

Massage et récupération : approche électromyographique et biomécanique

P. PORTERO¹, F. CANON², F. DUFOREZ³

L'utilisation du massage remonte à l'Antiquité pour l'aide à la performance ou pour faciliter la récupération après un exercice intense (Harris, 1964). Cependant et en dépit de cette longue histoire, il n'existe que peu de résultats scientifiques disponibles dans la littérature prouvant l'efficacité du massage [5]. De nombreuses techniques sont décrites [16] et en général, les effets bénéfiques du massage sont attribués à des réponses physiologiques provoquées par les stimuli mécaniques du massage. Trois types de réponses sont généralement décrites :

- augmentation de la perméabilité membranaire cellulaire à des substances « nocives » accumulées à l'intérieur des cellules ;
- augmentation du flux sanguin facilitant le remaniement de ces substances et le transport d'oxygène ;
- action sur les récepteurs sensitifs intramusculaires.

Le massage pourrait réduire la contribution de ces récepteurs à la tension musculaire ou provoquer une réponse analgésique atténuant l'inconfort souvent associé à l'exercice physique intense.

Malgré l'abondance des anecdotes supportant ces affirmations, il n'existe pas de données permettant d'isoler les mécanismes responsables des effets décrits ou supposés. La seule exception à cet état de fait est la légère augmentation de la température observée pendant et après le massage. Cependant

celle-ci est du même ordre que celle survenant lors d'une contraction de faible intensité mais sans la sollicitation du métabolisme de la contraction. L'hyperhémie induite par le massage augmenterait la vitesse d'élimination des métabolites de la contraction, et donc faciliterait la récupération. Le résultat « brut » devrait être la possibilité à effectuer un exercice à plus haute intensité et sur une plus longue durée. La récupération d'un exercice physique implique une perte progressive de la capacité fonctionnelle qui peut être inversée par le changement d'activité (sous différentes formes) ou le repos. Ceci s'accorde avec la définition de la fatigue et plus spécifiquement de la fatigue musculaire.

La notion de fatigue musculaire représente un thème sur lequel de nombreux travaux ont été réalisés. Elle s'applique à des états physiopathologiques extrêmement divers : réduction des capacités physiques du fait de maladies (cardiovasculaires, musculaires) [17], mais également du fait d'un entraînement intense ou d'un exercice physique épuisant, qu'il soit d'une durée brève ou longue.

Différentes définitions de la fatigue musculaire locale ont été proposées, retenons celle proposée par Edwards (1981) [9] : « Incapacité du muscle à maintenir un niveau de force ou de puissance donné au cours d'une contraction soutenue ou d'une série de contractions ». C'est dans le cadre très précis de cette définition que l'étiologie de la fatigue musculaire a été largement étudiée depuis dix ans [14].

La contraction musculaire est l'aboutissement d'une chaîne d'événements physiologiques et chaque maillon de cette chaîne est un « site de fatigue » potentiel. Deux types de fatigue sont alors dissociés :

- la fatigue centrale, dont la cause réside au niveau du système nerveux central (SNC) et qui repose sur

1. Maître de Conférences des Universités, Unité de Recherches EA-1791. Faculté de Médecine, Université de Picardie Jules-Verne, 3, rue des Louvels, 80036 AMIENS CEDEX 1.

2. Maître de Conférences des Universités, URA CNRS 858, Département Génie biologique, UTC, BP 649, 60200 COMPIÈGNE.

3. Médecin du Sport, Centre biomédical Sport et Vie, 78600 MAISONS-LAFFITTE.

l'altération de la motivation, de la transmission des commandes du SNC ou encore du recrutement des motoneurones. Cette fatigue centrale n'interviendrait que peu dans la baisse de la performance chez des sujets fortement motivés [11];

– la fatigue périphérique englobe l'ensemble des mécanismes situés au sein du muscle. Plusieurs revues [10, 22, 24] ont présenté les clefs et les différents facteurs impliqués dans ce processus.

