

Co-activations induites par irradiation motrice :

une étude préliminaire sur 8 adultes sains par électromyographie de surface

RÉSUMÉ | SUMMARY

Cette expérimentation porte sur 8 adultes sains. Son but est de montrer, via l'électromyographie de surface, qu'une hausse éventuelle de l'activité contractile des *gastrocnemius medialis*, *soleus* et *tibialis anterior*, peut être induite par une circumduction du poignet, un mouvement jamais exploré jusqu'ici comme mouvement inducteur.

Un phénomène d'irradiation motrice atteint les *gastrocnemius medialis* de 2 participants. Ce résultat incite à poursuivre les recherches afin de développer et enrichir les techniques inductives de kinésithérapie exploitant le principe d'un travail à distance.

This experiment involves 8 healthy adults. Its purpose is to show, via surface electromyography, that a possible increase in the contractile activity of gastrocnemius medialis, soleus and tibialis anterior, can be triggered by wrist circumduction (a movement that has never previously been investigated as a trigger).

A phenomenon of motor irradiation affects the gastrocnemius medialis of 2 participants. This finding encourages to continue our research, in order develop and characterize inductive physiotherapy techniques that leverage the principle of remote action.

MOTS CLÉS | KEYWORDS

► Électromyographie de surface ► Irradiation motrice
► Physiothérapie normo-inductive

► Surface electromyography ► Motor irradiation
► Normalizing physiotherapy

Au-delà des actions d'éducation, de prévention et de dépistage, l'essentiel de l'activité du kinésithérapeute consiste à préserver, développer ou restaurer le fonctionnement de l'appareil locomoteur [1]. Une grande diversité caractérise les approches thérapeutiques existantes. Cependant, on peut leur distinguer quelques points communs au premier rang desquels on retrouve la sollicitation de la contractilité musculaire [2].

Pour atteindre la cible thérapeutique, le kinésithérapeute recourt en première intention aux sollicitations directes qui ont pour principe d'exercer la fonction altérée afin de la restaurer [3]. Lorsque ces stratégies sont inopérantes ou inapplicables (douleurs, fractures, paralysies, etc.), la cible est atteignable via des sollicitations indirectes. C'est à ce type de sollicitations qu'est consacré le présent article.

Le principe d'un mode d'action indirect est d'exploiter la capacité d'un mouvement volontaire à induire, à distance, des réponses motrices involontaires.

Ce travail à distance de la cible thérapeutique s'est rapidement imposé dans les atteintes neurologiques [4, 5]. Son utilisation chez des patients non cérébro-lésés est une démarche moins usuelle. Certaines approches l'implé-

mentent pour traiter des troubles musculo-squelettiques traumatiques, rhumatologiques, ou orthopédiques, comme par exemple la méthode de facilitation proprioceptive neuromusculaire (PNF) [6], les thérapies en miroir [7] ou encore la physiothérapie normo-inductive [8, 9].

Dans des conditions neurologiques pathologiques, comme l'hémiplégie post-accident vasculaire cérébral par exemple, les réponses involontaires peuvent être déclenchées par des mouvements de la vie quotidienne [10]. Mais, en l'absence de lésions neurologiques, dans des conditions physiologiques, leur déclenchement semble subordonné aux caractéristiques de la tâche motrice choisie, ainsi qu'à l'âge du sujet [11].

Des mécanismes réflexes (niveau médullaire) et supraspinaux (niveau encéphalique) sont incriminés dans ce processus [12, 13]. Lorsque la réponse involontaire s'origine dans des mécanismes supraspinaux, elle relève d'un phénomène d'irradiation motrice [13].

L'irradiation atteindrait préférentiellement les membres et serait induite par la contraction volontaire des muscles homologues ou non homologues du membre opposé (ipsilatéral ou controlatéral) [13].

Michaël NISAND*

Christian CALLENS*

Christiane DESTIEUX*

* Service de Formation continue
Université de Strasbourg (67)

Jean-Baptiste CHANSON

Hôpitaux universitaires
de Strasbourg
Hôpital de Hautepierre
Service de Neurologie
Unité d'exploration fonctionnelle
du système nerveux périphérique
(EMG)
Strasbourg

Joseph-Omer DYER

École de réadaptation
Faculté de médecine
Université de Montréal (Canada)

Les auteurs déclarent ne pas avoir un intérêt avec un organisme privé industriel ou commercial en relation avec le sujet présenté

Kinésithér Scient 2019;608:13-21

Co-activations induites par irradiation motrice : une étude préliminaire sur 8 adultes sains par électromyographie de surface

► **Tableau I**

Données biométriques

Participant	Genre/Âge	Main dominante	Jambe dominante ¹
1	F/28	D	D
2	H/48	D	Sans dominance
3	F/47	D	G
4	F/22	D	D
5	H/33	D	D
6	F/49	D	G
7	H/33	D	D
8	H/40	D	G

¹ Pour tester la dominance des membres inférieurs, les participants ont été invités à monter à 4 reprises sur une plateforme haute de 40 cm ; la jambe la plus fréquemment choisie est qualifiée de jambe dominante.

