



UNIVERSITE DU MAINE
Faculté des Sciences et Techniques
Département STAPS

2ème année de

MASTER en Sciences et Technologies, Mention : Sport, Santé, Société
Spécialité : Ingénierie de la Rééducation, du Handicap et de la
Performance Motrice

Année universitaire 2012-2013

Intérêts de l'évaluation isocinétique des variations induites de la spasticité
des extenseurs du genou
Application à travers un protocole d'exercices en balnéothérapie

Michel ROBLIN



Sous la direction de :
Tuteur universitaire :
M. Mickaël RIPAMONTI
Tuteur professionnel :
M. Henri DANION

Centre Hospitalier Bretagne Atlantique
Service rééducation fonctionnelle
20 boulevard Général M Guillaudot
BP 70555
56017 VANNES



REMERCIEMENTS

En préambule, je remercie la Direction du Centre Hospitalier Bretagne Atlantique en les personnes de M. Latinier Alain, Directeur, Mme Jouvét Valérie, Directeur des Ressources Humaines, qui m'ont permis, en me donnant les moyens d'organiser ce cursus, de poursuivre ce cycle d'étude à l'origine de ce travail.

L'origine de ma reprise d'étude impute pour la plus grande part à M. H Danion, Cadre Supérieur du service qui m'a vivement encouragé à démarrer ce master professionnel. L'enthousiasme dont il fait preuve autour des questions de formation et en particulier celles inhérentes à l'activité physique adaptée, m'a convaincu de m'engager dans cette filière, qu'il en soit remercié.

La rencontre avec le milieu universitaire s'est faite dans les meilleures conditions grâce à la compétence et la disponibilité des enseignants que je remercie en les personnes de Mickaël Ripamonti, tuteur universitaire et Abdel Rahmani, responsable Master I.

L'équipe médicale de l'hôpital au travers des médecins de médecine physique et de réadaptation, Dr Le Guerroué, Dr Le Moigne, Dr Morvan, Dr Deguillard, Dr Ramanantsitonta et le Dr Jacques, m'a apporté une aide précieuse en partageant mon intérêt pour cette étude et en m'adressant des patients.

Les encouragements du professeur d'éducation physique adaptée, en la personne de G. Bellego, son questionnement, son intérêt porté au sujet, m'ont été précieux.

Je n'oublie pas l'ensemble de mes collègues qui ont supporté avec diplomatie les inconvénients liés à la logistique de l'étude et en particulier Laure pour ses patientes relectures.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
SOMMAIRE	2
INTRODUCTION	4
PRESENTATION DU SERVICE HOSPITALIER	5
1 Généralités	5
2 Organisation	5
3 Rôle du professeur d'éducation physique adaptée	6
SPASTICITE, BALNEOTHERAPIE ET RELATION A L'ISOCINÉTISME	6
1. Spasticité	6
1.1 Définition	6
1.2 Étiologie	6
1.3 Sémiologie	6
1.4 Physiopathologie	7
1.4.1 Organisation élémentaire	7
1.4.2 Système Golgien	7
1.4.3 Organisation segmentaire	8
1.4.4 Autre afférences	9
1.5 Raideur non réflexe	10
1.6 Mécanismes de la spasticité	10
1.7 Conséquences mécaniques et réflexes	11
1.8 Facteurs influençant la spasticité et thérapeutique	12
1.9 Épidémiologie	12
2. Évaluation de la spasticité	13
2.1 Échelle Analogique	13
2.2 Pendulum test	13
2.3 Techniques électro-diagnostiques	13
2.4 Appareils isocinétiques	14
3. Spasticité et balnéothérapie	14
3.1 Balnéothérapie chaude	15
3.2 Balnéothérapie froide	16
4 Activité physique et spasticité	16
MATERIEL ET METHODES	17
1. Population étudiée	17
1.1 Pathologie	17
1.2 Critères d'inclusion	18
2. Protocole	18
2.1 Protocole en piscine	18

2.2 Évaluation de la spasticité	19
2.3 Variables d'évaluation	20
2.4 Outils statistiques	21
2.4.1 Comparaison entre sujets sains et spastiques	21
2.4.2 Comparaison des sujets spastiques	21
RESULTATS	22
1. Allure des courbes	22
1.1 Sujets sains	22
1.2 Sujets spastiques	23
3. Paramètres évalués	24
4. Variation de l'artefact	24
5. Distribution et intervalles des valeurs	25
7. Variations induites par la balnéothérapie	26
DISCUSSION	29
1. Exercices en balnéothérapie et spasticité	29
1. Distribution et intervalles des valeurs	30
1.1 Distribution et valeur statique des mesures entre populations	30
1.2 Cas de l'angle de survenue du pic de couple	30
2. Analyse des paramètres	30
2.1 Activité réflexe	31
2.1.1 Angle de survenue du pic de couple	31
2.1.2 Coefficient de variation du travail	31
2.1.3 Variation de l'artefact	32
2.2 Aspect visco-élastique	33
4. Cas des variations non homogène des paramètres	34
5. Sensibilité et spécificité du coefficient de variation du travail et de l'angle de survenue du pic de couple	34
5.1 Coefficient de variation du travail	34
5.2 Angle de survenue du pic de couple	35
6. Influence différenciée du protocole sur les 2 composantes de la spasticité	36
CONCLUSION	38
BIBLIOGRAPHIE	39
ANNEXES	
RESUME	

INTRODUCTION

Le développement de l'activité physique adaptée rend l'évaluation de son incidence incontournable pour en mesurer son efficacité mais aussi d'éventuels « effets collatéraux » comme ceux concernant la spasticité. Ce symptôme neurologique est classiquement défini comme « un trouble moteur caractérisé par une exagération vitesse dépendante du réflexe tonique d'étirement, associé à une augmentation des réflexes ostéo-tendineux » (Lance, 1980). Outre le déficit moteur qui accompagne le plus souvent les lésions de la voie pyramidale, la spasticité peut accroître considérablement le handicap et provoquer des complications en majorant les incapacités (Sheean, 2002). Évaluer l'influence de certains programmes de réadaptation sur ce symptôme apparaît donc de première importance. Qu'en est-il pour un protocole réalisé en balnéothérapie ?

La justesse de l'évaluation d'éventuelles variations induites repose sur l'utilisation d'un outil allant au delà de l'apport de simples échelles analogiques. Il est difficile en effet de quantifier précisément la spasticité tant elle est elle-même, sous l'influence de nombreux facteurs (Perennou, 2001). Ces outils de mesure précis sont peu répandus (Lehman et al., 1989). L'utilisation d'un module isocinétique pour évaluer la spasticité a été validé (Drouin et al., 2004, Farrell et Richards, 1986, Firoozbakhsh et al., 1993 ; Nordez et al., 2008) mais reste peu employée malgré sa précision comparée aux échelles classiquement utilisées en routine (Slaon et al., 1992). Après une revue de littérature sur les protocoles isocinétiques de mesures de la spasticité, nous avons également expérimenté au sein du service, différentes façons de mesurer ce symptôme par le module ConTrex® afin de finaliser un protocole d'évaluation. Neuf sujets sains et 9 patients spastiques ont été évalués avant puis directement après la première, cinquième et dixième séance d'un protocole de travail en piscine afin d'observer d'éventuelles variations induites de la spasticité. Parallèlement nous tentons d'interpréter les différentes informations apportées au travers de quatre paramètres isocinétiques.

PRÉSENTATION DU CENTRE HOSPITALIER BRETAGNE ATLANTIQUE

1. Composition et organisation

1.1 Généralités

Le centre hospitalier régional de Vannes compte 1421 lits et environ 2 salariés pour un lit soit 2800 personnes pour assurer sa mission de service public hospitalier et de prise en charge sanitaire sur deux sites, Vannes et Auray. Aujourd'hui subsistent encore quelques bâtiments datant de sa création en 1932 mais les travaux en cours, d'un bâtiment de 6 étages vont permettre le transfert de 373 lits en milieu normé.

1.2 Organisation

L'organisation des services a récemment fait l'objet d'une refonte avec la création de pôles possédant chacun plus d'autonomie. Ainsi ont été créés 7 pôles d'activité clinique et médico-technique, une structure fédérative et 4 pôles d'activité administrative et logistique. La rééducation est regroupée avec la cardiologie, la néphrologie, l'endocrinologie et la neurologie dans le pôle dit vasculaire.

A l'intérieur du service de médecine physique et de réadaptation, six médecins de rééducation assurent le suivi médical des patients accueillis en hospitalisation complète, en hospitalisation de jour, ou bien encore comme externes.

Les pathologies rencontrées sont celles classiquement reliées à la réadaptation c'est à dire la rhumatologie, l'orthopédie, la traumatologie, la neurologie, la cardiologie, la pneumologie, l'endocrinologie et la chirurgie vasculaire.

1.3 Rôle du professeur d'éducation physique adapté

Le reconditionnement à l'effort est devenu une activité de plus en plus prégnante au sein des services de rééducation. Son impact sur la qualité de la rééducation a fait l'objet de nombreuses publications (Treffaha et al., 2012 ; Maquet et al., 2007 ; Gallien et al., 2007).

Cette discipline, souvent reléguée au second plan par les kinésithérapeutes faute de temps et de compétences, fait maintenant partie des activités dont la quasi-totalité des patients peut bénéficier. L'arrivée d'un professeur d'éducation physique adapté a considérablement amélioré le mode de prise en charge des patients en

assurant une approche plus globale. Celui-ci dispose en plus des agrès traditionnels, d'un appareil isocinétique permettant des bilans musculaires analytiques précis et un travail de renforcement ciblé.

SPASTICITE, BALNEOTHERAPIE ET RELATION A L'ISOCINÉTISME

1. Spasticité

1.1 Définition

La spasticité désigne un désordre moteur caractérisé par une augmentation, vitesse-dépendante, du réflexe tonique d'étirement et par une augmentation des réflexes ostéo-tendineux, résultant d'une hyper-excitabilité du réflexe d'étirement, dans le cadre d'un syndrome pyramidal (Lance, 1980).

1.2 Étiologie

La spasticité survient dans le cas d'une perte d'intégrité du faisceau pyramidal, voie de la commande motrice volontaire (Kuypers, 1982). L'atteinte peut se situer à l'origine au niveau du cortex, sur le trajet (capsule interne, tronc cérébral) ou sur sa partie plus terminale, la moelle épinière. Ainsi les pathologies associées les plus fréquentes sont représentées par les accidents vasculaires cérébraux, les traumatismes crâniens, la sclérose en plaques, les lésions médullaires et les paralysies cérébrales (Nieuwenhuys, 1988).

1.3 Sémiologie

La spasticité se caractérise par une difficulté à mobiliser une articulation ou un membre secondairement à l'augmentation du tonus. On parle d'hypertonie spastique. Élément du syndrome pyramidal, elle est associée à des réflexes ostéo-tendineux vifs et poly-cinétiques, un déficit moteur partiel ou complet, une perte de sélectivité de l'activation musculaire (Carpenter, 1985). Elle s'accompagne de modifications des propriétés contractiles du muscle avec des changements histologiques accompagnés d'une atrophie musculaire touchant surtout les fibres de type phasique (Dietz et Berger, 1984). On observe ainsi une tendance à la diminution du nombre des sarcomères entraînant un raccourcissement du muscle.

1.4 Physiopathologie

1.4.1 Organisation élémentaire

Le Réflexe Myotatique (RM) est organisé au niveau segmentaire (tranche de moelle), pluri-segmentaires (superposition de plusieurs tranches), et supra-spinal, grâce à la participation des centres nerveux, dont il reçoit une puissante régulation, facilitatrice ou inhibitrice (Kuypers, 1982).

Comme tout réflexe, la réponse musculaire à l'étirement est organisée en boucle (*Figure 1*).

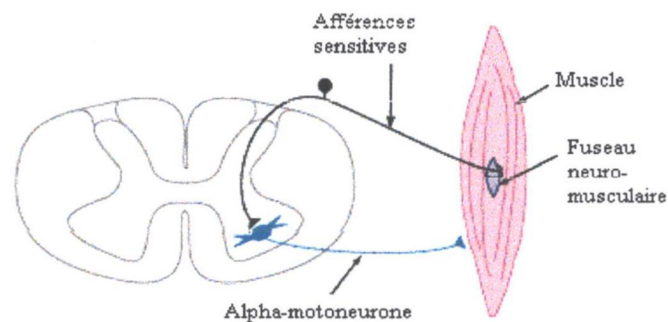


Figure 1. Système myotatique (d'après Nieuwenhuys, 1988)

Le Fuseau Neuro-Musculaire (FNM), par sa formation annulo-spiralée est sensible à la vitesse et l'amplitude de l'étirement musculaire (Lance, 1980). Il envoie des informations sur la variation de longueur des fibres intra-fusales via les fibres sensibles Ia et II. Celles-ci viennent se projeter sur les moto-neurones alpha dans la corne antérieure de la moelle. Ces derniers entrent en action pour contrôler cette variation de longueur ressentie dans le FNM (Carpenter, 1985).

Ce mécanisme est modulé par les centres supra-spinaux pour réguler l'amplitude de la réponse motrice.

Par ailleurs, le moto-neurone gamma, également présent au niveau spinal, commande la sensibilité, aussi nommée gain du FNM, par son action fusi-motrice. Il est également sous l'influence supra-spinale (Nieuwenhuys, 1988).

1.4.2 Le système Golgien

La mise en tension du tendon stimule les mécano-récepteurs tendineux et déclenche ainsi un autre réflexe dit «réflexe myotatique inverse», organisé selon le même schéma que le myotatique (*Figure 2*). L'organe récepteur (Golgi) est

sensible à la tension (seuil 30 fois supérieur que FNM), sa sensibilité s'abaisse lorsqu'il existe une contraction musculaire réflexe ou volontaire. Les afférences sensibles issues du tendon sont véhiculées par les fibres Ib qui font synapses par l'intermédiaire d'un inter-neurone avec l'alpha moto-neurone correspondant. Ce mécanisme entraîne une dépression de l'activité du moto-neurone alpha et donc une baisse de la tension sur le tendon, protégeant la jonction myo-tendineuse. C'est un mécanisme d'asservissement en tension, le réflexe myotatique est lui un asservissement en longueur (Pierrot-Deseilligny et al., 1993).

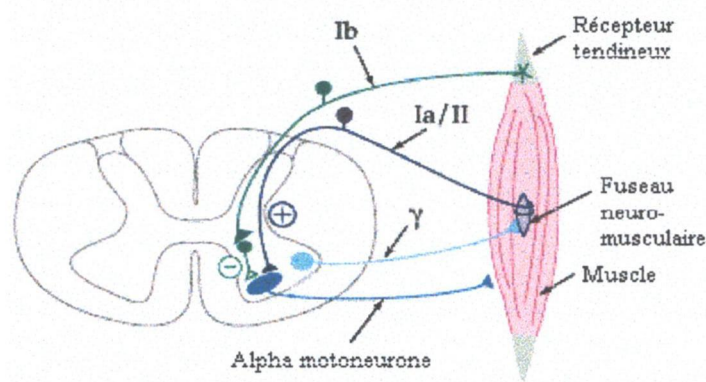


Figure 2. Système Golgien (d'après Nieuwenhuys, 1988)

1.4.3 Organisation segmentaire

A l'étage segmentaire, le mouvement est organisé autour d'un couple "agoniste-antagoniste" (par exemple extenseur-fléchisseur), réalisant une unité neuro-motrice fonctionnelle qui s'articule autour des deux boucles myotatiques associées, grâce à des inter-neurones qui en assurent la jonction. Ainsi, lors de la contraction d'un muscle (par exemple l'extenseur), l'antagoniste (ici le fléchisseur) se relâche, et inversement : c'est l'inhibition réciproque (Figure 3). Son rôle est avant tout d'empêcher que le mouvement produit par la contraction de l'antagoniste ne déclenche un réflexe myotatique dans le muscle étiré (Sherrington, 1932). Les inter-neurones de l'inhibition réciproque sont eux aussi soumis à une puissante régulation supra-spinale (Hultborn et al., 1976). La tonicité résulte de l'équilibre d'activité entre ces différentes boucles réflexes, elles mêmes sous contrôle supra-spinale.