L'acidose métabolique est l'un des facteurs impliqués dans l'apparition de la fatigue musculaire. Le pH musculaire diminue d'une valeur de repos de 7 à 6,4 - 6,6 après un exercice intense poursuivi jusqu'à l'épuisement. Cette diminution du pH est due principalement à la charge supplémentaire de protons, liée à l'accumulation d'acide lactique. Cette diminution du pH intramusculaire peut modifier le métabolisme cellulaire à plusieurs niveaux, et en particulier les activités enzymatiques dont la Na-K ATPase régulant les mouvements ioniques transmembranaires, et donc l'excitabilité de la membrane externe de la fibre musculaire.

Une approche électrophysiologique non invasive de ce problème peut être réalisée grâce à l'utilisation du signal EMG de surface et surtout grâce à l'analyse spectrale de ce signal. En effet, les remaniements spectraux observés lors de l'épreuve isométrique de fatigue, augmentation de l'énergie et diminution de la fréquence moyenne ou MPF (mean power frequency) [7, 8, 12], seraient liés à la diminution de la vitesse de propagation des potentiels d'action le long de la fibre musculaire [15] suite à l'accumulation de métabolites au sein du muscle fatigué. Une relation entre le pH intramusculaire et la MPF a par ailleurs été mise en évidence lors d'une épreuve de fatigue isométrique [13]. De plus, l'ischémie locale engendrée par la contraction isométrique en renforçant l'installation de l'acidose est considérée comme l'un des facteurs causes de la fatigue [19].

Le but de cette étude est de déterminer les effets d'une technique dite « technique LPG ». Celle-ci met en synergie aspiration et méthode de pli roulé cutané. L'action locale sur le tissu conjonctif, en améliorant la vascularisation locale et en augmentant le drainage, faciliterait ainsi l'élimination des métabolites produits lors de l'exercice. Elle devrait donc pouvoir soit améliorer la récupération, soit diminuer la fatigabilité musculaire en améliorant l'élimination des catabolites sanguins. L'efficacité de cette technique « LPG » sur la capacité d'endurance musculaire chez des sujets sains sera appréciée à partir d'une approche multiparamétrique (biomécanique, EMG et subjective de la fatigabilité musculaire).

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Population

Elle se compose de 10 sujets masculins (âge : 28,2 ans \pm 8,05 ; poids : 68,1 kg \pm 9,23 ; taille : 179,2 cm \pm 6,86) ayant donné, après information, leur consentement éclairé par écrit pour participer à l'étude. Les sujets ne présentent aucune pathologie chronique ou aiguë déclarée, affectant soit le membre testé, soit l'ensemble du système musculaire de l'appareil locomoteur.

Matériel

L'appareil de massage utilisé (LPG Systems®, type S 70) est assimilable à un générateur de vide permettant la formation et la mobilisation instantanée du pli cutané. Couplé à un système d'asservissement de la dépression en temps réel, il offre les garanties de précision et de sécurité indispensables à l'utilisation d'une telle technique dans le domaine de la santé.

Les paramètres mécaniques sont mesurés à l'aide d'un dynamomètre isocinétique de type Cybex 330.

Les enregistrements EMG sont réalisés grâce à des électrodes de surface de type Beckman et à un amplificateur conditionneur de signal Gould relié à un enregistreur magnétique TEAC R 71.

Protocole

Les épreuves physiques

Trois épreuves séparées chacune de 7 jours sont à considérer (fig. 1); elles sont réalisées dans un ordre aléatoire. Chaque sujet réalise les épreuves à la même heure de la journée et l'exercice est effectué sur le genou droit.

• Première épreuve dite « référence » ou « contrôle »

– Mesure de la force maximale volontaire (FMV1) du quadriceps sur un dynamomètre Cybex 330, en isométrique - trois essais.

– Période de 5 minutes de repos.

– Épreuve de fatigue isométrique à 66% de FMV1 (contraction maintenue jusqu'à épuisement) avec recueil EMG du muscle vastus lateralis (chef externe du quadriceps) et mesure du temps de maintien.

