Zeitschrift: Physiotherapie = Fisioterapia
Herausgeber: Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband
Band: 36 (2000)
Heft: 11

Artikel: Electromyostimulation (EMS) du raachis et lombalgie : (2e partie)
Autor: Kerkour, Khelaf
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-929538

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

PRATIQUE

Electromyostimulation (EMS) du rachis et lombalgie (2e partie)

Khelaf Kerkour, Cadre de Santé, physiothérapeute-chef, Hôpital régional, 2800 Delémont
Ce travail a été présenté, en tant qu'expert, lors de la Conférence de consensus sur: «Prise en charge Kinésithérapique du lombalgique». Paris, novembre 1999.

La lombalgie entraîne une atrophie musculaire préférentielle sur les fibres lentes (endurance). La douleur, la contracture musculaire, la diminution d'activité vont avoir un effet délétère sur le maintien et le recrutement de la force musculaire. L'électromyostimulation de basse fréquence, débutée précocement, en diminue les effets. La méthodologie employée doit se rapprocher du schéma naturel de la contraction musculaire. En phase chronique de la lombalgie, l'EMS permet d'augmenter la force – endurance des muscles lombaires.

EMS des muscles du rachis dans la lombalgie

L'ensemble des données de la littérature relative aux muscles du rachis dans la lombalgie montre essentiellement une atteinte au niveau des extenseurs du tronc, avec un déséquilibre du rapport Fléchisseurs/Extenseurs [18]. Dans le cadre de la lombalgie chronique, divers auteurs montrent chez ces patients des anomalies des fibres musculaires du multifidus [13, 69, 70, 71, 72, 73, 74] et de la structure interne des fibres de type I (aspect en «core-targetoïd» et en «moth-eaten»), avec augmentation du tissu graisseux. Ce type d'anomalie n'est pas spécifique, car ce remaniement peut être retrouvé lors de dénervation, avec le vieillissement, l'inactivité, ou l'ischémie chronique due à la contracture musculaire.

1) Caracteristiques des muscles du dos

Ng et coll. [75], dans une revue récente de la littérature [72, 74, 76, 77, 78, 79, 71, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90], rapportent le pourcentage des fibres (I, IIa et IIb) des principaux muscles du tronc *(Multifidus, Longissimus, Iliocostalis)* Les différentes populations étudiées sont résumées dans les tableaux III et IV.

Mots clés:
- **Electromyostimulation**
- **Lombalgie**

Jorgensen [77] note que les muscles lombaires paravertébraux sont bien adaptés au travail d'endurance (grand pourcentage de fibres lentes et importante capillarisation). Le muscle le plus large et le plus important est le multifidus. Il est innervé par le rameau interne de la branche postérieure et lorsqu'elle est lésée il n'y a pas de suppléance pour ce muscle comme dans les autres muscles du dos [91]. Le multifidus ne travaille qu'en position érigée et dans les exercices actifs. Hides et coll. [69] montrent que la récupération du multifidus n'est pas spontanée après rémission de la douleur chez le lombalgique, ce qui expliquerait la récidive chez certains patients. Sa récupération semble plus rapide chez les patients soumis à un programme d'exercices. De Bischoop [39] a constaté par EMG, avec aiguille-électrode insérée dans le muscle multifidus, que des muscles situés en profondeur sont atteints par des stimuli électriques et, qu'il est possible de le stimuler précocement.

L'iliocostalis est un muscle «d'aide», il n'augmente pas la capacité d'endurance car son pourcentage important en fibres IIb/IIa lui confère un large éventail de fonctions diverses ainsi que la possibilité de corrections rapides de la colonne, alors que le longissimus est adapté (fort pourcentage fibres I) pour soutenir des contractions de moindre effort et de longue durée [92, 93]. Bonde-Petersen [94] montre que les muscles extenseurs du tronc sont mieux perfusés que tout autre muscle du corps à même degré de contraction. Styf [95] note, une relative basse pression intramusculaire, durant la contraction statique des extenseurs et, pour Karlson [68] il existe une augmentation de la concentration en lactate comparée aux autres muscles du corps humain, ce qui montre un niveau élevé du métabolisme anaérobie des muscles du tronc à cause des variations de l'activité posturale durant le jour.

Dans une étude récente Mannion AF [20] compare des biopsies musculaires des erector spinae de sujets sains et de patients présentant une lombalgie chronique et montre qu'il existe une atrophie musculaire significative des fibres de type I et une augmentation significative de celles IIb et IIc *(voir tableau V)*.

Ces données sur les caractéristiques des muscles du rachis lombaire montrent que la qualité d'endurance musculaire est un facteur essentiel à considérer dans la rééducation du lombalgique.

2) Etudes relatives a l'EMS et RACHIS

Nous avons interrogé divers sites sur Internet dont: Medline, Yahoo, Alta-Vista, Redatel, CHU Rouen: (mots clés utilisés : low back pain – electrical stimulation – back muscles – strength – spine – physical therapy – rehabilitation). Nous n'avons retenu que 4 études (dont 3 de niveau élevé et 1 de niveau faible) pour lesquelles nous retrouvons une place de l'EMS dans la prise en charge du patient lombalgique. Ces études sont résumées dans le tableau VI.

1) Etude Nordin et coll. [22]: Cette étude, de niveau élevé, est la première publiée, qui démontre l'augmentation de la force musculaire isocinétique et de l'endurance des extenseurs du tronc, dans une population de sujets (femmes sans pathologie rachidienne) soumis à un protocole d'EMS comparée à une population témoin.

Les paramètres étudiés: force isométrique et isocinétique ainsi que l'endurance ont été validés dans une première étude [11].