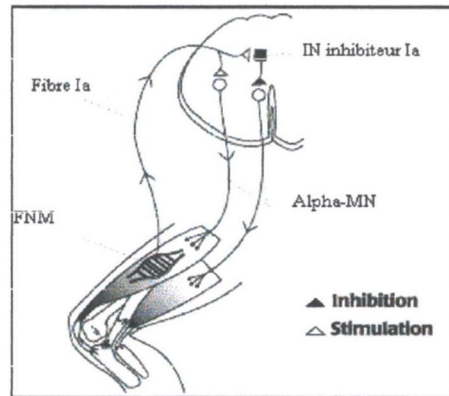


Figure 3. Circuit de l'inhibition réciproque (d'après Carpenter, 1985)

1.4.4 Autres afférences

De nombreuses autres afférences (proprioceptives, extéroceptives, nociceptives...) partagent une partie du pool des inter-neurones médullaires impliqués dans la boucle myotatique (Figure 4).

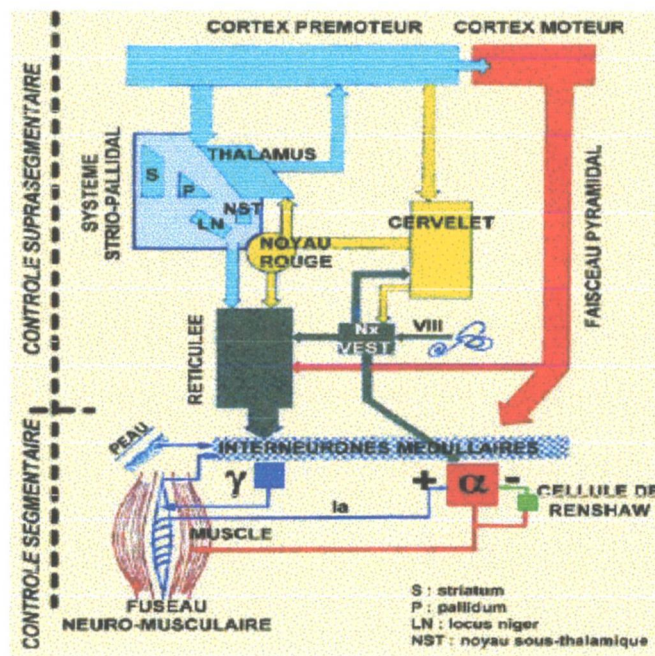


Figure 4. Diagrammes des systèmes anatomo-fonctionnels contrôlant la motricité. Chaque niveau de contrôle et les structures qui en dépendent sont représentés par une couleur différente (d'après Carpenter, 1985)

Ceci rend possible des interactions entre diverses boucles réflexes. Ces inter-neurones voient converger vers eux les influx périphériques et les signaux de

régulation supra-spinaux (Lundberg, 1979). Les moto-neurones alpha présents dans la corne antérieure de la moelle épinière présentent une activité autonome à chaque niveau segmentaire (Kuypers, 1982). Son niveau d'activation est normalement régulé par des voies descendantes pyramidales et extra-pyramidales .

1.5 Raideur non-reflexe

Dans le cas d'un dérèglement tonique, certains attribuent en partie l'origine de la résistance à la mobilisation à des facteurs mécaniques (Pierrot-Deseilligny et al., 1993). Le tissu conjonctif de soutien offrirait une composante élastique (d'origine conjonctive) et visqueuse qui surviendrait après modification histologique du muscle (transformation des fibres II en fibre I victimes de l'activité non régulée des alpha moto-neurones (Dietz et Berger, 1984).

1.6 Mécanisme de la spasticité

Dans le cas des lésions des centres supra-spinaux, on observe des perturbations sur les voies descendantes commandant les mouvements volontaires et réflexes (*Figure 5*). Ainsi, il se produit :

- une libération du RM, conséquence d'une diminution de l'inhibition pré-synaptique qui doit normalement réguler l'activité des moto-neurones alpha (Pérennou et al., 2001).
- une diminution de l'inhibition des fibres I_b, ce qui augmente l'activité du réflexe myotatique inverse.
- une baisse de l'activité de l'inter-neurone de Renshaw qui régule normalement le moto-neurone alpha (auto-régulation). Elle ne serait pas diminuée au repos mais serait en partie responsable de la spasticité lors des mouvements volontaires (Remy-Neris et al., 2001).
- une altération de la régulation supra-spinale des moto-neurones gamma qui modifie la sensibilité des fibres intra-fusales du FNM. L'amplitude de la réponse à l'étirement du FNM est aussi appelé le gain du RM.
- une perturbation de l'activité véhiculée par les fibres du groupe II, ayant pour origine les terminaisons secondaires des FNM. Elles transmettent de façon polysynaptique des influx excitateurs ou inhibiteurs au moto-neurone (Remy-Neris et

al., 2001, Lundberg, 1979).

Au total, 3 grands mécanismes sont susceptibles d'expliquer la spasticité :

- une résistance passive plus forte à la mobilisation résultant des modifications du muscle lui-même. Elle est considérée comme une composante non réflexe de l'hypertonie.

- une réponse plus importante du RM provenant des nouvelles connections entre moto-neurones alpha et inter-neurones libérés de l'influence supra spinale (bourgeonnement).

- une plus grande excitabilité du pool d'inter-neurones provoquée par la libération du réflexe médullaire non contrôlé par les structures supra spinale (rôle sans doute majeur, Pérrenou, 2001).

Ces deux derniers mécanismes sont considérés comme des composantes réflexes du RM.

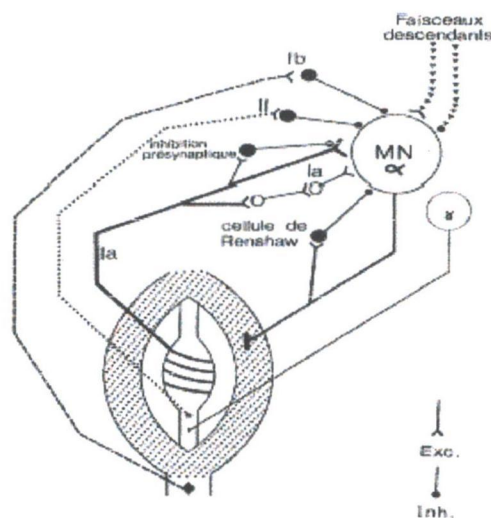


Figure 5. Diagramme schématisant regroupant les divers circuits médullaires qui contrôlent l'excitabilité du réflexe d'étirement (d'après Pierrot-Deseilligny, 1993)

1.7 Conséquences mécaniques et réflexes

Lors de l'étirement d'un muscle spastique, la résistance rencontrée est le résultat de deux composantes (Ben Smaïl et al., 2003, Mc Nair et al., 2002) :

- passive, liée à l'élasticité musculaire et articulaire (composante visco-élastique).
- active, constituée par le réflexe d'étirement.

Ce réflexe d'étirement comprend également 2 composantes :

- initiale phasique : puissante, de courte durée, liée à la vitesse d'allongement. Cela se traduit à travers l'hyper-réflexie tendineuse, empruntant les fibres I_a, déterminant le seuil d'excitabilité du réflexe myotatique.
- secondaire tonique : moins puissante mais se maintenant tout au long de l'allongement, liée à l'intensité en empruntant la voie des fibres II. La somme de ces 2 phénomènes détermine le gain du réflexe myotatique (Rymer et Katz, 1994)

1. 8 Facteur influençant la spasticité et thérapeutique

Parmi les traitements disponibles pour diminuer les conséquences de la spasticité, il faut citer la pharmacologie (Dantrium, Baclofen, lyoresal, Dantrolène, Tizanidine, toxine botulique injectée...), la physiothérapie, les agents physiques à travers la chaleur ou le froid, et la chirurgie orthopédique (ténotomie, fasciectomy), neurologique (neurotomie) dans les cas de conséquences fonctionnelles importantes.

La spasticité est sensible à de nombreux facteurs détaillés tableau 1 (Pérennou et al. 2001).

Tableau 1. Facteurs influençant la spasticité (selon Pérennou, 2001)

Facteurs exogènes	Facteurs endogènes
<ul style="list-style-type: none"> • Température • Stimulations cutanées extéroceptives • Stimulations nociceptives • Vibrations • Position inconfortable 	<ul style="list-style-type: none"> • Épine irritative à type d'infection urinaire, escarre, fièvre, douleur, constipation, impériosités mictionnelles ou fécales • Facteurs émotionnels • Degré de vigilance • Fatigue • Vitesse et intensité des mouvements

1.9 Épidémiologie

Douze millions de personnes seraient touchées par ce trouble (Rizzo et al., 2004). Pour la sclérose en plaques, 85 % d'entre elles présentent une spasticité au moins légère et 78% la considèrent comme gênante dans leur vie quotidienne (Pappalardo et al., 2006).

Sommerfeld et al. (2004), rapportent que la spasticité survenant après un accident Vasculaire Cérébral (AVC), affecterait un peu moins d'un quart des patients et

resterait présente un an après un AVC dans 17% des cas dont 4 % sous une forme très invalidante.

La Paralyse Cérébrale (PC) qui présente une incidence de 2 à 4‰ enfants, s'accompagne d'une spasticité souvent importante, voire très gênante au plan fonctionnel (Odding et al., 2006).

Pour Johnson et al. (1998), plus de 25% des blessés médullaires interrogés 5 ans après le traumatisme, présentent une spasticité qu'ils estiment gênante, 50% des enfants présentant une lésion médullaire manifesteraient de la spasticité (Vogel et al. 2004).

2. Évaluation de la spasticité

2.1 Échelle analogique

La quantification de ce symptôme s'appuie le plus souvent sur des échelles analogiques comme celle d'Ashworth (AS), ou de Tardieu (Annexe 1). La reproductibilité inter-opérateur n'apparaît pas significative (Sloan et al., 1992). L'échelle d'Ashworth possède l'inconvénient majeur de n'évaluer le symptôme qu'à une seule vitesse et ne prend donc que partiellement en considération le caractère vitesse dépendant de la spasticité.

2.2 Pendulum test

Le pendulum test se pratique, pour le quadriceps, en position assise et évalue l'amortissement des oscillations pendulaires de la jambe sous l'effet de la gravité, une fois le segment lâché d'une position initiale d'extension (Vodovnic et al. 1984, Bohanon et Larkin, 1985). Sept oscillations sont nécessaires chez le sujet sain pour absorber l'énergie mécanique du membre.

2.3 Techniques électro-diagnostiques

Il existe également des techniques électromyographiques basées sur l'étude du réflexe H (Pisano et al. 2000) et du réflexe T (Bell et Lehman 1987). Elles sont peu accessibles et manquent de fiabilité (Matsumoto et al. 2009). L'étude de l'onde F revient à McG Douglas (1950) et permettrait d'évaluer l'excitabilité des motoneurones. Ces techniques électro-diagnostiques requièrent des qualifications particulières de la part des opérateurs et un niveau de technicité important.

2.4 Appareils isocinétiques

L'isocinétisme est conçu en 1967 (Hislop et Pérrine) pour évaluer la force musculaire de façon précise. Les premières tentatives d'utilisation en tant qu'outil d'évaluation de la spasticité date de Knutsson et Martensson (1980). Son utilisation permet de rendre compte des modifications de la spasticité bien au-delà de celles classiquement évaluées par les échelles analogiques courantes (Katz et al., 1996 ; Pandian et al., 2001, Supraja et al., 2003). Cependant cette technique n'est pas employée en pratique courante.

Le terme isocinétique est plus largement associé à l'évaluation musculaire à travers un couple de force. Dans notre cas, il ne s'agit bien sûr pas de demander au patient un travail musculaire actif contre résistance, certains en étant bien incapables du fait d'un déficit moteur partiel ou complet. L'appareil est utilisé en mode arthro-moteur (CPM) de sorte qu'il permette de mobiliser passivement le segment jambier vers la flexion tout en enregistrant la résistance passive des extenseurs rencontrée sur l'ensemble du secteur angulaire balayé à plusieurs vitesses présélectionnées. Ces dernières sont constantes sur la secteur articulaire balayé et sont donc bien de caractère isocinétique au sens étymologique du terme. Ce système permet, contrairement au pendulum test, de pratiquer l'évaluation avec un paramètre vitesse parfaitement contrôlé ce qui est un pré-requis pour évaluer un mesurande défini comme vitesse dépendant.

3. Spasticité et balnéothérapie

La balnéothérapie est largement utilisée pour ses multiples intérêts notamment pour ses aspects sédatifs, mécaniques, trophiques, décontractants, et ses apports au plan de la réhabilitation cardiaque (Chevutschi et al. 2007, Treffaha et al., 2011). Elle permet de travailler en décharge ou en charge partielle en fonction du niveau d'immersion. La vitesse de mobilisation permet d'induire soit une aide à la mobilisation soit une résistance proportionnelle au carré de la vitesse de déplacement, ainsi qu'à la surface exposée à la résistance de l'eau. Son action sur la spasticité est peu étudiée. Ainsi, la revue de littérature de Kamioka et al, (2010) portant sur les preuves d'efficacité de la balnéothérapie, note que parmi les 35 études éligibles, aucune d'entre elles ne fait référence aux conséquences sur la spasticité.

Le travail de Getz et al. (2006) porte sur 173 articles inhérents aux effets de la balnéothérapie dans le cas des paralysies cérébrales. La conclusion porte sur le manque de preuves apportées quant aux effets des traitements en milieu aquatique. La spasticité n'est évaluée dans aucun des articles. Cependant on peut noter qu'aucun effet péjoratif n'est rapporté dans ces revues.

3.1 Balnéothérapie chaude (34°)

En 2004, Kesiktas et al. ont montré que l'utilisation de la balnéothérapie 3 fois par semaine, chez des patients blessés médullaires, diminue significativement la posologie d'anti-spastiques oraux nécessaires. L'outil d'évaluation est ici l'échelle d'Ashworth et la mesure d'indépendance fonctionnelle.

Matsumoto et al. 2009 ont étudié l'influence des bains de jambe dans l'eau chaude (41°), chez des patients hémiplegiques. Ils concluent à la diminution de la spasticité en utilisant la mesure de l'onde F. Ils évoquent une influence de la chaleur sur l'activité des motoneurones gamma, sur la relaxation musculaire et sur le tissu conjonctif.