– Période de 1 minute de repos.

– Mesure de la FMV (FMV2) - trois essais.

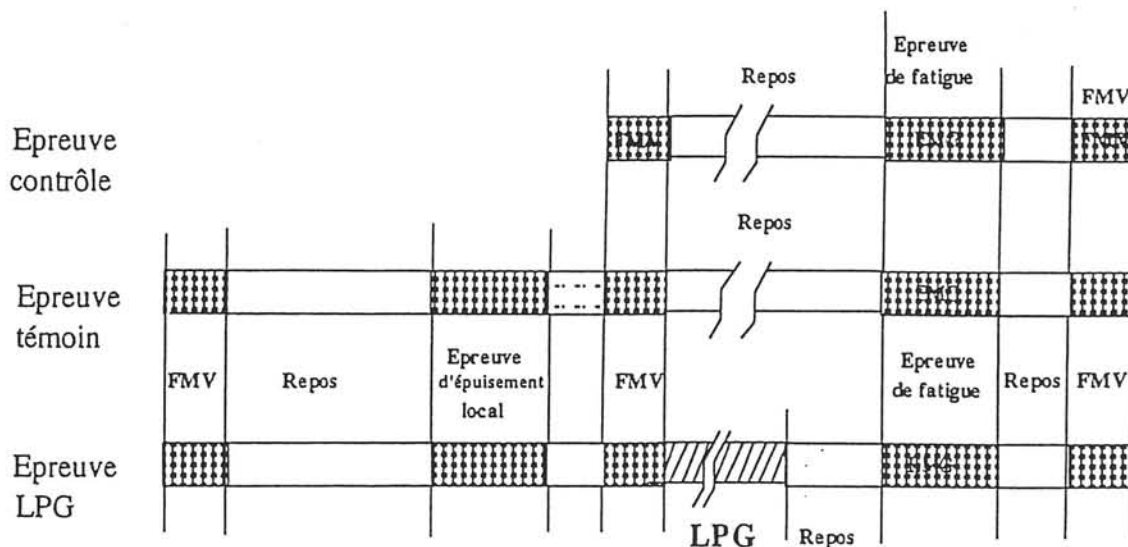


Fig. 1. - Chronologie des épreuves et tests.

• Deuxième épreuve

- Mesure de FMV1 - trois essais.
- Période de cinq minutes de repos.
- Épreuve d'épuisement local consistant en la réalisation de 30 flexions-extensions successives du genou à une vitesse de $180^{\circ} \cdot s^{-1}$, l'effort demandé étant maximal.
- Période de 1 minute de repos.
- Mesure de FMV2 - trois essais.
- Période de 15 minutes de repos, le temps nécessaire au retour à un pH de repos étant de 45 minutes [1].
- Epreuve de fatigue isométrique (idem première épreuve).
- Période de 1 minute de repos.
- Mesure de la FMV (FMV3) - trois essais.

• Troisième épreuve

Elle présente les mêmes caractéristiques que la deuxième épreuve sauf pour la période de 15 minutes où la « technique LPG » est appliquée (pendant 8 minutes) au niveau de la région antérieure de la cuisse droite. Les épreuves de fatigue (avec recueil du signal EMG) se font dans des conditions de contractions isométriques plutôt que dynamiques car :

- lors de la contraction isométrique, la cinétique de la MPF est plus facilement exploitable ;
- le recrutement des unités motrices est plus stable du fait même de la constante de force, les contractions en dynamique entraînant des variations de tension et de longueur du muscle.

Au cours des épreuves de fatigue, la consigne de couple de force est présentée au sujet par l'intermédiaire de l'écran de contrôle du Cybex 330. Les signaux EMG de surface sont détectés par électrodes de surface en bipolaire, amplifiés et enregistrés selon une technique conventionnelle. Le traitement des signaux EMG consiste en une analyse spectrale à l'aide d'une carte de calcul rapide implantée sur compatible PC et supportée par un logiciel spécifique, calculant notamment l'énergie totale et la MPF. Les remaniements spectraux sont quantifiés en terme d'évolution de la MPF.