- Les 2 types d'EMS étudiés (basse et moyenne fréquence) augmentent de façon significative ($P< 0.05$) l'endurance des extenseurs du tronc comparativement aux groupes témoin.
- L'EMS de basse fréquence (35 Hz) et les exercices augmentent de façon significative ($P< 0.05$), la force des extenseurs du tronc comparativement au groupe témoin et à celui stimulé avec une EMS de moyenne fréquence.

Conclusion: L'EMS des muscles lombaires, avec une fréquence de 35 Hz à raison de 30 mn par jour, est un traitement valable dans la prise en charge précoce du patient lombalgique. Il permet de maintenir et d'augmenter la force et l'endurance des extenseurs du tronc; surtout lorsqu'un programme d'exercices musculaires actif est trop douloureux.

Remarque: Nous avons personnellement rencontré et discuté de ces travaux avec Margareth Nordin dans différents congrès internationaux. (1ères Assises Internationales du dos en 1991 à Grenoble, aux 2èmes à Barcelone en 1993). Lors de chacune de ces communications sur le thème du traitement de la lombalgie chronique, elle insistait sur le fait que l'EMS était l'une des rares techniques de rééducation qui était (à l'époque) scientifiquement reconnue. Cependant, il aurait fallu pouvoir prouver par imagerie (soit en IRM, CT Scan, échographie, absorpsiométrie biphotonique) ou biopsie, l'action de l'EMS sur le changement morphologique, histologique ou histochimique des fibres musculaires.

2) Starring DT et coll. [96]: Cette étude de cas (niveau faible) montre que l'EMS peut être associée à d'autres techniques de rééducation dans la prise en charge globale d'un patient présentant une hypermobilité L5-S1 et une lombalgie. L'EMS a été combinée à des exercices de la musculature lombaire et à un traitement antalgique (ultrasonothérapie, glace et chaleur). Après 2 semaines de traitement, le patient retrouve une mobilité normale dans tous les plans, une absence de douleurs. Il a une augmentation de la stabilité L5/S1 (au testing segmentaire) et, repris une activité journalière normale (avec course à pied de 2,5 miles). Dans ce cadre, ce type de traitement ne peut être considéré que comme un *adjuvant* utile dans une prise en charge globale. Aucun traitement seul n'a démontré être efficace dans la lombalgie chronique [97].

Tableau III: **Pourcentage des fibres I, IIa, IIb de divers muscles du rachis de sujets sains ou lors d'autopsies.**

Etudes	Types	Age	Muscles	Niveau	Sexe	% Fibres I	% Fibres % IIa	% Fibres IIb
Rantanen et al. [76]	• 21 autopsies	23–65	• Iliocostalis • Multifidus superficiel • Multifidus profond	L4-L5	M	• 67 • 67 • 62	• 33 • 33 • 38	
Jorgensen et al. [77]	• 10 sains • 6 autopsies	21–29 17–29	• longissimus • Multifidus • longissimus • Iliocostalis • Multifidus	L3 L3 L3 L3 L3	M M M M M	• 64 • 59 • 71 • 55 • 54	• 27 • 27 • 18 • 19 • 22	• 9 • 14 • 11 • 26 • 24
Parkkola et al. [74]	• 10 autopsies	17–76	• Multifidus	L4–L5	M	• 66	• 34	
Jorgensen et al. [78]	• 10 sains	21–29	• Longissimus • Multifidus	L3 L3	F F	• 73 • 54	• 18 • 24	
Thorstensson et Carlson [79]	• 16 sains	20–30	• Longissimus • Multifidus	L 3 L 3	M F M F	• 56 • 58 • 60 • 62	• 22 • 21 • 23 • 17	• 22 • 20 • 17 • 21
Matilla et al. [71]	• 12 autopsies	21–58	• Multifidus	L4-S1	M F	• 61 • 63	• 39 •37	
Sirca et Kostevc [80]	• 21 autopsies	22–46	• Longissimus • Multifidus	T9 L3 T9 L3	M M M M	• 74 • 57 • 73 • 63	• 18 • 21 • 17 • 26	• 7 • 22 • 9 • 11
Fidler et al. [81] *Jowett et al [89]*	• 3 autopsies	19–51	• Multifidus	T6 L5	M M F	• 77 • 65 • 64	• 23 • 35 • 36	
Johnson et al. [82] *Polgar et al. [84]*	• 6 autopsies	17–30	• Erector spinae: profond superficiel		 M M	 • 58 • 55	 • 42 • 45	
Sulemana et Suchenwirth [84]	• 11 autopsies	22–73	• Erector spinae		M F	• 63 • 60	• 37 • 40	

Tableau IV: **Pourcentage des fibres I, IIa, IIb de divers muscles du rachis en pathologie rachidienne.**

Etudes	Types	Age	Muscles	Niveau	Sexe	% Fibres I	% Fibres % IIa	% Fibres IIb
Rissanen et al. [85]	• 30 patients douleur lombaire chronique	40.2	• Multifidus		M F	• 68 • 65	• 32 • 35	
Rantanen et al. [72]	• 18 patients hernies discales lombaires	25–53	• Multifidus	L4–S1	M et F			
Zhu et al. [86]	• 22 patients hernies discales lombaires	24–57	• Erector spinae	L3–S1	M F	• 68 • 69	• 10 • 11	• 22 • 20
Matilla et al. [71]	• 41 patients hernies discales lombaires	26–50	• Multifidus	L4–S1	M F	• 58 • 62	• 42 • 38	
Sirca et Kostevc. [80]	• 17 patients hernies discales lombaires	28–50	• Longissimus multifidus	L3 L3	M et F M et F	• 56 • 63	• 26 • 24	• 17 • 13
Bagnall et al. [87] et Bagnall et al [88]	• 19 patients disfonction lombaire	26–73	• Longissimus • Multifidus	L4–L5 L4–L5	M F M F	• 54 • 60 • 47 • 58	• 46 • 40 • 53 • 42	
Ford et al. [89]	• 18 patients disfonction	28–73	• Erector spinae • Multifidus	L5 L5		• 56 • 51	• 44 • 49	
Fidler et al. [81] et Jowett et al. [90]	• 17 patients disfonction lombaire	15–58	• Multifidus	L2–L5	M et F	• 68	• 32	