Selon Bovy et al. (1990), la modification de la température ne semble pas affecter l'excitabilité des fibres musculaires des sujets sains et spastiques. Par contre, l'extensibilité, c'est à dire la capacité à se laisser étirer, est sensiblement améliorée par l'augmentation de la température locale (test après 20 min d'immersion entre 30 et 40°). Ceci est d'ailleurs un des mécanismes de l'échauffement musculaire. Secondairement à l'élévation de la température interne, les propriétés visco-élastiques du muscle se modifient (Best et al. 1994). Concernant des conséquences éventuellement délétères, Bajada et al. (1980), témoignent d'un effet péjoratif de la chaleur sur les qualités de conduction des fibres démyélinisées dans le cas particulier de la sclérose en plaques (SEP).

3.2 Balnéothérapie froide (< 15°)

Il existe des indications de bain froid pour certaines pathologies. Petrilli et al. (2004), ont montré que la température a une influence sur le niveau des symptômes de la Sclérose En Plaques (SEP) selon des mécanismes encore débattus. Ainsi, ils préconisent la réalisation de bains froids au cas par cas dans la lutte contre la spasticité.

En contradiction avec un éventuel effet positif du froid, une étude Américaine sur la SEP, montre que la spasticité se trouve majorée directement à la sortie du bain froid (Chiara et al., 1998). En outre, aucun gain n'est enregistré quant au niveau d'effort perçu et sur la consommation d'oxygène à la marche.

Par ailleurs, la cryothérapie trouve une indication chez les patients présentant une spasticité sévère. Le glaçage des muscles spastiques quelques minutes est parfois utilisé pour lutter contre l'hypertonie (Frisschknecht et Chantraine, 1989 ; Price et Lheman, 1990).

L'utilisation du chaud comme du froid semble donc, selon les cas, influencer positivement ou négativement le symptôme.

4. Activité physique et spasticité

Fowler et al. (2001) ont montré à partir du pendulum test sur 24 patients présentant une paralysie cérébrale, que le gradient d'hypertonie n'est pas modifié par un programme de renforcement musculaire statique, dynamique et isocinétique. Les mêmes résultats sont rapportés dans une revue de littérature de 14 articles portant sur un total de 275 sujets présentant une paralysie cérébrale (Aparecida et al. 2009). Les articles sélectionnés étudiaient la force, la spasticité et l'impact fonctionnel du programme de renforcement musculaire chez des hémiplegiques. 47% des articles évaluaient la spasticité dont 66% avec l'échelle d'Ashworth et 34% avec un pendulum test.

L'objectif est ici de déterminer s'il existe une tendance quant à la modification du niveau de spasticité après un programme d'exercices de 30 à 40 min en eau chaude à 34°. Nous tenterons également de relier les données issues des mesures réalisées grâce au module isocinétique avec la physiopathologie du dérèglement tonique.

MATERIEL ET METHODES

1. Population

1.1 Pathologies

Les pathologies concernées sont parmi celles associées à la présence d'un dérèglement du tonus, c'est-à-dire la sclérose en plaques, les blessés médullaires et les cérébraux lésés (Pérennou et al. 2001).

Sclérose En Plaques (SEP) est une maladie inflammatoire chronique du système nerveux central. Ses manifestations cliniques sont liées à une démyélinisation que l'on peut qualifier plus généralement par une atteinte de la substance blanche. Sa prévalence montre d'importantes disparités géographiques, les estimations variant selon les zones entre 20 et 100 pour 100 000 habitants. La sémiologie est riche, pouvant associer un ou plusieurs syndromes neurologiques en fonction de la topographie des plaques. On retrouve souvent un déficit moteur d'installation progressive ou par poussées incomplètement régressives associé à des troubles visuels parfois inauguraux, des signes cérébelleux, vestibulaires... La progression de la maladie est très variable d'un individu à l'autre. L'évolution ultime se traduit par l'installation d'une détresse respiratoire liée à l'atteinte de la fonction ventilatoire.

Cérébraux lésés est un terme générique qui regroupe l'ensemble des pathologies secondaires à une altération de la fonction cérébrale. Des symptômes communs sont retrouvés, la distribution de ceux-ci varie en topographie et en intensité suivant qu'il s'agit d'accidents vasculaires, de traumatismes crâniens ou de paralysies cérébrales. Ainsi, le déficit moteur peut être associé à des troubles sensitifs superficiels et profonds, un trouble de la régulation tonique, éventuellement des troubles des fonctions supérieures.

Le blessé médullaire se caractérise par une interruption partielle ou totale des voies de conduction médullaires. Il existe ainsi une atteinte de la motricité volontaire très souvent associée à un dysfonctionnement de la boucle myotatique ainsi qu'une altération de la sensibilité et des troubles sphinctériens. La localisation des symptômes est liée au niveau segmentaire de la lésion qui réalise une interruption partielle ou complète de la transmission médullaire.

1.2 Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion reposent sur une caractéristique d'intensité du symptôme évalué par l'échelle d'Ashworth (AS) et la capacité à effectuer un travail en piscine, en dehors de toute contre indication. Un échantillon contrôle de 9 individus sains (6 femmes et 3 hommes) a été également étudié afin d'obtenir des valeurs et des intervalles de références sur les paramètres d'évaluation sélectionnés. Les caractéristiques des échantillons étudiés sont présentés tableau 2 et 3.

Tableau 2. Caractéristiques de la population spastique (PC : Paralyse Cérébrale, SEP : Sclérose En Plaques, AVC : accident vasculaire cérébral) Tumor: Tumeur X

Patient	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Moy	SD
Age (ans)	70	57	36	59	39	45	67	35	61	52	13.5
Sexe	M	M	F	F	M	F	M	M	F	5M 4F	
Taille (cm)	183	166	157	154	167	161	173	180	161	167	10
Poids (kg)	72	79	44	58	70	65	75	92	52	67	14.6
Coté	D	D	D	G	G	G	G	D	G	5G 4D	
Pathologie	Tétra	Para	Tétra	Tétra	Para	Para	Hémi P	Hémi P	Para		
Etiologie	Vascul	Dégén	PC	PC	SEP	SEP	AVC	Tumor	SEP		
Antériorité (an)	37	14	36	59	0.5	15	0.2	7	17	21	19.6
Spasticité	1+	2	1+	3	2	2	1	1	1+	1+	1/2
Anti spastique	0	0	+	0	+	+	+	0	+		

Tableau 3. Caractéristiques de la population contrôle

Sujet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Moy	SD
Age	32	55	31	37	32	54	25	58	65	43	14.6
sexe	F	F	M	F	F	F	F	M	M	6F/3M	
Taille	170	165	181	169	163	158	169	180	166	169	7.5
poids	60	52	74	69	50	51	59	84	51	61	12.1
Coté	D	G	G	D	G	G	D	D	G	5G/4D	

2. Protocole

2.1 Protocole en piscine

Le patient est soumis à un premier test d'évaluation de la spasticité à son arrivée. Ensuite il se change pour entrer dans la piscine où il effectue un programme en 3 phases pour une durée totale de 30 à 40 mn en fonction du niveau d'indépendance du patient.

- 1) : Une séquence d'étirements des principaux groupes musculaires des membres inférieurs par auto-mobilisation ou mobilisation assistée quand la motricité volontaire est insuffisante (premier tiers de la séance). Dans ce dernier cas, le patient est accompagné dans la piscine. Les adducteurs de hanche, ischio-jambiers, fléchisseurs de hanche et triceps suraux sont étirés.
- 2) : Le renforcement musculaire des membres inférieurs debout et assis (2ème tiers de la séance). Les fléchisseurs et extenseurs du genou, de la hanche puis les triceps suraux sont travaillés en résistance libre (ou avec des palmes quand la motricité le permet).
- 3) : La marche se réalise en immersion au moins au niveau ombilical, avec des déplacements avant, arrière, latéraux, avec des élévations des genoux, des talons fesses et un travail qualitatif de la marche par décomposition des différentes phases du cycle (dernière partie de la séance).

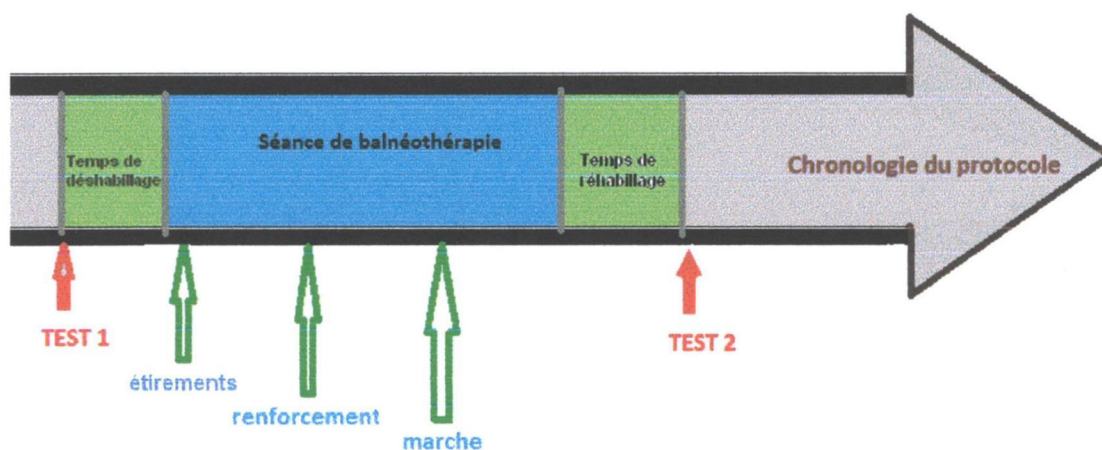


Figure 6. Représentation chronologique du déroulement de l'évaluation

2.1 Évaluation de la spasticité

L'évaluation de la spasticité repose sur un étirement passif du muscle pendant lequel il va offrir une résistance à son étirement. Pour ce faire, le patient doit être parfaitement relâché. Le module isocinétique ConTrex© permet en mode arthro-moteur, de mobiliser un segment de façon passive et à vitesse prédéterminée. Ainsi ce procédé permet de remplir les conditions strictes de l'évaluation du symptôme, à savoir une mobilisation passive à vitesse constante sur l'ensemble de la course musculaire. Trois vitesses angulaires différentes sont utilisées par

Tardieu et Held (Held et Dizien 1998) dans la description de leur échelle d'évaluation (Annexe 1). Le dynamomètre enregistre le couple de force en tout point du secteur articulaire balayé.

Les paramètres de réglage liés à la machine sont présentés tableau 4.

Tableau n°4. Paramètres de réglage du module isocinétique

Installation du patient	Demi-assis, sanglé, repérage précis des paramètres de réglage machine
Vestimentaire	Chaussures enlevées, vêtements amples
Position du dynamomètre	Centré sur le condyle externe du genou,
Secteur angulaire	De 0 à 120° de flexion
Vitesse angulaire	10°/sec, 60°/sec, 120°/sec, 160°/sec
Retour en position initiale d'extension	À vitesse lente, 5°/sec
Sécurité : couple max délivré	60 Nm
Consignes au patient	Relâchement le plus complet
Vitesses angulaires pour les mesures	120°/sec et 160°/sec
Nombre de répétitions à vitesse rapide	3
Nombre de répétitions à vitesse lente	une seule répétition (contrôle relâchement et habitude à la machine)
Groupe musculaire testé	Extenseurs du genou (par flexion du genou)

Notre expérimentation et les données bibliographiques rapportent que les vitesses supérieures à 100°/sec offrent des variations de couple plus importantes et donc des données plus significatives (Franzoi et al., 1999 ; Supraja et al., 2003 ; Pierce et al., 2006 ; Starsky et al., 2005). Thilman et al. (1991), fixent le seuil minimum de vitesse à 100°/sec pour déclencher le réflexe d'étirement chez les patients peu spastiques ce qui est tout à fait en accord avec nos mesures.

Nous retiendrons donc 120 et 160°/sec pour évaluer les variations du niveau spastique, les vitesses faibles (10, 60°/sec) sont réalisées pour évaluer l'état de relâchement du patient et le préparer au test.

2.3 Variables d'évaluation :

La totalité des protocoles utilisant un module isocinétique présentés dans la littérature se réfèrent au pic de couple, au travail, parfois à l'angle d'apparition du pic de couple (Katz et al., 1996 ; Nordez 2008 ; Knutsson et Martensson 1980). Nous retiendrons donc ces paramètres auxquels nous ajouterons le coefficient de variation du travail. Les valeurs de puissance n'apparaissent pas pertinentes à étudier dans la mesure où il ne s'agit pas ici d'évaluer une force de contraction volontaire. Les ratios par kilogramme n'apparaissent pas non plus adaptées car le

degré de spasticité est totalement indépendant des variables anthropométriques.

Au total les 4 paramètres retenues sont regroupés figure n°7.

Le couple de force maximal sélectionné sur l'une des trois répétitions à travers sa valeur pic et l'angle auquel il survient.

Le travail total cumulé lors des 3 répétitions à travers sa valeur sur l'ensemble du secteur angulaire hors artefact et son coefficient de variation pris en compte sur toute la course, artefacts compris.

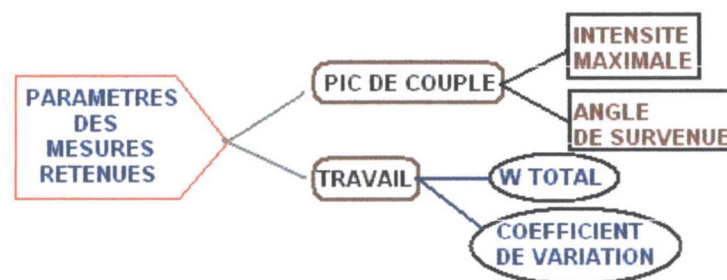


Figure 7. Paramètres des mesures retenues

2.4 Outils statistiques

2.4.1 Comparaison entre sujets sains et spastiques

L'analyse statistique de deux échantillons non appariés avec variance inégale repose sur l'utilisation d'un test non paramétrique en U de Wilcoxon Mann Withney. L'échantillon est trop faible pour envisager un test paramétrique de Student pour données non appariées. La distribution des valeurs contrôles et pathologiques apparaît à travers un diagramme de type Tukey.

2.4.2 Comparaison des sujets spastiques entre avant et après la séance

L'analyse repose sur la comparaison de deux échantillons appariés grâce au test de Student. Au préalable, l'homoscédasticité des valeurs est vérifiée par le test de Fisher Snedecor.

RESULTATS

1. Allure des courbes

1.1 Sujets sains

Il s'avère que le dynamomètre isocinétique nous fournit des précisions inattendues sur le comportement du muscle spastique, ce qui nous amène à développer les aspects liés à la collecte des données.

Certaines contraintes liées à l'accélération et la décélération de la machine réduisent le secteur angulaire disponible pour l'étude. Les artefacts consécutifs à la mise en action du système de levier sont repérés (Figure 8). Le secteur isocinétique strict se résume donc à l'intervalle séparant ces phénomènes (en jaune).

