
*Pré-étude : Evaluation de
l'effet de la PCP-Therapy
sur les muscles
squelettiques de la jambe
gauche de trois sujets sains.*

* Tous les résultats présentés dans ce rapport ne doivent en aucun cas être utilisés en dehors de leur contexte (conditions expérimentales).

** Rapport accompagné d'un CD (comportant les fichiers brut et traités).

Introduction

Le dispositif médical «**Davkor**» destiné aux thérapeutiques manuelles permet de réaliser la technique de thérapie par la **Pression Continue Profonde** «PCP Therapy», qui consiste à appliquer une pression continue profonde au niveau des muscles squelettiques (sur des points précis cartographiés), en fonction d'un temps donné. Pour certaines pathologies mécaniques de l'appareil locomoteur, différents protocoles de traitement ont été développés.

Le but de la présente étude pilote est de montrer la possibilité de mesurer l'effet de cette thérapie sur les muscle du mollet et leur fonction. Ceci en quantifiant sur un certain nombre de paramètres choisis, mécaniques et électromyographiques qui interviennent dans la performance musculaire. Cette étude nous permettra d'orienter le choix de paramètres pertinents pour monter une étude plus complète afin de démontrer l'effet de cette technique ainsi que les différents protocoles de traitement mis en place.

Matériels et Méthodes

1. Population et préparation des sujets

Pour cette étude pilote nous avons testé trois sujets sains de sexe masculin. Ces sujets ont été recrutés par Le docteur Khorassani. Leur caractéristiques anthropométriques sont les suivantes :

Données Anthropométriques	Sujet		
	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3
Taille (cm)	178	175	170
Poids (kg)	75	90	65
Age (ans)	43	40	21

Tableau 1. Caractéristiques anthropométriques des trois sujets testés

Avant de commencer les tests d'évaluation, des électrodes de surface ont été placées sur les trois muscles du triceps sural (jambe gauche) pour recueillir les activités électromyographiques (EMG). Pour avoir une impédance de la peau inférieure à 5 k Ω , la peau a

été préparée après rasage des poils, avec une pâte abrasive et ensuite dégraissée avec de l'alcool à 90°. Ensuite les électrodes de surface, remplies d'un gel conducteur, ont été placées sur les trois muscles du triceps sural : le Soléaire (soleus, Sol), le jumeau interne (gastrocnemius medialis, GI) et le jumeau externe (gastrocnemius lateralis, GE) ainsi sur son antagoniste le jambier antérieur (tibialis antérieur, TA). L'emplacement des électrodes a été repéré (photo-marquage sur la peau) et noté de manière à retrouver les mêmes conditions de pose les fois suivantes. L'emplacement des électrodes est montré dans la [Figure 1](#).

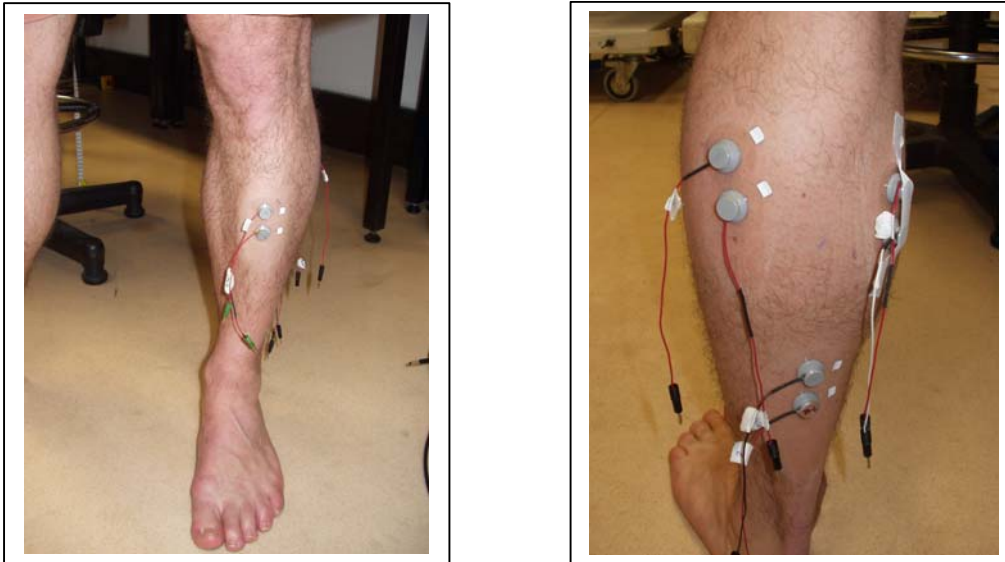


Figure 1. Position des électrodes de surface sur le muscle tibialis antérieur (gauche) et les muscles du triceps sural (droite).

2. Protocole PCP therapy

Le protocole de PCP therapy a été choisi et réalisé par le Dr. David KHORASSANI (durée, force d'appui ainsi que les points d'application). Ce protocole a été appliqué pendant 40 min sur tout le corps et il est pris comme repère pour les mesures effectuées : on parlera de mesure pré (pour avant la PCP), post (environ 30 min après la PCP) et à 48H (Deux jours après la PCP).