3) Mcquain et coll. [98]: C'est une étude randomisée et contrôlée en simple aveugle (niveau élevé). Elle s'inspire de celle de Nordin [22] et s'adresse seulement à un groupe homogène de femmes préménopausée (sans pathologie rachidienne). Le suivi est fait sur une année avec un contrôle à 3, 6, 9 et 12 mois. Les auteurs ont étudié si l' EMS (sur une longue période: 1 an) avait une influence sur les muscles lombaires et sur la densité osseuse *(critères d'inclusion, exclusion et paramètres de stimulation voir tableau VI).*
Un facteur important a été étudié: la compliance. Elle est faite en enregistrant le nombre de séances de 30 mn faites par semaine et le niveau d'intensité utilisé sur une échelle de 0 à 10.

Leurs résultats montrent à 3 mois, une augmentation moyenne significative de la force musculaire isométrique des extenseurs du tronc de 8,1% pour les patients sous EMS et de 1,6% pour le groupe témoin (P< 0.03). Cette différence initiale est maintenue à 6, 9 et 12 mois.

Conclusion:
- EMS n'entraîne aucun effet secondaire (stimulation sur 1 an).
- Les gains maximaux sont obtenus après 3 mois de stimulation: donc «inutile» de prolonger au delà.
- Possibilité d'améliorer et de maintenir la force isométrique des muscles lombaires indépendamment d'un programme spécifique d'exercices du rachis lombaire.
- Pas d'augmentation de la densité osseuse
- L'EMS est surtout conseillée en phase aiguë et subaiguë de la lombalgie.

Pour les patients qui présentent des douleurs lors d'exercices de renforcement musculaires en actif, l'EMS seule permet un gain de force et d'endurance.

4) Moore ST et coll. [99]: C'est une étude randomisée, contrôlée et en double aveugle (niveau

Tab. V: **Caractéristiques en pourcentage (%) des différentes fibres musculaires (I, IIa, IIb et IIc de l'erector spinae (± déviation standard) de sujets sains (témoins) et lombalgiques chroniques (patients) d'après Mannion [20].**

	Hommes (12)		Femmes (9)	
% Fibre Type	Patients	Témoins	Patients	Témoins
I	51,0 ± 12,9	66,1 ± 7,7	50,1 ± 7,7	66,5 ± 12,0
IIa	24,0 ± 12,2	24,4 ± 4,2	17,3 ± 10,3	24,6 ± 7,3
IIb	23,4 ± 14,3	7,9 ± 5,9	30,6 ± 11,8	8,2 ± 6,6
IIc	1,6 ± 2,6	0,6 ± 1,0	2,0 ± 3,4	0,2 ± 1,2

Tab. VI: **Etudes relatives à l'EMS de sujets lombalgiques ou non.**

Auteurs	Niveau	Population	Programme	Effets
Nordin M et Kahanovitz N. (spine: 1987)	Niveau fort: Prospective Randomisée Contrôlée	*Femmes non lombalgiques (117)* (18–49 ans) *Groupe 1:* témoin *Groupe 2:* EMS (appareil A) *Groupe 3:* EMS (appareil B) *Groupe 4:* exercices *NB: Caractéristiques des appareils (A et B): voir figure 1*	20 séances (5 fois/sem. × 4 sem.) ➢ **Durée des séances: 30 min.** • **Groupe 2 et 3: EMS:** Echauffement 5 min., 20 min. intensité max./ 5 min. récupération. ➢ Décubitus ventral ➢ Electrodes L2–L4 • **Groupe 4: Exercices** Echauffement, 5 min. stretching, 20 min. exercices pour le dos, récupération	L'EMS de basse fréquence (Appareil A) et les exercices augmentent (P≤0.05) la force isocinétique et l'endurance des extenseurs du tronc
Starring DT et coll (JOSPT 1991)	Niveau faible: étude de cas		◆ semaines: EMS + Antalgie (US, glace, chaleur) + exercices musculation lombaire ➢ **EMS:** 75 Hz: 15 sec. On/50 sec. Off ➢ Intensité maximale ➢ Décubitues ventral ➢ Electrodes L5–S1	Positif: mobilité normale, absence de douleurs, augmentation de la stabilité L5/S1
McQuain et coll (spine: 1993)	Niveau fort: Randomisée Contrôlée Simple aveugle ***critères exclusion:*** fumeuses, grossesse, entraînement, régulier, hystérectomie, prise de médicaments		• *12 mois:* 2 fois par j./5 fois/semaine. • 30 min.: 5' échauffement/20 min. intensité maximale./5 min. récupération ➢ 35 Hz (300 µs): ➢ 25 sec. On / 8 sec. Off ➢ Intensité maximale ➢ Electrodes L2–L4	Follow-up (1 an): Gain de force isométrique des extenseurs du tronc: Dès 3 mois: • EMS: 8,1% • Témoin: 1,6% • Difference (P ≤ 0.03) maintenue à 6, 9, 12 mois Pas d'amélioration de la massage osseuse
Moore ST et coll. (Arch Phys Med **Rehabil 1997)**	Niveau fort: Randomisée Contrôlée Double aveugle *critères exclusion:* Lombalgie ≥ 6 mois (pas de réponse au traitement habituel) *critères exclusion:* grossesse, problèmes psychologiques graves, patients ayant déjà eu un traitement TENS ou EMS	24 lombalgiques (16 femmes, 8 hommes): 26–80 ans *Groupe 1:* témoin (TENS = Placebo) *Groupe 2:* EMS *Groupe 3:* EMS *Groupe 4:* EMS + TENS *NB: Caractéristiques des appareils (EMS et TENS): voir figure 1*	• Durée traitement 2 semaines avec 8 jours de stimulation: à raison 5 heures/jour (2 jours de stimulation et 2 jours sans stimulation). • **TENS:** 5 heures en continu • **EMS:** 3 × 10 min. (5" On / 15" Off) 2 × 130 min. pause • **EMS + TENS: alternés** 1 × 10 min. EMS 3 × 90 min. TENS 1 × 20 min. EMS	◆ Diminution et/ou soulagement de la douleur: **1. (EMS + TENS) ≥ Placebo: (P ≤ 0.01)** **2. (EMS + TENS) ≥ EMS ou TENS seuls: (P ≤ 0.01)** **3. EMS ou TENS seuls ≥ Placebo: (P ≤ 0.001)** EMS seul est plus utile que le TENS seul dans la lombalgie chronique (différence non significative)