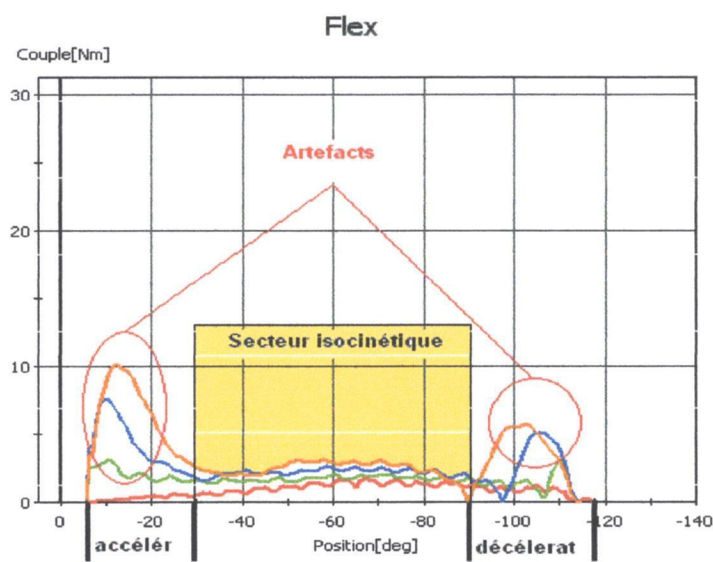


Figure 8. Allures des courbes de couple en fonction de la position angulaire aux 4 vitesses chez un sujet sain lors de la mobilisation passive du genou vers la flexion. Rouge 10°/sec, vert 60°/sec, bleu 120°/sec, orange 160°/sec. Au début du graphique (7°), le genou est tendu puis amené vers la flexion (-113°)

La phase isocinétique chez le sujet sain se présente globalement comme un plateau. Le couple enregistré est peu sensible à la vitesse de mobilisation.

L'allure de la courbe illustrant les 3 répétitions effectuées à une vitesse déterminée est visible figure 9. On note une parfaite superposition des courbes.

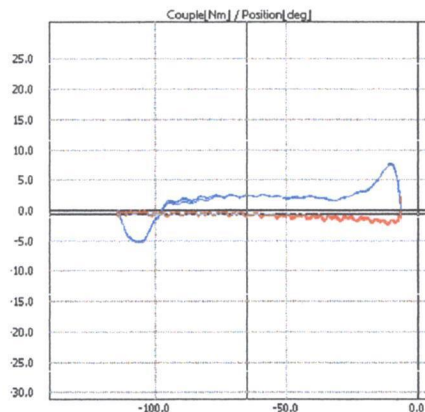


Figure 9. Allure de la courbe des 3 répétitions à la même vitesse (120°/sec) chez un sujet sain (extenseurs en bleu), tension des fléchisseurs lors du retour vers l'extension (en rouge)

1.2 Sujets spastiques

Chez le sujet spastique (Figure 10), on retrouve l'artefact de démarrage entre -5 et -30°, ensuite la phase normale de plateau est remplacée par une montée rapide des résistances d'autant plus grande que la vitesse augmente (courbe bleue 120°/sec, orange, 160°/sec) et que la spasticité est importante. L'artefact se trouve absorbé par la résistance alors développée. Aux vitesses faibles et moyennes (courbes rouge et verte), la phase de plateau traduit que la spasticité n'est pas déclenchée.

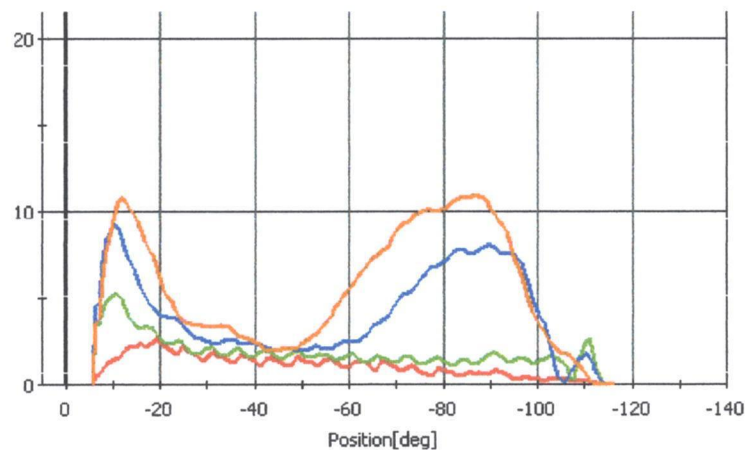


Figure 10. Allures des courbes de couple en fonction de la position angulaire aux 4 vitesses chez un sujet spastique. Rouge 10°/sec, vert 60°/sec, bleu 120°/sec, orange 160°/sec

3. Paramètres évalués

Le détail des paramètres étudiés est décrit figure 11. Le pic de couple est repéré en ordonnée (10,6 Nm), l'angle auquel il se manifeste est noté en abscisse (-86°). Le travail total représente la somme des surfaces sous les courbes des 3 répétitions en secteur isocinétique (coloriées). Le coefficient de variation du travail représente le taux de variation du travail pendant les 3 répétitions sur toute l'amplitude. Plus les courbes sont superposables, moins le coefficient est élevé. Ici les 3 courbes sont bien dissociées traduisant une réponse différente à chacune de 3 répétitions. Ces 4 paramètres nous permettent de caractériser précisément le type de résistances passives rencontrées lors du balayage articulaire du genou vers la flexion.

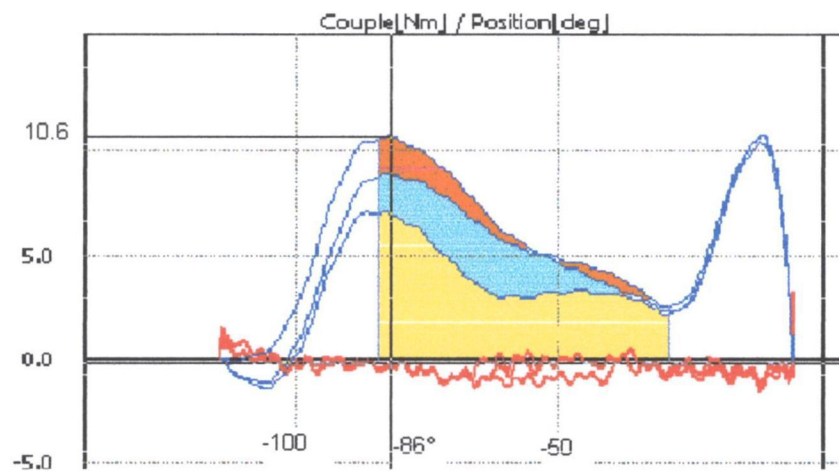


Figure 11. Représentation des paramètres mesurés sur une courbe couple/position angulaire chez un sujet spastique à $160^\circ/\text{sec}$

4. Variation de l'artefact

On note sur la courbe par répétition qu'il existe parfois chez les sujets spastiques une variation de l'intensité de l'artefact (Figure 12). Sapega et al. (1982), ont conclu suite à une étude sur les conséquences de l'accélération des segments (over-shoot), que l'artefact ne peut être le fruit d'une activité musculaire mais est le seul résultat d'un phénomène physique lié à la vitesse et au poids du segment en rotation. Il faut noter que l'échantillon testé n'était constitué que de sujets sains. En revanche, chez le sujet spastique, l'accélération brutale lors de la mise en rotation semble agir comme un stimulus qui génère parfois un couple différent d'une répétition à l'autre.

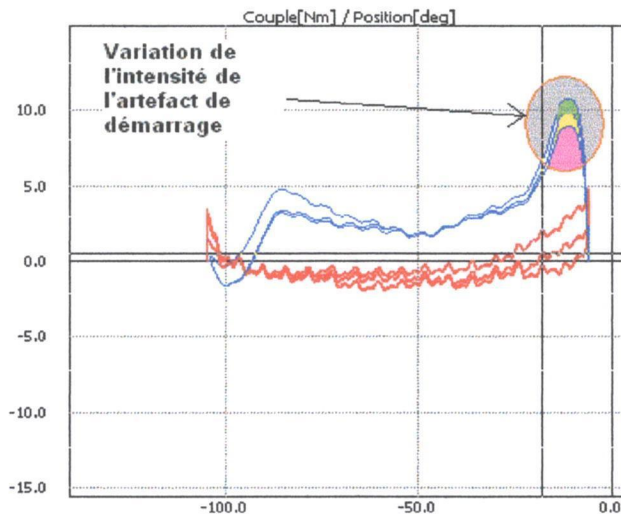


Figure 12. Allure de la courbe des 3 répétitions à la même vitesse (120°/sec) chez un sujet spastique (extenseurs en bleu)

5. Distribution et intervalles des valeurs des deux populations

En l'absence de valeurs de références, il est nécessaire d'évaluer préalablement les mesures minimales et maximales obtenues à 120 et 160°/sec, des sujets sains et spastiques afin de définir des intervalles de références (Tableau 5).

Tableau 5. Intervalles des valeurs, moyenne (Moy) et moyenne des écarts types (SD) des 4 variables enregistrées chez les sujets sains et spastiques à 120°/sec et 160°/sec confondus

Population	Sujets sains			Sujets spastiques		
Paramètres	Intervalles	Moy	SD	Intervalles	Moy	SD
Pic de couple (Nm)	[0,6 ; 4,7]	2,2	0,4	[2,3 ; 48,2]	11,4	5,1
Angle de survenue (°)	[25 ; 85]	55	14	[25 ; 95]	84,3	8,3
Coeff de variation du w (%)	[0,1 ; 16]	2,1	1,2	[0,4 ; 66,3]	12,3	6,73
Travail total (J)	[1 ; 8,8]	4,6	1	[2,4 ; 49,7]	15,5	5,4

A travers le diagramme de type Tukey (Figure 13), la distribution des valeurs collectées des sujets sains et spastiques est représentée. Le code couleur est respecté, jaune pour le pic de couple, orange pour le coefficient de variation du travail, violet pour le travail total et bleu pour l'angle de survenue du pic de couple. Les valeurs minimales et maximales apparaissent aux extrémités, la boîte centrale représente l'espace inter-quartile, le trait vertical dans cet espace correspond à la médiane.

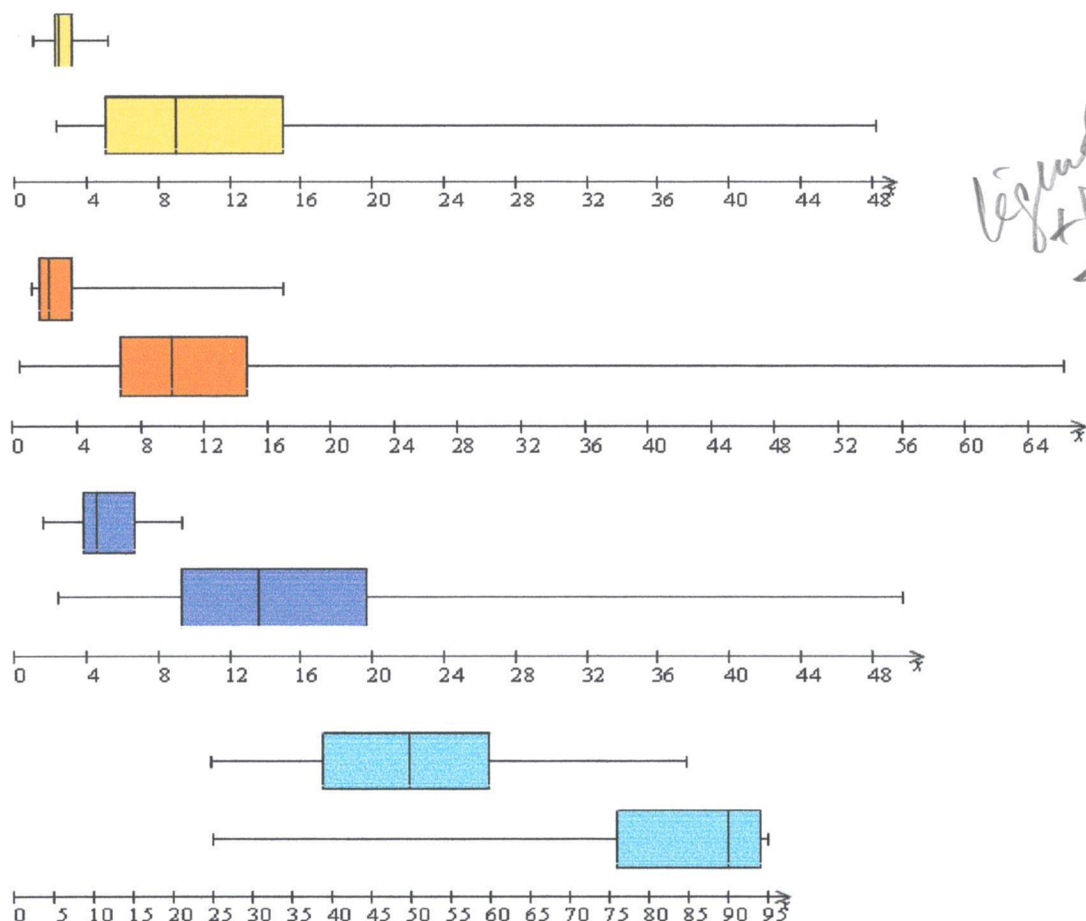


Figure 13. Diagramme de type Tukey montrant les distributions des valeurs en jaune pour le pic de couple (Nm), orange pour le coefficient de variation (%), violet pour le travail total(J), bleu pour l'angle de survenue ($^{\circ}$). Premier graphique, sujets sains, deuxième, sujets spastiques

Le test non paramétrique en U de Wicoxon Mann Withney donne une p-value entre 5.10^{-4} et 8.10^{-8} . Les valeurs entre les deux échantillons sont donc extrêmement significatives.

7. Variations induites par la balnéothérapie sur les sujets spastiques

Le test de Fisher Snedecor donne $F_{95}(8;8) = 3.44$. Il est supérieur à tous les écarts types (Tableau Annexe 4), l'homoscédasticité des valeurs est vérifiée et permet l'utilisation du test de Student pour échantillons appariés. Les valeurs de t pour les 4 paramètres évalués aux 2 vitesses angulaires sont comprises entre 0.2 et 1. La valeur critique de t pour 8 degrés de liberté avec un seuil de confiance à 0.05 est 2.31. Les variations mesurées pour chaque paramètre pris individuellement ne

sont pas significatives. Cependant chez 7 patients, au moins 3 des 4 paramètres évoluent dans le même sens. Nous posons comme postulat qu'une augmentation dans le même sens d'au moins 3 paramètres définit le signe de la tendance. Si 2 des 4 paramètres évoluent en sens inverse, on ne peut trancher sur l'influence de la séance de balnéothérapie.

Les figures 8 à 11 rassemblent l'évolution de la moyenne de chacun des 4 paramètres entre avant et après la piscine.