**REMARQUE : Nous n'avons pas pu tester le «sujet 1» (KASPRE) juste après la PCP therapy car il était obligé de partir pour des raisons professionnelles. Nous représenterons que les valeurs pré et à 48H que nous avons obtenues. Le «sujet 2» (SULNOW) s'est plaint d'une douleur au niveau de la plante du pied gauche lors du test à 48H.*

3. Ergomètre cheville

Pour les tests sur l'ergomètre cheville le sujet est installé en position assise sur l'ergomètre. La hauteur du siège et l'inclinaison sont ajustés de sorte que l'angle fémur / tibia

soient d'environ 120°. Le pied est fixé dans une chaussure laquelle est fixée sur le pédalier de la tête motrice. La hauteur du pédalier et son positionnement latéral sont ajustés de sorte que l'axe bi malléolaire moyen de la cheville coïncide avec l'axe de rotation du moteur. La position neutre de la cheville est choisie pour un angle tibia/pied de 90°. La cuisse de la jambe qui sera active est ensuite maintenue par des sangles. Les EMGs sont connectés à un amplificateur différentiel. Tous les EMGs sont amplifiés avec un gain de 60 dB. L'acquisition du couple et des EMGs et le traitement des signaux sont faits par des logiciels spécifiques, avec une fréquence d'échantillonnage de 1024 Hz.



Figure 2. Mise en place du sujet sur l'ergomètre cheville.

3.1. Contraction maximale volontaire

La contraction maximale volontaire (CMV) permet de déterminer le couple maximal que le sujet est capable de développer. Trois essais sont réalisés pour chaque test. La valeur maximale obtenue est exprimée en Nm et définie comme le couple maximal du jour.

3.2. Raideur musculo-tendineuse

La raideur musculo-tendineuse est déterminée à partir d'un relâchement rapide du pédalier pendant que le sujet maintient une consigne sous maximale correspondant à 40%, 60% puis 80 % de sa CMV en flexion plantaire. Pour tous les tests, la consigne de couple correspond à celle du pré-test.

La mesure effectuée consiste à isoler pendant 20 ms la variation d'accélération et la variation de position qui s'opèrent dès le relâchement effectif. Le rapport de ces deux variables multipliées par le facteur d'inertie est alors une raideur. Ce traitement est appliqué pour chaque consigne de couple.

L'effet de l'exercice est ensuite analysé par la pente de la relation linéaire entre la raideur musculo-tendineuse et le couple de consigne. Cette pente est utilisée comme l'indice de raideur musculo-tendineuse (SI_{MT}).

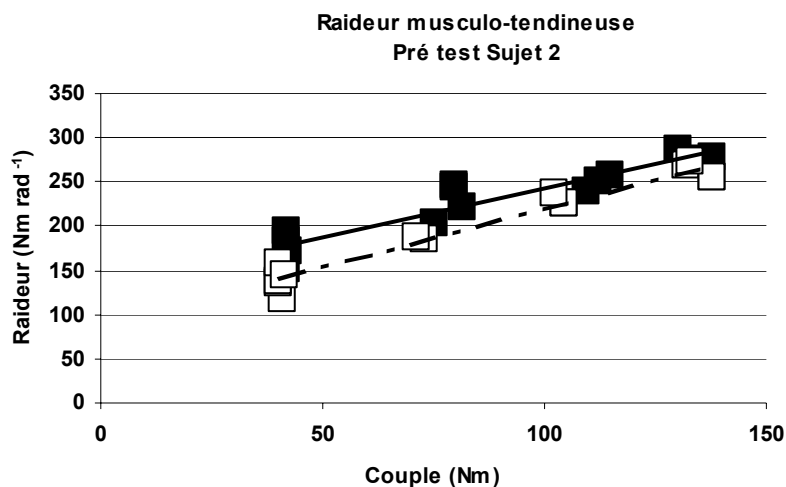


Figure 3. Relation linéaire entre la raideur musculo-tendineuse et le couple de consigne. La pente de la relation linéaire est utilisée comme indice de raideur musculo-tendineuse.

3.3. Raideur musculo-articulaire

La raideur musculo-articulaire est déterminée à partir des perturbations sinusoïdales. Grâce à un oscilloscope, le sujet développe et maintient son couple à 0% (en passif) et à 50% de sa CMV en flexion plantaire. Pendant le maintien, les perturbations sinusoïdales d'amplitude 1.5 ° sont imposées autour de la position de référence. La gamme des fréquences explorée s'étend de façon croissante de 4 à 16 Hz avec un pas de 1 Hz. Chaque essai est effectué à une fréquence constante tout comme la durée pendant laquelle ces perturbations sont appliquées et qui est de 4 secondes. Pour tous les tests, la consigne de couple correspond à la consigne du pré-test.

Le traitement des signaux de couple et de force est effectué comme suit, après transformation de Fourier du signal de couple, toutes les composantes fréquentielles de ce signal qui ne sont pas égales à la fréquence des oscillations imposées (c'est-à-dire fréquence de la

sinusoïde de position) sont éliminées. Une transformation de Fourier inverse est alors effectuée sur ce signal et on obtient un couple purement sinusoïdal, de même fréquence que le signal de position. Ensuite, le diagramme de Bode est construit en calculant le rapport d'amplitude entre les variations de position et de couple, ainsi le déphasage entre position et couple est déterminé. L'ajustement d'un modèle de deuxième ordre permet d'extraire le paramètre de raideur musculo-articulaire K . Ce traitement est alors appliqué pour chaque consigne de couple.

