

Extenseurs lombaires et lombalgie

Effets du réentraînement

V. DULIEU, J.M. CASILLAS, S. REY

Service de Médecine Physique et de Réadaptation - CHU de Dijon
21034 Dijon Cedex

La lombalgie chronique représente un problème majeur de santé publique dans les pays industrialisés, de par sa prévalence et son coût socio-économique qui ne cessent de s'accroître^(1, 13, 33). De façon récente, l'attention a été attirée sur l'existence d'un déconditionnement musculaire lombo-fessier, mis en évidence par mesure dynamométrique⁽¹²⁾. Cependant, ces techniques d'isocinétisme restent coûteuses en temps et en budget, et des mesures cliniques alternatives ont été proposées. Le test de Sorensen semble le plus fiable, facile à

mettre en œuvre et reproductible⁽²⁸⁾. Il évalue l'endurance et la douleur de toute la chaîne postérieure lombo-fessière, mais il est également dépendant de la volonté du patient. Il paraît intéressant d'y adjoindre une mesure spécifique électromyographique (EMG de surface) non invasive, appréciant la composante fatigue de façon objective.

L'objet de ce travail a été d'évaluer, avant et après reconditionnement à l'effort, les paramètres EMG de surface, recueillis durant un test de Sorensen, dans une population de lombalgiques chroniques, comparée à une population de sujets témoins non lombalgiques.

Méthodologie

Population

Les critères d'inclusion étaient une lombalgie chronique (> 6 mois), sévère (score Canadien^(20, 36) > 50/1000) avec risque de désinsertion socio-professionnelle. L'âge était compris entre 20 et 55 ans.

Les critères d'exclusion étaient un profil psychologique incompatible avec le programme, ou une pathologie associée

contre-indiquant la mise en œuvre du réentraînement.

Ce groupe a été comparé à 15 témoins non lombalgiques (10 hommes, 5 femmes) appariés pour l'âge (42,7 ans en moyenne).

Protocole

Chaque patient a bénéficié, avant réentraînement, d'un test d'effort maximal, réalisé sur bicyclette ergométrique, afin d'éliminer les contre-indications cardio-vascu-

lares au réentraînement et de déterminer le niveau utile des exercices (70 à 80% de la fréquence cardiaque maximale).

Un test de Sorensen était couplé à un recueil continu de l'E.M.G. de surface (électromyographe type MYOTRAC II™ comprenant 2 canaux d'enregistrement avec 2 têtes de détection (MYOSCAN). Cet appareil fournit un signal E.M.G. intégré sous forme de RMS (Root Mean Square), dérivé de l'amplitude du signal (µvolt). Les électrodes sont positionnées en regard de L4-

L5, après nettoyage cutané, à 2 cm latéralement par rapport à la ligne des épineuses. Le patient est positionné en décubitus ventral, le bassin reposant sur les épines iliaques antéro-supérieures, la partie antérieure de la table étant inclinée de 45° vers le bas, les membres inférieurs fixés au niveau des chevilles et du creux poplité par sangles rattachées à la table d'examen, les membres supérieurs maintenus le long du corps. Puis, il effectue un effort de maintien du tronc à l'horizontale. Le test est chronométré. Les causes d'arrêt du test sont notées : fatigue musculaire et/ou douleur.

La même méthode a été utilisée après reconditionnement musculaire intensif, pendant 4 semaines. Le même test fut pratiqué dans le groupe témoin.

Ont été analysés : la durée du test de Sorensen (sec), l'amplitude initiale du RMS (μV) dès l'obtention d'une position horizontale stable durant le test, et l'amplitude finale dès l'arrêt de l'effort, la variation d'amplitude entre le début et la fin du test ($\Delta\text{Ai-Af}$), ainsi que la variation d'amplitude au point t, celui-ci correspondant à la durée totale du test de Sorensen avant réadaptation ($\text{DT} = \text{amplitude initiale séance n}^\circ 2 - \text{amplitude au point t de la séance n}^\circ 2$).

Programme de reconditionnement musculaire (44, 45, 46, 47)

Chaque patient a bénéficié, durant 4 semaines, d'un programme individualisé de réadaptation en hospitalisation. Il est basé sur le reconditionnement global à l'effort, visant à améliorer les capacités aérobie. La puissance développée sur les différents ergomètres proposés est définie par les paramètres cardiologiques du test d'effort initial. La fréquence cardiaque est constamment mesurée par cardio-fréquence-mètre, et contrôlée par le patient lui-même.