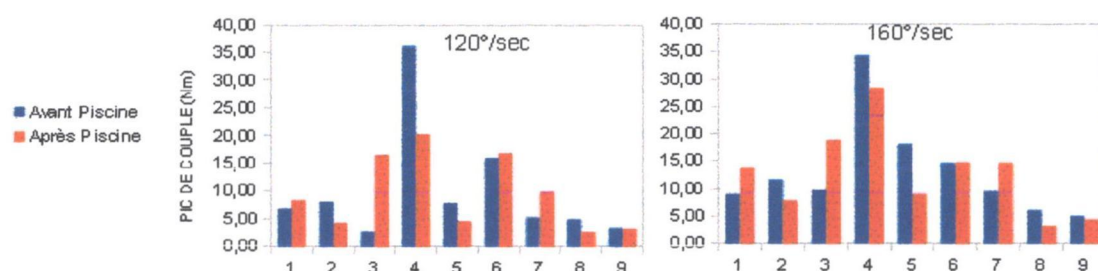


Figure 8. Évolution du pic de couple (Nm) à 120°/sec (à gauche) et 160°/sec (à droite) des patients (1 à 9) entre avant (bleu) et après (rouge) la séance de travail en piscine

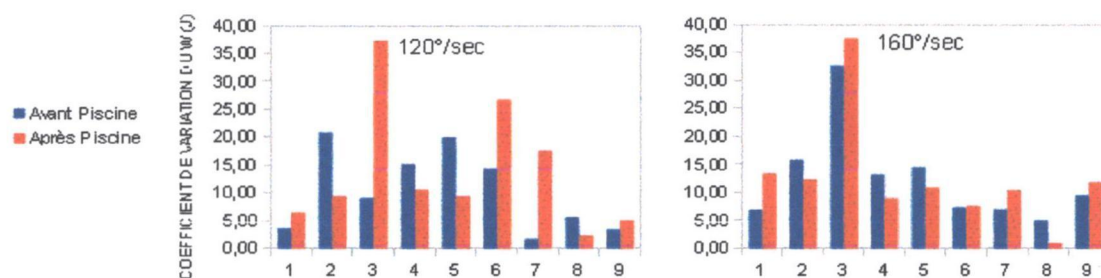


Figure 9. Evolution du coefficient de variation du travail (%) à 120°/sec et 160°/sec des patients (1 à 9) entre avant (bleu) et après (rouge) la séance de travail en piscine

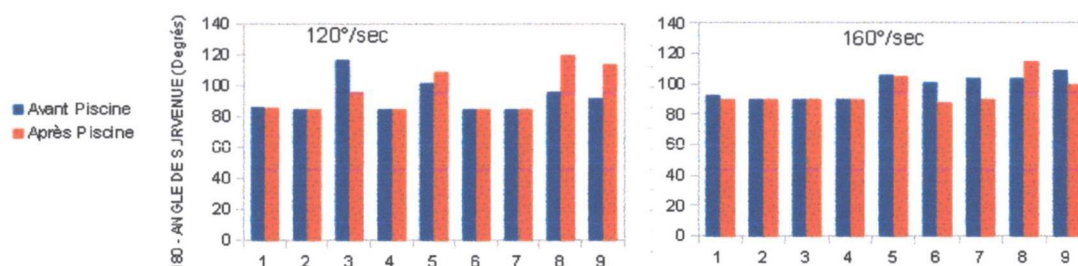


Figure 10. Évolution de l'angle de survenue du pic de couple (Nm) à 120°/sec et 160°/sec des patients (1 à 9) entre avant (bleu) et après (rouge) la séance de travail en piscine

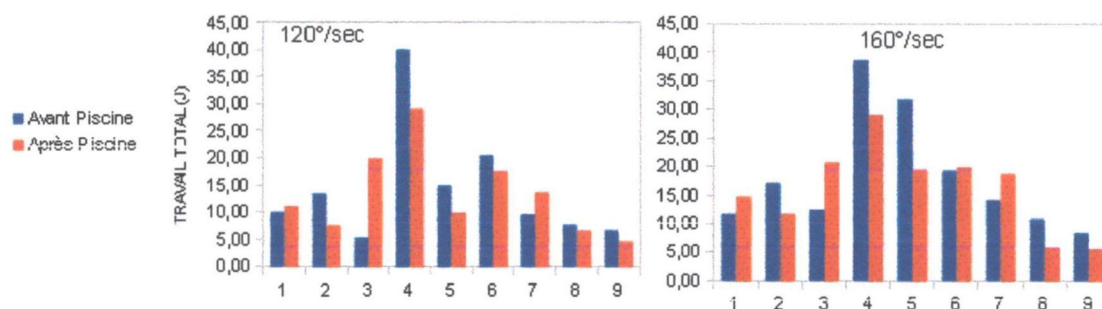


Figure 11. Évolution du travail total (J) à 120°/sec et 160°/sec des patients (1 à 9) entre avant (bleu) et après (rouge) la séance de travail en piscine

En regroupant les données à travers un tableau de variation, il devient possible de déterminer une tendance globale. Le tableau 8 récapitule le signe des variations mesurées de chacun des paramètres au cours des 3 séances ((S1, 5, 10) et en fait la synthèse en avant dernière ligne. Le code couleur est respecté, jaune : pic de couple, bleu : angle de survenue, orange : coefficient de variation du travail, violet : travail total.

Tableau 8. Tendance de l'évolution des moyennes des paramètres entre avant et après la balnéothérapie à 120 et 160°/sec pour les 9 patients (tiré du tableau Annexes 5)

POPULATION	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Vitesse angulaire en °/sec	120	160	120	160	120	160	120	160	120	160	120	160	120	160	120	160	120	160
Diff des moyennes du pic de couple	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	=	-	+	+	-	-	=	-
Diff des moyennes de l'angle de surv	=	=	=	=	-	=	=	=	=	=	=	-	=	-	+	+	+	-
Diff des moyennes du coeff de variat	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	=	+	+	-	-	+	+
Diff des moyennes du travail total	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
Résultats (au - 3 paramètres ident)	+	+	-	-	+/-	+	-	-	-	-	+/-	+/-	+	+	-	-	+	-
Synthèse des 2 colonnes	+		-		+		-		-		+/-		+		-		+/-	
Pathologies	Tétra		Para		PC		PC		SEP		SEP		AVC		AVC		SEP	

On constate que chez 4 des patients (2, 4, 5, 8), la tendance est clairement à la diminution du niveau spastique (avant dernière ligne : synthèse), au moins 3 paramètres évoluant à la baisse. En revanche chez 3 autres patients (1, 3, 7) la variation se fait à la hausse. Dans 2 cas (6 et 9), aucune tendance claire ne peut être avancée puisque certains paramètres évoluent à contre sens.

En ce qui concerne la répartition par pathologie de cet échantillon, aucune tendance ne ressort, chacune pouvant être affectée à la hausse ou à la baisse :

médullaire : une hausse et une baisse (1 et 2), paralysies cérébrales : une hausse et une baisse (3 et 4), Sclérose en plaques : une baisse et deux non déterminées, hémiplégie : une hausse et une baisse (7 et 8).

DISCUSSION

1. Exercices en balnéothérapie et spasticité

A travers cette étude, la variabilité des réactions après un travail en milieu aquatique chaud sur la spasticité apparaît clairement. Quatre des neufs patients sont améliorés de ce point de vue, trois voient le symptôme majoré directement à la sortie de la piscine et deux subissent une influence mitigée. Les impressions liées à la variation de la spasticité ressentie par les patients à l'issue des séances en balnéothérapie sont le plus souvent en adéquation avec la tendance mesurée (7 fois sur 9). Par ailleurs, les nombreux effets positifs peuvent parfois contrebalancer les conséquences péjoratives d'une spasticité temporairement augmentée. Il existe cependant de rares patients pour qui ce travail est déconseillé quand il déclenche des réactions indésirables et prolongées à type de tensions musculaires, réactions sensibles désagréables, spasmes (un patient a dû être écarté). Il paraît donc pertinent de ne pas déconseiller cette pratique à priori et laisser le patient évaluer les avantages tirés de l'activité et les inconvénients liés à une éventuelle majoration transitoire de la spasticité. Ce protocole de travail permet d'influencer le niveau spastique de façon sensible ce qui a permis de mettre en évidence les avantages et les limites de l'outil de mesure. Outre l'analyse des variations induites de la spasticité, ce protocole nous donne la possibilité d'affiner la perception et l'évaluation d'un symptôme souvent évoqué mais très rarement évalué de façon précise. A cet égard, il est utile de détailler les caractéristiques des valeurs enregistrées d'autant que l'utilisation d'un dynamomètre isocinétique pour évaluer ce symptôme reste confidentielle en dehors de la recherche.

2. Distribution et intervalles des valeurs

2.1 Distribution et validité statistique des mesures entre populations

Les valeurs minimales enregistrées de l'ensemble des 4 paramètres chez les sujets spastiques sont contenues dans l'intervalle des mesures des sujets sains (Figure 13) ce qui sous entend que la spasticité n'a parfois pas été déclenchée ou identifiée. Dans ce cas de figure, les données mesurées peuvent être alors tout à fait semblables entre les deux groupes.

Par contre

En revanche, les valeurs maximales des sujets pathologiques s'écartent largement des valeurs de référence d'un facteur maximal situé entre 4 et 10 suivant les paramètres (Tableau 5). La figure 13 représentant la distribution des valeurs entre sujets sains et spastiques. Celle-ci associée à une p-value très inférieure à 0.05 au test de Wilcoxon, argumentent en faveur de la validité de l'outil de mesure (Akman et al., 1999, Farell et al., 1986, Drouin et al., 2004)

2.2 Cas de l'angle de survenue du pic de couple

En ce qui concerne l'angle de survenue du pic de couple, la comparaison sujets sains spastiques n'est pas possible car il n'existe pas réellement de pic de couple chez le sujet sain, l'allure de la courbe étant proche d'un plateau. On peut effectivement repérer un maximum mais sans qu'il constitue un pic. La distribution centrée et équilibrée des données chez les sujets sains pour ce paramètre confirme le caractère aléatoire de la distribution (en bleu, figure 13). Pour les patients, 3 quartiles sur 4 sont présents en fin de course articulaire ce qui rend compte d'un couple qui a généralement tendance à augmenter au fur et à mesure que la mobilisation passive progresse vers la flexion (Lee et al., 2002). Ceci semble d'autant plus vérifié que la spasticité est importante.

2. Analyse des paramètres

La très grande majorité des publications reliant l'utilisation d'un dynamomètre et la spasticité, tente de la quantifier au plus près de son expression physiopathologique.

On distingue 2 composantes principales aux résistances induites par la spasticité :

- # la composante réflexe dont le support est l'activité myotatique
- # la composante visco-élastique constituée par le tissu de soutien, les éléments conjonctifs séries et parallèles et les myofibrilles. (Gajdosik RL, 2001).

2.1 Activité réflexe

2.1.1 Angle de survenue du pic de couple

L'angle de survenue du pic de couple, peut être le témoin d'une activité réflexe modifiée (Shmidt et al., 1999; Kim et al., 2007,). Il permet de montrer l'apparition d'une latence, ou d'une précocité dans la survenue du pic (Bernuz et al., 2012 ;

Kim et al., 2007). Il faut cependant noter qu'il n'existe pas forcément de décalage de l'angle de survenue du pic de couple malgré une variation du pic de couple démontrant les limites de la qualité de ce paramètre (Figure 14).

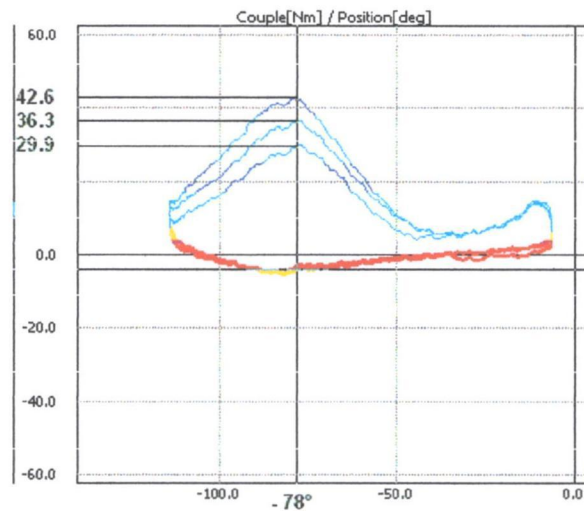


Figure 14. Pic de couple différent sur un angle de survenue constant lors des 3 répétitions à 160°/sec

2.1.2 Coefficient de variation du travail

A notre connaissance, aucune étude ne relève le coefficient de variation du travail. Cependant ce paramètre apparaît intéressant à considérer car d'après nos observations, il pourrait être un indicateur de la sensibilité du réflexe myotatique. En effet, cette propension du muscle à réagir différemment à chaque mobilisation, traduit ce caractère labile qui correspond aussi à une caractéristique importante de la spasticité (Pérennou, 2001). Nous posons donc comme postulat que ce coefficient est en corrélation avec l'activité réflexe.

Dans cette hypothèse, l'évolution entre l'angle de survenue (également sensible à l'activité réflexe) et ce coefficient de variation devrait se faire dans le même sens. On constate que l'évolution en sens contraire de ces deux paramètres ne survient que 2 fois sur 18 (Tableau 8), ce qui contredit peu cette hypothèse.

2.1.3 Variation de l'artefact

Comme l'ont montré Nordez et al., 2008, Sapéga et al 1982, les intensités de l'artefact sont liées à la vitesse (et aussi à la masse du segment), et que le secteur angulaire occupé par l'artefact est corrélié à la vitesse. Ainsi à 160°/sec,

30° sont nécessaires pour atteindre et abandonner la vitesse sélectionnée. A partir de ces contraintes, on comprend qu'une vitesse angulaire de 240°/sec appliquée à la cheville comme proposée dans certaines études n'a aucune chance d'être véritablement atteinte.

A l'initiation du mouvement, l'accélération subie par la jambe est très intense. Pierce et al. (2006), estiment que l'accélération angulaire pendant le court delta de temps nécessaire pour ralentir le mouvement angulaire et repartir en sens opposé, correspond à 9000°/sec². Dans notre cas, la mobilisation se fait sur un secteur articulaire (la flexion) puis s'arrête et repart à 5°/sec en sens opposé. L'étirement brutal provoqué peut être assimilé à la percussion du marteau réflexe et peut nous renseigner sur le seuil du réflexe myotatique. Thilman et al. (1991), estiment que le seuil de 200°/sec doit être atteint chez le sujet sain pour obtenir un réflexe myotatique mais est largement abaissé chez le sujet spastique (Powers et al. 1985, Toft et al., 1991). La composante phasique du réflexe myotatique ne nécessite que 30 à 40 ms car c'est une voie d'intégration spinale, mono-synaptique (Rothwell et al., 1986, Segal et Wolf, 1993).

Il semble donc important, en ce qui concerne le coefficient de variation du travail (reflet de la réactivité du muscle), de considérer, son comportement sur l'ensemble du secteur articulaire balayé, en intégrant les artefacts de début et de fin de mouvement.

Dans le cadre de l'évaluation de la composante réflexe, certains auteurs prennent en compte la pente d'établissement du pic de couple car elle semble liée au gain du réflexe myotatique (Katz et al., 1994). Nous n'avons pas ici évalué ce paramètre qui n'est pas directement calculé par le logiciel. Il n'en reste pas moins que l'intensité du pic de couple est inévitablement lié au gain du réflexe myotatique. Lamontagne et al. (1997), Kim et al. (2007) ont montré à travers la mesure de l'activité électro-myographique maximale (témoin de l'activité réflexe), qu'elle n'est pas systématiquement corrélée à l'augmentation du couple de force. Dans ce cas, la majoration du pic de couple serait imputable à l'augmentation des résistances visco-élastiques. Cependant Powers et al. (1985) mettent en doute la capacité de l'EMG à détecter le seuil du réflexe myotatique ce qui rend la corrélation de l'apparition de l'activité EMG à la sensibilité du réflexe myotatique, aléatoire.

2.2 Aspect visco-élastique

Les résistances d'origine passive, liées aux tissus est peu vitesse dépendant (Gajdosik et al, 2001 et Kim et al., 2007, Beven et al., 1995, Starsky et al., 2005, Proske et Morgan, 1999, Rabita et al., 2005).

Cependant, la vitesse dépendance des résistances à l'étirement peut être en partie imputable à l'augmentation de la visco-élasticité (Lamontagne et al., 1997). Des modifications histologiques ont été mises en évidence après un délai de quelques semaines suivant la lésion du faisceau pyramidal (Lundstrom et al., 2008). Néanmoins, à faible vitesse, lorsque la spasticité réflexe ne semble pas activée, les valeurs observées chez les sujets spastiques sont similaires aux sujets sains. L'expression de la résistance visco-élastique nécessiterait donc malgré tout, une certaine vitesse de mobilisation qui elle même déclenche le réflexe myotatique. Il apparaît donc difficile d'individualiser les 2 phénomènes.