élevé). Ce travail c'est surtout intéressé au côté antalgique de l'EMS (questionnaire de la douleur de Mc Gill et par échelle visuelle analogique de 0 à 10 cm). Il a comparé un traitement d'EMS seul ou de TENS (Transcutaneous Electrical NeuroStimulation) seul et un traitement combiné [EMS + TENS] avec un placebo, dans la prise en charge de la lombalgie chronique. Les critères d'inclusion, d'exclusion et les paramètres de stimulation sont résumés dans le tableau VI. Les caractéristiques des appareils TENS et EMS utilisés sont dans la *fig. 1.*

Le placebo est délivré par un appareil type TENS modifié qui n'entraîne aucune stimulation. L'indication de puissance d'activité est la même source lumineuse que pour un appareil traditionnel. L'effet machine est ainsi supprimé.

Conclusion: Sur la diminution ou le soulagement de la douleur :

- Traitement combiné [EMS + TENS] est statistiquement supérieur (P< 0.001) au placebo.
- [EMS + TENS] est statistiquement supérieur (P< 0.01) à EMS ou TENS appliqués seuls.
- EMS ou TENS appliqués isolément sont statistiquement supérieurs (P < 0.001) au placebo.

Cette étude montre que l'association EMS/TENS est un bon traitement de la douleur chez le lombalgique. Certains appareils d'EMS permettent de programmer sur le même appareil ces 2 types de courant (antalgique et excitomoteur).

Remarque:

- Cette étude porte sur un échantillonnage de patients trop hétérogène (pathologie, âge), avec des reculs sur la douleur allant jusqu'à 10 ans.
- Le patient administrant lui-même son traitement (5 heures par jour) un contrôle de la compliance thérapeutique est nécessaire.
- La posologie de: 2 jours de stimulation et 2 jours sans est très discutable.

La stimulation de la branche sensitive produit une augmentation significative et prolongée de la «Spinal cord blood flow» (100) qui peut être une explication au bénéfice obtenu chez certains de nos patients lombalgiques traités avec par

Fig. I: **Caractéristiques des paramètres électriques utilisés en fonction des appareils A et B, TENS et EMS**

	Appareil: A Basse Fréquence	Appareil: B Moyenne Fréquence	TENS	EMS
Amplitude (mA)	0–100	25	0–60	0–100
Voltage (V)	45	0–105		0–105
Fréquence (Hz)	35	300–500	100	70
Durée (µs)	300	400–600	300	200
Forme courant	Rectangulaire, biphasique, symétrique	Modulé monophasique	Rectangulaire pulsé biphasique asymétrique	Rectangulaire pulsé biphasique, symétrique

stimulation électrique (diminution de la stase veineuse?).
Nous avons, dans notre pratique quotidienne, retrouvé après cure chirurgicale de hernie discale lombaire [101], que l'EMS avait un effet indéniable sur la diminution de la douleur postopératoire (avec une levée de la sidération musculaire). Nous l'utilisons comme adjuvant (but antalgique et de renforcement) dans le programme intensif des suites de cette chirurgie discale [102]. L'EMS trouve sa place dans les techniques de renforcement musculaire du tronc [103].

Conclusion

Dans la lombalgie, les effets délétères de la: douleur – contracture musculaire – diminution d'activité, sur le maintien et le recrutement de la force musculaire, doivent être précocement pris en charge. La stimulation électrique localisée de la musculature paravertébrale permet de maintenir les fibres musculaires dans un état de vitalité, de passer le cap de la fragilisation des fibres musculaires dans les trois premiers mois et d'exercer un effet eutrophique sur celles-ci [39]. Les muscles extenseurs du tronc ont une composition en majorité de fibres lentes et, la lombalgie va entraîner une atrophie significative de ces fibres [20]. L'ensemble des données de la littérature relatives au processus de stimulation démontre à l'évidence que seule une électromyostimulation continue, c'est-à-dire qui détermine une dose d'activité musculaire prolongée pendant plusieurs heures et répétée régulièrement chaque jour, est efficace pour assurer, selon les besoins, le maintien, le recouvrement ou le renforcement des caractéristiques contractiles, propres à un type donné de fibre musculaire. Pour les muscles extenseurs du tronc c'est surtout la qualité d'endurance qu'il faut améliorer.
L'EMS est indiquée dans toutes les phases de la lombalgie (aiguë, subaiguë et chronique). L'EMS couplée à du TENS a un meilleur effet antalgique que l'EMS ou le TENS utilisés seuls. Comme pour toute technique, il faut que le patient adhère à la méthode (peur du courant électrique moins important avec des stimulateurs portables) et que le thérapeute explique bien à son patient les buts thérapeutiques.

