

# *La fatigue musculaire*

ASPECTS BIOCHIMIQUES et PHYSIOLOGIQUES

---

## *Muscle fatigue*

BIOCHEMICAL and PHYSIOLOGICAL ASPECTS

Guy ATLAN  
Louise BELIVEAU  
Philippe BOUISSOU



MASSON 

# TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                                                                                                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>PRÉFACE</b> . . . . .                                                                                                                                                                                                                                    | <b>V</b>  |
| <b>CONFÉRENCE D'OUVERTURE - (Opening lecture)</b> . . . . .                                                                                                                                                                                                 | <b>1</b>  |
| Perspectives in the study of normal and pathological skeletal muscle (Perspectives dans l'étude du muscle squelettique normal et pathologique), par R.H.T. EDWARDS, H. GIBSON . . . . .                                                                     | 3         |
| <b>SYMPOSIUM - Mécanismes Cellulaires de la Fatigue Musculaire</b><br><b>(Cellular Mechanisms of Muscle Fatigue)</b> . . . . .                                                                                                                              | <b>17</b> |
| Biochemical Adaptations to Training : Implications for Resisting Muscle Fatigue (Adaptations Biochimiques à l'Entraînement : Conséquences pour la Fatigue Musculaire), par K.K. McCULLY, B.J. CLARK, D. KLURFELD, J. WILSON, J. POSNER, B. CHANCE . . . . . | 19        |
| Role of Intracellular pH in Fatigue (Rôle du pH Intracellulaire dans la Fatigue), par K. SAHLIN . . . . .                                                                                                                                                   | 27        |
| Fatigue-Induced Alterations in Contractile Function : the Role of Excitation-Contraction Coupling (Le Couplage Excitation-Contraction dans la Fatigue), par R. FITTS, E.M. BALOG, L.V. THOMPSON . . . . .                                                   | 40        |
| Influence of Extracellular pH on Muscle Bioenergetics in Fatigue (Influence du pH Extracellulaire sur la Bioénergétique Musculaire dans la Fatigue), par P. BOUISSOU, G. ATLAN, L. BÉLIVEAU, E. FRISDAL . . . . .                                           | 49        |
| <b>COMMUNICATIONS ORALES - Métabolisme Cellulaire et RMN</b><br><b>(Cellular metabolism and NMR)</b> . . . . .                                                                                                                                              | <b>63</b> |
| Phosphocreatine recovery rates in sprinter, middle- and long distance runners, par K. DE MEIRLEIR, K. McCULLY, K. VANDENBORNE, N. TAYLOR, J. LEIGH . . . . .                                                                                                | 65        |
| EMG spectral shift and 31 P-MRS determined intracellular pH in fatigued human biceps brachii muscle, par L. BÉLIVEAU, J.N. HÉLAL, E. GAILLARD, J. VAN HOECKE, G. ATLAN, C. DUBRAY, P. BOUISSOU . . . . .                                                    | 65        |
| Noninvasive identification of muscle fiber types in man, par K. VANDENBORNE, K. McCULLY, E. DE MEIRLEIR, H. KAKIHARA, G. WALTER, B. CHANCE . . . . .                                                                                                        | 66        |
| Etude de la récupération d'un exercice maximal de bras. Apport de la SRMN <sup>31</sup> P, par J.M. GONZALEZ DE SUSO, V. DABOUI, E. GAILLARD, H. MEHIER, J.P. ECLACHE . . . . .                                                                             | 66        |
| <b>COMMUNICATIONS ORALES - Propriétés Mécaniques du Muscle</b><br><b>(Mechanical properties of muscle)</b> . . . . .                                                                                                                                        | <b>67</b> |
| Evolution des unités motrices du muscle peroneus longus du chat après immobilisation par fixation tendineuse, par M. GIOUX, J. PETIT . . . . .                                                                                                              | 67        |
| Relaxation of skeletal muscle : staircase in fatigue and with dantrolene, par B.R. MACINTOSH . . . . .                                                                                                                                                      | 67        |
| Frog semitendinosus muscle : a model for muscle fatigue, par L. THOMPSON, E.M. BALOG, R.H. FITTS . . . . .                                                                                                                                                  | 68        |
| Muscular model approach of the stretch-shortening cycle during vertical jump, par M. POUSSON, F. BIRAGUE, J. VAN HOECKE . . . . .                                                                                                                           | 68        |
| Influence de l'entraînement sur le recrutement des muscles respiratoires chez des adolescents pendant un exercice de puissance élevée maintenue jusqu'à épuisement, par M.L. CHOUKROUN, C. KAYS, M. GIOUX, P. TECHOUYRES, H. GUENARD . . . . .              | 69        |
| Fatigue produced by electrostimulation, par M. POUGHEON, C. THEPAULT-MATHIEU . . . . .                                                                                                                                                                      | 69        |
| <b>SYMPOSIUM - Aspects Physiologiques et Physiopathologiques de la Fatigue</b><br><b>(Physiological and Physiopathological Aspects of Fatigue)</b> . . . . .                                                                                                | <b>71</b> |
| Oxygen Transport and Muscle Fatigue (Transport de l'Oxygène et Fatigue Musculaire), par Y. JAMMES, M. BADIER, C. GUILLOT . . . . .                                                                                                                          | 73        |
| Respiratory Muscle Fatigue (Fatigue des Muscles Respiratoires), par M. AUBIER . . . . .                                                                                                                                                                     | 90        |