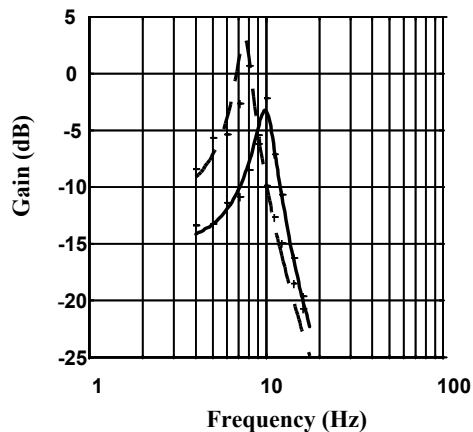


Figure 4. Diagramme de gain, obtenu lors des perturbations sinusoïdales avec deux niveaux de consigne. Le paramètre de raideur musculo-articulaire est obtenu par l'ajustement. Le gain exprime une compliance.

L'effet de l'exercice est ensuite analysé par la pente de la relation linéaire entre raideur musculo-articulaire et le couple de maintien. Cette pente est utilisée comme l'indice de raideur musculo-articulaire (SI_{MA}) en condition active. L'ordonnée à l'origine (IP) exprime la raideur musculo-articulaire en condition passive (à 0% MVC).

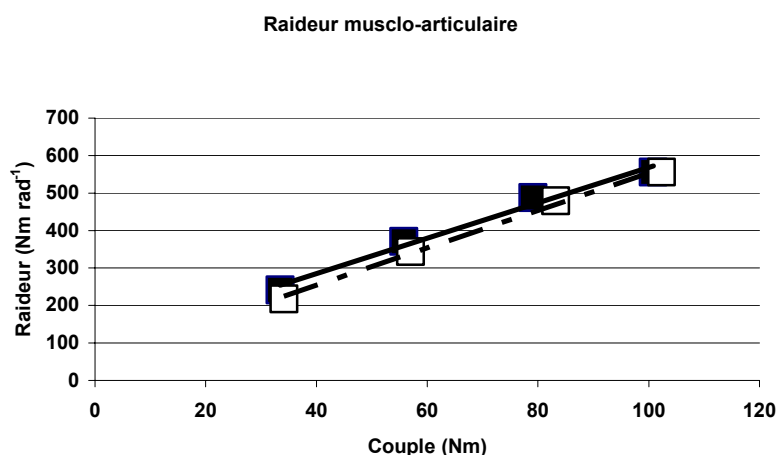


Figure 5. Relation linéaire entre la raideur musculo-articulaire et le couple de consigne. La pente de la relation linéaire est utilisée comme indice de raideur musculo-articulaire. L'origine à l'ordonnée (IP) donne la raideur musculo-articulaire passive.

3.4. Test de fatigue

Pour le test de fatigue, le sujet doit maintenir jusqu'à l'épuisement une consigne de couple présentée sur l'oscilloscope correspondant à un effort de flexion plantaire à 50% de la CMV. Pendant le test de fatigue la durée de maintien est également chronométrée. Pour tous les tests (post et 48h), la consigne de couple correspond à la consigne du pré-test.

L'analyse du test de fatigue se fait sur chacun des muscles du triceps sural, un par un. La méthode consiste à calculer (sur des fenêtres consécutives de 512 points acquis à la fréquence de 1024 Hz), la densité spectrale d'énergie du signal EMG, puis la fréquence moyenne de ce spectre (MPF, mean power frequency). On obtient donc, sur toute la durée de l'épreuve de fatigue, une valeur de MPF pour chaque fenêtre, soit une valeur pour chaque 500 ms. L'évolution temporelle de la MPF est alors ajustée par une régression linéaire. La pente de cette droite de régression est utilisée comme indice de fatigue pour exprimer le taux de changement de la MPF. Plus l'indice de fatigue est élevé, plus la fatigue est importante. Un exemple est donné dans la Figure 6.

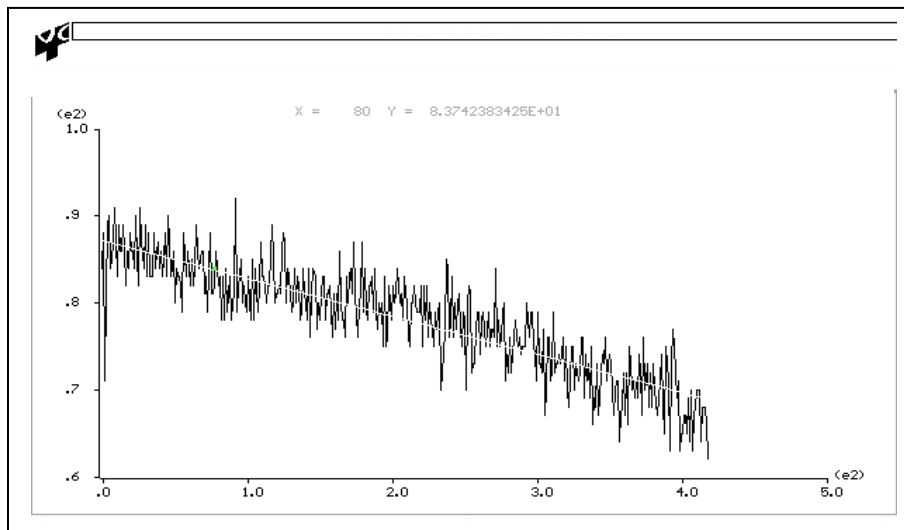


Figure 6. Evolution temporelle de la MPF (mean power frequency). La pente de la régression est utilisée comme indice de fatigue.

Pour exprimer l'évolution de la fatigue avec l'exercice, l'indice de fatigue est normalisé par rapport à la valeur initiale de la MPF exprimé en pourcentage (%).

4. Statistique

Tous les résultats de la population sont exprimés sous forme de moyenne pour chaque sujet. Aucun test statistique ne peut être effectué vu le nombre restreint de la population. Certains résultats sont donnés sous forme de moyenne des trois sujets avec un écartype.