Une rééducation lombo-pelvi-fémorale est associée. Son objectif est de renforcer les extenseurs du tronc et les fessiers, en privilégiant tout au moins au début les exercices statiques, isométriques, visant à améliorer l'endurance musculaire, avec une sollicitation plutôt de type gymnique (4).

Progressivement, sont introduits des exercices dynamiques, permettant d'améliorer, en restant toujours dans un contexte d'indolence, la flexibilité rachidienne.

Quotidiennement sont proposées des techniques d'étirements sous-pelviens intéressant quadriceps, ischio-jambiers, moyen fessier, tenseur du fascia lata et adducteurs de hanche. De même, une éducation aux mesures ergonomiques avec prise de conscience posturale est introduite, visant à améliorer les automatismes gestuels. Une prise en charge psycho-sociale et diététique est également proposée.

Analyse statistique

La durée du test de Sorensen et les différents paramètres EMG ont été comparés entre patients lombalgiques et sujets témoins (test t de Student), et dans la population lombalgique avant et après réadaptation (test t «paire»).

L'analyse est réalisée sur la durée de maintien du tronc à l'horizontale, et sur la valeur du RMS du signal EMG. Les amplitudes initiales (en μV , relevées à la fin du test de Sorensen) droites et gauches, pré et post-réentraînement, sont comparées, tout comme les Δ droits et gauches (amplitude initiale - amplitude finale). Le point t, correspondant au temps de maintien chronométré lors du premier test, est reporté sur l'axe des abscisses du graphe de la séance n° 2 (figure 1). Les amplitudes droites et gauches correspondantes sont relevées sur l'axe des ordonnées.

Résultats

17 sujets lombalgiques ont été retenus (13 hommes, 4 femmes) d'âge moyen 43,9 ans.

Comparaison témoins-patients lombalgiques

La durée du temps de maintien à l'horizontale est significativement ($p < 0,001$) plus élevée dans la population témoins (297,4 \pm 74,9 vs 162,1 \pm 71 sec). Les amplitudes du

signal EMG initiale et finale sont également significativement plus élevées chez les témoins par rapport aux lombalgiques, la différence d'amplitude ($\Delta\text{Ai-Af}$) est identique (tableau 1) dans la population lombalgique et la population témoin. La figure 1 illustre la diminution progressive du RMS durant le test de Sorensen.

Comparaison avant et après réadaptation dans la population lombalgique

Dans la population lombalgique, l'amélioration du test de Sorensen après réentraînement est significative (162,1 \pm 71 avant vs 201,1 \pm 70,9 après - tableau 2 ; $p < 0,001$). L'amplitude initiale du signal EMG ne varie pas significativement après réentraînement, l'amplitude finale est par contre diminuée de façon significative, pour une durée du test plus longue. La différence d'amplitude ($\Delta\text{Ai-Af}$) est plus élevée après réadaptation, de façon proportionnelle à la variation de l'amplitude finale. Le Δt , correspondant à la différence d'amplitude au point t (temps de maintien à l'horizontale lors de la séance n° 1), ne varie pas significativement après réentraînement (figure 2).

Ont été comparées, dans la population témoin et dans la population lombalgique, les données électromyographiques enregistrées par les électrodes droites et gauches. Il n'y a pas de différence significative droite-gauche, quelle que soit la latéralisation du patient.

Discussion

L'évaluation fonctionnelle de la musculature lombo-fessière chez le lombalgique chronique paraît indispensable pour valider les programmes de réadaptation à l'effort proposés à ces patients. Différentes méthodologies ont été utilisées, mesurant la force ou l'endurance musculaire, soit au cours d'un travail statique des extenseurs lombaires, soit au cours de sollicitations dynamiques. La dynamométrie isocinétique a permis la mise en évidence, sur des cohortes de patients lombalgiques chro-

n = 17	Avant	Après	t païré
Sorensen (sec)	162,1 ± 71	201,1 ± 70,9	p<0,001
Amplitude initiale RMS (mV)	56,7 ± 33,1	52,8 ± 29,8	NS
Amplitude finale RMS (mV)	39,0 ± 23,4	31,7 ± 16,1	p<0,05
DAi-Af	16,4 ± 17,5	22,4 ± 18,9	p<0,05
Dt	39,0 ± 23,4	37,5 ± 22,01	NS

Tableau 1 : Données cliniques (durée du test de Sorensen en sec) et EMG (amplitude de RMS en mV) : comparaison population lombalgique et sujets témoins.