|                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Energy Supply and Maximal Cardiac Pump Function (Apport d'Energie et Performance de la Pompe Cardiaque), par V.I. KAPELKO, N.A. NOVIKOVA                                                                                                   | 100 |
| Does Prolonged and Sustained Exercise Cause Cardiac Fatigue? (L'Exercice Prolongé et Soutenu peut-il être à l'Origine de Fatigue Cardiaque?), par G. MANIER, R. ROUDAUT                                                                    | 110 |
| Fatigue in Skeletal Muscle Disorders (Pathologie Musculaire et Fatigue), par S. LEWIS, R.G. HALLER                                                                                                                                         | 119 |
| <b>COMMUNICATIONS ORALES - Physiologie de l'Exercice Prolongé (Physiology of prolonged exercise)</b>                                                                                                                                       | 135 |
| Répercussions de différents types d'exercice sur les paramètres hémo-rhéologiques de coureurs de fond, par F. CARRÉ, F. DURAND, M. DELAMAIRE, P. ROCHCONGAR, J. BEILLOT, J. DASSONVILLE, B. GENETET                                        | 137 |
| Modifications des paramètres de l'hémolyse lors d'une course de 20 km effectuée avec et sans hydratation, par F. CARRÉ, F. DURAND, J.F. DEZIER, M. DELAMAIRE, P. ROCHCONGAR, B. GENETET                                                    | 137 |
| Les vétérans sportifs sont-ils des athlètes extrêmes?, par F. ANSELME, C. CAILLAUD, J. MASSÉ-BIRON, Ch. PRÉFAUT                                                                                                                            | 138 |
| Evolution des réponses hormonales en ACTH, cortisol et B-endorphines durant 6 jours d'une compétition à ski de fond, par N. FELLMAN, J. BRUN, M. BEDU, B. CLAUSTRAT, M. MAGE, G. BOUDET, J. COUDERT                                        | 138 |
| Comparaison de la fréquence du cœur natif et du greffon chez le transplanté cardiaque au cours d'une épreuve d'exercice musculaire, par J. MERCIER, P. WINTREBERT, B. ALBAT, C. CAILLAUD, P. GALLAY, A. THÉVENET, J. MACABIES, Ch. PRÉFAUT | 139 |
| <b>COMMUNICATIONS ORALES - Evaluation de la Performance Musculaire (Muscle performance evaluation)</b>                                                                                                                                     | 140 |
| Vitesse maximale à lactatémie stable et vitesse critique de la relation distance-temps d'épuisement en course à pied, par B. SID-ALI, H. VANDEWALLE, K. CHAIR, A. BRUNET, A. MOREAU, H. MONOD                                              | 140 |
| La puissance maximale anaérobie. Comparaison de deux méthodes d'évaluation : le test de Wingate et la relation force/vitesse, par F. FRIEMEL, E. VITALI, G. WEIL, C. LARGER                                                                | 140 |
| Evaluation of muscular fatigue in cycling team pursuit, par A. DAL MONTE, S. LUPO, M. FAINA                                                                                                                                                | 141 |
| On field evaluation of energy expenditure of performance, par M. FAINA, C. MARINI, E. SCARPELLINI, G. CAMA, E. ATANASIO, A. DAL MONTE                                                                                                      | 141 |
| L'épreuve progressive de course navette de 20 m s'accompagne d'une hyperlactatémie et sous-estime la vitesse maximale aérobie, par S. AHMAIDI, K. COLLOMP, C. CAILLAUD, Ch. PRÉFAUT                                                        | 142 |
| <b>POSTERS - Atrophie Musculaire (Muscle Atrophy)</b>                                                                                                                                                                                      | 143 |
| The effect of Triiodothyronine on muscle atrophied after axonotmesis, par E. KONTOLBON-VAKALOPOULOU, V. STERGIOU-MICHAILIDOU                                                                                                               | 143 |
| Muscle fatigue in disused and normal muscles, par J. DUCHATEAU, C. BALESTRA, N. GUISSARD                                                                                                                                                   | 143 |
| Modulation de l'activité urokinase des muscles lents et rapides de rat au cours de la régénération, par E. FRISDAL, J. GAUTRON, G. BARLOVATZ-MEIMON                                                                                        | 144 |
| Adaptations musculaires à une hypoactivité : effets de l'injection répétée de Dobutamine, par D. DESPLANCHES, R. FAVIER, B. SEMPORÉ, R. FLANDROIS, H. HOPPELER                                                                             | 144 |
| <b>POSTERS - Muscle Cardiaque (Cardiac Muscle)</b>                                                                                                                                                                                         | 145 |
| Glutamate and maximal myocardial contractile function, par V.I. KAPELKO, O.I. PISARENKO, M.S. GORINA, I.M. STUDNEVA                                                                                                                        | 145 |
| Cardiac contractile function, oxygen consumption and cytosolic phosphates during electron flux inhibition by amytal, par V.I. KAPELKO, V. KUPRIYANOV, V. LAKOMKIN, O. KORCHAZHKINA, V. STEPANOV, A. STEINSCHNEIDER, V. SAKS                | 145 |
| Superrestoration of the heart function of stressadapted rats after acute hypoxia, par Y.N. KOPYLOV, L.Y. GOLUBEVA                                                                                                                          | 146 |