Ce phénomène est aisément déclenchable chez l'enfant avant l'âge de 11 ans : il serait expliqué par un défaut d'inhibition d'un hémisphère cérébral sur l'autre du fait de l'immaturation du corps calleux propre à cet âge [11]. Il en est de même chez l'adulte après 50 ans du fait de la réduction physiologique de la taille de cette commissure et d'une démyélinisation des fibres nerveuses [11]. Mais, à maturité du corps calleux, chez l'adulte jeune, les réponses involontaires ne seraient déclenchables que si la tâche motrice est nouvelle, complexe, réalisée avec force, ou si elle produit une fatigue intense [11, 13, 14].

Identifier de nouveaux mouvements susceptibles d'induire à distance des réponses motrices involontaires pourrait contribuer à optimiser les techniques qui exploitent le principe d'un travail à distance. C'est l'objectif de la présente recherche.

Guidés par des observations cliniques, nous avons choisi la circumduction de la main autour du poignet. Ce mouvement n'a jusqu'ici jamais été exploré comme mouvement inducteur. Les réponses obtenues, difficilement décelables à l'œil, semblent impliquer préférentiellement les muscles des jambes.

Nous avons sélectionné 2 muscles de la loge postérieure – *gastrocnemius medialis* (GAm) et *soleus* (Sol) – ainsi qu'un muscle de la loge antérieure – *tibialis anterior* (TA). Leur activité contractile est évaluée à l'aide de l'électromyographie de surface (EMGs), un outil choisi pour son caractère non invasif.

L'analyse des signaux est qualitative (nous ne disposons pas d'appareil permettant le traitement informatique quantitatif des données) et utilise une grille de lecture des données élaborée pour cette étude. Il s'agit d'une étude préliminaire prospective monocentrique, réalisée sans groupe de contrôle et sans aveugle, portant sur un échantillon de 8 jeunes adultes sains. La question de recherche est la suivante : l'éventuelle mise en évidence d'une modulation à la hausse d'une activité contractile involontaire des muscles testés plaide-t-elle en faveur d'un phénomène d'irradiation motrice induit par le mouvement spécifique de circumduction ?

MATÉRIEL ET MÉTHODE

■ Participants

Les participants sont recrutés sur la base du volontariat. Ils sont éligibles s'ils ont un âge compris entre 20 et 50 ans et s'ils ne présentent aucun trouble connu, neurologique, orthopédique musculo-squelettique.

Les 8 premiers sujets volontaires ayant répondu aux critères d'éligibilité ont bénéficié d'une information collective et ont été invités à signer le formulaire de consentement éclairé.

Au final (tab. I), l'échantillon de population comprend 4 hommes et 4 femmes, âgés de 22 à 49 ans (37,5 ans de moyenne ; écart type 10,07). La dominance de latéralité des membres a été documentée pour chacun des participants. Les informations – verbales, visuelles, extéroceptives – utiles à l'exécution du mouvement de circumduction sont délivrées préalablement à chaque participant.

■ Examens d'électromyographie

Les examens sont réalisés dans le Service de neurologie, Unité d'exploration fonctionnelle du système nerveux périphérique du Centre Hospitalier Universitaire de Strasbourg (France).

L'investigation porte sur les :

– GAm (faisceau biarticulaire du triceps surae au trajet strictement vertical) ;

- Sol (faisceau mono-articulaire du triceps surae au trajet strictement vertical) ;
- TA (muscle mono-articulaire, le plus puissant et le plus volumineux de la loge antérieure de la jambe, au trajet oblique vers le bas, l'avant et le dedans) (fig. 1).

Monitorisés à l'aide d'un amplificateur Natus Dantec Keypoint (Net v2.32 G4), les signaux sont recueillis au moyen d'électrodes de surface bipolaires circulaires auto-adhésives Ag/AgCL pré-gélifiées, de 10 mm de diamètre. Les zones conductrices sont distantes l'une de l'autre de 20 mm. Les plages de fréquence passe-bande sont comprises entre 20 Hz (filtrage passe-haut) et 500 Hz (filtrage passe-bas). Les câbles sont fixés au ruban adhésif pour éviter les artefacts liés à d'éventuelles tractions.

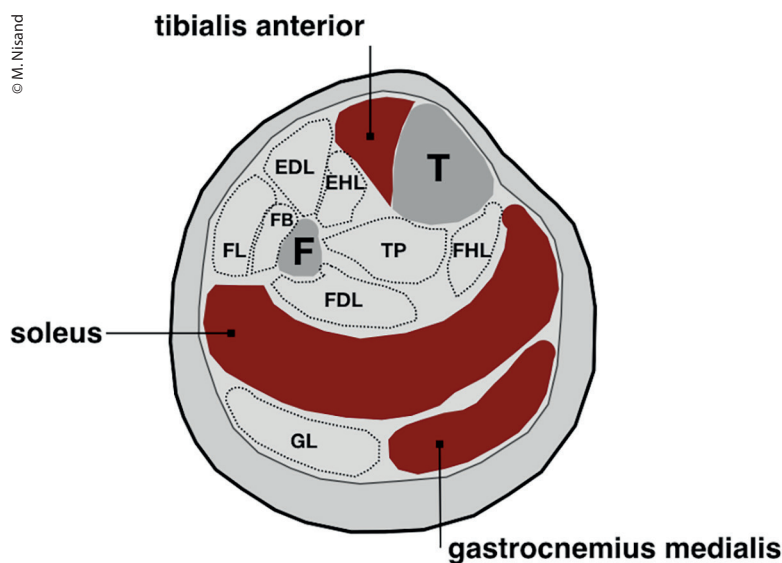
La peau est préalablement rasée (lorsque nécessaire) nettoyée à l'alcool, puis séchée afin de réduire son impédance. L'électrode de mise à la terre, unique pour l'ensemble des voies, est fixée sur la face médiale de la cheville droite. Les électrodes d'enregistrement (3 voies à droite et à gauche) sont positionnées parallèlement au sens des fibres musculaires en regard :