Résultats

Les tests d'évaluation ont été effectués avant et immédiatement (à 30 min environ) après le protocole de PCP therapy, ainsi que 48 heures plus tard. Les évaluations ont été effectuées avec deux systèmes de mesures (i) chaîne d'acquisition EMG et (ii) ergomètre cheville.

1. Test de fatigue : temps de maintien et paramètre électromyographiques (MPF).

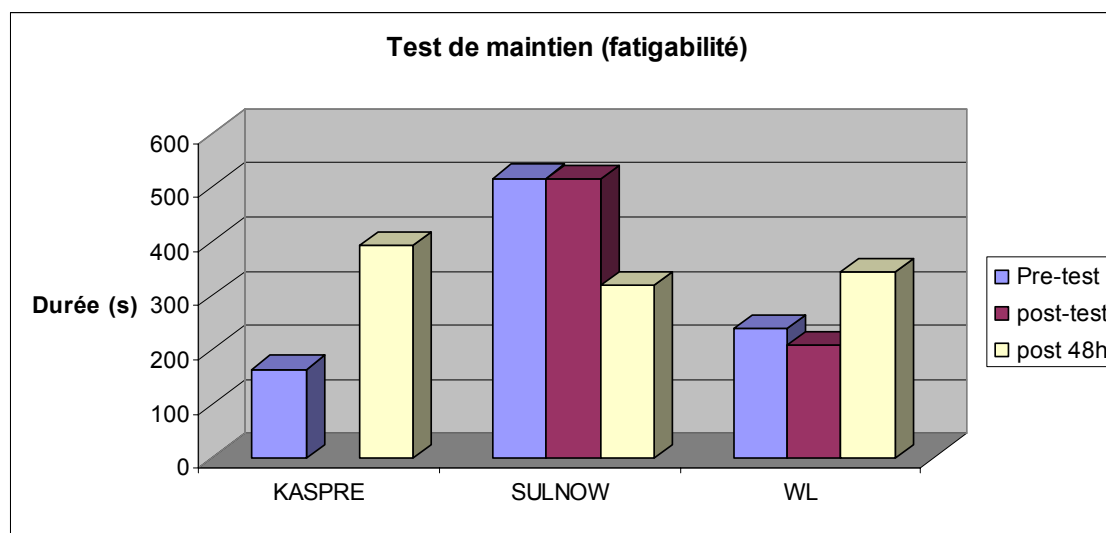


Figure 7. Durée en seconde de maintien des sujets de leur CMV à 50%. Représentant le phénomène de fatigue.

Nous constatons que le temps de maintien entre pré et post –test n'a pas varié chez le sujet 2 et a légèrement diminué chez le sujet 3. Alors qu'il montre une augmentation significative à 48H chez les sujets 1 et 3. Le sujet 2 montre une diminution à 48H qui est certainement liée à la douleur ressentie.

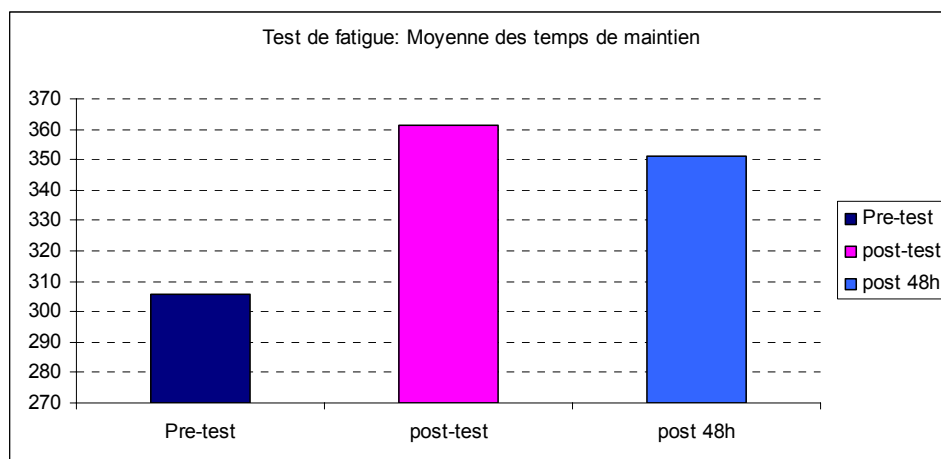


Figure 8. Durées Moyennes en secondes du temps de maintien des sujets de leur CMV à 50%.

En représentant la moyenne du temps de maintien des trois individus (fig. 8). Nous obtenons une augmentation du temps de fatigue important entre le pré et le post-test (305s à 361s) puis une légère diminution à 48H (351s) mais qui reste supérieur à la valeur pré-test.