|                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| The role of prostaglandin system in the cardio-protective effects of adaptation to high altitude hypoxia in stress, par M.G. PSHENNIKOVA, B.A. KUZNETSOVA, V.I. VOVK, M.V. SHIMKOVICH, Y.N. KOPYLOV, F.Z. MEERSON | 146 |
| Fonction mitochondriale et oxygénation cytoplasmique du muscle cardiaque soumis à divers types de surcharge, par R. JANATI-IDRISSI, M. LAPLACE, P. POCHOLLE, B. BESSON-LESCURE, M.H. BUI                          | 147 |
| Fonction mitochondriale et oxygénation cytoplasmique de myocarde de rat transplanté, par B. BESSON-LESCURE, R. JANATI-IDRISSI, M.H. BUI                                                                           | 147 |
| Etude des adaptations cardio-vasculaires et respiratoires des asthmatiques au cours de l'effort en fonction de la gravité de l'asthme, par A. VARRAY, J. MERCIER, A.M. SAVY-PACAU, Ch. PRÉFAUT                    | 148 |
| The heart in continuous stress exposure and the phenomenon of adaptative stabilization structures, par F.Z. MEERSON, V.I. KUZNETSOV                                                                               | 148 |
| Lung diffusion capacity and hemoglobin saturation in trained subjects during near maximal exercise, par R. TURCOTTE, H. PERRAULT, L. KITEALA, J.E. MARCOTTE                                                       | 149 |
| <b>SYMPOSIUM - Nutrition et Fatigue (Nutrition and Fatigue)</b>                                                                                                                                                   | 151 |
| Carbohydrate Metabolism and Fatigue (Métabolisme des Hydrates de Carbone et Fatigue), par E.F. COYLE                                                                                                              | 153 |
| Lipid Metabolism and Performance (Métabolisme des Lipides et Performance), par C.Y. GUEZENNEC, C. LÉGER, P. SATABIN                                                                                               | 165 |
| Muscular Exercise during Food Deprivation (Exercice Musculaire au cours d'une Restriction Calorique), par F. FERY, E.O. BALASSE                                                                                   | 173 |
| Exercise, Performance and Hydro-Electrolyte Balance (Exercice, Performance et Equilibre Hydrominéral), par V. CANDAS, B. BOTHOREL                                                                                 | 184 |
| <b>COMMUNICATIONS ORALES - Nutrition</b>                                                                                                                                                                          | 197 |
| Amino acid metabolites in plasma of marathon runners, par J.R. POORTMANS, M. PARRY-BILLINGS, E.A. NEWSHOLME                                                                                                       | 199 |
| Etude de l'influence du jeûne chez les coureurs de fond, par H. MEHDILOUI, L. BENHALASSA, C. BENLATRECHE, A. ABERKANE                                                                                             | 199 |
| Limits to supplementation : gastric emptying, absorption and CHO utilization, par N.J. REHRER, A.J.M. WAGENMAKERS, E.J. BECKERS, D. HALLIDAY, F. BROUNS, K. WESTERTERP                                            | 200 |
| Validation of a new procedure for computing exogenous glucose oxidation during exercise, using <sup>13</sup> C-Labelled glucose, par E. ADOPO, F. PERONNET, D. MASSICOTTE, G. BRISSON, C. HILLAIRE-MARCEL         | 200 |
| Rôle des apports protéiques sur la performance lors d'un raid en altitude, par X. BIGARD, F. CANON, P. SATABIN, P. LAVIER, C.Y. GUEZENNEC                                                                         | 201 |
| <b>COMMUNICATIONS ORALES - Glycolyse et Performance Musculaire (Muscle Glycolysis and Performance)</b>                                                                                                            | 201 |
| Effet de l'exercice excentrique sur la déplétion et resynthèse du glycogène chez le rat, par A. FERRY, I. AMIRIDIS, V. BRUSSEE, M. RIEU                                                                           | 202 |
| NADH musculaire total au cours de l'exercice de longue durée : effets de l'entraînement à l'endurance, par C. DENIS, D. DORMOIS, M.T. LINOSSIER, A. GEYSSANT, J.R. LACOUR                                         | 202 |
| Evidence against an anaerobic threshold in progressive exercise, par S.C. DENNIS, A. BOSCH, T.D. NOAKES                                                                                                           | 203 |
| Cinétique du lactate chez les drépanocytaires (HBSC) et des sujets à hémoglobine normale, pendant et après l'exercice musculaire, par J. LONSDORFER, P. BOGUI, H. FREUND, S. OYONO-ENGUELLE, A. LONSDORFER        | 203 |
| Effects of training on human lactate turnover during exercise, par S.C. DENNIS, H. MACRAE, T.D. NOAKES                                                                                                            | 204 |
| <b>SYMPOSIUM - Fatigue Centrale versus Fatigue Périphérique (Central vs Peripheral Fatigue)</b>                                                                                                                   | 205 |

