

Original article / Article original

Superimposed electrical stimulation improves mobility of pre-stiff thumbs after ulnar collateral ligament injury of the metacarpophalangeal joint: A randomized study

L'électrostimulation surimposée améliore la mobilité du pouce pré-raide après blessure du ligament collatéral ulnaire de l'articulation métacarpo-phalangienne : une étude randomisée

B. Moineau^a, M.P. Boisgontier^{a,b,*}, c

^a UJF-Grenoble 1/CNRS/TIMC-IMAG UMR 5525, 38041 Grenoble, France

^b KU Leuven, Research Center for Movement Control and Neuroplasticity, Department of Biomedical Kinesiology, Tervuurse Vest 101, 3000 Leuven, Belgium

^c Centre grenoblois de rééducation de la main et du membre supérieur, 1, boulevard Clémenceau, 38100 Grenoble, France

Received 11 December 2013; accepted 19 April 2014

Abstract

Objective. – This study aimed at testing the ability of the superimposed electrical stimulation technique to restore the mobility of pre-stiff thumbs after operative repair for rupture of the ulnar collateral ligament.

Material and methods. – Eight patients demonstrating a pre-stiff metacarpophalangeal joint were involved in two rehabilitation sessions of a counterbalanced design. In the voluntary contraction session, they performed 20 min of repeated active flexions of the impaired metacarpophalangeal joint. In the superimposed electrical stimulation session, they performed 20 min of percutaneous neuromuscular electrical stimulations which were superimposed to voluntary flexion.

Results. – Mean active range of motion improvement from pre- to post-session was significantly greater in the superimposed electrical stimulation condition compared to the voluntary contraction condition (11 ± 5 deg versus 3 ± 4 deg; $P < 0.01$).

Conclusion. – Superimposing electrical stimulation to voluntary contractions is an efficient technique to improve active range of motion of the pre-stiff metacarpophalangeal joint of the thumb.

© 2014 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Hand; Injury; Physical agent; Rehabilitation

Résumé

Objectif. – Cette étude avait pour objectif de tester l'efficacité de la technique d'électrostimulation surimposée sur la mobilité du pouce pré-raide après réparation chirurgicale d'une rupture du ligament collatéral ulnaire.

Matériel et méthodes. – Huit patients présentant une articulation métacarpo-phalangienne pré-raide ont participé à deux sessions de rééducation dans un modèle contrebalancé. Dans la session de contraction volontaire seule, les patients réalisaient 20 minutes de flexions actives de l'articulation métacarpo-phalangienne opérée. Dans la session de stimulation électrique surimposée, ils réalisaient 20 minutes de flexions de cette même articulation avec stimulation électrique transcutanée surimposée à la contraction volontaire.

Résultats. – L'amélioration des amplitudes articulaires actives pré- versus post-test était significativement supérieure dans la condition de stimulation électrique surimposée en comparaison de la condition active volontaire (11 ± 5 deg versus 3 ± 4 deg ; $p < 0,01$).

Conclusion. – Surimposer une stimulation électrique à la contraction musculaire volontaire est une technique efficace pour améliorer l'amplitude de l'articulation métacarpo-phalangienne de pouces pré-raides.

© 2014 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Main ; Blessure ; Agent physique ; Rééducation

* Corresponding author.

E-mail address: Matthieu.Boisgontier@faber.kuleuven.be (M.P. Boisgontier).

1. English version

1.1. Abbreviations

MP	metacarpophalangeal joint
SES	superimposed electrical stimulation
UCL	ulnar collateral ligament
VAS	visual analogic scale
VOL	voluntary active contraction

1.2. Introduction

Rupture of the ulnar collateral ligament (UCL) of the metacarpophalangeal joint (MP) of the thumb, also called the skier's (acute) or gamekeeper's thumb (chronic), is frequently associated to injuries to the dorsal capsule, palmar plate, and adductor aponeurosis [1–3]. Post-surgically, the thumb is immobilized during 4 to 6 weeks [4,5] which increases the risk of stiffness [6–9]. As range of motion loss is an important factor for patient dissatisfaction with the outcome of UCL surgery [8], avoiding stiffness (i.e., a permanent loss of range) is a priority.

In rehabilitation, stiffness resulting from inflammation and adhesions [10] is one of the potentially incapacitating complications that often challenges therapeutic skills [11–14]. Joint mobilization has already proved to be efficient in preventing stiffness. Specifically, joint mobilization increases tensile strength of the wound [15], directs the alignment and orientation of collagen fibers [16], enhances tendon gliding [17], reduces tendon adhesions [18] and limits joint stiffness [19]. However, in some cases, adherences between tissues can remain despite the use of classical rehabilitative techniques. In this context, studies that have investigated the effects of electrical stimulation on range of motion recovery may be of interest [20,21]. Indeed, adhesions are mainly composed of collagen, a tissue whose resistance to gradual deformation by tensile stress (i.e., viscosity) depends on its previous history of length changes [22]. This mechanical property is defined as thixotropy [23]. As a consequence, artificially prolonging the stress imposed to adhesions would reduce their viscosity and result in greater deformation of this tissue. Clinically, it would prevent stiffness for a longer period of time thereby increasing

the possibility for recovering greater range of motion. The superimposed electrical stimulation technique [24,25], i.e., percutaneous electrical stimulation superimposed to a voluntary muscle contraction, has recently proved to prolong the muscle ability to repeat maximal contractions without altering force parameters over time [26].