L'étude de Mirbagheri et al. (2007), montre la difficulté à différencier la contribution de la raideur intrinsèque (visco-élastique) à celle de la raideur réflexe. En effet, les deux facteurs coexistent mais la répartition de leur rôle est très dépendante de la position angulaire (ou du degré d'étirement) et varie probablement d'un bout à l'autre de la course musculaire. En outre l'expression des deux composantes est favorisée par la vitesse de mobilisation même si la participation visco-élastique l'est peu.

4. Cas des variations non homogènes des paramètres

Le patient N°9 présente une diminution du pic de couple et du travail total. Par contre, l'angle de survenue et le coefficient de variation sont augmentés. La résistance excentrique passive globale enregistrée par le dynamomètre décroît mais il existe ici une plus grande irrégularité dans la résistance offerte pendant les 3 répétitions. Ceci est peut être à mettre en parallèle avec une plus faible résistance visco-élastique d'une part, et une augmentation du seuil du réflexe myotatique d'autre part.

Le patient N°8 présente une diminution de l'angle de survenue et une augmentation du coefficient de variation du travail. Les 2 marqueurs de l'activité réflexe varient donc en opposition (occurrence seulement 2 fois/18). Ainsi, le coefficient de variation du travail prend le signe du résultat final dans 46

observations sur 54 (Tableau 10). L'angle de survenue quant à lui reste souvent inchangé (occurrence 33/54, Tableau 11). On peut donc penser que le coefficient de variation du travail nous renseigne de façon plus pertinente que l'angle de survenue sur le niveau de sensibilité du réflexe ou sur le sens de l'évolution de celui ci.

Plus que l'angle de survenue, la position moyenne au pic de couple pourrait être un paramètre plus fidèle mais n'est pas calculé directement par la machine dans nos conditions expérimentales. En effet, le logiciel prend en compte lors de son calcul, la totalité du secteur angulaire, confondant ainsi les artefacts avec le pic qui survient au cours du secteur isocinétique. Ce paramètre pourrait être plus pertinent dans la mesure où il prend en considération les 3 répétitions successives pour déterminer la position moyenne du pic.

5. Sensibilité et spécificité du coefficient de variation du travail et de l'angle de survenue du pic de couple

5.1 Coefficient de variation du travail

D'après la revue de littérature, le coefficient de variation du travail n'est pas utilisé pour évaluer le changement du niveau spastique. Cependant dans notre étude, le protocole de travail en piscine influence systématiquement ce paramètre. Il présente une bonne sensibilité et spécificité sur notre échantillon (Tableau 10). Ces deux paramètres sont définis comme suit :

$$\text{Sensibilité} = \frac{\text{Vrais positifs}}{\text{Faux négatifs} + \text{Vrais positifs}}$$

Elle détermine la capacité d'un test à donner un résultat positif lorsqu'une hypothèse est vérifiée.

$$\text{Spécificité} = \frac{\text{Vrais négatifs}}{\text{Faux positifs} + \text{Vrais négatifs}}$$

Elle détermine la capacité à donner un résultat négatif lorsque l'hypothèse n'est pas vérifiée.

Il faut en préambule, identifier les variations rapportées par ce paramètre par rapport à la tendance retenue sur l'ensemble des 4 paramètres (Tableau 10).

methode après graphique = homogénéité présentations.

Tableau 10. Correspondance entre le signe de l'évolution entre avant et après la piscine du coefficient de variation du travail (à gauche), de l'angle de survenue du pic (à droite) et la tendance réelle aux 2 vitesses et pour chaque séance (S1, S2, S3, V+ : vrai positif, V- : vrai négatif, F+ : faux positif, F- : faux négatif)

Vitesse	120°/sec			160°/sec		
Patient	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	V+	V-	V+	V+	V+	V+
2	V-	V-	V-	V-	V-	V+
3	V+	V+	V+	V+	V-	V+
4	V-	F+	V-	F+	V-	V-
5	V+	V-	V-	V-	V-	V-
6	V-	V+	V+	V-	V-	V+
7	V+	V+	F+	F-	V+	F+
8	F-	V-	V-	V-	V-	V-
9	V-	V+	F+	V+	V-	F+

Vitesse	120°/sec			160°/sec		
Patient	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	0	0	0	F-	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	F-	F-	F-	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	F+	F+	0	V-	0
6	0	0	0	0	0	F-
7	0	0	Ajuster les lignes du tableau	0		
8	V+	V-	F+	V-	F+	F+
9	F+	V+	V-	V-	V-	V-

Dans notre cas, un vrai positif (V+) signifie que l'augmentation du paramètre mesuré correspond à une majoration de la spasticité. Un faux négatif (F-) signifie que l'on enregistre une baisse de la valeur du paramètre en dépit d'une augmentation du symptôme.

Au total : V+ = 20, V- = 26, F+ = 6, F- = 2

Sensibilité = $20/(20+2) = 0,91$

Spécificité = $26/(26+6) = 0,81$

Il apparaît que le coefficient de variation du travail permet d'identifier de façon précise la tendance car son signe reflète fidèlement la tendance induite par l'évolution de la spasticité. Il présente une excellente sensibilité (0,9), en ne détectant que très peu de fausse baisse. Il est très spécifique (0,8), ce qui implique qu'il n'identifie que rarement de faux positifs.

5.2 Angle de survenue du pic de couple

La même approche quant à l'angle de survenue du pic de couple fait apparaître dans notre cas expérimental une moins bonne traduction des tendances. D'après le tableau 10, on trouve : V+ = 2, V- = 6, F+ = 6, F- = 5, 0=33

Sensibilité $2/(2+5) = 0,3$

Spécificité $6/(6+6) = 0,5$

Il faut surtout noter que dans 33 observations sur 54, aucune tendance n'est décelée à travers ce critère. En effet, la survenue du pic de couple correspond souvent à la partie la plus distante du point de départ (course externe), juste avant que le dynamomètre ralentisse.

Ainsi, pour les sujets les plus spastiques, l'angle d'apparition reste bloqué à 95° (pour 120°/sec) et 90° (pour 160°/sec) même s'il existe une variation de l'intensité du pic. Le travail en piscine influence donc largement ce paramètre mais son interprétation est contrariée par cet aspect technique.

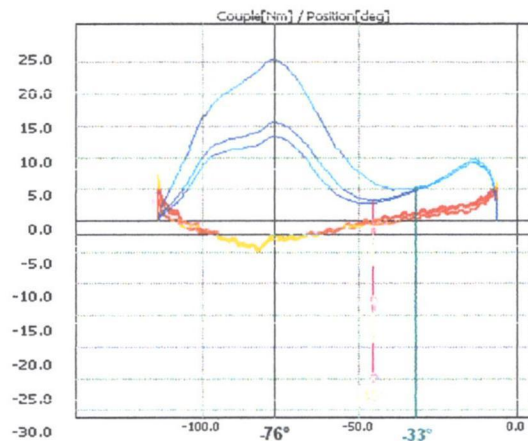


Figure 15. Angle de survenue du pic de couple inchangé malgré la variation de son intensité (-76°). Angle seuil d'autant plus précoce que l'intensité est forte (-33°, -45°)

L'angle seuil, défini par l'angle auquel le couple commence à augmenter, apparaît plus pertinent quant à l'identification du seuil du réflexe myotatique (Starsky et al., 2005 et Kim et al., 2007). La figure 15 montre comment l'angle seuil (-33°, -45°) se manifeste de façon plus précoce en fonction de l'intensité du couple alors que l'angle de survenue du pic peut resté inchangé (-76°).

6. Influence différenciée du protocole sur les deux composantes de la spasticité

Le protocole d'exercice en piscine influence le niveau spastique pour 7 patients sur 9. Les 4 paramètres biomécaniques fournis par le dynamomètre ne nous permettent pas de différencier les 2 composantes physiologiques concernées par la variation du niveau spastique. Malgré la richesse informative du dynamomètre par rapport aux échelles classiquement utilisées, il apparaît difficile d'identifier la part de variation imputable aux facteurs réflexes par rapport aux éléments visco-élastiques. La très bonne relation spécificité sensibilité du coefficient de variation démontre la participation constante de la composante réflexe aux variations mesurées. On peut donc en déduire que c'est l'aspect réflexe qui est majoritairement impacté par le protocole. Il n'en demeure pas moins qu'une modification visco-élastique est probable mais non évaluable à travers ce procédé. Chez le groupe contrôle, aucune variation significative n'est relevée entre avant et

après la piscine sur les 4 paramètres. Ceci confirme que la composante non réflexe est probablement très secondaire par rapport aux résistances générées par le dérèglement du réflexe myotatique. Celui ci est bien évalué à travers le coefficient de variation du travail et l'angle seuil. Le gain du réflexe myotatique est traduit à travers le pic de couple. La pente d'établissement du pic de couple calculée par certains auteurs (Starsky et al., 2005 et Kim et al., 2007) dans une autre tentative pour caractériser la sensibilité du réflexe myotatique exige des calculs complexes. Ceci ne rentrent pas dans le cadre de cette expérimentation qui ne prend en compte que des paramètres directement fournis par le module ConTrex®.

La Figure 13 tente de relier les différentes composantes de la spasticité avec les paramètres mesurés.

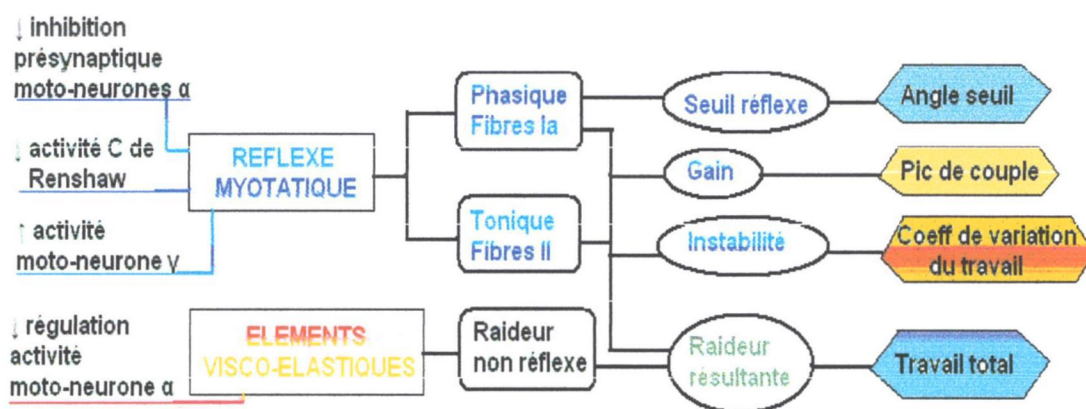


Figure 13. Relations entre mécanismes physiologiques et paramètres mesurés

CONCLUSION

L'utilisation d'un module isocinétique permet, à condition de certaines manipulations, d'évaluer les variations induites de la spasticité consécutivement à un programme de travail en piscine. Cet outil permet une approche plus précise de ce symptôme comparativement aux échelles analogiques utilisées en routine en permettant de mieux identifier la participation réflexe dans l'expression du couple de force produit lors de l'étirement passif du muscle. Ceci nous a conduit à tenter de mettre en relation les mesures recueillies avec les différentes composantes de la spasticité. On relève une influence partagée de la balnéothérapie sur notre échantillon de 9 patients, entre augmentation et diminution du symptôme. Dans 2 cas, l'évolution de la spasticité ne montre pas de tendance claire. La composante réflexe de la spasticité semble être bien évaluée à travers le coefficient de variation du travail en dévoilant le caractère instable que lui confère l'état d'hyper excitabilité du réflexe myotatique. Il n'apparaît pas possible de distinguer la part réflexe de celle imputable à d'éventuelles modifications du comportement visco-élastique. Par ailleurs, il est essentiel de prendre en considération plusieurs paramètres évalués à plusieurs vitesses pour identifier clairement les variations induites par la séance en piscine. Une multiplication des tests sur des échantillons regroupés par pathologie, permettrait de savoir s'il existe des comportements différenciés en fonction du type lésionnel et également d'améliorer la valeur des mesures de références. Une adaptation de l'outil isocinétique, permettrait d'élargir son utilisation en neurologie en tant qu'outil de bilan, son usage actuel dans ce domaine restant limité jusqu'à présent au renforcement musculaire.

BIBLIOGRAPHIE

Akman MN , Bengi R, Karatas M, Kiliç S, Sörey S, Özker R. Assessment of spasticity using isokinetic dynamometry in patients with spinal cord injury. *Spinal Cord* 1999 ; 37, 638-64

Aparedida Silva C, Castao KC, Augusto Souto P, Zan TB, Pompeu JE, Fukuda TY. Effect of resisted exercise on muscular strength, spasticity and functionality in Chronic hemiparetic subjects : a systematic review. *Journ Appl Resea.* 9 ; 4 (2009)

Bajada S, Mastaglia FL, Black JL, Collins DW. Effect of induced hypothermia on visual evoked potentials and saccade parameters in normal subjects and multiple sclerosis patients. *J Neurol Neurosurg Psy* 1980 ; 43 : 849-52

Bell KR, Lehmann JF. Effect of cooling on H- and T-reflexes in normal subjects. *Arch Phys Med Rehabil* 1987 ; 68:490-493

Best, T. M., McElhaney, J., Garrett, W. E., and Myers, B. S. Characterization of the passive responses of live skeletal muscle using the quasi-linear theory of viscoelasticity. *Journal of Biomechanics* 1994, 27(4):413-419.

Bernuz B, Genet F, Terrat P, Pradon D, Barbot F, Bussel B, Bensmail D. Botulinum Toxin Effect on Voluntary and Stretch Reflex-Related Torque Produced by the Quadriceps: An Isokinetic Pilot Study. *Neurorehabil Neural Repair.* 2012 Jan 3

Beven JD, Dewald JP, Rymer WZ. Joint dependent passive stiffness in paretic and contro lateral limbs of spastic patients with hemiparetic stroke. *J. Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1995 sept ; 59(3) : 271-9

Bohannon RW, Larkin PA. Cybex II Isokinetic dynamometer for the documentation of spasticity. *Suggestion from the field. Phys Ther.* 1985 ; 65 : 46-47

Bovy P, Foidart M, Dequinze B, Solheid. The effect of hot baths on the muscular properties of healthy and of spastic subjects. *Acta Belg Med Phys.* 1990 Jul-Sep;13(3):121-4.

Carpenter MB. *Human neuro-anatomy.* William Wilkins, 1985

Chevutschi A, Dengremont B, Linsel G, Pardessus V, Thevenon A. La balnéothérapie au sein de la littérature. Applications thérapeutiques.. *Kinesither Rev* 2007;(71):14-23

Chiara T, Martin D, Miler R, Nadeau S. Cold effect on oxygen uptake, perceived exertion, and spasticity in patients with multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil* 1998 May ; 79 : 523-8

Dehail P, Meklat H, Faux P, Joseph Pa, Mazaux Jm, Barat M. Place de l'isocinétisme dans l'évaluation de la spasticité. XXVIII entretiens de méd phys réadapt. Montpellier, 2000 : 27-30.