- de la partie la plus proéminente du ventre musculaire du GAm, participant en procubitus avec un rouleau sous les chevilles ;
- du Sol, aux 2/3 d'une ligne joignant le condyle fémoral médial et la malléole médiale, participant en procubitus, genoux fléchis à 90°, pieds à plat ;
- du TA à 1/3 d'une ligne joignant la fibula à la malléole médiale, participant en décubitus, genoux fléchis et pieds en dorsiflexion (fig. 2).

Le participant est installé en décubitus avec un coussin sous la tête, hanches genoux et chevilles en position neutre, dans les 2 conditions expérimentales suivantes :

- C0, avant la circumduction. Un enregistrement de 10 s lors d'une contraction volontaire maximale isométrique (CVMI) maintenue 5 s en flexion plantaire, puis 5 s en flexion dorsale de cheville contre une résistance manuelle ;
- C1, pendant l'exécution de la circumduction, participant préinstallé : bras abductés à 45°, coudes fléchis à 90° et avant-bras verticaux, membres inférieurs au repos.

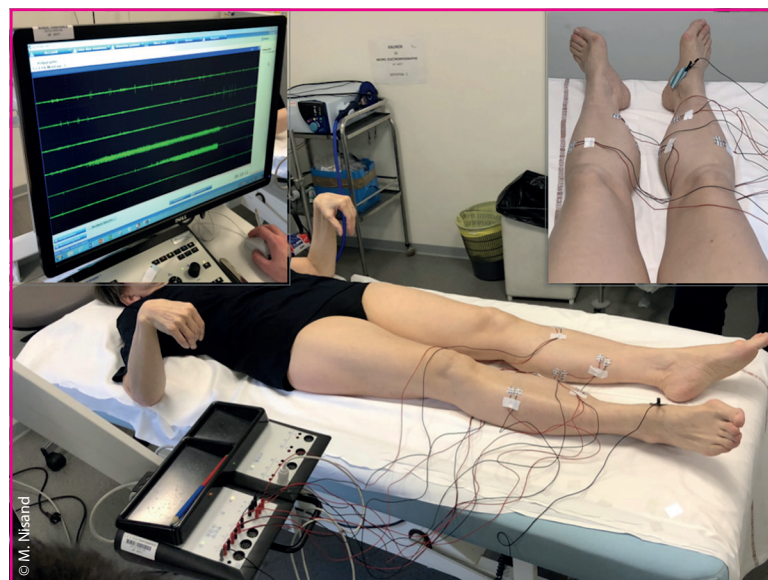
© M. Nisand



► Figure 1

Coupe transversale (au-dessus du milieu de la jambe)

En rouge, les muscles testés : gastrocnemius medialis, soleus et tibialis anterior
En gris clair, extensorum digitorum longus (EDL), extensor hallucis longus (EHL), tibialis posterior (TP), flexor digitorum longus (FDL), flexor hallucis longus (FHL), fibularis longus (FL), fibularis brevis (FB), gastrocnemius lateralis (GL)