Here, we intended to compare, for the first time, the effects of voluntary muscular contraction (VOL) and superimposed electrical stimulation (SES) on the range of motion recovery of pre-stiff MP of the thumb after operative repair of UCL. It was hypothesized that the SES technique would be more efficient than VOL to restore joint mobility of the thumb's MP joint.

1.3. Material and methods

1.3.1. Patients

Eight volunteers (age: 43 ± 12 years; 3 females) were recruited among patients who were undergoing treatment within a hand therapy center (Centre grenoblois de rééducation de la main et du membre supérieur, France) to resume functional use of their thumb after UCL surgery (different surgeons). Postoperatively, the involved MP joint was immobilized in a thermoplastic splint for 4 weeks [4]. After these 4 weeks, patients were allowed to start active gentle flexion/extension exercises [4]. Resistive work was started at 6 weeks [5,17,23]. To be included in the study, patients had to be between 20 and 65 years old. In addition, after 8 weeks post-surgery (61 ± 9 days) all patients who demonstrated a loss of range of motion in the injured MP of at least 10 deg (31 ± 9 deg) when compared to the opposite thumb and whose range was not improving anymore using classical rehabilitative techniques (i.e., pre-stiff patients) were included in the study. Exclusion criteria were a history of complex regional pain syndrome, peripheral vascular disease, peripheral neuropathy, central nervous system dysfunction, and diabetes. Features of the patient sample are reported in Table 1. Patients provided written informed consent and their rights were protected as required by the Helsinki Declaration (1964) and the local Ethics Committee.

1.3.2. Task and procedures

Patients were seated, their shoulder abducted approximately 15 deg and neutrally rotated, elbow flexed 110 deg, forearm in a

Table 1
Patients.

Patient	Age	Injury	Surgery	ROM deficit	Pain	Days post-surgery
1	35	Corporeal tear	Direct suture of the UCL to itself	29°	1.7	80
2	37	Stener lesion	Intraosseous suture anchor (Mitek)	20°	1.0	56
3	43	Distal tear	Direct suture of the UCL to the periosteum	30°	0.2	60
4	52	Stener lesion	Intraosseous suture anchor (Mitek)	22°	0.3	59
5	63	Proximal tear	Direct suture of the UCL to the periosteum	10°	0.0	54
6	50	Proximal tear	Direct suture of the UCL to the periosteum	15°	0.3	53
7	38	Distal tear	Direct suture of the UCL to the periosteum	16°	0.0	59
8	25	Proximal tear	Direct suture of the UCL to the periosteum	18°	0.1	70

UCL: ulnar collateral ligament; ROM deficit: pre-session difference in MP active flexion compare to contralateral thumb; VAS: mean of pre-session pain levels assessed with a visual analogic scale with 10 being the maximal value; number of days post-surgery on the first rehabilitation session.

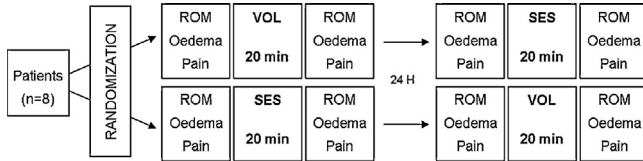


Fig. 1. Study design (ROM: measure of active range of motion; oedema: perimeter measure of oedema; pain: measure of pain through a visual analogic scale; SES: superimposed electrical stimulation technique session; VOL: voluntary muscular contraction session).

neutral position and wrist extended 30 deg. Prior to sessions, 5 min of passive mobilizations were performed by a physiotherapist at the carpometacarpal, MP and interphalangeal joints of the thumb. Patients were then instructed to maximally bend their thumb each time they felt electrical stimulation. This task was performed in two experimental conditions (VOL and SES) of 20 min each in a counterbalanced design (Fig. 1). All patients performed the two conditions 24 hours apart. Order of the conditions was randomized across patients. Patients were acquainted with the protocol and the sensation of neuromuscular electrical stimulation through participation in a single practice session prior to testing. The primary study endpoint was the range of motion in the injured MP. In this preliminary study, the variance value was unknown which prevented from computing the number of required participants.

For electrical stimulation, a portable stimulator (Danmeter[®], Elpha 2000 model) was used to deliver constant current, rectangular, symmetric, biphasic pulses. Train characteristics were the following [26]: 30 Hz frequency, 200 μs pulse duration, and 40% duty cycle (4 s on, 6 s off). Trains were delivered at a self-set maximal tolerated intensity (15 ± 5 mA). Electrical stimulation was applied using two stainless steel electrodes covered with a wet sponge (3.5 × 2 cm) placed on the involved upper extremity and maintained onto the skin with hook-and-loop fasteners. Sponge electrodes were preferred to adhesive ones to easily adjust positioning and get maximal effect on the MP joint. The