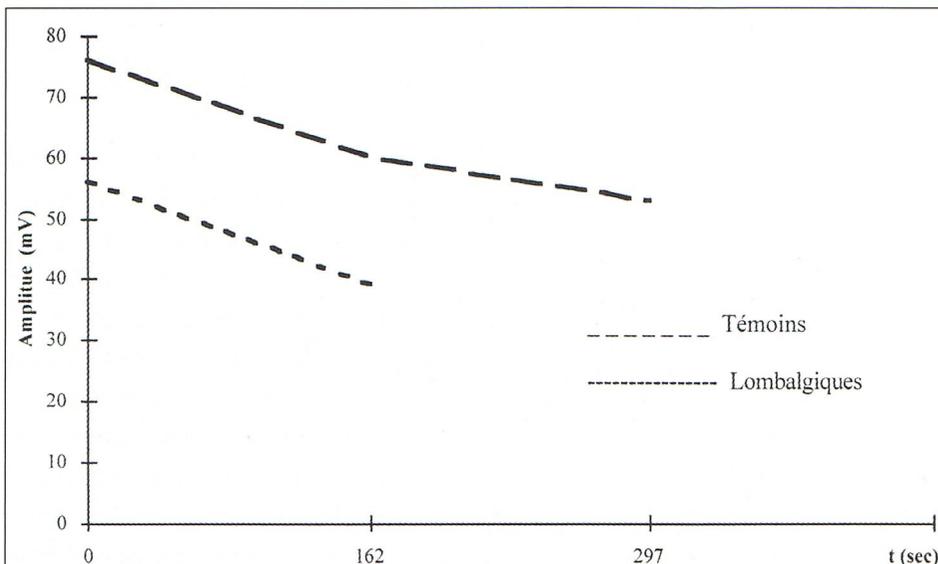


Figure 1 : Données EMG (amplitude du signal RMS en mV) au cours d'un test de Sorensen : évolution en fonction du temps, comparaison patients lombalgiques-témoins

niques comparativement à des sujets sains, d'un syndrome de déconditionnement musculaire atteignant les muscles extenseurs lombaires (12). Chez le sujet sain, les fléchisseurs du tronc sont moins puissants que les extenseurs, avec un ratio fléchisseurs-extenseurs se situant aux environs de 0,7 (9). Chez le lombalgique chronique, ce ratio est inversé, passant à 1,10 (25), la diminution de la force musculaire touchant de façon plus importante les extenseurs (-45%) que les fléchisseurs rachidiens (-20%) (38). Cette perte d'efficacité atteint de façon préférentielle le temps concentrique de la contraction musculaire par rapport au temps excentrique. C'est essentiellement l'endurance musculaire qui est dégradée, plus que la force musculaire maximale volontaire, faisant évoquer une perte des performances du métabolisme aérobie. Ceci justifie les propositions de programme intensif de reconditionnement (26).

Les techniques électromyographiques ont été également utilisées, notamment l'E.M.G. de surface. Parmi les paramètres d'analyse des signaux EMG, ce sont plus souvent les critères d'amplitudes («Root Mean Square» - RMS) et d'analyse spectrale des fréquences («Median Frequency» - MF ; «Mean Power Frequency» - MPF) qui sont utilisés dans l'évaluation objective de la fatigue. Le nombre d'unités motrices étudié est variable, dépendant des dimensions des électrodes de recueil utilisées.