- Dietz V, Berger W. Interlimb coordination of posture in patients with spastic paresis. Impaired function of spinal reflexes. *Brain*. 1984 Sept ;107 (3) : 965-78.
- Drouin JM, Tamara C, Valovich-McLeod TC, Shultz J, Gansneder M, Perrin DH. Reliability and validity of the Biodex system 3 for isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J of applied physiology* 2004 ; 91 ; (1) : 22-29
- Dvir Z, Panturin E. Measurement of spasticity and associated reactions in stroke patients before and after physiotherapeutic intervention. *Clin Rehab* 1993 ; 7 : 15-21
- Farrell M, Richards JG. Analysis of the reliability and validity of the kinetic communicator exercise device. *Med Sci Sports Exerc* 1986 ; 18 : 44-49
- Fowler EG, Ho TW, Nwigwe AI, Dorey FJ. The effect of quadriceps femoris muscle strengthening exercises on spasticity in children with cerebral palsy. *Phy Ther* 81(6) (2001), 1215-223
- Franzoi AC, Castro C, Cardone C. Isokinetic assessment of spasticity in subjects with traumatic spinal cord injury (ASIA A). *Spinal cord* 1999 ; 37, 416-420
- Firoozbaksh KK, Kunkel CF, Scremin AM, Moneim MS. Isokinetic dynamometric technic for spasticity assessment. *Am J Phys Med Rehabil*. 1993 ; 72 : 379-85
- Frischnecht R, Chantraine A. Traitement de la spasticité par les agents physiques. *Ann. Réadapt. méd. Phys.*, 1989,32: 475-493
- Gajdosik RL. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2001 Feb ;16(2) : 87-101. (Review).
- Getz M, Hutzler Y, Vermeer A. Effects of aquatic interventions in children with neuromotor impairments: a systematic review of the literature. *Clin Rehabil*. 2006 Nov;20(11):927-36
- Hislop HJ, Perrine JJ. The isokinetic concept of exercise. *Phys Ther*. 1967 Feb ; 47(2) :114-7
- Hultborn H, Illert M, Santini M. Convergence on interneurons mediating the reciprocal Ia inhibition of motoneurons. III. Effects from supraspinal pathways. *Acta Physiol Scand*. 1976 Mar ; 96(3) : 368-91
- Kamioka H, Tsutani K, Okuizumi H, Mutoh Y, Ohta M. Effectiveness of Aquatic Exercise and Balneotherapy: A Summary of Systematic Reviews Based on Randomized Controlled Trials of Water Immersion Therapies. *J Epidemiol* 2010;20(1):2-12

- Katz RT, Rovai GP, Brait C, Rymer WZ. Objective quantification of spastic hypertonia: correlation with clinical findings. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992 Apr;73(4) : 339-47
- Kesiktaş N, Paker N, Erdogan N, Gülsen G, Bıçkı D, Yılmaz H. The use of hydrotherapy for the management of spasticity. *Neurorehabil Neural Repair.* 2004 Dec;18(4):268-73. *Neurorehabil Neural Repair.* 2004 Dec;18(4):268-73
- Kim DY, Park CI, Chon JS, Ohn SH, Park TH, Bang IK. Biomechanical assessment with electromyography of post stroke ankle plantar flexion spasticity. *J Korean Neurosurg Soc* 2007 ; 42(6) : 441-5
- Knutsson E, Martensson A. Dynamic motor capacity in spastic paresis and its relation to prime mover dysfunction, spastic restraint and antagonist coactivation. *Scandinavian Jour of rehab Med.* 1980 ; 12 : 93 – 106
- Kuypers HJ. A new look at the organization of the motor system. *Prog Brain Res.* 1982 ; 57 : 381-403
- Lamontagne A, Malouin F, Richards CL, Dumas F. Evaluation of reflex and non reflex-induced muscle resistance to stretch in adults with spinal cord injury using hand-held and isokinetic dynamometry. *Phys Ther.* 1998 ;78 :964-75
- Lance JW, The control of muscle tone, reflexes, and movement: Robert Wartenberg Lecture. *Neurol.* 1980 ; 30 : 1303-13
- Lee H-M, Huang Y-Z, Chen J-J, Hwang I-S. Quantitative analysis of the velocity related pathophysiology of spasticity and rigidity in the elbow flexors. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2002 ; 72:621–629
- Mc Nair PJ, Hewson DJ, Dombroski E, Stanley SN. Stiffness and passive peak force changes at the ankle joint: the effect of different joint angular velocities. *Clin biomech (bristol, Avon).* 2002 : 536-540
- Matsumoto S, Shimodono M, Etoh S, Shimozono Y, Tanaka N, Kawahira K. Beneficial effects of footbaths in controlling spasticity after stroke. *Int J Biometeorol* (2010) 54:465–473
- Mirbagheri M, Settle K, Harvey R, Rymer WZ. Neuromuscular Abnormalities associated with spasticity of upper extremity muscles in hemiparetic stroke. *AJP-JN Physiol* 2007. 1998 ; 2 : 629-637
- Nordez A, Casari P, Cornu C. Accuracy of Biodex system 3 pro computerized dynamometer in passive mode. *Medical Engineering & Physics* 30 (2008) 880–887
- Nuyens GE, De Weerd WJ, Spaepen AJ Jr, Kiekens C, Feys HM. Reduction of spastic hypertonia during repeated passive knee movements in stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002 Jul;83(7):930-5

Odding E, Roebroek ME, Stam HJ. The epidemiology of cerebral palsy: incidence, impairments and risk factors. *Disabil Rehabil.* 2006 Feb 28 ; 28 (4) : 183-91

Pandyan AD, Price CI, Rodgers H, Barnes MP, Jonhson GR. Biomechanical examination of a commonly used measure of spasticity. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001 ; 16 : 859-65

Pappalardo A, Castiglione A, Restivo DA, Calabrese A, Patti F. Non-pharmacologic interventions for spasticity associated with multiple sclerosis. *Neurol Sci* 2006 ; 27 : 310-15

Pérennou D, Bussel B, Pélissier J. *La spasticité.* Masson Ed Paris 2001

Petrilli S, Durufle A, Nicolas B, Robineau S, Kerdoncuff V, Le Tallec H, Lassalle A, Gallien P. Influence of temperature changes on clinical symptoms in multiple sclerosis: an epidemiologic study. *Ann de Réad et de Méd Phy* 2004. 47 ; 5 : 204-208

Pierce SR, Johnston TE, Shewokis PA, Laurer RT. Examination of spasticity of the knee flexors and knee extensors using isokinetic dynamometry with electromyography and clinical scales in children with spinal cord injury. *Journ of spin cord medicine* 2008 ; 31 (2) : 208-14

Pierrot-Desseilligny E, Pradat-Diehl P, Robain G, *Physiopathologie de la spasticité.* *Ann Réadapt Méd Phys* 1993 ; 36, 309-20

Pisano F, Miscio G, Del Conte C, Pianca D, Candeloro E, Colombo R. Quantitative measures of spasticity in post-stroke patients. *Clin Neurophysiol* 2000 ; 111:1015-1022

Powers RK, Marder-Meyer J, Rymer WZ. Quantitative relations between hypertonia and stretch reflex threshold in spastic hemiparesis. *Ann Neurol.* 1988 ; 23 : 115-24

Price R, Lehmann JF. Influence of muscle cooling on the viscoelastic response of the human ankle to sinusoidal displacements. *Arch Phys Med Rehabil.* 1990 Sep ; 71 (10) : 745-8

Proske U, Morgan DL. Do cross-bridges contribute to the tension during stretch of passive muscle? *Journ of muscle and cell motility* 1999 ; 20 (5-6) : 433-442

Rabita G, Dupont L, Theveon A, Lenseel-Corbeil G, Perot C, Vanvelcenaher J. Quantitative assessment of the velocity-dependent increase in resistance to passive stretch in spastic plantarflexors. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2005 ; 20 : 745-53

Remy Neris, Denys P, Bussel B. *Physiopathologie de la spasticité.* In Perennou D, Bussel B, Pelissier J. *La spasticité.* Paris : Masson 2001 : 9-13

Sloan RL, Sinclair E, Thompson J, Taylor S, Pentland B. Inter-rater reliability of the modified Ashworth Scale for spasticity in hemiplegic patients. *Int J Rehabil Res* 1992 ; 15 :158-61

Sapega AA, Nicholas JA, Sokolow D, Saraniti A. The nature of torque "overshoot" in Cybex isokinetic dynamometry. *Med Sci Sports Exerc.* 1982 ;14(5) : 368-75

Sheean. The physiopathology of spasticity, *Eur J Neurol* 2002 ; 9(suppl) : 3-9

Sherrington CS. *The Reflex Activity of the Spinal Cord* Oxford.1932

Sloan RL, Sinclair E, Thompson J, Taylor S, Pentland B. Inter-rater reliability of the modified Ashworth Scale for spasticity in hemiplegic patients. *Int J Rehabil Res* 1992 ; 15 :158-61

Starsky AJ, Sangani SG, Mc Guire JR, Logan B, Schmidt BD. Reliability of biomechanical spasticity measurements at the elbow of people post stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2005 ; 86 :1648-54

Thilmann A F , Fellows SJ, Garms E. The mechanism of spastic muscle hypertonus : variations in reflex gain over the time course of spasticity. *Brain* 1991 ; 145 : 233-244

Toft E, Linkjaer R, Rasmussen A, Stretch reflex variation in the relaxed and preactivate quadriceps muscle of normal human/ *Acta Neurol Scand* 1991 ; 84 : 311-5

Treffaha D, Mourot L, Vernochet P, Ounissi F, Regnard J, Monpère C, Dugué B. Relevance of water gymnastics in rehabilitation programs in patient with chronic heart failure or coronary artery disease with normal left ventricular function. *J Card Fail.* 2011 Aug ;17 (8) : 676-83

Vodovnik L, Bowman BR, Bajid T. Dynamics of spastic joint. *Med Biol Eng Comput* 1984 ; 22 : 63-69

ANNEXES 1

Échelle I. Echelle d'Ashworth modifiée (Bohannon et Smith 1987)

Echelle de la spasticité (Ashworth modifiée)	
0	Tonus musculaire normal
1	Discrète augmentation du tonus musculaire se manifestant par un accrochage discret ou une résistance minime en fin de mouvement, lorsque le membre atteint est mobilisé en flexion ou en extension
1+	Discrète augmentation du tonus musculaire se manifestant par un accrochage discret suivi par une résistance minime pendant au moins la moitié du reste du mouvement
2	Augmentation plus marquée du tonus musculaire tout au long du mouvement, mais permettant une mobilisation aisée du membre atteint
3	Augmentation considérable du tonus qui rend la mobilisation passive difficile
4	Le membre est impossible à mobiliser

Echelle 2. Echelle de Held et Tardieu (Held et Dizien, 1998)

Vitesse de mobilisation	V 1	Vitesse lente
	V2	Vitesse correspondant à la chute du membre
	V3	Vitesse rapide
Angle d'apparition	Angle d'apparition du réflexe myotatique. D'autant plus petit que la vitesse est rapide et la spasticité plus importante	
Intensité	0	Pas de signe d'hypertonie
	1	Réaction myotatique visible ou palpable
	2	Arrêt un court instant de la mobilisation
	3	Présence de secousses cloniques ou d'arrêt de la mobilisation.
	4	Spasticité invincible

ANNEXES 2

Valeurs minimales et maximales chez les sujets sains versus sujets spastiques à 120°/sec et 160°/sec avant et après la piscine (intervalles)

		120°/sec				160°/sec			
		minimum		max		minimum		max	
		Avant piscine		Après piscine		Avant piscine		Après piscine	
		Sains	Spastiques	Sains	Spastiques	Sains	Spastiques	Sains	Spastiques
Pic de couple valeur absolue	1,2	2,3	3,9	48,2	0,6	3,9	4,7	48,2	
Moyenne pic de couple	1,5	2,7	3,2	36,2	0,8	9,6	3,5	34,3	
Angle de survenue	25	34	85	95	30	53	80	90	
Moyenne angle de survenue	32	63	72	95	30	74	73	90	
Coefficient de variation du W	0,1	0,4	16	29,4	0,4	0,9	2,2	66,3	
moyenne coefficient de var W	2	1,7	7	20,1	0,5	6,9	2,6	32,7	
Travail total	2,3	4,9	8,8	46,6	1	8,1	8,3	49,7	
Moyenne du travail total	2,7	5,25	7,1	40	1,5	11,7	7,5	38,6	

Intervalles de référence des paramètres à partir de notre population

		120°/sec				160°/sec			
		minimum		max		minimum		max	
		Avant piscine		Après piscine		Avant piscine		Après piscine	
		Sains	Spastiques	Sains	Spastiques	Sains	Spastiques	Sains	Spastiques
Pic de couple valeur absolue	1,2	3	3,5	38,5	1,1	3,7	4,3	40,6	
Moyenne pic de couple	1,3	4,2	2,9	20,2	1,4	7,8	3,4	28,3	
Angle de survenue	30	62	85	95	30	64	80	90	
Moyenne angle de survenue	38	71	85	95	37	75	80	90	
Coefficient de variation du W	0,4	3,3	10	39	0,1	1,4	8,1	56,5	
moyenne coefficient de var W	0,6	6,4	5	37,3	0,3	7,5	4,4	37,5	
travail total	2,4	5,2	8,2	40	2,6	6,1	8,6	35,5	
Moyenne du travail total	2,5	7,6	8,1	29	2,2	11,8	7,6	29,1	

Etendue des valeurs

		120°/sec				160°/sec			
		Avant piscine		Après piscine		Avant piscine		Après piscine	
		Sains	Spastiques	Sains	Spastiques	Sains	Spastiques	Sains	Spastiques
Pic de couple valeur absolue	[1,2 ; 3,9]	[2,3 ; 48,2]	[1,2 ; 3,5]	[3 ; 38,5]	[0,6 ; 4,7]	[2,3 ; 42,8]	[1,1 ; 4,3]	[3,7 ; 40,6]	
Moyenne pic de couple	[1,5 ; 3,2]	[2,7 ; 36,2]	[1,3 ; 2,9]	[2,9 ; 20,2]	[0,8 ; 3,5]	[2,7 ; 36,2]	[1,4 ; 3,4]	[7,8 ; 28,3]	
Angle de survenue	[25 ; 85]	[34 ; 95]	[30 ; 85]	[62 ; 95]	[30 ; 30]	[53 ; 90]	[30 ; 80]	[64 ; 90]	
Moyenne angle de survenue	[32 ; 72]	[63 ; 95]	[38 ; 85]	[71 ; 95]	[30 ; 73]	[74 ; 90]	[37 ; 80]	[75 ; 90]	
Coefficient de variation du W	[0,1 ; 16]	[0,4 ; 29,4]	[0,4 ; 10]	[3,3 ; 39]	[0,4 ; 2,2]	[0,9 ; 66,3]	[0,1 ; 8,1]	[1,4 ; 56,5]	
moyenne coefficient de var W	[2 ; 7]	[1,7 ; 20,1]	[0,6 ; 5]	[6,4 ; 37,3]	[0,5 ; 2,6]	[6,9 ; 32,7]	[0,3 ; 4,4]	[7,5 ; 37,5]	
travail total	[2,3 ; 8,8]	[4,9 ; 46,6]	[2,4 ; 8,2]	[5,2 ; 40]	[1 ; 8,3]	[8,1 ; 49,7]	[2,6 ; 8,6]	[6,1 ; 35,5]	
Moyenne du travail total	[2,7 ; 7,1]	[5,25 ; 40]	[2,5 ; 8,1]	[7,6 ; 29]	[1,5 ; 7,5]	[11,7 ; 38,6]	[2,2 ; 7,6]	[11,8 ; 29,1]	