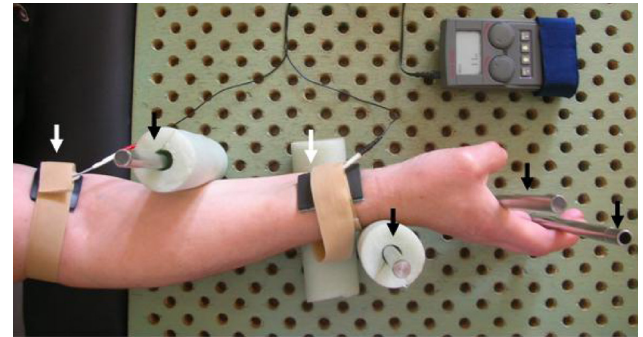


Fig. 2. Set up for the superimposed electrical stimulation. This picture shows proximal and distal electrodes positioning (white arrows) and the joint blocking set up on the hand therapy pegboard (black arrows).

proximal electrode was positioned onto the elbow flexion crease, medially to the biceps brachii tendon, onto the median nerve that is closer to the skin at this point. The distal electrode was positioned at the forearm, on the flexor pollicis longus muscle which is close to the anterior aspect of the radius. Stimulation of the flexor pollicis longus muscle was preferred to the flexor pollicis brevis because pre-tests showed greater efficiency of this positioning for MP flexion. Exact positioning choice of the muscular electrode varied from individual to individual based on which position allowed the best thumb MP flexion. To set the pace in the VOL condition, electrical trains were delivered at a sensitive intensity on the forearm of the non-injured side. Because of the neuromuscular electrical stimulation, joint blocking was required to focus muscular actions on the MP [27]. Specifically, blocking of the wrist was carried out through a hand therapy pegboard (Fig. 2).

Immediately before and after each session, active range of motion, pain, and oedema of participants were collected by the same physical therapist who was blinded to the tested condition. Range of motion was measured using a finger goniometer (EMS Physio[®]) on the dorsal aspect of MP [28,29].

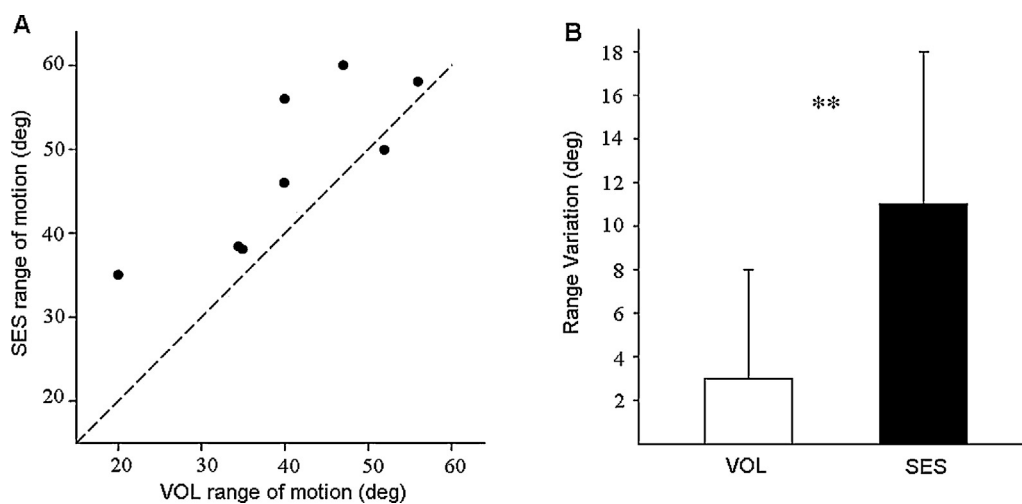


Fig. 3. A. Plot chart of patients' post-test range of active flexion performances (in degrees) at the metacarpophalangeal joint in the VOL condition (X-axis) against the SES condition (Y-axis). The interrupted line marked the X = Y values. B. Bar chart of the mean ± S.D. range of active flexion variation between pre- and post-test (deg) in the VOL condition (white bar) and in the SES condition (black bar) (**: $P < 0.01$).

Goniometry of active MP range of motion has demonstrated intrarater reliability ranging from 0.64 to 0.93 (intraclass coefficient) and method errors ranging from 1.23 to 3.47 deg [30]. Pain and oedema were respectively assessed by means of a visual analogue scale (VAS) [31] and joint perimeter.

1.3.3. Data analysis

To test VOL and SES effects on range of motion, pain, and oedema, the difference between pre- and post-session scores was computed for each patient. Results were then submitted to a *t*-test for paired samples. Level of significance was set at $P < 0.05$.

1.4. Results

As illustrated in Fig. 3A, descriptive results evidenced a greater range of flexion post-SES as compared to post-VOL. No patients were lost to follow-up.

As illustrated in Fig. 3B, analysis of the range of motion variation demonstrated that range improvement between pre- and post-session measures was significantly greater in the SES compared to VOL condition (11 ± 5 deg versus 3 ± 4 deg; mean \pm S.D.; $P < 0.01$). The range of motion variation was significantly different from zero in the SES condition ($P < 0.05$) but not in the VOL one ($P > 0.05$). Levels of post-VOL and post-SES pain were very low (VAS score = 0.7 ± 0.8 and 1.0 ± 0.9 , respectively) and not different from pre-test (VAS score = 0.4 ± 0.6 and 0.5 ± 0.7 , respectively; $P_s > 0.05$). The VOL and SES conditions had no significant effect on oedema (perimeter variation = 1 ± 1 mm in both conditions; $P_s > 0.05$). Patients reported no side effects.