|                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Central Nervous Changes in Fatigue induced by Local Work (Modifications Nerveuses Centrales dans la Fatigue induite par le Travail Périphérique), par B. MATON . . . . .                                                                   | 207 |
| Diet, Exercise, Plasma Nutrient Levels, and Neurotransmission (Régime, Exercice, Niveaux Plasmatiques des Nutriments et Neurotransmission), par R. WURTMAN, M.C. LEWIS . . . . .                                                           | 222 |
| Cerebral Monoamines and Fatigue (Monoamines Cérébrales et Fatigue), par F. CHAOULOFF . . . . .                                                                                                                                             | 234 |
| <b>COMMUNICATIONS ORALES - Fatigue Centrale vs Fatigue Périphérique</b><br>(Central vs peripheral fatigue) . . . . .                                                                                                                       | 241 |
| Changes in motoneuron discharge variability during prolonged activation with extracellular stimulation : possible implications for fatigue, par Y. LAOURIS, L. BEVAN, J.M. SPIELMANN, M.A. NORDSTROM, R.M. REINKING, D.G. STUART . . . . . | 242 |
| Effect of fatigue on muscle reflex activities, par C. BALESTRA, J. DUCHATEAU . . . . .                                                                                                                                                     | 242 |
| Central fatigue : the contribution of attentional focus, par V.M. NETHERY . . . . .                                                                                                                                                        | 243 |
| Changes in power spectral density function (PSDF) of different skeletal or respiratory muscles during sustained voluntary contraction, par M. BADIER, Ch. GUILLOT, Y. JAMMES . . . . .                                                     | 243 |
| The effect of added inspiratory resistance on subjective symptoms and on electromyographic quadriceps fatigue during incremental exercise in normal subjects, par R. GUELL, M. GIMENEZ, M. MARCHAND, M.L. DUC, J.M. POLU . . . . .         | 244 |
| Effects of chronic hypoxemia on EMG changes in adductor pollicis (AP) muscle during sustained static contraction, par M. BADIER, Ch. GUILLOT, F. LAGIER, Y. JAMMES . . . . .                                                               | 244 |
| EMG spectral analysis in well-trained athletes after dynamic exercise, par C. GARAPON-BAR, J.N. HÉLAL, J. VAN HOECKE . . . . .                                                                                                             | 245 |
| Fatigue électro-myographique des muscles participant à la propulsion en fauteuil roulant : étude préliminaire, par M. GIMENEZ, E. PRÉDINE, M.O. THISSE, M.L. DUC, M. MARCHAND . . . . .                                                    | 245 |
| <b>COMMUNICATIONS ORALES - Exercice Musculaire et Chaleur (Exercise in the heat)</b> . . . . .                                                                                                                                             | 246 |