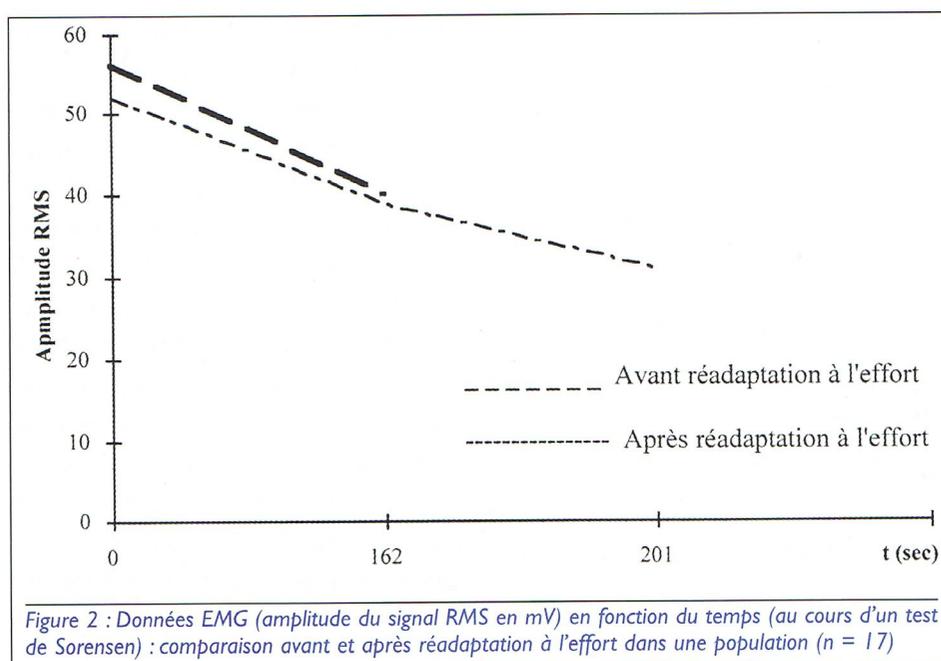
Concernant l'analyse spectrale des fréquences au cours de l'E.M.G. de surface, le spectre de puissance augmente dans les basses fréquences, au cours du maintien de la contraction, indépendamment de la force développée (10). Ce phénomène est d'autant plus marqué que la proportion de fibres II est importante, corrélée à l'élévation du taux de lactate musculaire et à la chute du

pH (40). Il s'agirait soit d'une synchronisation des unités motrices (7), soit d'une augmentation de la durée du potentiel d'action musculaire (29). Sa reproductibilité serait correcte (35). Au cours d'une contraction isométrique sous maximale des extenseurs du tronc, ce déplacement vers les basses fréquences est plus marqué au niveau du multifidus qu'au niveau de l'iliocostalis lumborum et du longissimus dorsalis (43), le multifidus étant sollicité de façon plus précoce et plus importante. Ce muscle est par ailleurs plus riche en fibres II (16). Chez le lombalgique, la diminution des moyennes de fréquence au cours d'une contraction isométrique des extenseurs lombaires est plus importante que chez le sujet sain (22,28). Ce recrutement dans les fréquences basses est plus marqué en regard de L4-L5 que de L1-L2. Ceci est lié probablement à la plus forte concentration de fibres II ainsi qu'à la sollicitation musculaire plus marquée en L4-L5 (31), ce qui justifie dans notre travail le positionnement des électrodes en regard de cette zone. La valeur de la pente MF est discriminante entre lombalgiques et sujets sains (24,35), avec plus de sensibilité que les critères cliniques de flexibilité rachidienne (35). L'existence d'une asymétrie de ces anomalies au détriment du côté dominant reste controversée (24,35). Après un programme de reconditionnement musculaire intensif, le recours initial aux fréquences élevées est moindre, et la pente de MF moins importante (29,35).

En ce qui concerne le RMS, chez le sujet sain, il augmente au cours du maintien d'une contraction isométrique à 50% de la force maximale volontaire (27,30). Cette augmentation est d'autant plus importante que les muscles sont riches en fibres de type II (3). Elle correspondrait au recrutement de nouvelles unités motrices afin de maintenir le niveau de force malgré la fatigue musculaire (30). Pour l'évaluation spécifique des extenseurs du tronc, les travaux sont discordants puisque pour certains il existe à 30% de la force maximale volontaire une diminution du RMS, alors qu'une augmentation est notée lorsque la puissance développée atteint 65% de la force maximale (37). Cette diminution

	Témoins n = 15	Patients n = 17	tStudent
Sorensen (sec)	297,4 ± 74,9	162,1 ± 71,0	p<0,001
Amplitude initiale RMS (mV)	76,1 ± 19,8	56,7 ± 33,1	p<0,05
Amplitude finale RMS (mV)	53,4 ± 20,1	39,0 ± 23,4	p<0,07
DAi-Af	22,7 ± 10,2	16,4 ± 17,5	NS