1.5. Discussion

This study tested the effects of the superimposed electrical stimulation technique versus voluntary active contraction on the range of active flexion in pre-stiff metacarpophalangeal joints of the thumb after operative repair of the ulnar collateral ligament.

Results demonstrated that superimposing electrical stimulation to muscle contraction resulted in greater range improvement as compared to voluntary mobilizations alone. More specifically, the superimposed electrical stimulation technique succeeded in restoring active mobility in ranges that were no longer accessible through voluntary mobilizations. These results in pre-stiff joint support previous studies in non-stiff joints where electrical stimulation was also efficient to recover range of motion after interphalangeal sprain [20] or tenolysis of hand's flexor tendons [21]. Thixotropy, the history-dependent resistance to gradual deformation [23], is likely to constitute the theoretical basis that explains the present and previous results. Indeed, the superimposed electrical stimulation imposes maximal stress on adhesions for a longer period of time compared to voluntary contractions [26] and thereby reduces adhesions' viscosity [22]. As a consequence, resistance of adhesions to gradual deformation is weaker and range of motion recovery improves.

The absence of side effects, together with the absence of pain and oedema differences across conditions and between pre- and post-session values, suggests that the superimposed technique is not going beyond the physiological limits of the metacarpophalangeal joint tissues. The fact that superimposed electrical stimulation technique had no effect on oedema is not surprising at this late stage of the rehabilitation process as there is generally no oedema anymore. This result rules out the possibility for the range improvement to be explained by a reduced oedema and confirms that adhesions' lengthening is the main reason for range improvement when electrical stimulation is superimposed to voluntary contraction.

In conclusion, the superimposed electrical stimulation technique should be considered as an efficient tool to recover range of motion in the pre-stiff metacarpophalangeal joint of the thumb.

The results of the present study call for additional studies testing the effect of electrical stimulation techniques on range of motion improvement. Sample sizes of these studies should be larger than the present one to avoid limited inferences to the general population. In addition, future studies should include a longer follow-up and investigate the clinical importance of such range improvement by means of functional tests [32].

Disclosure of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest concerning this article.

2. Version française

2.1. Abréviations

MP	articulation métacarpo-phalangienne
SES	stimulation électrique surimposée
LCU	ligament collatéral ulnaire
EVA	échelle visuelle analogique
VOL	contraction active volontaire

2.2. Introduction

La rupture du ligament collatéral ulnaire (LCU) de l'articulation métacarpo-phalangienne (MP) du pouce, aussi appelée le « pouce du skieur », est fréquemment associée à des lésions de la capsule dorsale, de la plaque palmaire et de l'aponévrose de l'adducteur [1–3]. Après chirurgie, le pouce est immobilisé pendant 4 à 6 semaines [4,5], ce qui augmente les risques de raideur [6–9]. Étant donné que la perte d'amplitude articulaire est une importante source d'insatisfaction du patient suite à la chirurgie du LCU [8], éviter la raideur (i.e., une perte de mobilité permanente) est une priorité.

En rééducation, la raideur résultant de l'inflammation et des adhérences [10] est une complication potentiellement invalidante qui complique souvent la prise en charge du patient [11–14]. La mobilisation articulaire a déjà montré son efficacité

pour prévenir cette raideur. Elle permet notamment d’améliorer la résistance des tissus à la traction [15], d’organiser l’alignement et l’orientation des fibres de collagène [16], d’améliorer le glissement des tendons [17], de réduire les adhérences [18], et de limiter la raideur articulaire [19]. Cependant, dans certains cas, des adhérences peuvent persister malgré l’utilisation de techniques de rééducation classiques. Dans ce contexte, les études qui se sont intéressées aux effets de l’électrostimulation sur la récupération des amplitudes articulaires pourraient s’avérer intéressantes [20,21]. En effet, les adhérences sont principalement composées de collagène, un tissu dont la résistance à une déformation graduelle imposée par une force de traction (i.e., la viscosité) dépend des déformations préalables [22]. Cette propriété mécanique se nomme la thixotropie [23]. Ainsi, prolonger artificiellement la tension imposée aux adhérences réduirait leur viscosité et produirait une déformation plus importante de ces tissus pour une même force de traction. Cliniquement, cela permettrait de lutter contre la raideur articulaire sur une période de temps plus longue et augmenterait les possibilités de récupérer de la mobilité articulaire. La technique de stimulation électrique neuromusculaire surimposée [24,25], i.e., une stimulation électrique percutanée surimposée à une contraction volontaire, a récemment montré qu’elle pouvait prolonger la capacité du muscle à répéter des contractions maximales sans altérer les paramètres de force au cours du temps [26].

Dans cette étude, nous comparons, pour la première fois, les effets de la contraction musculaire volontaire (VOL) et de la technique de stimulation électrique surimposée (SES) sur la récupération d’amplitude articulaire de l’articulation MP de pouces pré-raides après réparation du LCU. Nous faisons l’hypothèse que la technique SES sera plus efficace que la VOL pour restaurer la mobilité de l’articulation MP.