| Effets de la rehydratation sur le bilan hydro-minéral et son contrôle hormonal pendant l'exercice en ambiance chaude, par B. MÉLIN, M. CURE, C. JIMENEZ, N. KOULMANN, C. GHARIB, L. PEYRIN . . . . .                                       | 246 |
| Plasma isoenzymes as diagnostic criteria of heat stress, par S.E. TERBLANCHE, A. VAN DER LINDE, A.J. KIELBLOCK . . . . .                                                                                                                   | 246 |
| Muscle energetic metabolism in rats with heat stroke, par L. BOURDON, P. D'ALÉO, M. CURE . . . . .                                                                                                                                         | 247 |
| Effects of sleep deprivation on local sweating during exercise in the heat, par G. DEWASMES, B. BOTHOREL, V. CANDAS . . . . .                                                                                                              | 247 |
| <b>POSTERS - Physiologie de l'Exercice (Exercise Physiology)</b> . . . . .                                                                                                                                                                 | 248 |
| Energy metabolism and fatigue, par M. SEREDENKO, V. POZHAROV, T. MINYAIENKO, V. BISTRJUKOV . . . . .                                                                                                                                       | 248 |
| Régime hyperlipidique et performance chez le rat, par B. SIMI, M.H. MAYET, B. SEMPORÉ, R. FAVIER . . . . .                                                                                                                                 | 248 |
| Pression artérielle et facteur natriurétique auriculaire lors d'un exercice musculaire aérobie intense réalisé en ambiance froide, les effets de l'âge, par P. FLORE, A. THERMINARIAS, M.F. CHIRPAZ-ODDOU, C. GHARIB, A. QUIRION . . . . . | 249 |
| Métabolisme hydrique et catécholamines lors du marathon, par J. PASTENE, M. GERMAIN, C. GHARIB, L. PERRIN, R. FLANDROIS . . . . .                                                                                                          | 249 |
| Magnesium, acide urique et fatigue musculo-tendineuse chez les basketteurs de haut niveau, par F. CHIBATTE, M. LAUGA, R. CHANON, A. CALLIS . . . . .                                                                                       | 250 |
| Stimulation time-related histochemical changes induced by isometric contraction of striated muscle in rat, par M. LEVAME, E. FRISDAL, F. MEYER . . . . .                                                                                   | 250 |
| Variations métaboliques et endocriniennes chez le cheval d'endurance, par J.M. MICHAUX, L. BALLESTER, C. AURISSIER, M. LANDREAUD, F. GUERRIN . . . . .                                                                                     | 251 |
| Fatigabilité des mains en fonction de la dominance latérale, par M. BONNIER . . . . .                                                                                                                                                      | 251 |
| <b>INDEX DES AUTEURS</b> . . . . .                                                                                                                                                                                                         | 252 |