ANNEXES 3

Exemple de tableau de recueil de données

Angular speed		120°/sec										160°/sec									
Station		S 1		Avt		S 5		Avt		S 10		Mean		SD		S 1		S 5		S 10	
Section nomencl		Ap		Avt		A3		Avt		Ap		Prior Pool		After pool		Prior Pool		After pool		Prior Pool	
Peak Torque		5,70		6,80		8,80		3,70		8,80		3,00		5,00		18,70		26,50		10,30	
Angle onset		95,00		95,00		72,00		64,00		67,00		71,33		20,98		65,00		66,00		70,00	
Coeff of variat IV		13,80		14,60		21,50		10,40		24,70		3,30		5,71		13,30		20,50		4,90	
W repeat 1		3,46		4,89		7,64		3,66		5,17		2,94		3,63		2,10		3,97		7,72	
W repeat 2		3,29		3,23		5,29		3,07		3,72		2,54		2,95		1,05		16,11		8,29	
W repeat 3		4,59		4,25		4,02		2,51		7,58		2,61		3,12		1,91		17,24		7,08	
Total Work (S %)		11,34		12,37		16,95		9,24		16,57		3,09		14,95		3,14		42,72		23,09	
Subtra: Alter - Prior		1,10		0,19		-5,10		-0,58		-5,80		-0,66		-8,30		-0,44		-16,20		-0,61	
Alt-Prio Peak Torque / %		0,00		0,00		-8,00		-0,11		-12,00		-0,18		-1,00		-0,02		4,00		0,06	
Alt-Prio Angle onset / %		0,80		0,06		-11,10		-0,52		-21,40		-0,87		-4,90		-0,25		-0,76		-0,76	
Alt-Prio Coeff of var / %		1,03		0,09		-7,71		-0,45		-8,48		-0,51		-11,79		-0,34		-19,63		-0,46	
Alt-prio total Work / %		S subtra S 15 - S		-3,10		0,00		-0,70		3,10		-3,80		-0,10		-1,10		-17,20		-3,70	
Peak Torque		-31,00		-5,00		-9,00		-28,00		-42,00		-3,80		6,00		24,00		20,00		25,00	
Angle onset		-4,20		3,20		-7,10		10,90		-11,30		-1,30		-9,50		16,70		8,40		-15,50	
Coeff of variat IV		-3,13		-0,38		-1,15		5,73		-4,28		1,30		-22,97		-9,46		-13,33		-8,16	
S W		54,41		100,00		81,08		88,36		44,12		99,04		35,09		64,08		195,34		63,46	
Pte: couple		67,37		93,06		85,94		116,42		57,89		107,36		36,36		128,57		81,85		140,63	
Angle: turtv		71,23		114,88		31,73		80,97		22,60		3,403		271,43		382,46		92,36		382,46	
Coeff & W		74,70		97,76		87,55		90,74		65,40		105,97		46,23		59,03		161,27		62,55	
S W																					

Variation du travail total entre avant et après piscine chez les sujets spatiaux à 120 et 160°/sec

POPULATION		120°/sec										160°/sec									
Vitesse angulaire		120°/sec		160°/sec		120°/sec		160°/sec		120°/sec		160°/sec		120°/sec		160°/sec		120°/sec		160°/sec	
Moyenne At bainho S1,5:10		10,03		11,72		13,42		17,16		5,25		12,48		40,07		38,64		14,65		31,65	
Moyenne Api bainho S1,5:10		11,13		14,64		7,63		11,77		19,67		20,71		26,13		28,14		9,9		19,5	
Différence des moyennes		1,1		2,92		-5,79		-5,39		14,72		8,23		-10,94		-9,5		-5,05		-12,35	
Différence des moyennes		10,97%		24,91%		-43,14%		-31,41%		280,38%		65,65%		-27,30%		-33,76%		-38,78%		-14,38%	
écart type At S1,5:10		1,56		3,42		2,81		10,09		0,39		3,33		11,38		12,25		3,14		11,55	
écart type Apr S1,5:10		0,41		2,24		1,87		6,29		17,45		12,9		6,16		5,37		2,22		5,13	
Diff écart type entre At et Apr		-1,15		-1,18		-0,94		-3,8		17,06		9,57		-5,22		-6,88		-0,92		-6,4	
Diff écart type entre At et Apr		-73,72%		-34,50%		-43,46%		-37,66%		4374,36%		287,36%		-45,67%		-56,16%		-29,30%		-55,51%	

Variation du travail total entre avant et après piscine chez les sujets spatiaux à 120 et 160°/sec

POPULATION																	
Vitesse angulaire		120°/sec		160°/sec		120°/sec		160°/sec		120°/sec		160°/sec		120°/sec		160°/sec	
Différence des moyennes du pic de couple		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Différence des moyennes de l'angle de surv		=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Différence des moyennes du coeff de variat		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Différence des moyennes du travail total		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Résultats		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Synthèse		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tétrapégie		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Parapégie		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PC		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PC		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEF		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SEP		+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Hémiplégie		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hémiplégie		+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
SEP		+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+

ANNEXES 4

Comparaison entre patients des 4 paramètres évalués

Angular speed		120°/sec										160°/sec																			
Session	Art	S1	Ap	Art	S5	Ap	Art	S10	Ap	Prior Pool	Mean	After pool	Prior Pool	SD	After pool	Art	S1	Ap	Art	S5	Ap	Art	S10	Ap	Prior Pool	Mean	After pool	Prior Pool	SD	After pool	
Session moment																															
Peak Torque	4.10	6.00	9.30	9.20	7.00	9.90	6.80	8.37	2.61	2.68	3.30	18.00	9.10	12.50	14.00	10.90	9.00	9.00	13.80	5.05	3.72										
Peak Torque	9.90	5.30	7.20	3.00	7.13	4.40	8.08	4.23	1.58	1.16	14.30	9.40	15.10	3.70	4.90	10.70	11.63	7.93	5.83	3.72											
Peak Torque	2.30	8.40	2.30	7.50	3.40	33.50	2.67	16.47	0.61	14.16	7.20	9.40	17.20	13.70	5.00	33.60	9.73	18.90	6.54	12.91											
Peak Torque	48.20	38.60	32.30	19.40	28.10	2.70	36.20	20.23	10.60	17.16	48.20	40.60	32.90	12.15	22.00	22.20	34.37	28.32	13.16	10.64											
Peak Torque	5.70	6.80	8.80	3.70	8.80	3.00	7.77	4.50	1.79	2.62	18.70	10.40	26.50	10.30	9.30	6.60	18.17	9.10	8.61	2.17											
Peak Torque	25.40	14.10	12.80	26.10	9.50	10.30	15.90	16.83	8.39	8.15	17.10	16.40	18.40	15.10	8.40	12.60	14.63	14.70	5.44	1.93											
Peak Torque	3.20	13.30	4.80	11.80	7.70	4.70	5.23	9.93	2.28	4.19	12.20	13.20	5.40	23.70	11.30	7.02	9.63	14.64	3.69	8.43											
Peak Torque	3.10	2.60	8.10	2.60	3.50	2.60	4.90	2.60	2.78	0.60	3.20	3.50	10.80	2.70	4.30	3.10	6.03	3.10	4.18	0.40											
Peak Torque	2.90	2.90	2.80	4.30	4.20	2.30	3.30	3.17	0.78	1.63	2.20	4.10	7.10	4.30	5.20	4.70	5.07	4.37	2.10	0.31											
Angle onset	91.00	92.00	95.00	95.00	95.00	95.00	93.67	94.00	2.31	1.73	81.00	90.00	90.00	50.00	30.00	90.00	87.00	90.00	5.20	0.00											
Angle onset	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	0.00	0.00	90.00	90.00	90.00	50.00	30.00	90.00	90.00	90.00	0.00	0.00											
Angle onset	34.00	62.00	79.00	95.00	76.00	95.00	63.00	84.00	25.16	19.15	90.00	90.00	90.00	50.00	30.00	90.00	90.00	90.00	0.00	0.00											
Angle onset	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	0.00	0.00	90.00	90.00	90.00	50.00	30.00	90.00	90.00	90.00	0.00	0.00											
Angle onset	95.00	95.00	72.00	64.00	67.00	55.00	78.00	71.33	14.93	20.18	65.00	64.00	65.00	70.00	30.00	90.00	73.67	74.67	14.15	13.61											
Angle onset	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	0.00	0.00	95.00	95.00	90.00	50.00	53.00	90.00	79.33	91.67	22.94	2.89											
Angle onset	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	0.00	0.00	90.00	90.00	48.00	50.00	30.00	90.00	76.00	90.00	24.25	0.00											
Angle onset	81.00	66.00	82.00	83.00	88.00	30.00	84.00	59.67	4.36	27.16	58.00	83.00	87.00	77.00	33.00	36.00	76.00	65.33	15.72	25.58											
Angle onset	95.00	25.00	95.00	78.00	74.00	95.00	88.00	66.00	12.12	36.11	66.00	75.00	70.00	11.00	77.00	84.00	71.00	80.00	5.57	4.58											
Coeff of variat W	2.80	4.60	5.60	5.80	2.50	8.70	3.63	6.37	1.71	2.11	1.70	30.50	6.30	7.40	12.80	2.50	6.93	13.47	5.58	14.95											
Coeff of variat W	23.00	13.90	13.80	3.40	25.70	11.00	20.83	9.43	6.21	5.12	34.50	19.10	8.70	5.10	4.40	12.90	15.87	12.37	16.28	7.02											
Coeff of variat W	4.20	36.70	8.20	39.00	14.70	36.40	9.08	37.37	5.30	1.42	16.20	19.60	66.30	16.50	15.60	36.40	32.70	37.50	29.10	18.47											
Coeff of variat W	16.70	8.03	4.60	8.90	24.20	14.70	15.17	10.54	9.89	3.63	13.90	15.70	16.20	3.60	9.60	7.50	13.23	8.93	3.35	6.18											
Coeff of variat W	13.80	14.60	21.50	10.40	24.70	3.30	20.00	9.43	5.60	5.71	19.30	14.40	20.50	4.90	3.80	13.30	14.53	10.87	9.31	5.20											
Coeff of variat W	29.40	23.80	3.10	45.10	10.60	11.20	14.37	26.70	13.55	17.14	6.20	5.90	5.60	3.60	10.10	13.20	7.30	7.57	2.44	5.01											
Coeff of variat W	1.40	26.50	3.30	14.80	0.40	11.60	1.70	17.63	1.47	7.64	8.40	6.30	0.90	12.50	11.70	12.40	10.40	10.40	5.53	3.55											
Coeff of variat W	2.00	1.00	10.50	1.70	2.60	0.20	5.03	0.97	4.71	0.15	4.20	2.60	8.60	1.80	4.00	2.60	5.60	2.33	2.60	0.46											
Coeff of variat W	10.10	9.10	13.50	16.60	5.10	9.70	9.57	11.80	4.23	4.17	3.30	2.80	4.20	0.90	2.70	11.50	3.40	5.07	0.75	5.65											
Total Work (° W)	8.45	10.88	11.57	11.61	10.08	10.91	10.03	11.13	1.56	0.11	8.10	18.31	11.17	12.17	14.89	13.45	11.72	14.64	3.42	3.24											
Total Work (° W)	16.54	8.35	11.08	5.51	12.65	9.03	13.12	7.63	2.81	1.87	16.23	10.62	27.68	6.14	7.57	18.56	17.16	11.77	10.09	6.29											
Total Work (° W)	4.90	11.79	5.19	8.12	5.67	40.01	5.25	19.97	0.39	17.15	12.56	14.50	11.76	12.08	9.11	35.54	12.48	20.71	3.33	12.90											
Total Work (° W)	46.63	35.80	46.64	23.66	26.93	27.93	40.07	29.13	11.38	6.16	49.75	35.13	40.68	27.54	25.50	24.75	38.64	29.14	12.25	5.37											
Total Work (° W)	11.34	12.37	16.95	9.24	16.57	8.09	14.95	9.90	3.11	2.12	33.08	21.79	41.72	23.09	19.75	13.63	31.85	19.50	11.53	5.13											
Total Work (° W)	31.18	16.60	19.45	25.21	11.00	10.95	20.54	17.59	10.13	7.18	23.69	22.59	21.23	11.15	10.83	16.02	19.25	19.92	7.30	3.45											
Total Work (° W)	5.40	18.73	8.98	14.73	14.39	7.61	9.39	13.69	4.53	5.63	18.07	22.08	8.33	12.98	16.25	10.96	14.22	18.67	5.18	6.70											
Total Work (° W)	3.71	6.98	12.66	6.41	6.82	6.48	7.73	6.62	4.51	0.11	7.37	3.95	17.16	6.82	8.06	7.08	10.86	5.95	5.46	1.74											
Total Work (° W)	5.25	4.65	5.33	6.82	9.49	2.42	6.69	4.63	2.41	2.10	5.11	6.25	11.65	4.87	6.01	5.73	8.36	5.62	4.59	0.70											

ANNEXES 5

Moyenne des valeurs numériques obtenues entre avant et après les 3 séances de travail en piscine. En police rouge les hausses, en vert les baisses, en bleu les valeurs inchangées, à 120°/sec à gauche et 160°/sec à droite (base de référence du tableau 8 page)

Patients	Variat	Pic de couple		Angle de survenue		Coefficient de variation		Travail total	
		Avant P	Après P	Avant P	Après P	Avant P	Après P	Avant P	Après P
1	-	9,00	13,80	93,67	94,00	2,13	0,37	10,03	11,13
2	+	11,63	7,93	95,00	95,00	20,83	9,43	13,42	7,63
3	+	9,73	18,90	63,00	84,00	9,13	37,37	5,25	18,97
4	+	34,37	28,32	95,00	95,00	15,17	10,54	40,07	29,13
5	+	18,17	9,10	78,00	71,33	20,00	9,43	14,95	9,90
6	+	14,63	14,70	95,00	95,00	14,17	26,70	20,54	17,59
7	+	9,63	14,64	95,00	95,00	1,70	17,63	9,59	13,69
8	+	6,03	3,10	84,00	59,67	5,60	2,33	7,73	6,62
9	+	5,07	4,37	88,00	66,00	3,40	5,07	6,69	4,63

Patients	Variat	Pic de couple		Angle de survenue		Coefficient de variation		Travail total	
		Avant P	Après P	Avant P	Après P	Avant P	Après P	Avant P	Après P
1	-	6,80	8,37	87,00	90,00	4,99	13,47	11,72	14,64
2	-	8,08	4,23	90,00	90,00	15,87	12,37	17,16	11,77
3	+	2,67	16,47	90,00	90,00	31,70	17,50	12,48	28,71
4	+	36,20	20,23	90,00	90,00	13,23	8,93	31,85	19,50
5	+	7,77	4,50	73,67	74,67	14,53	10,87	19,25	19,92
6	+	15,90	16,83	79,33	91,67	7,30	7,57	14,22	18,67
7	+	5,23	9,93	76,00	90,00	7,00	10,40	14,22	18,67
8	+	4,90	2,60	76,00	65,33	5,03	0,97	10,86	5,95
9	-	3,30	3,17	71,00	80,00	9,57	11,80	8,36	5,62