2.3. Matériel et méthodes

2.3.1. Patients

Huit volontaires (âge : 43 ± 12 ans, 3 femmes) ont été recrutés parmi des patients pris en charge dans un centre spécialisé (Centre grenoblois de rééducation de la main et du membre supérieur, France) pour retrouver un usage fonctionnel de leur pouce après chirurgie réparatrice du LCU (différents chirurgiens). Suite à l’opération, l’articulation MP était

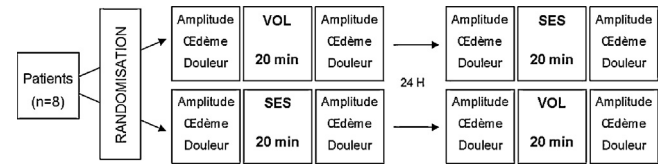


Fig. 1. Organisation de l’étude (amplitude : mesure de l’amplitude articulaire ; œdème : mesure périmétrique de l’œdème ; douleur : mesure de la douleur à l’aide d’une échelle visuelle analogique ; SES : session de stimulation électrique surimposée ; VOL : session de contraction musculaire volontaire seule).

immobilisée 4 semaines dans une attelle thermoformée [4]. À la fin de ces 4 semaines, les patients étaient autorisés à commencer des exercices doux de flexion/extension active [4]. Le travail contre résistance était initié à 6 semaines post-opératoires [5,17,23]. Pour être inclus dans cette étude, les patients devaient être âgés de 20 à 65 ans. En outre, après 8 semaines post-opératoires (61 ± 9 jours), tous les patients présentant un déficit d’amplitude articulaire d’au moins 10 deg par rapport au pouce opposé (31 ± 9 deg) et dont la mobilité ne s’améliorait plus à l’aide des méthodes de rééducation classiques (i.e., patients pré-raides) étaient inclus dans cette étude. Les critères d’exclusion étaient des antécédents de syndrome douloureux régional complexe, une maladie vasculaire périphérique, une neuropathie périphérique, un dysfonctionnement du système nerveux central et du diabète. Les caractéristiques des patients sont présentées dans le Tableau 1. Les patients ont été informés et ont donné leur consentement écrit, libre et éclairé. Leurs droits étaient protégés comme prévu par la déclaration d’Helsinki (1964) et le comité d’éthique local.

2.3.2. Tâche et procédures

Les patients étaient assis, l’épaule à 15 deg abduction en rotation neutre, le coude fléchi à 110 deg, l’avant-bras en position neutre et le poignet à 30 deg d’extension. Avant chaque session, un kinésithérapeute réalisait 5 minutes de mobilisation passive des articulations carpo-métacarpienne, MP et interphalangienne du pouce. Il était ensuite demandé aux patients de plier leur pouce au maximum à chaque fois qu’ils ressentaient une stimulation électrique. Cette tâche fut réalisée dans deux conditions (VOL et SES) de 20 minutes chacune dans un modèle contrebalancé (Fig. 1). Les patients réalisaient les deux conditions à 24 h d’intervalle. L’ordre des conditions était randomisé entre les patients. Les patients étaient familiarisés

Tableau 1
Caractéristiques des patients.

Patient	Âge	Lésion	Chirurgie	Déficit ampli	Douleur	Jours post-opératoires
1	35	Rupture	Suture directe du LCU à lui-même	29°	1,7	80
2	37	Type Stener	Suture intra-osseuse (ancre Mitek)	20°	1,0	56
3	43	Rupture distale	Suture directe du LCU au périoste	30°	0,2	60
4	52	Type Stener	Suture intra-osseuse (ancre Mitek)	22°	0,3	59
5	63	Rupture proximale	Suture directe du LCU au périoste	10°	0,0	54
6	50	Rupture proximale	Suture directe du LCU au périoste	15°	0,3	53
7	38	Rupture distale	Suture directe du LCU au périoste	16°	0,0	59
8	25	Rupture proximale	Suture directe du LCU au périoste	18°	0,1	70

LCU : ligament collatéral ulnaire ; déficit ampli : différence de flexion active entre les deux pouces avant la première session ; douleur : moyenne des douleurs quantifiées à l’aide d’une échelle visuelle analogique, 10 étant la valeur maximale.

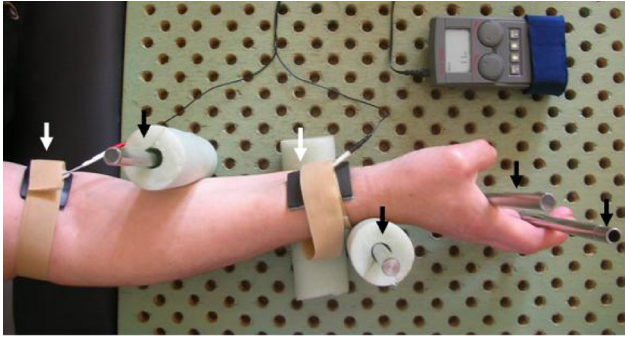


Fig. 2. Installation pour la stimulation électrique surimposée. Cette image montre le positionnement des électrodes distales et proximales (flèches blanches) et le système de blocage des articulations sur le plateau canadien (flèches noires).

avec le protocole et les sensations liées à l'électrostimulation avant l'évaluation initiale au cours d'une session d'essai. Le critère principal de l'étude était l'amplitude de l'articulation MP lésée. Pour cette étude préliminaire, la valeur de la variance étant inconnue, le nombre de participants statistiquement nécessaires n'a pu être calculé.