Tableau 2 : Données cliniques (durée du test de Sorensen en sec) et EMG (amplitude de RMS en mV) : comparaison des résultats avant et après programme de réconditionnement à l'effort dans une population lombalgique



du RMS au cours de la sollicitation prolongée des extenseurs du tronc à 30% de la force maximale volontaire a été confirmée par COOPER (6) chez les patients lombalgiques. Dans notre étude, nous constatons également, au cours d'une sollicitation statique des extenseurs lombaires, une diminution progressive du RMS, alors qu'un autre travail retrouvait toujours chez le patient rachialgique une augmentation du RMS (15). Par contre, nous avons toujours retrouvé, pendant une courte durée au cours de la contraction initiale, une augmentation très transitoire du RMS. L'amplitude du signal RMS pourrait être directement proportionnelle à la force musculaire développée, plus importante au début de l'effort puis diminuant progressivement avec l'apparition de la fatigue musculaire. Après un programme de réconditionnement musculaire intensif, nous n'avons pas mis en évidence de

modification significative de la cinétique globale du signal EMG.

Le choix du test clinique utilisé dans ce travail (test de Sorensen) a déjà été argumenté. En effet, d'autres tests simples ont été proposés, comme la mesure du temps de maintien postural du tronc en hyperextension chez le sujet en procubitus (14), avec cependant une insuffisance de standardisation du positionnement corporel, une position en hyperlordose fréquemment algogène, qui fait préférer désormais le test de Sorensen : il teste l'endurance musculaire au cours d'une contraction isométrique sous maximale (équivalente en moyenne à la moitié de la force maximale volontaire (11), en imposant le maintien du tronc dans le vide, en position indifférente du rachis (2).

Chez les sujets sains, les résultats de ce test montrent des temps de maintien du

tronc à l'horizontale plus élevés dans la population féminine (42). Chez le lombalgique chronique, la durée du test de Sorensen est significativement diminuée (32) par rapport à une population témoin (28). Nous confirmons ici cette tendance, avec, dans notre étude, un temps de maintien du tronc à l'horizontale de 297 ± 74 dans la population témoin versus 162 ± 71 dans la population lombalgique. Sa reproductibilité semble bonne, puisqu'évaluée à 93% (21). Ce test évalue l'ensemble des muscles extenseurs rachidiens, qu'ils soient superficiels ou profonds, ainsi que les muscles grands fessiers qui participent au maintien de la posture. Il est rappelé d'ailleurs qu'un déconditionnement musculaire a été mis en évidence au niveau du muscle grand fessier chez le lombalgique chronique (17). Ce test, reproductible, peut permettre de suivre l'évolution des patients lombalgiques sous l'effet des thérapeutiques réadaptatives. Nous avons d'ailleurs mis en évidence une amélioration significative du temps de maintien postural des extenseurs rachidiens après les programmes de réconditionnement intensif proposés (162 ± 71 avant, vs 201 ± 70 après, p < 0,001). Il présente cependant d'importantes limites concernant essentiellement les critères d'arrêt : la douleur, pouvant rendre la poursuite du maintien postural impossible, la fatigue musculaire, ou l'insuffisance de motivation du patient. L'électromyographie de surface semble pouvoir suppléer aux limites du test de Sorensen utilisé seul, représentant une alternative intéressante concernant l'appréciation des phénomènes de fatigue musculaire. Nous avons pu mettre en évidence une diminution significative des amplitudes du signal EMG dans la population lombalgique, par rapport à la population témoin, aussi bien en ce qui concerne l'amplitude initiale que l'amplitude finale (tableau 1). Ceci témoigne du déconditionnement musculaire des extenseurs rachidiens, ainsi que de l'apparition précoce de la fatigue musculaire dans la population rachialgique. Il semble d'ailleurs que l'insuffisance de performance endurante

objectivée par ce test soit un facteur prédictif de survenue de lombalgie ⁽²⁾, bien que cette notion soit contestée ⁽⁸⁾.

Après un reconditionnement à l'effort intensif et un renforcement musculaire de la chaîne postérieure lombo-fessière, bien qu'il y ait une nette amélioration du temps de maintien du tronc à l'horizontale lors du test de Sorensen, nous n'avons pas mis en évidence de modification significative des amplitudes du signal électromyographique (tableau 2). La diminution de l'amplitude finale après réentraînement peut s'expliquer directement par l'augmentation de la durée du test, en gardant la même cinétique du signal. D'ailleurs, pour une même durée de maintien du tronc à l'horizontale, la variation d'amplitude finale n'est plus significative après réentraînement (Δt). Les programmes proposés, sur une durée totale de quatre semaines, ont donc une efficacité réelle sur l'endurance musculaire, comme en témoigne l'allongement de la durée du test de Sorensen, mais n'ont a priori pas d'effet visible et mesurable sur la force musculaire développée (absence de modification significative du RMS). Ceci représente un argument supplémentaire pour la poursuite du renforcement musculaire de la chaîne lombo-fessière après la période d'hospitalisation.