Parallèlement, une échelle analogique (cotée de 0 à 10) [4] complétée par les sujets permet d'évaluer la perception de l'effort produit (RPE : Rate Perceived Exertion).

Le massage

La technique dite « LPG » est appliquée, par un investigateur préalablement formé à cette nouvelle méthode de massage, sur la face antérieure de la cuisse droite. Les manœuvres sont réalisées dans le sens disto-proximal, des insertions périrotuliennes à la racine du membre, en évitant le triangle de Scarpa. La durée du traitement est de 8 minutes, incluses dans la période de repos, et débute 2 minutes après les mesures de FMV2. L'intensité de dépression est affichée à 5 sur une échelle graduée de 0 à 10 (10 correspondant à un dépression de 500 mbar).

Le traitement statistique

L'étude statistique présente les moyennes \pm SD (écart-type) des différents paramètres mesurés. Un test de Student en séries appariées permet de quantifier l'effet spécifique du conditionnement sur une variable donnée permettant éventuellement de dégager un effet défatigant de cette technique. Le seuil de significativité est fixé à $P < 0,05$.

RÉSULTATS

Les résultats présentés portent sur la modification de différents critères au cours des trois différentes épreuves (réf. : référence ou contrôle, sans LPG et avec LPG) :

– comparaison des variations des couples de force isométrique (FMV) mesurées avant chaque épreuve et après chaque test de fatigue isométrique. La comparaison de ces moyennes de pourcentages est effectuée

en utilisant la transformation de chaque valeur en *arc sin x* ;

- comparaison des temps de maintien de la contraction isométrique jusqu'à épuisement (temps d'endurance) de chaque test de fatigue isométrique ;
- comparaison des débits de MPF calculés à l'issue de chaque épreuve de fatigue isométrique ;
- comparaison des indices de perception de l'effort (RPE) à l'issue du test de fatigue isométrique.

Les principaux résultats sont représentés sur les figures 2, 3 et 4.

La figure 2 montre la diminution de la FMV à l'issue du test de fatigue isométrique (exprimée en pourcentage de la valeur initiale). Les valeurs sont de : $-3,48 \pm 7,53 \%$ (réf.), $-10,85 \pm 5,78 \%$ (sans LPG) et $-5,29 \pm 6,6 \%$ (avec LPG). Les différences sont significatives entre (réf.) et (sans LPG) ($p < 0,01$) d'une part et entre (sans LPG) et (avec LPG) ($p < 0,03$) d'autre part.

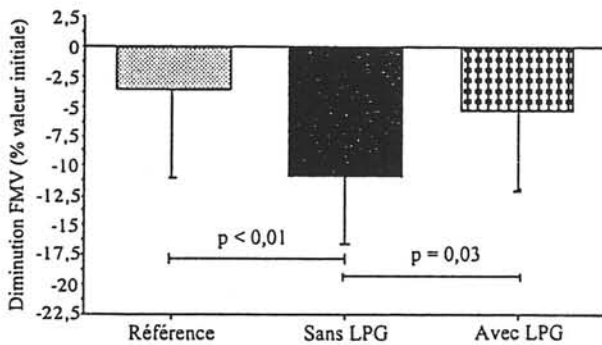


Fig. 2. – Diminution de la FMV à l'issue de l'épreuve de fatigue isométrique.

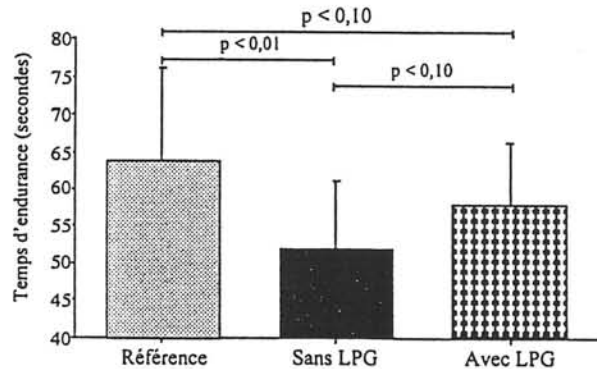


Fig. 3. – Durée de l'épreuve de fatigue isométrique à 66% de la FMV.