L'appareil d'électrostimulation (Danmeter[®], modèle Elpha 2000) délivrait un courant constant, rectangulaire, symétrique et biphasique. Ce courant était constitué de pulsations de 200 μ s à une fréquence de 30 Hz et de trains d'impulsions de 4 s pour 6 s de repos [26]. L'intensité de stimulation était réglée par le patient à une intensité maximale tolérée (15 ± 5 mA). La stimulation électrique était appliquée au moyen de deux électrodes en acier inoxydable couvertes d'éponges humides ($3,5 \times 2$ cm) placées sur la peau et maintenues par des bandes velcro. Les éponges humides ont été préférées aux électrodes auto-adhésives pour faciliter le positionnement et optimiser l'effet de la stimulation sur l'articulation MP. L'électrode proximale était positionnée sur

le pli de flexion du coude, médialement par rapport au tendon du biceps brachial, sur le nerf médian, qui est proche de la peau à cet endroit. L'électrode distale était positionnée sur l'avant-bras, sur le muscle long fléchisseur commun, qui est proche de la face antérieure du radius. La stimulation du long fléchisseur commun a été préférée à celle du court fléchisseur commun car des pré-tests ont montré une plus grande efficacité de ce positionnement sur la flexion de l'articulation MP. Le positionnement exact de l'électrode musculaire variait d'un individu à l'autre afin d'obtenir la meilleure flexion possible de la MP du pouce. Afin de donner le rythme dans la condition VOL, les stimulations étaient délivrées à une intensité sensible (non motrice) sur l'avant-bras controlatéral. En raison de la stimulation électrique, un blocage des articulations était nécessaire pour focaliser l'action musculaire sur la MP [27]. En particulier, le poignet était fixé au moyen d'un plateau canadien (Fig. 2).

Immédiatement avant et après chaque session, l'amplitude articulaire active, la douleur et l'œdème des patients étaient mesurés par le même kinésithérapeute, lequel était aveugle aux conditions testées. L'amplitude articulaire était mesurée au moyen d'un goniomètre à doigt (EMS Physio[®]) à la face dorsale de l'articulation MP [28,29]. La goniométrie active de la MP a montré une fiabilité intra-évaluateurs entre 0,64 et 0,93 (coefficient intra-classe) et des erreurs entre 1,23 et 3,47 deg [30]. La douleur et l'œdème étaient respectivement mesurés avec une échelle visuelle analogique (EVA) [31] et par mesure périmétrique de l'articulation.

2.3.3. Analyse des données

Pour tester l'effet de VOL et de SES, les différences d'amplitude articulaire, de douleur et d'œdème entre avant et après mobilisation ont été calculées pour chaque patient. Les résultats étaient ensuite soumis à des tests *t* pour données appariées. Le seuil de significativité était fixé à $p < 0,05$.

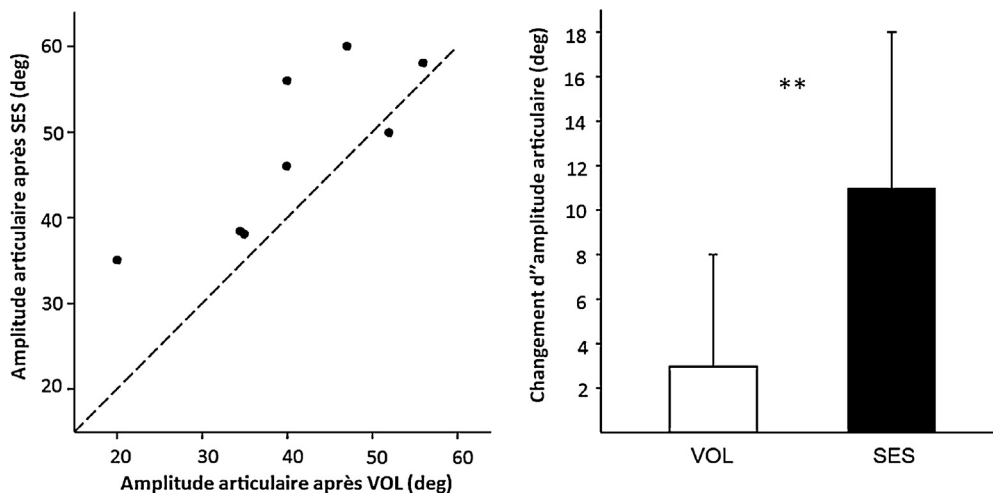


Fig. 3. A. Graphique des performances de flexion active de l'articulation métacarpo-phalangienne (deg) après les sessions en condition SES (axe vertical Y) par rapport à la condition VOL (axe horizontal X). La ligne pointillée représente les valeurs $X = Y$. B. Histogramme des changements d'amplitude de flexion active (moyenne \pm écart-type, deg), en condition VOL (colonne blanche) et en condition SES (colonne noire) (** : $p < 0,01$).