Si l'objectif est la prévention d'atrophie, les courants utilisés devront correspondre à la physiologie des unités motrices lentes. Si l'objectif est un gain de force et/ou d'endurance musculaire, les programmes seront adaptés à la physiologie des unités motrices des fibres lentes et rapides.
Les stimulateurs utilisés doivent délivrer un courant rectangulaire, constant à moyenne électrique nulle et, permettre un contrôle de la compliance thérapeutique (en durée de stimulation et en intensité). La position précise des électrodes (point moteur du muscle cible) est un facteur essentiel à considérer dans un traitement par EMS.

RÉFÉRENCES

1. *DEYO R.A., WALSH N.E., MARTIN D.C., SCHOENFIELDS L.S., RAMAMURTHY S.:* A controlled trial of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and exercice for chronic low back pain. N Engl J Med 1990; 322: 1627–1634.
2. *HANSEN F.R., BENDIX T., SKOV P. ET COLL.:* Intensive, dynamic back muscle exercices, conventional physiotherapy, or placebo-control treatment of low-back pain. Spine 1993; 18: 98–107.
3. *MANNICHE C., HESSELSOE G., BENTZEN L., CHRISTENSEN I., LUNDBERG E.:* Clinical trial of intensive muscle training for chronic low back pain. Lancet 1988; 2: 1473–1476.
4. *MANNICHE C., LUNDBERG G., CHRISTENSEN I., BENTZEN L., HESSELSOE G.:* Intensive, dynamic back exercices for chronic low back pain: A clinical trial. Pain 1991; 47: 53–63.
5. *JACALIN J.J., BLIDE R.W., MCWHRORTER, COURSEY C.:* The effect of a work hardening programm on cardiovascular fitness and muscular strength cardiovascular. Spine 1995; 20 (10): 1187–1193.
6. *TAIMELA S., HARKAPAA K.:* Strength, mobility, their changes, and pain reduction in active functional restoration for for chronic low back pain. J Spinal Disord 1996; 9 (4): 306–312.
7. *MELLIN G., HARKAPAA K., VANHARANTA H., HUPILI M., HEINONEN R., JARVIKOSKI A.:* Outcome of a multimodal treatment including intensive physical training of patients with chronic low back pain. Spine 1993; 18 (7): 825–829.
8. *RISCH S.V., NORWELL N.K., POLLOCK M.L. ET AL.:* Lumbar strengthening in chronic low back pain patients: Physiological and Psychological benefits. Spine 1993; 18 (2): 232–238.
9. *AKEBI T., SAEKI S., HIEDA H., GOTO H.:* Factors affecting the variability of the torque curves at isokinetic trunk strength testing. Arch Phys Med Rehabil 1998; 79 (1): 33–35.
10. *HULTMAN G., NORDIN M., SARASTE H., OHLSEN H.:* Body composition, endurance, strength , cross-sectional area, and density of MM erector spinae in men with and without low back pain. J Spinal Disorders 1993; 6: 114–123.
11. *KAHANOVITZ N., NORDIN M., VERDERAME R., ET AL.:* Normal trunk muscle and endurance in women and the effect of exercises and electrical stimulation. Part 2: Comparative analysis of electrical stimulation and exercises to increase trunk muscle strength and endurance. Spine 1987; 12: 112–18.
12. *MAYER T.G., SMITH S.S., KEELEY J., MOONEY V.:* Quantification of lumbar function. Part 2. Sagittal plane trunk strength in chronic low-back pain patients. Spine 1985; 10: 765–72.
13. *MAYER T.G., VANHARANTA H., GATCHEL R.J., ET AL.:* Comparaison of CT scan muscle measurements and isokinetic trunk strength in postoperative patients. Spine 1989; 14: 33–6.
14. *VAN DER VALK R.W.A., DEKHER J., VAN BAAR M.E.:* Physical therapy for patients with low back pain. Physiotherapy 1995; 81: 345–351.
15. *BIERING-SORENSEN F.:* Physical measurements as risk indicators for low-back trouble over one-year period. Spine 1994; 9: 106–09.
16. De Luca C.J.: Use of the surface EMG signal for performance evaluation of back muscles. Muscle Nerve 1993; 16: 210–16.
17. *HODGES P.W., RICHARDSON S.A.:* Delayed postural contraction of transversus abdominis in LBP associated with movement of the lower limb. J Spinal Disord 1998; 11 (1): 46–56.
18. *KERKOUR K., MEIER J.L.:* Evaluation comparative isocinétique des muscles du tronc de sujets sains et de lombalgiques. Ann Kinésither 1994; 21 (1): 27–31.
19. *LUOTO S., HELIOVAARA M., HURRI H., ALARANTA H.:* Static back endurance and the risk of low-back pain. Clin Biomech 1995; 10: 323–324.
20. *MANNION A.F., WEBER B.R., DVORAK J., GROB D., MÜNTENER M.:* Fibre type characteristics of the lumbar paraspinal muscles in normal healthy subjects and patients with low back pain. J Orthop Res. 1997; 15: 881–887.
21. *NICHOLAISEN T., JORGENSEN K.:* Trunk, strength, back muscle endurance and low-back trouble. Scand J Rehabil Med 1985; 17: 121–127.
22. *NORDIN M., KAHANOVITZ N., VERDERAME R., ET AL.:* Normal trunk muscle and endurance in women and the effect of exercises and electrical stimulation. Part 1: Normal endurance and trunk muscle strength in 101 women. Spine 1987; 12: 105–111.
23. *O'SULLIVAN P.B., TWOMEY L., ALLISON G.T.:* Altered abdominal muscle recruitment in patients with chronic back pain following a specific exercise intervention. J Orthop Sports Phys Ther 1998; 27 (2): 114–124.
24. *ROY S.H., DE LUCA C.J., CASAVANT D.A.:* Lumbar muscle fatigue and chronic lower back pain. Spine 1989, 14. 992–1001.
25. *ROY S.H., DE LUCA C.J., SNYDER-MACKLER L. ET AL.:* Fatigue, recovery, and low back pain in varsity rowers. Med Sci Sports Exerc 1990; 22: 463–469.
26. *CABRIC M., APPELL H.J., RESIC A.:* Effects of electrical stimulation of different frequencies on the myonuclei and fiber size in human muscle. Int. J Sports Med 1987; 8: 323–326
27. *DELITTO A., SNYDER-MARCKLER L.:* Two theories of muscle strength augmentation using percutaneous electrical stimulation. Phys Ther 1990; 70 (3): 158–164.
28. *ERIKSSON E., HÄGGMARK T., KIESFING KLI., KARLSOSON J.:* Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle. Int. J Sport Med 1981; 2: 18–22
29. *GIBSON J.N., SMITH K.A., RENNIE M.J.:* Prevention of disuse muscle atrophy by means an electrical stimulation: Maintenance of protein synthesis. Lancet 1988; 2: 767–769.
30. *KRAMER J.F.:* Effect of electrical stimulation current frequencies on isometric knee extension torque, Phys Ther 1987; 67: 31–38.
31. *KERKOUR K., MEIER J.L., MANSUY J.:* Chirugie du genou: Electromyostimulation programmable. Ann Réadap Med Phys 1990; 33: 55–61.
32. *LAKE D.A.:* Neuromuscular electrical stimulation: An overview and its application in the treatment of sports injuries. Sports Med 1992; 13 (2): 320–336.
33. *SELKOWITZ D.M.:* High frequency electrical stimulation in muscle strengthening: A review and discussion. Am J Sports Med 1989; 17 (1): 103–111.
34. *ANCIAUX M., LENAERT A., VAN BENEDEN M.L., VERCAUTEREN M.:* Transcutaneous electrical stimulation for the treatment of progressive idiopathic scoliosis: Theory and practice. Ann Réadap Med Phys 1991; 34: 111–119.
35. Bruandet JM, Tuberlin, G, Veret MC : L'électrostimulation nocturne dans le traitement de la scoliose, 5 ans d'expérience. Ann Kinési Ther 1993; 20 (3): 117–122.
36. *GRIMBY G., NORDWALL A., HULTEN B., HENRIKSSON K.G.:* Changes in histochemical profile of muscle after long term electrical stimulation in patients with idiopathic scoliosis. Scand J Rehab Med 1985; 1: 191–196.
37. *WRIGHT J., HERBERT M.A., VELAZQUEZ R., BOBENCHKO W.P.:* Morphologic and histochemical characteristics of skeletal muscle after long-term intramuscular electrical stimulation. Spine 1992; 17 (7): 767–770.
38. *BOITARD J., BACQUART F. ET AL.:* Intérêt de l'électromyographie dans le suivi et la programmation de la rééducation du genou ligamentaire opéré. In: Rééducation 86, Expansion Scientifique Française1986; Paris, 47–54.