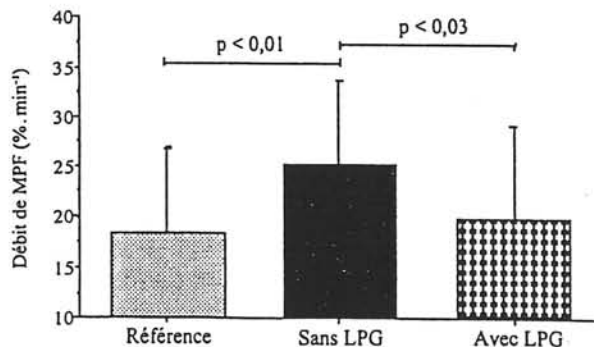


Fig. 4. – Débit de MPF du muscle vastus lateralis lors de l'épreuve de fatigue isométrique.

La figure 3 montre la variation du temps d'endurance (valeurs exprimées en secondes) lors du test de fatigue isométrique. Les valeurs sont : $63,9 \pm 12,25$ s (réf.), $52,1 \pm 9,17$ s (sans LPG) et $58,2 \pm 8,16$ s (avec LPG). Les différences sont significatives entre (réf.) et (sans LPG) ($p < 0,01$), et elles sont indicatives ($p = 0,10$) entre (réf.) et (avec LPG) d'une part, et entre (sans LPG) et (avec LPG) d'autre part.

La figure 4 montre les modifications du débit de MPF (exprimé en pourcentage de diminution de la valeur initiale) lors du test de fatigue isométrique. Les valeurs sont de $18,41 \pm 8,51$ (réf.), $25,24 \pm 8,31$ (sans LPG) et $20,03 \pm 9,21$ (avec LPG). Les différences sont significatives entre (réf.) et (sans LPG) ($p < 0,01$) d'une part, et entre (sans LPG) et (avec LPG) ($p < 0,03$) d'autre part.

Enfin, les valeurs de RPE sont de $8,9 \pm 1,01$ (réf.), $9,03 \pm 1,03$ (sans LPG) et $8,96 \pm 1,2$ (avec LPG). Les différences ne sont pas significatives.

DISCUSSION

Le massage est souvent utilisé sous différentes techniques pour diminuer la sensation d'inconfort consécutive à un effort violent mais aussi pour faciliter la récupération [23, 25]. Néanmoins, la réelle efficacité du massage pour accélérer la récupération de la fonction n'a pas été démontrée et la nature des mécanismes mis en jeu au cours de ce processus de récupération ne sont pas connus. Ceci est probablement lié au fait que la fatigue musculaire est un phénomène dont les causes ne sont pas encore clairement établies [9, 24]. Cependant et dans tous les cas, la fatigue musculaire est une perturbation des facteurs homéostatiques du muscle. Il est donc légitime d'étudier les moyens facilitant le retour à des niveaux homéostatiques de base permettant la restauration des fonctions aboutissant à la performance. Les résultats de cette étude montrent que le massage par pli roulé (réalisé par aspiration - LPG) a un effet facilitant la récupération dans le cadre de ce protocole. Par conséquent, nous allons considérer, d'une part, les causes possibles de la fatigue dans les conditions de notre expérimentation et, d'autre part, les conséquences physiologiques du massage et les raisons de ses effets.