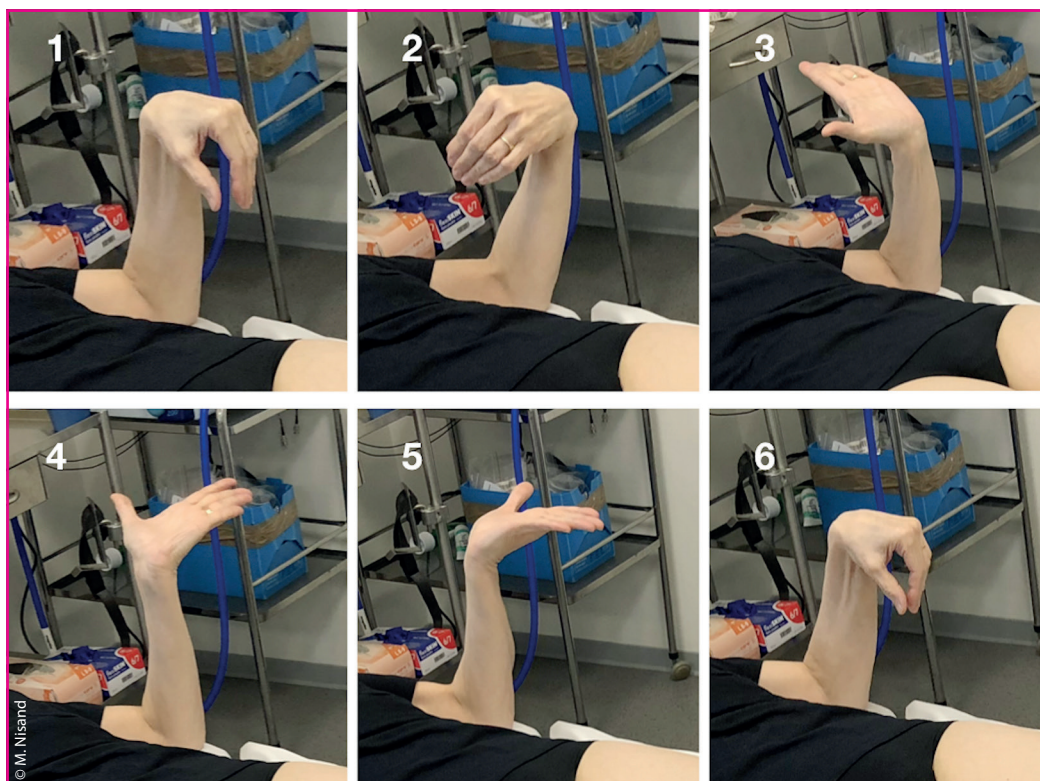


► Figure 2

Électromyographie de surface

Les électrodes sont placées en regard des muscles gastrocnemius medialis, des soleus et des tibialis anterior, dans le respect de normes européennes
L'électrode dispersive de référence est fixée sur la face médiale de la cheville droite

Co-activations induites par irradiation motrice : une étude préliminaire sur 8 adultes sains par électromyographie de surface



► **Figure 3**

Séquençage du mouvement de circumduction de la main autour du poignet
Continûment pendant 80 s, le participant réalise, (i) une demi-circumduction poignet et métacarpo-phalangiennes fléchis, interphalangiennes en extension (temps 1 et 2), (ii) en fin d'amplitude, sans interruption, il bascule la main, poignet et doigts en extension de telle sorte que la paume regarde le plafond (temps 3), (iii) en maintenant la position, il effectue ensuite la seconde demi-circumduction de telle sorte que la main décrive le plus grand cercle possible (temps 4 et 5), (iv) en fin de circumduction, une bascule de la main permet de reprendre au point de départ la circumduction (temps 6)

Au top départ de l'opérateur (10 s après le début de l'enregistrement), le participant exécute la circumduction de manière bilatérale et simultanée continûment pendant 80 s. Au top d'arrêt de l'opérateur, l'enregistrement est poursuivi encore 30 s. Soit un séquençage 10/80/30 du temps total d'enregistrement (120 s) (fig. 3).

■ Analyse des données

L'évaluation électromyographique des muscles testés est qualitative et porte sur les données brutes des 48 observations : 8 participants (4 hommes, 4 femmes) — 6 muscles (GAm, Sol, TA droits et gauches). 3 évaluations successives à une semaine d'intervalle sont réalisées par le même expérimentateur.

La représentativité de l'activité involontaire en C1 (pendant la circumduction) est subordonnée

à la représentativité de l'activité volontaire en C0 (pendant la CVMi). Le signal émis en C0 sert donc de référence : si le signal en C0 est bon, l'amplitude du signal en C1 est évaluée par rapport à l'amplitude du signal du muscle donné en C0.

L'existence et la qualité du signal en C0 définissent donc les conditions d'expérimentation.

Pour les observations qui répondent aux conditions d'expérimentation, l'activité contractile involontaire en C1 est exprimée par les données nominales suivantes : amplitude du signal « faible » ou « bonne ».

RÉSULTATS

Les données nominales qui répondent aux conditions d'expérimentation sont exposées dans le tableau II.

► **Tableau II**

Données nominales relatives aux évaluations qualitatives des signaux EMG des muscles GA-Sol-TA, dans les conditions C0 et C1 pour les participants 1 à 8

Participant	Condition	Signal EMG	GAm		Sol		TA	
			Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche
1	C0	Faible			✓	✓		
		Bon	✓	✓			✓	✓
1	C1	Faible			✓	✓	✓	✓
		Bon	✓	✓				
2	C0	Faible			✓	✓		
		Bon	✓	✓			✓	✓
2	C1	Faible			✓	✓	✓	✓
		Bon	✓	✓				
3	C0	Faible	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Bon						
3	C1	Faible	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Bon						
4	C0	Faible	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Bon						
4	C1	Faible	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Bon						
5	C0	Faible	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Bon						
5	C1	Faible	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Bon						
6	C0	Faible	✓	✓	✓	✓		
		Bon					✓	✓
6	C1	Faible	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Bon						
7	C0	Faible	✓	✓	✓	✓		
		Bon					✓	✓
7	C1	Faible	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Bon						
8	C0	Faible	✓	✓	✓	✓		
		Bon					✓	✓
8	C1	Faible	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Bon						

Les 3 évaluations successives réalisées à une semaine d'intervalle aboutissent aux mêmes résultats : 14 observations répondent aux conditions d'expérimentation (bon signal en C0).

Sur ces 14 observations, on peut distinguer :

- une hausse de l'activité en C1 qualifiée de bonne dans les GAm droits et gauches :
 - du participant 1, une femme de 28 ans à dominance droitrière pour les membres supérieur et inférieur ;
 - du participant 2, un homme de 48 ans à dominance droitrière pour le membre supérieur, sans dominance pour le membre inférieur ;
- une hausse de l'activité qualifiée de faible dans les TA droits et gauches des participants 1-2-6-7 et 8.