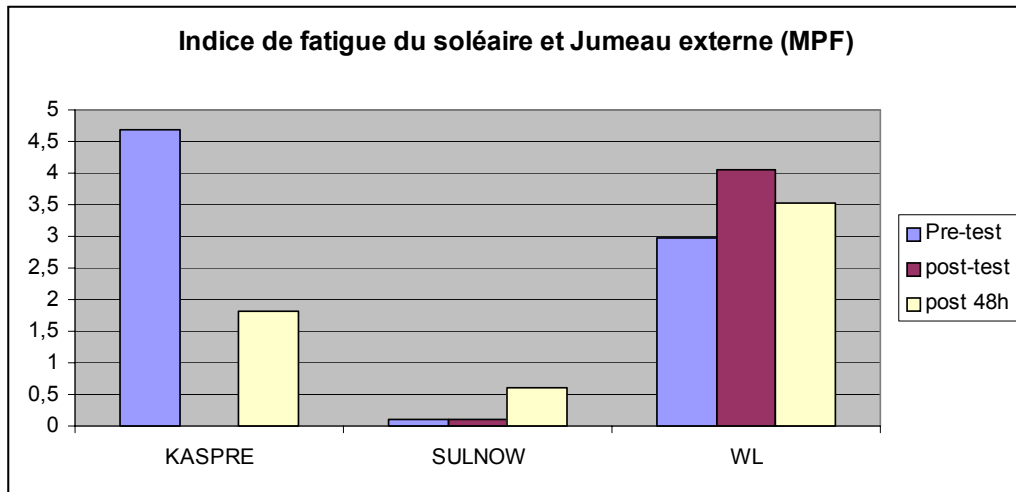


Figure 9. Représentation de l'indice de fatigue MPF (mean power frequency).

La MPF (fig. 9) montre une diminution de l'indice de fatigue, entre le pré-test et à 48H, ce qui est en accord avec la durée de maintien atteinte par le sujet 1. Cette concordance avec le temps de maintien se retrouve aussi chez le sujet 2 qui montre une augmentation de l'indice de fatigue à 48H (Problème de douleur).

Les résultats MPF obtenus pour le sujet 3 montre une évolution en accord avec le temps de maintien mais qui n'est pas proportionnelle en terme de pourcentage d'augmentation ou de diminution.

2. Paramètres mécaniques

2.1. Ergomètre cheville

2.1.1. Contraction maximale volontaire

La Figure 10 représente le couple maximal lors d'une contraction maximale volontaire avant et après PCP therapy, ainsi qu'à 48 heures plus tard.

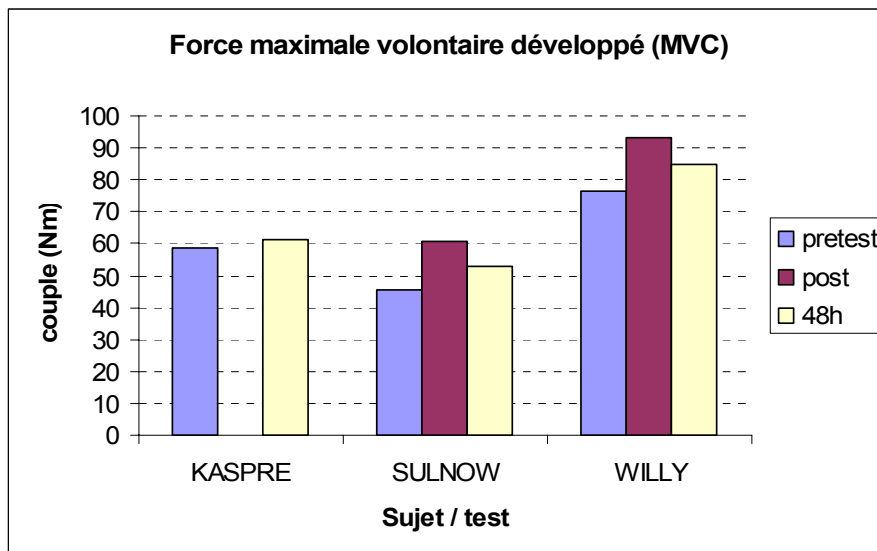


Figure 10. Représentation des CMV (en Nm) obtenues pour chacun des sujets (KASPRE : 58,60 - 61,18 / SILNOW : 45,31 - 60,80 - 53,10 / WILLY : 76,54 - 92,99 - 84,86)

Les résultats de la force maximale volontaire obtenue (fig. 10) montrent une augmentation chez tous les sujets après PCP therapy, augmentation qui est maintenue 48H plus tard avec une légère diminution par rapport à la CMV post-test.

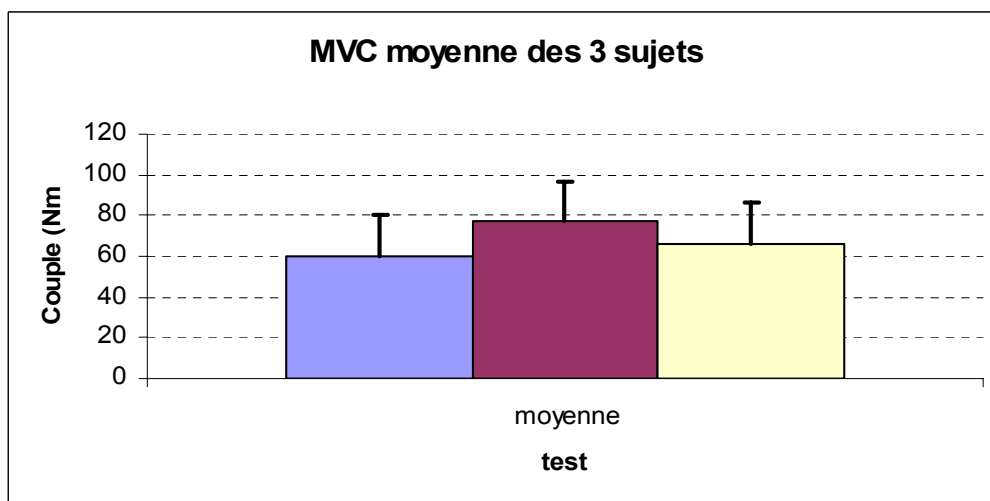


Figure 11. Moyennes et ecartypes des CMV obtenues chez les trois sujets (60,12 - 76,89 - 66,38).