La restriction du flux sanguin est l'une des causes de la fatigue musculaire souvent avancée dans la littérature [18, 19] et la régulation du flux sanguin est fonction du niveau de sollicitation métabolique musculaire. La circulation sanguine dans le muscle est probablement interrompue lorsque le niveau de contraction musculaire se situe entre 20 et 40 p. cent de la force maximale volontaire [26]. Lors des mouve-

ments, le flux sanguin nécessaire au fonctionnement musculaire ne peut se faire qu'entre les contractions. Sans ce flux, l'apport en substrats et en oxygène ainsi que l'élimination des catabolites sont insuffisants. Lors de l'épreuve de fatigue isocinétique, test décrit par Baltzopoulos et coll. (1988) [2] et modifié, les indices de fatigue sont de $63,9 \pm 8,18\%$ pour la situation sans LPG et de $64,92 \pm 9,16\%$ pour la situation LPG. Ces résultats montrent que d'une part, ces deux épreuves étaient de même intensité et d'autre part, que cette intensité se situe à un niveau élevé puisque ces indices correspondent à une diminution de production de travail d'environ 35 p. cent sur une durée de 30 secondes. Cette sollicitation de type anaérobie entraîne donc une charge métabolique élevée qui perturbera le test de fatigue isométrique, la période de récupération passive de 15 minutes étant probablement insuffisante pour retrouver l'équilibre métabolique de repos et en particulier le pH intramusculaire [1]. En situation sans LPG, le test de fatigue isométrique, succédant au test isocinétique, se déroulera sur un terrain métabolique perturbé. De plus, le type d'exercice isométrique utilisé (66% FMV) engendre une contrainte métabolique très importante, le pH chutant à 6,6 (Sahlin et coll., 1975); cette contrainte se surajoute à celle générée par l'épreuve isocinétique. Ceci permet d'expliquer la plus grande diminution de force, le temps d'endurance plus court et enfin un débit de MPF plus important. Ce dernier paramètre, qui traduit les modifications spectrales du signal EMG est, d'une part, un bon indice de la fatigabilité musculaire et, d'autre part, un indicateur des processus métaboliques et du recrutement du muscle sous-jacent. En effet, l'évolution de la MPF a été corrélée avec la concentration en protons (H^+) et en forme diprotonée du phosphate inorganique ($H_2PO_4^-$) [13] mais aussi avec des modifications quant à l'ordre de recrutement des unités motrices [20].

Le massage, par son action sur le flux sanguin local, est censé faciliter la récupération grâce principalement à son effet mécanique et à un second degré grâce à l'effet thermique [5]. En tout état de cause, les effets observés sont significatifs puisque les valeurs des principaux paramètres mesurés en situation avec LPG sont proches de celles de la situation Réf., et en particulier le débit de MPF qui pourrait bien traduire le fait que le massage a contribué à l'élimination des produits du métabolisme anaérobie. Cette situation associant massage et repos apparaît donc comme efficace pour optimiser le processus de récupération. Enfin, il est à noter que le paramètre permettant de quantifier la perception de l'effort (RPE) n'est pas modifié en fonction des situations. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que, dans tous les cas, les sujets réalisent un effort maximal.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude mettent en évidence une efficacité certaine de la technique LPG quant à la récupération de la fonction musculaire après une épreuve de fatigue locale. Ces effets ont pu être démontrés principalement grâce à des paramètres électrophysiologiques représentatifs de l'état de fatigue musculaire. Bien que les mécanismes mis en jeu ne soient pas clairement établis, il semble que la

technique de massage par pli roulé, réalisée avec un système LPG, agit favorablement sur la récupération musculaire post-exercice. La sollicitation mécanique des tissus cutané et sous-cutané est certainement le siège de modifications circulatoires et thermiques facilitant l'élimination des produits du métabolisme anaérobie. Ces résultats encourageants ouvrent d'autres perspectives quant à l'utilisation de cette technique, aussi bien sur la durée du traitement que sur les modes d'application et ses indications.