DISCUSSION

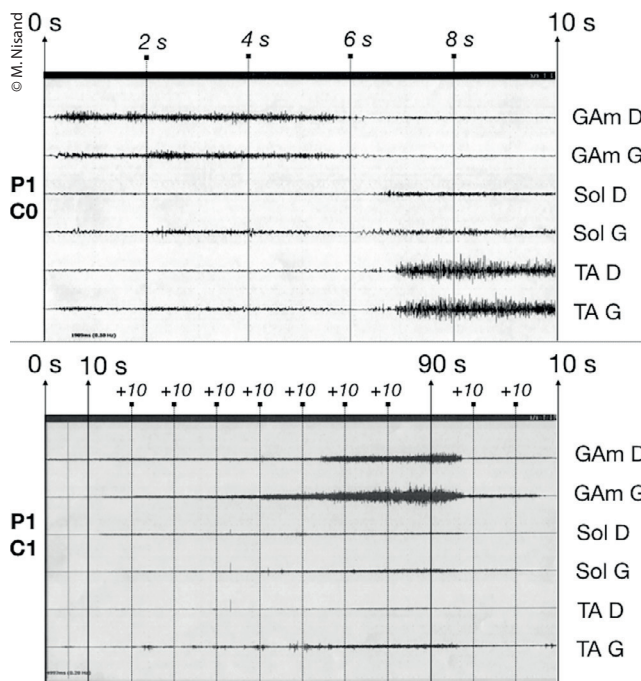
■ Analyse des résultats

Pour que l'activité contractile involontaire en C1 plaide en faveur d'un phénomène d'irradiation motrice, la condition nécessaire et suffisante est que la modulation à la hausse du signal puisse être qualifiée de bonne.

- 4 observations répondant aux conditions d'expérimentation (bonne activité en C0) plaident en faveur d'un phénomène d'irradiation motrice induit par le mouvement de circumduction : GAm droits et gauches des participants 1 et 2 (fig. 4 et 5). On remarquera qu'il s'agit d'un muscle de la loge postérieure de la jambe, biarticulaire et à prédominance balistique. L'irradiation est de sens crânio-caudal. Le mouvement inducteur est réalisé de manière bilatérale et simultanée.

Co-activations induites par irradiation motrice :

une étude préliminaire sur 8 adultes sains par électromyographie de surface



► Figure 4

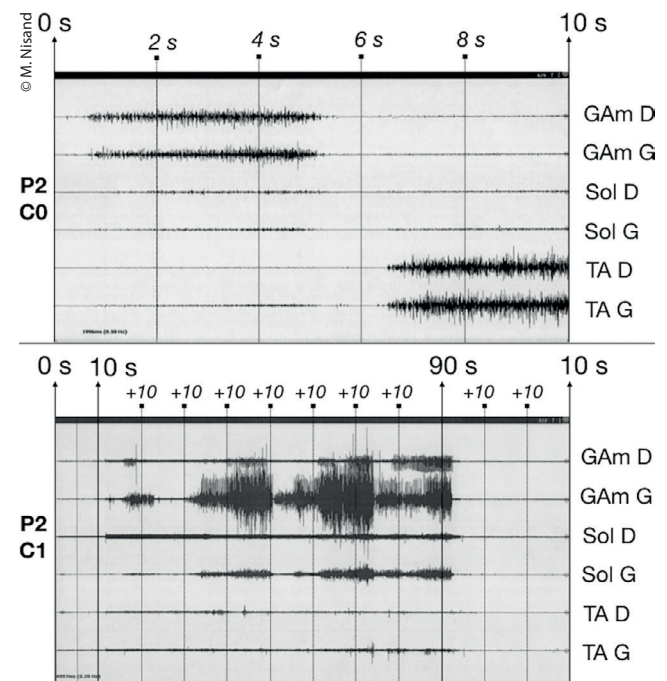
Tracés électromyographiques du participant 1,
une femme de 28 ans, droitère
(pour les membres supérieur et inférieur)

En C0 : bon signal dans les GAm et TA ; signal faible dans les Sol

En C1 : bon signal dans les GAm avec un temps de latence au déclenchement après 55 s à droite et 40 s à gauche

À l'arrêt du mouvement inducteur, le signal s'éteint après 8 s (à droite comme à gauche)

Signal faible dans les Sol et TA



► Figure 5

Tracés électromyographiques du participant 2,
un homme de 48 ans droitier (membre supérieur),
sans dominance pour le membre inférieur

En C0 : bon signal dans les GAm et TA ; signal faible dans les Sol

En C1 : bon signal dans les GAm, par bouffées (surtout à gauche) avec un temps de latence au déclenchement après 2 s à droite

comme à gauche ; le signal s'éteint après 2 s (à droite comme à gauche)

Signal faible dans les Sol et TA

La réponse motrice involontaire se produit dans les deux membres inférieurs.

Pour une durée de réalisation de la tâche motrice de 80 s, la modulation à la hausse apparaît dans le GAm droit après 55 s, dans le GAm gauche après 40 s (participant 1), soit une durée d'activation de 25 s à droite et de 40 s à gauche ; pour le participant 2, elle apparaît après 2 s (à droite et à gauche), soit une durée d'activation de 78 s. Au final, des durées de latence au déclenchement et des durées d'activation particulièrement longues.

Dans l'étude de Hays [15], le temps de latence est de l'ordre de la ms : 110,79 ms pour une tâche motrice de 6 s par exemple, 108,67 ms pour une durée de 3-4 s, 107,89 ms pour une durée de 1 s, avec une facilitation qui serait attribuable à un phénomène réflexe. Dans la présente étude, les durées longues des latences au déclenchement objectivées chez P1 et P2, évoque une implication de méca-

nismes supraspinaux de niveau encéphalique [11, 13, 14], d'une boucle longue d'irradiation motrice [16,17].

