAD D.** – Progress in Motor Control – 1^{ère} éd. – Pennsylvania : Springer, 2009 -734p.
19. **ROCHCONGAR P., MONOD H.** - Médecine du sport - 4ème éd. - Paris : Masson, 2009 - 487p.
20. **THEPAUT-MATHIEU C., MILLER C., QUIEVRE J.** - Entraînement de la force Spécificité et planification - 1ère éd. - Paris : INSEP, 1997, 22 - 371p.

ANNEXES

ANNEXE I : Protocoles définis par Dotte, Delorme et Watkins et Waghemacker

D'après un article de DANIEL F, BRETON G., CARZON J., COURTILLON A. DARNAULT, KLEINKNEHT B., HEULEU J.N. publié dans - Techniques de rééducation et de renforcement musculaire - (2).

Protocole de Dotte (1958)

La méthode appelée « Resistance Directe Progressive » est utilisée pour le renforcement des muscles appendiculaires. Elle impose des contraintes mécaniques et un balayage du champ articulaire sous tension musculaire d'où la nécessité de l'employer au niveau d'une articulation sans lésion mécanique, sans affection dégénérative et sans processus inflammatoire.

La force musculaire se base et se définit comme la 1 RM qui est à la fois la force de référence de travail et de progrès.

La résistance est une charge additionnelle directe située de manière à n'amener aucune modification de la longueur du bras de levier. L'amplitude de la contraction est identique avec et sans la charge. Le fait d'employer des charges lourdes nécessite leur stabilité, une absence de porte-à-faux sur les articulations distales, un contrôle d'accélération dans les descentes de charge, ceci est réalisé grâce à l'haltère de RDP, le bras de charge, le fléau gradué et le compas d'accouplement.

Le protocole se définit avec un nombre de mouvements d'échauffement, puis de la **recherche de la 1 RM** qui se fait par succession de contractions à vitesse lente avec addition progressive d'une unité de charge (500g pour le membre inférieur). Le mouvement s'accomplit dans le plan vertical et la résistance doit être maximale en position d'arrivée du mouvement. Dès que le sujet n'atteint plus l'amplitude précisée du départ, la valeur de la

résistance maximale est la dernière charge soulevée convenablement. Le test est reconduit en fin de chaque semaine, le repos entre les tests et la séance suivante est de 36h à 48h.

Les conditions de travail sont identiques aux conditions du test, la séance de renforcement est unique quotidienne, quatre fois par semaine. Elle se compose de 3 séries (les 2 premières préparatoires et la dernière musclante). Le nombre de répétitions est de 10 mouvements pour chaque série :

- 1^{ère} série avec 2/5 de la RM ;
- 2^{ème} série avec 3/5 de la RM ;
- 3^{ème} série avec 4/5 de la RM.

Le temps de travail d'une répétition pour un déplacement angulaire de 90° est de 1 seconde pour la phase d'élévation par une contraction dynamique concentrique, d'1/2 seconde pour la disposition d'arrivée par un tenu bref et de 1,5 seconde pour la phase de descente par une contraction excentrique et la décontraction.

Le temps de repos entre chaque répétition est de 3 secondes. Entre les séries, une période de récupération est intercalée, sa durée est égale à la durée de la série précédente.

Si le mouvement par contraction dynamique concentrique est douloureux, on applique une méthode dérivée utilisant des contractions statiques, **la 1 RM se cherche alors en statique** et les conditions de travail sont les mêmes. Si le retour est douloureux, il faut supprimer la contraction excentrique par un retour passif ou contrarié.

Protocole de Delorme et Watkins (1948)

Thomas Delorme (chirurgien de l'armée américaine et haltérophile amateur) applique les principes de l'haltérophilie à la rééducation. Après différents essais, ils ont retenu la méthode suivante : « Progressive Résistance Exercice ». **Il faut préalablement déterminer la 1 RM (élément test) et la 10 RM (élément travail).** Le protocole est le suivant :

Echauffement :

- une série de 10 mouvements avec la moitié de la 10 RM en 1 minute ;
- une minute de repos ;
- une série de 10 mouvements avec les $\frac{3}{4}$ de la 10 RM en une minute ;
- une minute de repos

Travail de renforcement effectif :

- une série de 10 mouvements avec 10 RM en 1 minute. La durée d'une contraction est de 3 secondes, le temps de repos entre chaque contraction est aussi de 3 secondes. Le temps total de la série est de 1 minute.

Les séries sont pratiquées une fois par jour et 4 jours par semaine ; le 5^{ème} jour, **on détermine les nouvelles 1 RM et 10 RM** – le travail de la semaine suivante s'effectuera en fonction de cette nouvelle 10 RM et ainsi de suite jusqu'à ce que la force du muscle soit équivalente à son homologue du côté sain (les auteurs recommandent alors de les travailler ensemble).