Rappelons que certains travaux ont utilisé l'électromyographie dynamique intégrée, comparant sujets sains et patients lombalgiques. Chez le sujet sain, la flexion lombaire s'accompagne d'un silence électrique au niveau des muscles paralombaires, entre 40 et 70° ⁽¹⁸⁾ : c'est la flexion-relaxation au cours de laquelle les muscles génèrent une résistance élastique transmise par le fascia thoraco-lombaire visant au maintien du tronc à l'horizontale lors du test de Sorensen, nous n'avons pas mis en évidence de modification significative des amplitudes du signal électromyographique (tableau 2). La diminution de l'amplitude finale après réentraînement peut s'expliquer directement par l'augmentation de la durée du test, en gardant la même cinétique du signal. D'ailleurs, pour une même durée de maintien du tronc à l'horizontale, la variation d'amplitude finale n'est plus significative après réentraînement (Δt). Les programmes proposés, sur une durée totale de quatre semaines, ont donc une efficacité réelle sur l'endurance musculaire, comme en témoigne l'allongement de la durée du test de Sorensen, mais n'ont a priori pas d'effet visible et mesurable sur la force musculaire développée (absence de modification significative du RMS). Ceci représente un argument supplémentaire pour la poursuite du renforcement musculaire de la chaîne lombo-fessière après la période d'hospitalisation.

réflexe accompagnant la douleur. Elle est corrélée aux lombalgies les plus intenses ⁽⁴¹⁾ et s'accompagne d'une augmentation de la pression intramusculaire ⁽¹⁹⁾. Hyperpression et chute de la perfusion artérielle entraînent une hypoxie musculaire aggravant les phénomènes douloureux ⁽⁵⁾.

Conclusion

Le déconditionnement musculaire atteignant les muscles extenseurs lombaires au cours des lombalgies chroniques est confirmé par l'électromyographie de surface. Le test de Sorensen permet, en pratique courante, de mesurer cliniquement l'impact des mesures rééducatives. La validation de ce test permet désormais de le proposer comme un des moyens de surveillance de la réadaptation de la lombalgie chronique. ●

BIBLIOGRAPHIE

- 1- Agguzoli F, Le Fur P, Sermet C - Clientèle et motifs de recours aux soins en médecine libérale. *Credes*, 1994 ; 1008.
- 2- Bjering-Sorensen F - Physical measures as risk indicators for tow-back trouble over a one-year period. *Spine*, 1984 ; 9 : 109-117.
- 3- Bouisset S, Maton B - Muscles, posture et mouvement. In : Bases et applications de la méthode EMG. Hermann, Paris, 1995.
- 4- Callaghan JP, Gunning JL, Mc Gill SM - The relationship between lumbar spine load and muscle activity during extensor exercises. *Phys Ther*, 1998 ; 78(1) : 8-18.
- 5- Christensen LV - Physiology and pathology of skeletal muscle contraction. Part 1. Dynamic activity. *J Oral Rehabil*, 1986 ; 13 : 451-61.
- 6- Cooper RG, Stokes MJ, Sweet C, Taylor RJ, Jayson MIV - Increased central drive during fatiguing contractions of the paraspinal muscles in patients with chronic low back pain. *Spine*, 1993 ; 18 : 610-616.
- 7- De Luca C - Use of the surface EMG signal for performance evaluation of back muscles. *Muscle nerve*, 1993 ; 16 : 210-216.
- 8- Gibbons EL, Videman T, Battie MC - Isokinetic and psychophysical lifting strength, static back muscle endurance, and magnetic resonance imaging of the paraspinal muscles as predictors of low back pain in men. *Scand J Rehabil Med*, 1997 ; 29 : 187-191.
- 9- Gremion G, Mahler F, Chantraine A - Mesures isocinétiques de la force musculaire du rachis : influence de l'âge, de l'activité physique et des lombalgies. *Ann Réadaptation Med Phys*, 1996 ; 39 : 43-49.
- 10- Hägg GM - Interpretation of EMG spectral alterations and alteration indexes at sustained contraction. *J Appl Physiol*, 1992 ; 73 : 1211-1217.
- 11- Holmstrom E, Moritz U - Trunk muscle strength and back muscle endurance in construction workers with and without low back disorders. *Scand J Rehabil Med*, 1992 ; 24 : 3-10.
- 12- Hultman G, Nordin M, Saraste H, Ohlson H - Body composition, endurance, strength, cross section of area and density of erector spinae muscle in men with and without low-back pain. *J Spinal Disord*, 1993 ; 6 : 114-123.
- 13- Inserm, expertise collective - Rachialgies en milieu professionnel : quelles voies de prévention ? Inserm, Paris, 1995.
- 14- Ito T, Shirado O, Suzuki H, Takahashi M, Kaned K, Strax TE - Lumbar trunk muscle endurance testing : an inexpensive alternative to a machine for evaluation. *Arch Phys Med Rehabil*, 1996 ; 77 : 75-79.
- 15- Jayasinghe WJ, Harding RH, Anderson JAD, Sweetman BJ - An electromyographic investigation of postural fatigue in low back pain. A preliminary study. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 1978 ; 18 : 191-198.
- 16- Jorgensen K, Nicolaisen T - Trunk extensor endurance : determination and relation to low-back trouble. *Ergonomics*, 1987 ; 30 : 259-267.
- 17- Kankaanpää M, Taimela S, Laaksonen D, Hanninen O, Airaksinen