39. *DE BISSCHOP G., CORLOBE P., DUMOULIN J., BERTHELIN FR.:* Musculation paravertébrale par stimulation électrique. Ann Kinésither. 1994; 21 (5): 245–250.

40. *MCDOUGALL J.D., ELDER J.C.B., SALE D.G., MOROZ J.R., SUTTON J.R.:* Effects of strength training and immobilization on human muscle fibers. Eur J Appl Physiol 1980; 43: 25–34.

41. *ROSEMEYER B., STÜRZ H.:* Musculus quadriceps femoris bei immobilisation und remobilisation. Zeitschrift für Orthopédie 1977; 115: 182–188.

42. Brodard R., Gobelet C.: Données actuelles en électromyostimulation fonctionnelle. Principes théoriques, vol. 1. Médicompex, Genève, 1988

43. *ZILTENER J.L., CHANTRAINE A.:* Méthodologie de la stimulation électrique fonctionnelle. Ann Réadap Méd Phys 1997; 8: 40–43.

44. *BIGARD A.X., CANON F., GUEZENNEC C.Y.:* Conséquences histologiques et métaboliques de l'électromyostimulation: Revue de la littérature. Science and Sports 1991; 6: 275–292.

45. *CABRIC M., APPELL H.J.:* Effect of electrical stimulation of high and low frequency on maximum isometric force and some morphological characteristics in men. Int. J Sports Med 1987; 8: 256–260.

46. *CABRIC M., APPELL H.J., RESIC A.:* Fine structural changes in electrostimulated human skeletal muscle: evidence for predominant effects on fast muscle fibers. Eur J App Physiol 1988; 57: 1–5.

47. *FAGHRI P.D., VOTTO J.J., HOVORKA C.F.:* Venous hemodynamics of the lower extremities in reponse to electrical stimulation. Arch Phys Med Rehabil 1998; 79 (7): 842–848.

48. *ERIKSSON E., HÄGGMARK T., KIESFING KL., KARLSOSON J.:* Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle. Int. J Sport Med 1981; 2: 18–22.

49. *TAKAHASHI M., HOOD D.A.:* Chronic stimulation-induced changes in mitochondrial and.perfonnance in rat skeletal muscle J Appl Physiol 1993; 74 (2): 934–941.

50. *JARVIS J.C., MOKRUSCH T., KWENDE M.M., SUTHERLAND H., SALMONS S.:* Fast to slow transformation in stimulated rat muscle. Muscle and Nerve 1996, 19: 1469–1475.