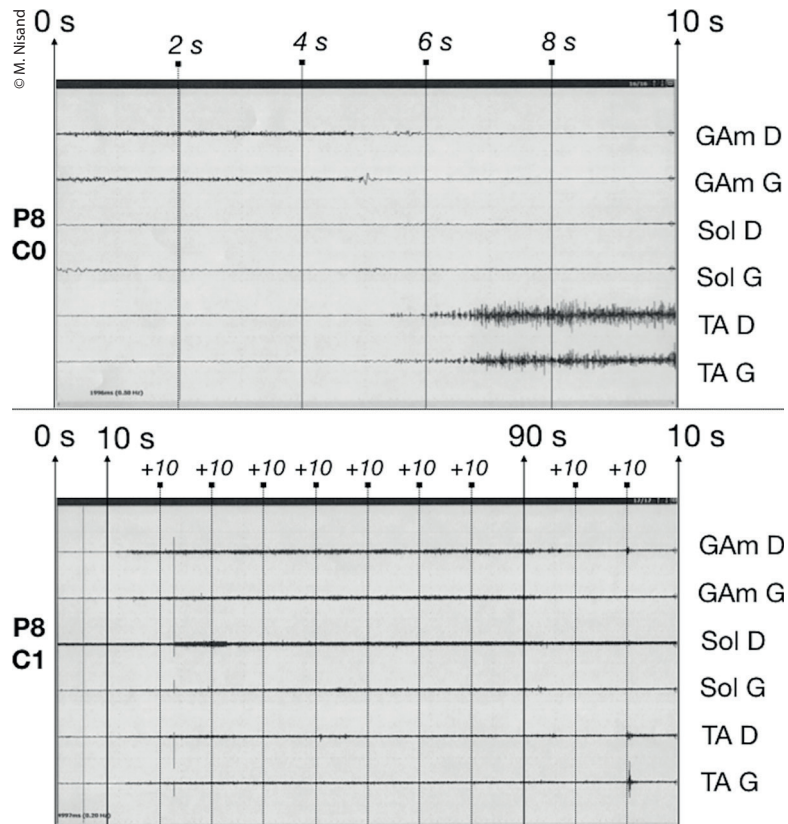
L'apparition des réponses involontaires observées chez les participants 1 et 2 n'est subordonnée ni à une mise en tension musculaire préalable ni à une résistance manuelle ni à une sollicitation maximale de force ni à la nécessité de suivre le mouvement du regard (feedback visuel). Autant d'outils exploités dans des approches comme la facilitation proprioceptive neuromusculaire [18], le « concurrent activation potentiation » [12] ou encore les thérapies miroir [7].

Dans la présente étude, l'apparition des réponses involontaires induites par la tâche motrice semble subordonnée :

- à la sollicitation dans la plus grande amplitude articulaire disponible de chacun des moments du mouvement de circumduction du poignet (flexion-abduction-extension-adduction) ;

- à la spécificité du mouvement demandé lequel contrecarre l'effet ténodèse physiologique[19] (ouverture automatique de la main lors d'une flexion du poignet et fermeture automatique lors d'une extension). Dans la circumduction sollicitée, le participant doit associer à la flexion du poignet une flexion des métacarpo-phalangiennes (interphalangiennes en extension) et à l'extension du poignet une extension des métacarpo-phalangiennes (interphalangiennes en extension) ;
- à l'attention nécessairement soutenue du participant. On sait que porter son attention exclusivement sur l'effort à fournir (sur les membres supérieurs en l'occurrence) est susceptible de potentialiser la réponse motrice dans une autre zone corporelle libérée ainsi de tout contrôle cognitif (les membres inférieurs en l'occurrence) [20].

- 10 observations, répondant pourtant aux conditions d'expérimentation, ne permettent pas d'attribuer la hausse de l'activité contractile involontaire à un phénomène d'irradiation motrice du fait de la hausse insuffisante des signaux : TA droits et gauches des participants 1-2-6-7-8. Alors même que la procédure de localisation des électrodes de surface a été conforme aux recommandations européennes [21], il faut envisager que les faibles signaux EMG émis par ces muscles puissent être constitués de l'activité électrique générée par les muscles voisins. Ce phénomène, appelé diaphonie ou encore effet *cross talk* [22], est fréquemment observé dans l'EMGs, laquelle est forcément moins sélective (mais aussi moins invasive) qu'une détection à l'aiguille.
- Les observations ne répondant pas aux conditions d'expérimentation obligent à s'interroger en termes de méthodologie sur la CVMi :
 - la méthode la plus répandue, recommandée par le SENIAM et le *Journal of Electromyography and Kinesiology*, est de normaliser les signaux par rapport aux contractions volontaires maximales (CVM) [21]. Demander une contraction volontaire maximale isométrique (CVMi) en l'opposant à une résistance manuelle, ce qui a été fait dans la présente étude, est le mode de sollicitation le plus utilisé [23]. Mais on pourrait aussi envisager de