- O - Back and hip extensor fatigability in chronic low back pain patients and controls. *Arch Phys Med Rehabil*, 1998 ; 79 : 412-417.
- 18- Kippers V, Parker AWW - Posture related to myoelectric silence of erectors spinae during trunk flexion. *Spine*, 1984 ; 9 : 740-745.
- 19- Konno S, Kikuchi S, Nagaosa Y - The relationship between intramuscular pressure of the paraspinal muscles and low back pain. *Spine*, 1994 ; 19 : 2186-2189.
- 20- Kopec JA, Esdaile JM, Abrahamowicz M, Abenhaim L, Wood-dauphinee S, Lamping DL, Lamping D, Williams JA. The Quebec back pain disability scale, measurement properties. *Spine*, 1995 ; 20:341-352.
- 21- Larson D, Airaksinen O, Kettunen M, Hanninen O - Surface EMG spectral fatigue analysis and low back muscle condition in a working population. Correlation with a traditional back endurance test. *Mega Electronics Ltd*, 1993 ; 1-9.
- 22- Lee C, Minamitani H, Wakano K, Onishi S, Yamazaki H - Spectral analysis of lumbar muscles. Electromyogram in patients with low-back pain during dynamic trunk exercise. *Neuro-Orthopedics*, 1997 ; 20 : 131-132.
- 23- McGill SM, Kippers V - Transfer of loads between lumbar tissues during the flexion-relaxation phenomenon. *Spine*, 1994 ; 9 : 2190-2196.
- 24- Mannion AF, Connolly B, Wood K, Dolan P - The use of surface EMG power spectral analysis in the evaluation of back muscle function. *J Rehabil Res Develop*, 1997 ; 34 : 427-439.
- 25- Mayer TG, Smith SS, Keeley J, Mooney V - Quantification of lumbar function. Part 2 : sagittal plane trunk strength in chronic low-back pain patients. *Spine*, 1985 ; 10 : 765-772.
- 26- Mayer TG - Orthopedic conservative care - The functional restoration approach. In : White A. Ed Failed spine surgery. State-of-the-art reviews. Hanley & Belfus, Philadelphia, 1986 : 93-101.
- 27- Merletti R, Lo Conte LR, Orizio C - Indices of muscle fatigue. *J Electromyogr Kinesiol*, 1991 ; 1 : 20-33.
- 28- Moffroid MT - Endurance of trunk muscles in persons with chronic low back pain : Assessment, performance, training. *J Rehabil Res Develop*, 1997 ; 34 : 440-447.
- 29- Mooney V, Gulick J, Perlman M, Levy D, Pozos R, Leggett S, Resnick D - Relationship between myoelectric activity, and RMI of lumbar extensor muscles in back pain patients and normal subjects. *J Spinal Disord*, 1997 ; 10 : 348-356.
- 30- Moritani T, Muro M, Nagata A - Intramuscular and surface electromyogram changes during muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol*, 1986 ; 60 : 1179-1185.
- 31- NG JK, Richardson CA, Jull GA - Electromyographic amplitude and frequency changes in the iliocostalis lumborum and multifidus muscles during a trunk holding test. *Phys Ther*, 1997 ; 77 : 954-961.
- 32- Nicolaisen T, Jorgensen K. Trunk strength, back muscle endurance and low-back trouble. *Scand J Rehabil Med*, 1985 ; 17:121-7.
- 33- Poiraudou S, Revel M - Reconditionnement à l'effort du lombalgique. *Rev Rhum (Ed. Fr.)*, 1998 ; 65(5 bis) : 180S-1S.