51. *MAYNE C.N., MOKRUSCH T.M., JARVIS J.C., GILROY S.J.:* Stimulation induced expression of slow muscle myosin in fast muscle of the rat. Evidence of an unrestrictive adaptative capacity. FEBS Lett 1993, 327: 297–300

52. *DUBOWITZ V., SCOTT O., VRBOVA G.:* Effect of nerve stimulation on normal and diseased human muscle. Proc. 5th Int. Congr Neurol by Serratrice G et al. Raven Press, 1983

53. *MARTIN T.P., STEIN R.B., HOEPPNER P.H., REID D.C.:* Influence of electrical stimulation on the morphological and metabolic properties of paralyzed muscle. J Appl Physiol 1992; 72 (4): 1401–1406

54. *ROCHESTER L., BARRON M.J., CHANDLER C.S., JOHNSON M.A., MILLER S., SUTTON R.A.:* Influence of electrical stimulation on contractile and histochemical properties of tibialis anterior muscle in paraplegic human subjects. J Physiol 1992; 452: 278 p

55. *ANDERSEN J.L., MOHR T., BIERIN & SJRENSEN F., GALBO 11., KJAER M.:* Myosin heavy chain isoform transformation in single fibers from vastus lateralis. In: Spinal Cord Injured Individuals : effect of long term functionnal electrical stimulation. Eur J Physiol 1996; 431: 513–518

56. *THÉRIAULT R., THÉNIAULT G., SIMONEAU J.A.:* Human skeletal muscle adaptation in response to chronic low-frequency electrical stimulation. J Appl Physiol 1994; 77 (4): 1885–1889.

57. *THÉPAUT-MATHIEU C.:* Electrostimulation et recrutement différentiel des unités motrices. Ann Kinésithér. 1998; 25 (3) : 115–118.

58. *DUCHATEAU J., HAINAUT K.:* Electrical and mechanical failures during sustained and intermittent contractions in humans. J Appl Physiol 1985; 58 (3): 942–947.

59. *ROQUES C.F., CONDOURET J., BOURG V:* Renforcement musculaire par électrostimulation, JAMA 1990, Act. thérapeutiques (supplément), N° hors série, 27–29.

60. *MUNSAT T.L., MC NEAL D.:* Effects of nerve stimulation on human muscle. Arch NeuroL 1976, 33: 608–616

61. *DUVOISIN M.P., CONVERTINO V.A., BUCHANAN P., GOLLNICK P.D., DUDLEY G.A.:* Characteristics and preliminary observations of the influence of electrostimulation on the size and function of the human skeletal muscle during 30 days of simulated microgravity. Aviat Space Environ Med 1989; 60 (7): 671–678.

62. *BIGARD A.X.; GUÉZENNEC C.Y.:* Effects of surface electrostimulation on the structures and metabolic properties in monkey skeletal muscles. Med Sci Sports Exerc 1993; 25: 355–362

63. *GOBELET C., PERENTES E., DERUAZ P., LEYVRAZ P.F., VOLKEN H., LIVIO J.J.:* Modifications musculaires après entraînement électrique chez l'homme. Médecine du Sport 1989; 63 (6): 310–312

64. *APPEL H.J., FORSBERG S., HOLLMANN W.:* Satellite Cell activation in human skeletal muscle after training : Evidence for muscle fiber neoformation. Int. J Sports Med 1988; 9: 297–299.

65. *THÉPAUT-MATHIEU C., POUGHEON M.:* Electro-stimulation appliquée de manière prolongée. Kinési Scient 1992; 308: 15–20.

66. Hudlicka O., Tyler K.R.: The effects of different patterns of long term stimulation on contractile properties and myosine ligtht chains in rabbits fast muscles. Pflügers Arch. 1982, 393: 164–170

67. *HAINAUT K., DUCHATEAU J.:* Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. Sports Med 1992; 14 (2): 100–113.

68. *KARLSON J.:* Lactate and phosphagen concentrations in working muscle of man. Acta Physiol Scand Suppl 1971; 1: 72.

69. *HIDES J.A., RICHARDSON C.A., JULL G.A.:* Multifidus muscle recovery is not automatic after resolution of acute, after resolution of acute, first-episode low back pain. Spine 1996; 21 (23); 2763–2769.

70. *LETHO M., HURME M., ALARANTA H. ET AL.:* Connective tissue changes of the multifidus muscle in patients with lumbar disc herniation: An immunohistologic study of collagen types I and III and fibronectin. Spine 1989; 14: 658–668.

71. *MATTILA M., HURME M., ALARANTA H. ET AL.:* The multifidus muscle in patients with lumbar disc herniation. Spine 1986; 11: 732–738.

72. *RANTANEN J., FALCK M.H., ALARANTA H., NYKVIST F., LETHO M., EINOLA S., KALIMO H.:* The lumbar multifidus muscle five years after surgery for a lumbar intervertebral disc herniation. Spine 1993; 18 (5): 568–574.

73. *TULBERG T., RYDBERG J., ISACSSON J.:* Radiographic changes after lumbar discectomy: Sequential enhanced computerised tomography in relation to clinical observations. Spine 1993; 18 (7): 843–850.

74. *PARKKOLA R., ALANEN A., KALIMO H., LILLSUNDE I., KOMU M., KORMANO M.M.:* Relaxation times anf fiber type predominance of the psoas and multifidus muscle. An autopsy study. Acta Radiol 1993; 34: 16–19.

75. *NG J.K.F., RICHARDSON C.A., KIPPERS V., PARNIANPOUR M.:* Relationship between muscle fiber composition and functional capacity of back muscles in healthy subjects and patients with back pain. JOSPT 1998; 27 (6): 389–402.