► Figure 6

Tracés électromyographiques du participant 8, un homme de 40 ans droitier (membre supérieur) et gaucher (membre inférieur)
 En C0 : bon signal dans les TA droit et gauche
 Signal faible dans les GAm et Sol (droits et gauches)
 En C1 : signal faible dans les GAm, Sol et TA (droits et gauches)

faire effectuer l'effort isométrique contre un point fixe ou de normaliser les signaux par rapport à des contractions volontaires maximales dynamiques, lesquelles pour certains auteurs seraient être plus efficaces [24] ;

- il n'existe pas de consensus quant à une position standard capable de favoriser à coup sûr, chez tous les individus testés, que la contraction volontaire soit maximale pour un muscle donné. D'autres positions, hormis celle utilisée dans la présente étude, pourraient néanmoins être testées : le procutitus, hanche-genou-cheville en position neutre pour les GAm ; la position quadrupédique, hanche et genou fléchis à 90°, cheville en position neutre pour les Sol et les TA [23] ;
- faire répéter 3 fois au moins l'effort contractile, avec une période de repos d'au moins 2 minutes entre chaque contraction, permettrait de réduire les effets liés à la fatigue musculaire et ainsi de mieux extraire la valeur maximale des CVMi pour un muscle donné [23].

Co-activations induites par irradiation motrice :

une étude préliminaire sur 8 adultes sains par électromyographie de surface

– du fait de la forte amplitude des signaux des CVMi, nous avons été obligés de réduire l'échelle d'affichage des muscles testés, ce qui a probablement compromis la détection des éventuels phénomènes d'irradiation motrice en C1.

■ Comparaison avec la littérature

Aucune étude aux résultats publiés n'a cherché à mettre en évidence une activation involontaire de muscles du membre inférieur induite par un mouvement volontaire de circumduction de la main autour du poignet.

À notre connaissance, une seule étude met en évidence un travail à distance incriminant des muscles distaux des membres supérieur et inférieur. Mais, dans cette étude, le sens de l'irradiation était caudo-crânial : une dorsiflexion active de la cheville qui induit une réponse motrice involontaire du fléchisseur radial du carpe controlatéral [25].

Dans deux de nos précédentes études, nous avons évalué des modifications de répartition des pressions plantaires concomitamment à la réalisation de mouvements volontaires axiaux du tronc et de la tête chez 50 [26] et 90¹ jeunes adultes sains. Il ressort que les pressions plantaires ont systématiquement augmentées sur l'avant des pieds. Interprétée comme traduisant une contraction des fléchisseurs plantaires, le caractère univoque de la réponse plaide en faveur d'un processus d'irradiation induit par la tâche motrice.

Comme dans la présente étude, l'irradiation est de sens crânio-caudal, mais déclenchée par des mouvements sollicitant des muscles axiaux. L'évaluation du phénomène est quantitative et indirecte *via* la baropodométrie électronique, alors que dans la présente étude elle est qualitative, directe et plus sélective *via* l'EMGs.

■ Application clinique

Exploiter le principe d'un travail à distance chez des patients non cérébro-lésés souffrant de troubles musculo-squelettiques peut constituer

une stratégie pertinente, dès lors que les techniques de sollicitations directes n'auraient pas été opérantes. Cette stratégie d'exacerbation à distance de l'activité musculaire est couramment utilisée pour augmenter la force/endurance des muscles ciblés, améliorer la mobilité articulaire et la stabilité posturale [12, 18, 27].

En physiothérapie normo-inductive, cette stratégie a pour finalité une normalisation de l'activation musculaire induite : le mouvement inducteur est réalisé continûment jusqu'à obtention de l'extinction de la réponse motrice involontaire. Des évolutions cliniques favorables comme la réduction de certaines algies, dysfonctions et déformations acquises de l'appareil locomoteur semblent corrélables à cette extinction. Cette extinction plaide en faveur d'une normalisation de l'activité musculaire [8, 9, 28, 29].

CONCLUSION

Cette étude préliminaire est inédite en ce qu'elle explore un mouvement inductif qui jusqu'ici n'a fait l'objet d'aucune publication. 4 observations, qui portent sur deux participants, plaident en faveur d'un phénomène d'irradiation motrice induit par le mouvement de circumduction. Elles montrent la faisabilité de l'étude, malgré le handicap technique lié au matériel disponible (impossibilité du traitement informatique des données).

Cette étude incite à réaliser une nouvelle recherche à plus grande échelle qui tienne compte :

- des pistes identifiées en termes d'amélioration de la méthodologie ;
- de l'éventuel caractère sujet-dépendant de la réponse motrice ou côté-dépendant du mouvement inducteur pour le calcul du nombre de sujets nécessaire ;
- de l'âge, du sexe, de la dominance de latéralité des membres, ainsi que de la position du sujet. Une telle recherche contribuerait à optimiser les résultats thérapeutiques de techniques exploitant le principe d'un travail à distance dans la prise en charge de certains troubles de l'appareil locomoteur. ✕