Quand la 1 RM se stabilise sur 3 semaines, on peut admettre avoir atteint un maximum (force-limite).

Protocole de Wagemacker

Propose une méthode à force décroissante pour faciliter le travail des malades ambulatoires. Il **calcule la 1 RM** le lundi après échauffement puis, 3 jours dans la semaine il fait 3 série de 10 exercices :

- 10 mouvements avec $\frac{2}{3}$ de la 1 RM
- 10 mouvements avec $\frac{1}{2}$ de la 1 RM
- 10 mouvements avec $\frac{1}{3}$ de la 1 RM

Avec 5 minutes de repos entre chaque série.

ANNEXE III : Les résultats non significatifs

- Influence du nombre d'entraînement de sport / semaine sur la RMs et la RMdc

Permet d'évaluer l'influence du « nombre d'entraînement de sport / semaine » (variable 3) sur la RMs et RMdc.

		RMs		RMdc	
Nombre de séance(s)/sem	Nombre de sujets	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1	14	15,9	4,9	10,9	3,4
2	10	15,1	5,2	11,6	3,9
3	11	19,6	4,3	14,4	3,3
4	13	19,7	6,3	14,3	4,7
		p = 0,0630		p = 0,0527	

Nous constatons que le « nombre de séance(s) de sport/semaine » n'a pas d'influence significativement sur la RMs et la RMdc ($p > 0.05$).

-Influence des loisirs sur les variables RMs et RMdc

Permet d'évaluer l'influence du «type de loisirs » (variable 4) sur la RMs et RMdc.

Loisirs	Nombre de sujets	RMs		RMdc	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1	33	17,2	5,8	12,8	4,3
2	8	15,8	4,5	10,6	3,6
3	6	21,5	4,1	15,5	2,1
4	1	17,5		12,3	
		p = 0,2607		p = 0,1752	

Nous constatons que le « type de loisir » n'a pas d'influence significativement sur la RMs et la RMdc ($p > 0.05$).

ANNEXE IV : Table de Berger

Qu'est ce que la table de Berger ?

La table de Berger permet de calculer la Résistance Maximale dynamique concentrique théorique en fonction du nombre de répétitions effectuées à une charge donnée. Cette table permet de construire un programme de musculation et de travailler au pourcentage de la résistance maximale souhaitée.

Nombre de répétitions	% R.M	% R.M Simplifiée
1	100	100
2	94.3	95
3	90.6	90
4	88.1	88
5	85.6	85
6	83.1	83
7	80.1	80
8	78.6	78
9	76.5	76
10	74.4	74
11	72.3	72
12	70.3	70

**MAXIMAL ECCENTRIC AND CONCENTRIC STRENGTH DISCREPANCIES
BETWEEN YOUNG MEN AND WOMEN FOR DYNAMIC RESISTANCE
EXERCISE**

- **Auteurs:** Daniel B. Hollander, Robert R. Kraemer, Marcus W. Kilpatrick
- **Localisation:** Journal of strength and conditioning research: the research journal of the NSCA, ISSN 1064-8011, Vol. 21, N°. 1, 2007 , p. 34-40

- **Résumé:**

D.B. Hollander, R.R. Kraemer, M.W. Kilpatrick, Z.G. Ramadan, G.V. Reeves, M. Francois, E.P. Hebert, and J.L. Tryniecki. Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. *J. Strength Cond. Res.* 21(1):34-40. 2007.-Although research has demonstrated that isokinetic eccentric (ECC) strength is 20-60% greater than isokinetic concentric (CON) strength, few data exist comparing these strength differences in standard dynamic resistance exercises. The purpose of the study was to determine the difference in maximal dynamic ECC and CON strength for 6 different resistance exercises in young men and women. Ten healthy young men (mean \pm SE, 25.30 \pm 1.34 years), and 10 healthy young women (mean \pm SE, 23.40 \pm 1.37 years) who were regular exercisers with resistance training experience participated in the study. Two sessions were performed to determine CON and ECC 1 repetitions maximum for latissimus pull-down (LTP), leg press (LP), bench press (BP), leg extension (LE), seated military press (MP), and leg curl (LC) exercises. Maximal ECC and maximal CON strength were determined on weight stack machines modified to isolate ECC and CON contractions using steel bars and pulleys such that only 1 type of contraction was performed. Within 2 weeks, participants returned and completed a retest trial in a counterbalanced fashion. Test-retest reliability was excellent ($r = 0.99$) for all resistance exercise trials. Men demonstrated 20-60% greater ECC than CON strength (LTP = 32%, LP = 44%, BP = 40%, LE = 35%, MP = 49%, LC = 27%). Women's strength exceeded the proposed parameters for greater ECC strength in 4 exercises, $p < 0.05$ (LP = 66%, BP = 146%, MP = 161%, LC = 82%). The ECC/CON assessment could help coaches capitalize on muscle strength differences in young men and women during training to aid in program design and injury prevention and to enhance strength development