La moyenne des CMV montre une augmentation d'environ 20% entre avant et après PCP therapy, augmentation qui est maintenu 48H plus tard (10%) avec une légère diminution d'environ 13% par rapport au post-test.

2.1.2. Raideur musculo-tendineuse

La figure 12 représente l'indice de raideur musculo-tendineuse, exprimé par la pente de la relation raideur-couple, avant et après PCP therapy, ainsi que 48 heures plus tard. La comparaison directe entre les différents résultats montre que l'indice de raideur musculo-tendineuse après PCP et à 48 heures est toujours inférieur à celui obtenu avant PCP pour deux sujets. Par contre le sujet 3 (WILLY) montre une augmentation de la raideur juste après PCP therapy ; Cette raideur musculo-tendineuse tend à diminuer à 48H, mais reste supérieur à celle mesurée en pré-test.

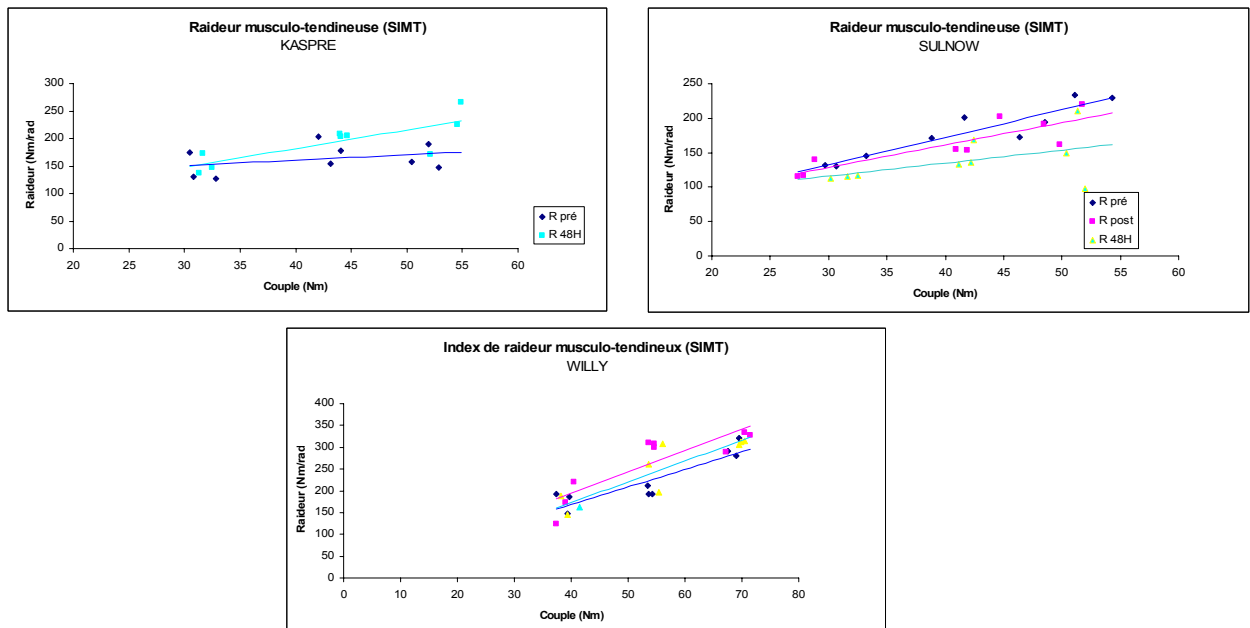


Figure 12. Raideur musculo-tendineuse (rad^{-1}) exprimé par la pente de la relation raideur – couple pour chaque sujet. (KASPARE : 0,98-0,36 / SULNOW : 3,97-3,25-1,89 / WILLY : 4,05-4,84-4,78)

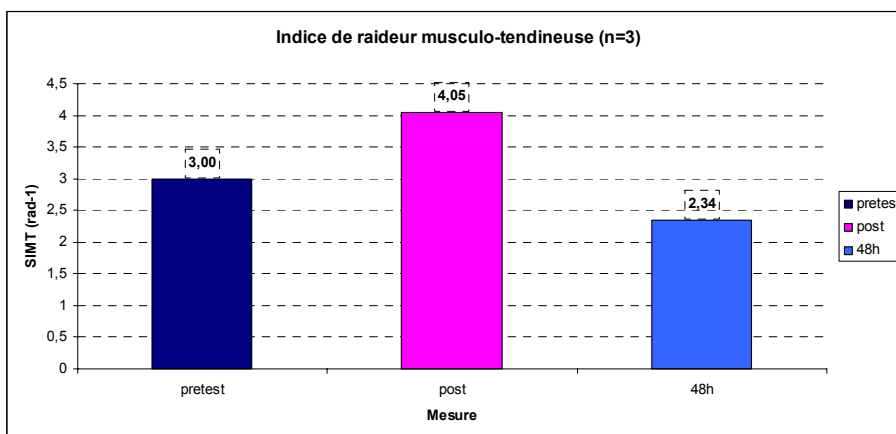


Figure 13. Indice de raideur musculo-tendineuse (SI_{MT}), représenté par la moyenne (SD) des trois sujets.

Les valeurs moyennes des trois sujets (Fig. 13), montrent une augmentation de la raideur musculo-tendineuse (3,00 à 4,05) puis une diminution net à 48H pour atteindre une valeur de 2,34.