RÉFÉRENCES

- Allsop P., Cheetam M., Brooks S., Hall G.M., Williams C. – Continuous intramuscular pH measurement during the recovery from brief, maximal exercise in man. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1990, 59, 465-470.
- Baltzopoulos V., Eston R.G., McLaren D. – A comparison of power outputs on the Wingate test and on a test using an isokinetic device. *Ergonomics*, 1988, 31, 1693-1699.
- Bigland-Ritchie B., Woods J.J. – Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle and Nerve*, 1984, 7, 691-699.
- Borg G.A.V. – Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exercise*, 1982, 14, 377-381.
- Cafarelli E., Flint F. – The role of massage in preparation for and recovery from exercise. *Sports Med.*, 1992, 14, 1-9.
- Delprat J., Ehler S., Gavroy J.P., Romain M., Thauray M.N., Xenard J. – Raideurs et tissus mous. Traitement par massage sous dépression. In : *Rencontres en rééducation*, N° 10, pp. 184-190. Paris, Masson, 1995.
- De Luca C.J. – Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans. *Crit. Rev. Biomed. Eng.*, 1984, 11, 251-279.
- Duchene J., Goubel F. – EMG spectral shift as an indicator of fatigability in an heterogeneous muscle group. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1990, 61, 81-87.
- Edwards R.H.T. – Human muscle function and fatigue. In : *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*. London, Pitman Medical. Ciba Foundation Symposium, 1981.
- Enoka R.M., Stuart D.G. – Neurobiology of muscle fatigue. *J. Appl. Physiol.*, 1992, 61, 81-87.
- Gibson H., Edwards R.H.T. – Muscular exercise and fatigue. *Sports Med.*, 1986, 2, 120-132.
- Kadefors R., Kaiser E., Petersen I. – Dynamic spectrum analysis of myo-potentials with special reference to muscle fatigue. *Electromyography*, 1968, 10, 45-68.
- Laurent D., Portero P., Goubel F., Rossi A. – Electromyogram spectrum changes during sustained contraction related to proton and diprotonated inorganic phosphate accumulation: a ³¹P nuclear magnetic resonance study on human calf muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1993, 66, 263-268.
- McLaren D.P.M., Gibson H., Parry Billing M., Edwards R.H.T. – A review of metabolic and physiological factors in fatigue. *Exer. Sports Rev.*, 1989, 17, 29-68.
- Mortimer J.T., Magnusson R., Petersen I. – Conduction velocity in ischemic muscle: effects on EMG Frequency spectrum. *Am. J. Physiol.*, 1970, 219, 1324-1329.
- Prentice W.E. – *Therapeutic Modalities in Sports Medicine*. St Louis, Mosby-Year Book Inc., 1994.
- Radda G.K., Bore P.J., Gadian G., Ross B.D., Styles P., Taylor D.J., Hugues J.M. – ³¹P NMR examination of two patients with NADH-CoQ reductase deficiency. *Nature (London)*, 1982, 295, 608-609.
- Sjoggaard G. – Muscle fatigue. *Med. Sport Sci.*, 1987, 26, 98-109.
- Sjogaard G., Kiens B., Jorgensen K., Saltin B. – Intramuscular pressure, EMG and blood flow during low-level prolonged static contraction in man. *Acta. Physiol. Scand.*, 1986, 128, 475-484.
- Stuart D.G., Enoka R.M. – Henneman's contributions in historical perspective. In : M.D. Binder, L.M. Mendell, *The segmental motor system*, pp. 3-19, New York, Oxford University Press, 1990.
- Vergereau R. – Utilisation du palper-rouler mécanique en médecine esthétique. *J. Méd. Esthét. Chir. Dermatol.*, 1995, 22, 49-53.
- Vollestad N.K., Sejersted O.M. – Biochemical correlates of fatigue. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1988, 57, 336-347.
- Wakim K.G. – Physiologic effects of massage. In : J.V. Basmajian, *Manipulation, Traction and Massage*, Baltimore, Williams and Wilkins, 1985.
- Westerblad H., Lee J.A., Lännergren J., Allen D.G. – Cellular mechanisms of fatigue in skeletal muscle. *Am. J. Physiol.*, 1991, 261, C195-C209.
- Wood E.C. – *Beard's Massage: Principles and Techniques*, 2nd edition, Toronto, W.B. Saunders Co., 1974.
- Zwarts M.J., Arendt-Nielsen L. – The influence of force and circulation on average muscle fibre conduction velocity during local muscle fatigue. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1988, 58, 278-283.