2.4. Résultats

Comme illustré sur la Fig. 3A, les données descriptives montrent une plus grande amplitude de flexion après la condition SES qu'après la condition VOL. Il n'y a pas eu de patients perdus de vue.

Comme illustré sur la Fig. 3B, l'analyse des changements d'amplitude articulaire démontre que l'amélioration de la mobilité entre avant et après la session était significativement plus grande en condition SES qu'en condition VOL (11 ± 5 deg versus 3 ± 4 deg ; moyenne \pm écart-type ; $p < 0,01$). Le changement d'amplitude articulaire était significativement différent de zéro pour la condition SES ($p < 0,05$) mais pas pour la condition VOL ($p > 0,05$). Les niveaux de douleur après les sessions VOL et SES étaient très faibles (scores EVA = $0,7 \pm 0,8$ et $1,0 \pm 0,9$, respectivement) et n'étaient pas différents des niveaux de douleur pré-session (scores EVA = $0,4 \pm 0,6$ et $0,5 \pm 0,7$, respectivement ; $ps > 0,05$). Aucune des deux conditions n'avait d'effet significatif sur l'œdème (modification du périmètre = 1 ± 1 mm dans les deux conditions ; $ps > 0,05$). Les patients n'ont pas rapporté d'effet indésirable.

2.5. Discussion

Cette étude avait pour objectif de tester l'effet de la technique d'électrostimulation surimposée versus la contraction volontaire active sur l'amplitude de flexion active de l'articulation métacarpo-phalangienne de pouce pré-raide après chirurgie réparatrice du ligament collatéral ulnaire.

Les résultats montrent que la stimulation électrique surimposée à la contraction volontaire produit une plus grande amélioration de l'amplitude articulaire par rapport à la mobilisation volontaire seule. Plus spécifiquement, cette stimulation surimposée permettait de récupérer une amplitude de mobilité active qui n'était plus accessible par la mobilisation volontaire seule. Ces résultats obtenus pour des pouces pré-raides corroborent des études antérieures menées sur des articulations non raides où la stimulation électrique était également efficace pour récupérer de la mobilité dans le cadre de rééducation d'entorses inter-phalangiennes des doigts [20] et de ténolyse des tendons des muscles fléchisseurs de la main [21]. Il est vraisemblable que la thixotropie, la résistance historico-dépendante à une déformation [23], puisse expliquer les résultats de cette étude et des précédentes. En effet, la stimulation électrique surimposée impose une tension maximale sur les adhérences pendant une durée plus grande que la contraction volontaire [26] et réduit ainsi la viscosité des adhérences [22]. En conséquence, la résistance des adhérences à une déformation progressive est plus faible et la récupération de l'amplitude articulaire s'améliore.

L'absence de différences de douleur et d'œdème avant et après les sessions suggère que cette technique d'électrostimulation surimposée ne va pas au-delà des limites physiologiques des tissus de l'articulation métacarpo-phalangienne. Le fait que la technique d'électrostimulation surimposée n'ait pas d'effet sur l'œdème n'est pas surprenant à cette phase tardive de la

rééducation puisqu'il n'y a généralement plus d'œdème. Ce résultat élimine la possibilité que l'amélioration de l'amplitude articulaire soit due à la diminution de l'œdème et confirme que l'allongement des adhérences est la raison principale de cette amélioration lorsque l'électrostimulation est surimposée à la contraction volontaire.

En conclusion, la technique d'électrostimulation surimposée devrait être considérée comme un outil efficace pour retrouver l'amplitude de l'articulation métacarpo-phalangienne du pouce pré-raide.

Ces résultats appellent de nouvelles études testant l'effet des techniques d'électrostimulation sur l'amélioration des amplitudes articulaires. Le nombre de participants à ces études devrait être plus important pour permettre une meilleure généralisation des résultats. De plus, les études futures devront inclure un suivi des patients plus long et étudier la portée clinique de cette amélioration d'amplitude articulaire à l'aide de tests fonctionnels [32].