2.1.3. Raideur musculo-articulaire

La figure 14 représente l'indice de raideur musculo-articulaire, exprimé par la pente de la relation raideur-couple, avant et après PCP, ainsi qu'à 48 heures plus tard. Cette raideur active (à 50% MVC) montre une diminution pour le sujet 1 après 48H. Par contre cette raideur augmente chez les autres sujets 2 et 3 après la PCP et à 48H, en particulier chez le sujet 3.

Ceci est confirmé par la représentation des valeurs moyennes de la raideur musculo-articulaire à 50% de la CMV (fig. 15). Cette raideur musculo-articulaire évolue de la même façon que la CMV développée avant, après et à 48H de la PCP.

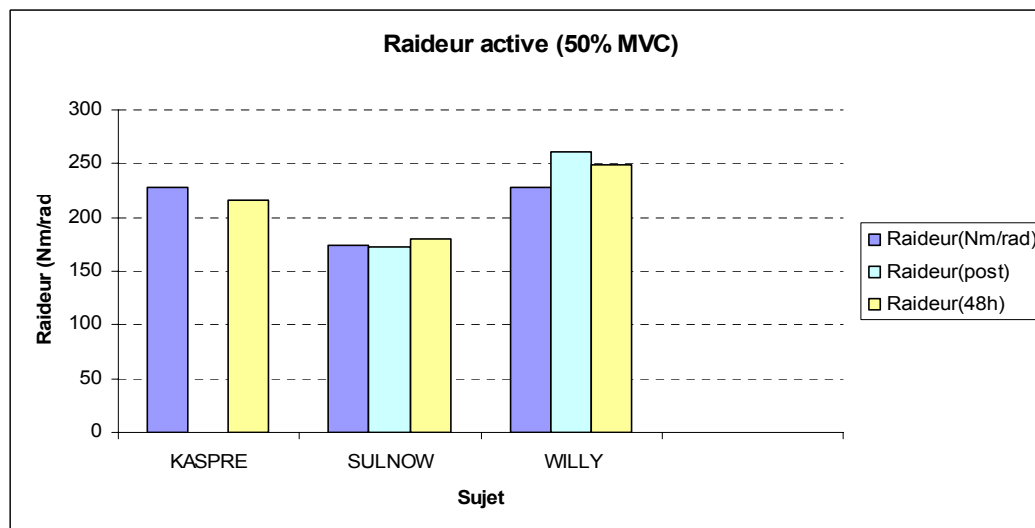


Figure 12. Indice de raideur musculo-articulaire (SI_{MA}), exprimé par la pente de la relation raideur-couple.

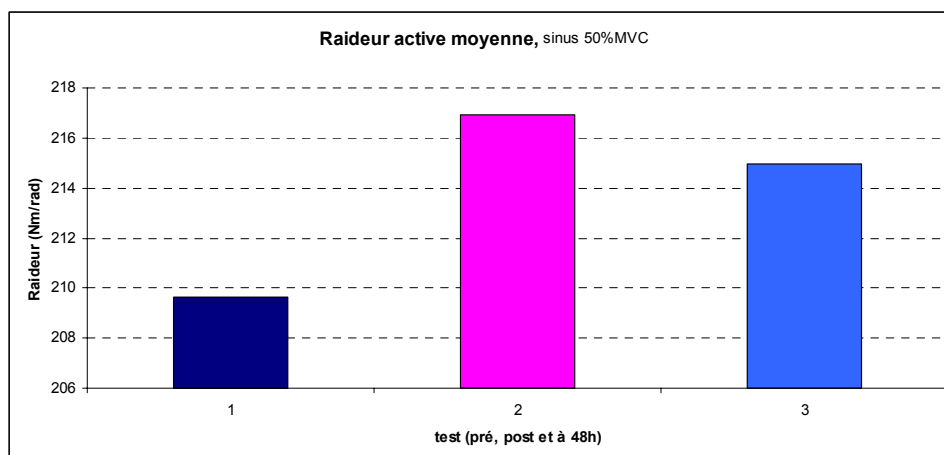


Figure 15. Indice de la raideur musculo-articulaire (SI_{MA}), représenté par les valeurs moyennes.

La figure 16 qui montre la raideur musculo-articulaire normalisé par rapport au couple développé montre une augmentation chez les trois sujets après PCP. Ceci confirme l'augmentation de la raideur après PCP thérapie.

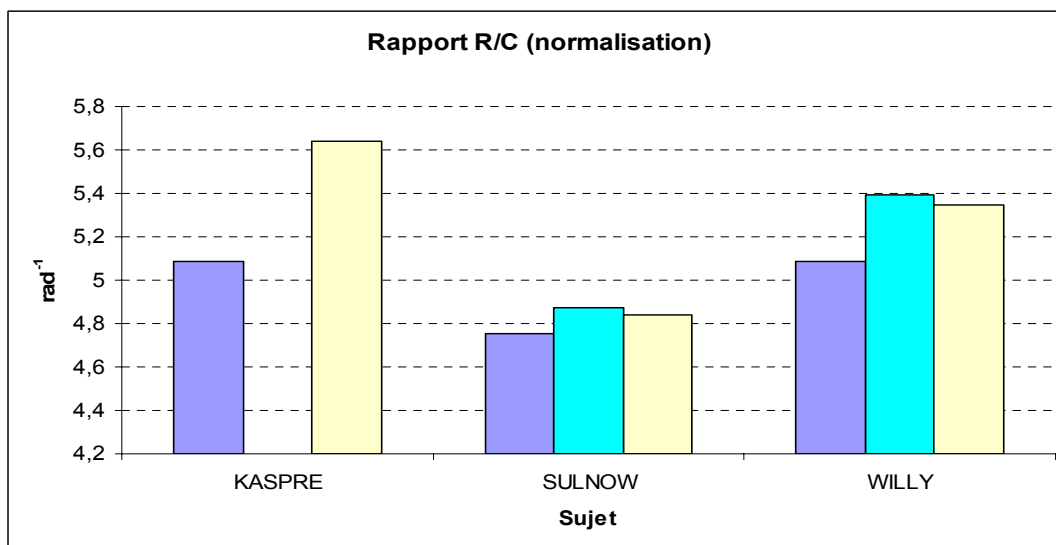


Figure 16. Représentation de la normalisation de la raideur par rapport au couple développé.