76. *RANTANEN J., RISSANEN A., KALIMO H.:* Lumbar muscle fiber size and type distribution in normal subjects. Eur Spine J 1994; 331–335.

77. *JORGENSEN K., MAG C., NICHOLAISEN T., KATO M.:* Muscle fiber distribution, capillary, density, and enzymatic activities in the lumbar paravertebral muscles of young men. Spine 1993; 18 (11): 1439–1450.

78. *JORGENSEN K., NICHOLAISEN T.:* Isometric trunk extensor endurance in young females. In: proceedings of the XIII International Congress on Biomechanics. Perth Australia1991; 16–17.

79. *THORSTENSSON A., CARLSON H.:* Fibre types in human lumbar back muscles. Acta Physiol Scand 1987; 131: 195–202.

80. *SIRCA A., KOSTEVC V.:* The fibre type composition of thoracic and lumbar paravertebral muscles in man. J Anat 1985; 141: 131–137.

81. *FIDLER M.W., JOWETT R.L., TROUP J.D.G.:* Myosin ATPase activity in multifidus muscle from cases of lumbar spinal derangement. J Bone Joint Surg 1975; 57B: 220–227

82. *JOHNSON M.A., POLGAR J., WEIGHTMAN D., APPLETON D.:* Data on the distribution of fibre types in thirthy six human muscles. An autopsy study. J Neurol Sci 1973; 18: 11–29.

83. *POLGAR J., JOHNSON M.A., WEIGHTMAN D., APPLETON D.:* Data on fibre size in thirty six human muscles. An autopsy study. J Neurol Sci 1973; 19: 307–316

84. *SULEMANA C.A., SUCHENWIRTH R.:* Topische Unterschiede in der enzymhistologichen Zusammensetzung der Skelettmuskulatur. Untersuchungen an 5 skelettmuskeln von verstorbenen ohne neuromuskuläre Erkrankungen. J Neurol Sci 1972; 16: 433–444.

85. *RISSANEN A., KALIMO H., ALARANTA H.:* Effect of intensive training on the isokinetic strength and structure of lumbar muscles in patients with chronic low back pain. Spine 1995; 20: 333–340.

86. *ZHU X.Z., PARNIANPOUR M., NORDIN M., KAHANOVITZ N.:* Histochemistry and morphology of erector spinae muscle in lumbar disc herniation. Spine 1989; 14: 391–397.

87. *BAGNALL K.M., FORD D.M., MCFADDEN K.D., GREENHILL B.J., RASO V.J.:* A comparaison of vertebral muscle fiber characteristics between human and monkey tissue. Acta Anat 1983; 117: 51–57.

88. *BAGNALL K.M., FORD D.M., MCFADDEN K.D., GREENHILL B.J., RASO V.J.:* The histochemical composition of human vertebral muscle. Spine 1984; 9: 470–473.

89. *FORD D., BAGNALL K.M., MCFADDEN K.D., GREENHILL B., RASO J.:* Analysis of vertebral muscle obtained during surgery for correction of a lumbar disc disorder. Acta Anat 1983; 116: 152–157.

90. *JOWETT R.L., FIDLER M.W., TROUP J.D.G.:* Histochemical changes in the multifidus in mechanical derangements of the spine. Orthop Clin North Am 1975; 6: 145–171.

91. *BOGDUK N., WILSON A.S., TYNAN W.:* The human lumbar dorsal rami. J Anat 1982; 134: 383–397.

92. *JONSSON B.:* The functions of individual muscles in the lumbar part of erector spinae muscle. Electromyography 1970; 1: 5–21.

93. *PAULY J.E.:* An electromyographic analysis of certain movements and exercises. Some deep muscles of the back. Anat Rec 1966; 155: 223–234.

94. *BONDE-PETERSEN F., MORK A.L., NIELSEN E.:* Local muscle blood flow and sustained contractions of human arm and back muscles. Eur J Appl Physiol 1975; 34: 43–50.

95. *STYF J.:* Pressure in the erector spinae muscle during exercise. Spine 1987; 12: 675–678.

96. *STARRING D.T.:* The use of electrical stimulation and exercise for strengthening lumbar musculature: A case study. J Orthop Sports Phys Ther 1991; 14 (2): 61–64.

97. *VAN TULDER M.W., KOES B.W., BOUTER L.M.:* Conservative treatment of acute and chronic nonspecific low back pain. A systematic review of randomized controlled trials of the most common interventions. Spine 1997; 22 (18): 2128–2156.

98. *MCQUAIN M.T., SINAKI M., SHIBLEY L.D., WAHNER H.W., IISTRUP D.M.:* Effect of electrical stimulation on lumbar paraspinal muscles. Spine 1993; 18 (13): 1787–1792.

99. *MOORE S.R., SHURMAN J.:* Combined neuromuscular electrical stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation for treatment of chronic back pain: a double-blind, repeated measures comparison. Arch Phys Med Rehabil 1997; 78: 55–59.

100. *SEKI M., MAEDA M.:* Effects of electrical stimulation of motor and cutaneous nerves on spinal cord blood flow. Spine 1993; 18 (13): 1798–1802.

101. *KERKOUR K., MEIER J.:* Place de l'électrostimulation neuromusculaire dans la hernie discale lombaire opérée. In: Rééducation 1994. Expansion Scientifique Française, 31–38.

102. *KERKOUR K., MEIER J.L., MANSUY J.:* Evaluation d'un programme de rééducation intensive après hernie discale opérée. Ann Kinésithér 1998; 25 (3): 98–104.

103. *MEIER J.L., KERKOUR K., MANSUY J.:* Techniques de musculation abdominale et spinale. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Kinésithérapie-Rééducation fonctionnelle, 26-062-A-10, 1996, 14p.