- 34- Roy SH, De Luca CJ, Emley M, Buijs RJC - Spectral electromyographic assessment of back muscles in patients with low back pain undergoing rehabilitation. *Spine*, 1995 ; 20 : 38-48.
- 35- Roy SH, De Luca CJ, Casavant DA - Lumbar muscle fatigue and chronic low back pain. *Spine*, 1989 ; 14 : 992-1001.
- 36- Schoppink LEM, Van Tulder MW, Koes BV, Beurskens SAJHM, De Bie RA - Reliability and validity of the dutch adaptation of the Quebec back pain disability scale. *Phys Ther*, 1996 ; 76(3) : 268-275.
- 37- Seidel H, Beyer H, Bräuer D - Electromyographic evaluation of back muscle fatigue with repeat sustained contractions of different strengths. *Eur J Appl Physiol*, 1987 ; 56 : 592-602.
- 38- Shirado O, Ito T, Kaneda K, Strax TE - Concentric and eccentric strength and characteristics of patients with low-back pain. *Arch Phys Med Rehabil*, 1995 ; 76 : 604-611.
- 39- Sihvonen T, Partenen J, Hanninen O, Soimakallio S - Electric behaviour of low back muscles during lumbar pelvic rhythm in low back pain patients and healthy controls. *Arch Phys Med Rehabil*, 1991 ; 72 : 1080-1087.
- 40- Tesch PA, Komi PV, Jacobs I, Karlsson J, Vitasalo JT - Influence of lactate accumulation on EMG frequency spectrum during repeated concentric contractions. *Acta Physiol Scand*, 1983 ; 119 : 61-67.
- 41- Triano JJ, Schultz AB - Correlation of objective measures of trunk motion and muscle function with low back disability ratings. *Spine*, 1987 ; 12 : 561-565.
- 42- Umezū Y, Kawazu T, Tajima F, Ogata H - Spectral electromyographic fatigue analysis of back muscles in healthy adult women compared with men. *Arch Phys Med Rehabil*, 1998 ; 79 : 536-538.
- 43- Van Dieën JH, Vrieling HHEO, Housheer AF, Lötters FB, Toussein HM - Trunk extensor endurance and its relationship to electromyogram parameters. *Eur J Appl Physiol*, 1993 ; 66 : 388-396.
- 44- Vanvelcenaher J, Vanhee JL - Programme de restauration fonctionnelle du rachis (RFR) dans le cadre des lombalgies chroniques. Nouvelle approche thérapeutique. *Rev Med Orthop*, 1995 ; 41 : 3-16.
- 45- Vanvelcenaher J, Voisin P, Struk P, Divay E, Goethals M, Aernoudts E, Heloir L, Raevol D, Vanhee JL - Programme de restauration fonctionnelle du rachis (RFR) dans le cadre des lombalgies chroniques. Nouvelle approche thérapeutique (1ère partie : données du problème - évaluation). *Ann Réadaptation Med Phys*, 1994 ; 37 : 317-321.
- 46- Vanvelcenaher J, Voisin P, Struk P, Divay E, Goethals M, Aernoudts E, Heloir L, Raevol D, O'Miel G, Vanhee JL. Programme de restauration fonctionnelle du rachis (RFR) dans le cadre des lombalgies chroniques. Nouvelle approche thérapeutique (2ème partie : traitement, résultats, discussion). *Ann Réadaptation Med Phys*, 1994 ; 37:323-333.
- 47- Voisin PH, Vanvelcenaher J, Vanhee JL, Bibre PH, Divay E, Struk P - Programme de restauration fonctionnelle du rachis (RFR) : pour une prise en charge active des lombalgies chroniques. *Ann Kinesithér*, 1994 ; 21(7) : 337-350.