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Griffon A, De Lucas F, Yahia N, Darnault A, Belmahfoud R, Boffa JF, Bovard M et coll. Règles de prescription et techniques de masso-kinésithérapie dans les affections de l'appareil locomoteur. *EMC* 2011, Appareil Locomoteur : 1-9 [Article 15-901-A-10].
- [2] Gain H, Hervé JM, Hignet R, Deslandes R. Renforcement musculaire en rééducation. *EMC* 2003, Kinésithérapie-Médecine Physique-Réadaptation : 1-10 [Article 26-055-A-11].
- [3] Chavanel R, Janin B, Allamargot T, Bedel Y, Maratrat R. Principes de la Kinésithérapie active. *EMC* 2002, Kinésithérapie-Médecine Physique- Réadaptation : 1-15 [Article 26-045-A-10].
- [4] Lazarus JC. Associated movement in hemiplegia. The effects of force exerted, limb usage and inhibitory training. *Arch Phys Med Rehabil* 1992;73(11):1044-9.
- [5] Kabat H. The role of central facilitation in restoration of motor function in Paralysis. *Arch Phys Med* 1952;33 :52.
- [6] Callens C. *Vade-Mecum. Facilitation neuromusculaire proprioceptive : concept, schémas globaux et brisés, schémas du tronc.* Independently Published, 2018.
- [7] Daffada PJ, Walsh N, McCabe CS, Palmer S. The impact of cortical remapping interventions on pain and disability in chronic low back pain: A Systematic review. *Physiotherapy* 2015;101:25-33.
- [8] Nisand M, Callens C. Inductive physiotherapy and chronic back pain: A pilot study of 5 patients. *Kinesither Rev* 2016;16:11-9.
- [9] Gestin G. Apport de la physiothérapie inductive dans la prise en charge d'un patient atteint de spondylarthrite ankylosante. *Kinésithér Scient* 2017;592:25-34.
- [10] Dyer JO, Maupas E, De Andrade Melo S, Bourbonnais D, Nadeau S, Forget R. Changes in activation timing of knee and ankle extensors during gait are related to changes in heteronymous spinal pathways after stroke. *Neuroeng Rehabil* 2014;24;11:148.
- [11] Addamo PK, Farrow M, Hoy KE, Bradshaw JL, Georgiou-Karistianis N. The effects of age and attention on motor overflow production. A review. *Brain Res Rev* 2007;54:189-204.
- [12] Ebben WP. A brief review of concurrent activation potentiation: Theoretical and practical constructs. *J Strength Cond Res* 2006;20(4): 985-91.
- [13] Hoy KE, Fitzgerald PB, Bradshaw JL, Armatas CA, Georgiou-Karistianis N. Investigating the cortical origins of motor overflow. *Brain Res Rev* 2004a;46:315-27.
- [14] Addamo PK, Farrow M, Hoy KE, Bradshaw JL, Georgiou-Karistianis N. A developmental study of the influence of task characteristics on motor overflow. *Brain Cog* 2009;9:413-9.
- [15] Hayes KC. Jendrassik maneuver facilitation and fractionated patellar reflex times. *J Appl Physiol* 1972 32(3):290-5.
- [16] Goodin DS, Aminoff MJ, Shih PY. Evidence that the long-latency stretch responses of the human wrist extensor muscle involve a transcerebral pathway. *Brain* 1990;113:1075-91.
- [17] Lee RG, Hayashi R, Becker W. Factors which modify the short and long latency components of the stretch reflex in the human forearm. In: Gantchev GN et al. (Eds.) *Motor Control*. New York: Plenum Press, 1987: 43-50.
- [18] Bertinchamp U. Facilitation proprioceptive neuromusculaire : concepts, schémas globaux et brisés, schémas du tronc. *EMC* 2017;13(3), Kinésithérapie-Médecine Physique-Réadaptation : 1-12.
- [19] Revol M, Servant JM. Les ténodèses en chirurgie de la main. *Chir Main* 2010;29:1-9.
- [20] Posner MI, Rothbart MK, Voelker P. Developing brain networks of attention. *Curr Opin Pediatr* 2016;28(6):720-4.
- [21] Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for sEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol* 2000;10(5):361-74.
- [22] Kuznetsov M, Gilmore LD, Roy SH. Inter-electrode spacing of surface (EMG) sensors: Reduction of crosstalk contamination during voluntary contractions. *J Biomech* 2012;45(3):555-61.
- [23] Halaki M, Ginn K (2012). Normalization of EMG signals: To normalize or not to normalize and what to normalize to? In: *Computational intelligence in electromyography analysis: A perspective on current applications and future challenges*, Chapter 7: 176-94.
- [24] Albertus-Kajee Y, Tucker R, Derman W, Lambert M. Alternative methods of normalising emg during cycling. *J Electromyog Kinesiol* 2010;20(6):1036-43.
- [25] Hortobagyi T, Taylor JL, Petersen NT, Russell G, Gandevia SC. Changes in segmental and motor cortical output with contralateral muscle contractions and altered sensory inputs in humans. *J Neurophysiol* 2003;90:2451-9.
- [26] Nisand M, Destieux C, Callens C, Sauleau E. Reproducibility of the paradoxical effect of mass alignment on foot pressure. *Kinesither Rev* 2017;181:4-12.
- [27] Sharman MJ, Cresswell AG, Riek S. Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: Mechanisms and clinical implications. *Sports Med* 2006;36(11):929-39.
- [28] Callens C, Nisand M, Isner-Horobeti ME. Lasting relief of chronic anterior knee pain in young adult after ten weekly inductive physiotherapy sessions: A case report. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2017; 30(6):1333-8.
- [29] Destieux C, Gaudreault N, Isner-Horobeti ME, Vautravers P. Use of postural reconstruction physiotherapy to treat an adolescent with asymmetric bilateral genu varum and idiopathic scoliosis. *Ann Phys Rehabil Med* 2013;56:312-26.