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

References

- [1] Browne E, Dunn HK, Snyder CC. Ski pole thumb injury. *Plast Reconstr Surg* 1976;58:19–23.
- [2] Coonrad RN, Goldner JL. A study of the pathological findings and treatment in soft-tissue injury of the thumb metacarpophalangeal joint. *J Bone Joint Surg* 1968;50A:439–51.
- [3] Moutet F, Guinard D, Lebrun C, Bello-Champel P, Massart P. Metacarpophalangeal thumb sprains based on experience with more than 1,000 cases. *Ann Chir Main* 1989;8:99–109.
- [4] Anderson D. Skier's thumb. *Aust Fam Physician* 2010;39:575–7.
- [5] Lee AT, Carlson MG. Thumb metacarpophalangeal joint collateral ligament injury management. *Hand Clin* 2012;28:361–70.
- [6] Bostock S, Morris MA. The range of motion of the MP joint of the thumb following operative repair of the ulnar collateral ligament. *J Hand Surg [Br]* 1993;18:710–1.
- [7] Chuter GS, Muwanga CL, Irwin LR. Ulnar collateral ligament injuries of the thumb: 10 years of surgical experience. *Injury* 2009;40:652–6.
- [8] Engelhardt JB, Christensen OM, Christiansen TG. Rupture of the ulnar collateral ligament of the metacarpophalangeal joint of the thumb. *Injury* 1993;24:21–4.
- [9] Louis DS, Huebner JJ, Hankin FM. Rupture and displacement of the ulnar collateral ligament of the metacarpophalangeal joint of the thumb. *J Bone Joint Surg Am* 1986;68A:1320–6.
- [10] Jones RW. Adhesions of joints and injury. *Br Med J* 1936;1:925–9.
- [11] Barrois B, Ribinik P, Gougeon F, Rannou F, Revel M. What is the interest of rehabilitation in physical medicine and functional rehabilitation ward after total knee arthroplasty? Elaboration of French clinical practice guidelines. *Ann Readapt Med Phys* 2007;50:729–33.
- [12] Healy C, Mulhall KJ, Nelligan M, Murray P, Bouchier-Hayes D. Postoperative stiffness and adhesion formation around repaired and immobilized Achilles tenotomies are prevented using a model of heat shock protein induction. *J Surg Res* 2004;120:225–9.
- [13] Lilly SI, Messer TM. Complications after treatment of flexor tendon injuries. *J Am Acad Orthop Surg* 2006;14:387–96.
- [14] Panni A, Cerciello S, Vasso M, Tartarone M. Stiffness in total knee arthroplasty. *J Orthop Traumatol* 2009;10:111–8.
- [15] Cyr LM, Ross RG. How controlled stress affects healing tissues. *J Hand Ther* 1998;11:125–30.

- [16] Akeson WH, Amiel D, Mechanic GL, Woo SL, Harwood FL, Hamer ML. Collagen cross-linking alterations in joint contractures: changes in the reducible cross-links in periarticular connective tissue collagen after nine weeks of immobilization. *Connect Tissue Res* 1977;5:15–9.
- [17] Woo SL, Gelberman RH, Cobb NG, Amiel D, Lothringer K, Akeson WH. The importance of controlled passive mobilization on flexor tendon healing. A biomechanical study. *Acta Orthop Scand* 1981;52:615–22.
- [18] Zhao C, Amadio PC, Momose T, Couvreur P, Zobitz ME, An KN. Effect of synergistic wrist motion on adhesion formation after repair of partial flexor digitorum profundus tendon lacerations in a canine model in vivo. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84A:78–84.
- [19] Randall T, Portney L, Harris BA. Effects of joint mobilization on joint stiffness and active motion of the metacarpal-phalangeal joint. *J Orthop Sports Phys Ther* 1992;16:30–6.
- [20] Boisgontier M, Vuillerme N, Thomas D, Pinsault N, Emprin M, Caillat-Mioussé JL. Effects of neuromuscular electrical stimulation on the range of motion recovery in hand proximal interphalangeal sprain. *Sci Sports* 2009;24:192–5.
- [21] De Soras X, Thomas D, Guinard D, Moutet F, Gérard P. Use of an implanted electrode for rehabilitation after tenolysis of the flexor tendons. *Ann Chir Main Memb Super* 1994;13:317–27.
- [22] Barnes HA. *A handbook of elementary rheology*. Aberystwyth: The university of Wales institute of non-Newtonian fluid mechanics; 2000.
- [23] Svensson RB, Hassenkam T, Hansen P, Peter Magnusson S. Viscoelastic behavior of discrete human collagen fibrils. *J Mech Behav Biomed Mater* 2010;3:112–5.
- [24] Paillard T, Lafont C, Pérès C, Costes-Salon MC, Soulat JM, Montoya R, et al. Is electrical stimulation with voluntary muscle contraction of physiologic interest in aging women? *Ann Readapt Med Phys* 2005;48:20–8.
- [25] Paillard T, Noé F, Edeline O. Neuromuscular effects of superimposed and combined transcutaneous electrical stimulation with voluntary activity: a review. *Ann Readapt Med Phys* 2005;48:126–37.
- [26] Boisgontier MP, Moineau B, Nougier V. Superimposed electrical stimulation comfortably improves the endurance of maximal voluntary contractions. *J Sports Med Phys Fitness* 2012;52:558–62.
- [27] Boisgontier M, Vuillerme N, Iversen MD. Superimposed electrical stimulation decreases maximal grip force. *J Sports Med Phys Fitness* 2010;50:152–8.
- [28] Casanova J. *ASHT clinical assessment recommendations*. 2nd ed, Chicago: American Society of Hand Therapists; 1992.
- [29] Norkin CC, White DJ. *Measurement of joint motion. A guide to goniometry*. 4th ed, Philadelphia: FA Davis Company; 2009.
- [30] Lewis E, Fors L, Tharion WJ. Interrater and intrarater reliability of finger goniometric measurements. *Am J Occup Ther* 2010;64:555–61.
- [31] Huskisson EC. Measurement of pain. *Lancet* 1974;2:1127–31.
- [32] Gable C, Xenard J, Makiela E, Chau N. Functional evaluation of the hand 400 points balance and ciphered tests. *Ann Readapt Med Phys* 1997;40:95–101.