La figure 17 représentant la raideur musculo-articulaire en passif (0% MVC) montre une augmentation chez le sujet 1 et 3 alors que le sujet 2, après PCP montre une diminution qui se poursuit à 48H.

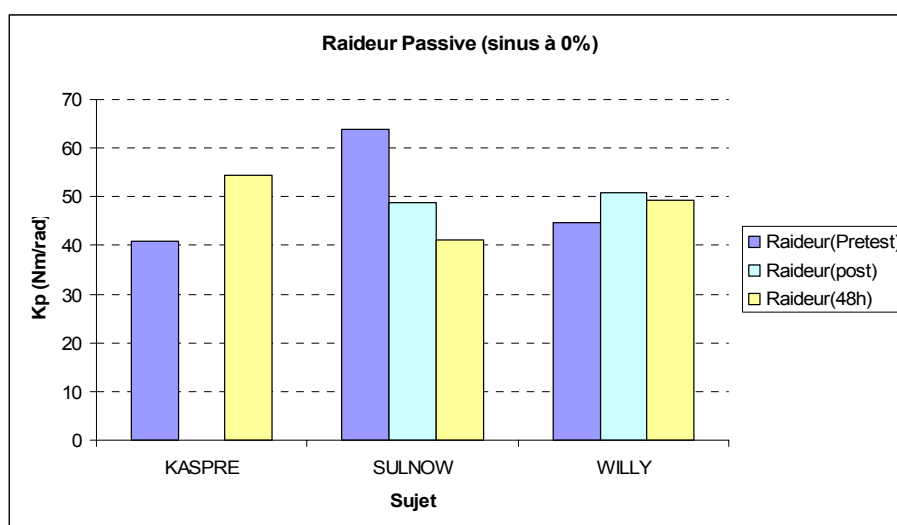


Figure 17. Raideur musculo-articulaire passive, exprimée par l'ordonnée à l'origine (IP) de la relation raideur - couple.

La raideur passive représentée par les valeurs moyennes montre (fig.18) un résultat très intéressant, à savoir une légère augmentation de la raideur après PCP mais une diminution non négligeable à 48H.

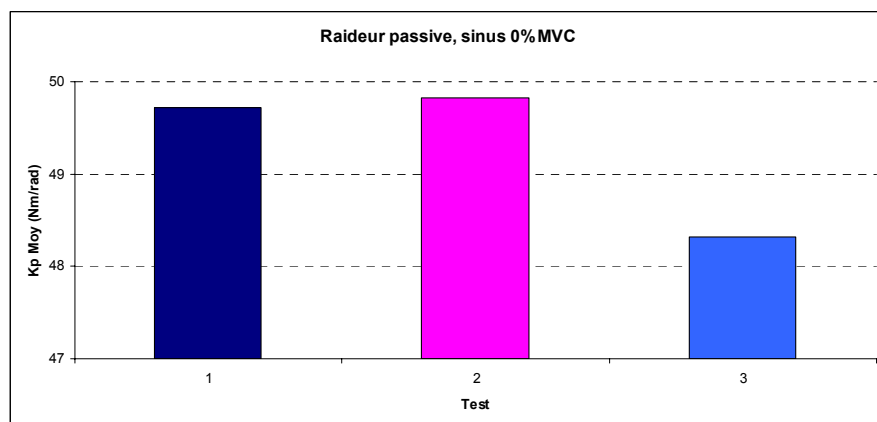


Figure 18. Raideur musculo-articulaire passive, représentées par la moyenne.

Conclusion

Avant tout nous rappelons qu'il est difficile de commenter ces résultats car la population est très restreinte (3 sujets).

Cependant le but de l'étude est atteint car celle-ci nous a donné des résultats intéressants :

- la PCP thérapie augmente la génération de la force (CMV) juste après le protocole de traitement appliqué et qui est maintenue à 48H.
- la PCP therapy réduit l'installation du phénomène de fatigabilité musculaire, car elle augmente la durée de maintien (CMV50%) et l'indice de fatigue diminue après traitement.
- La raideur musculo-tendineuse est augmenté par la PCP therapy mais elle est diminué à 48 heures.
- La raideur musculo-articulaire en actif (50% CMV) est augmentée
- La raideur musculo-articulaire en passif (0% CMV) est augmenté après traitement mais elle est diminuée à 48 heures.

Ces résultats nous permettent de faire une étude plus complète avec plus de pertinences. Il sera intéressant à la suite de cette étude de :

- d'effectuer des mesure au-delà de 48 H à 5 ou 6 jours après traitement à PCP.
- De varier les protocoles de traitement (points traités, pressions appliquées, durées d'application,)
- Choisir tous les sujets, en nombre suffisant pour effectuer des tests statistiques et appartenant à la même tranche d'âges.
- Rajouter un test pour confirmer l'augmentation de la force après traitement. Le test du twitch interpolé.