Table des matières

Préface VII
Avant-propos IX

Chapitre 1

Racines historiques de la biochimie des activités physiques et sportives 1

Introduction 1
1. Antiquité et époque hellénique 1
2. De la Renaissance au XVIIe siècle 2
3. La naissance de la biochimie musculaire (XVIIIe - XIXe s.) 2
4. La théorie de l'acide lactique (1900-1927) 3
5. La théorie du « phosphagène » (1929-1934) 3
6. La théorie de l'ATP (1934-1962) 4
7. L'essor de la biochimie au sein des activités physiques et sportives 5
8. Pour conclure 6

Chapitre 2

Notions de bioénergétique 15

Ce qu'il faut se rappeler 15
1. La calorie et la bioénergétique 15
2. La thermodynamique biochimique 16
2.1 Les principes de la thermodynamique 17
2.2 Les liaisons dites « riches en énergie » 19
2.3 Les réactions couplées et les cycles substrats 19
2.4 Réactions irréversibles et notion de flux métabolique 20
3. Les cinétiques enzymatiques 20
4. Les régulations métaboliques 21
4.1 Les récepteurs membranaires 21
4.2 Les régulateurs allostériques 22
4.3 Les régulateurs cellulaires intrinsèques 23
4.3.1. L'AMPK 23
4.3.2. La mTOR 23
4.4 Les vitesses de réaction limitantes 24
4.5 Les compartiments cellulaires 24
5. Les dépenses énergétiques 24
5.1 Analyse globale du métabolisme énergétique 26
5.2 Réserves énergétiques 28
5.3 Répartition de la dépense énergétique 29
6. Les différentes sources énergétiques de la contraction musculaire 30
6.1 Les principales voies métaboliques 30
6.2 Estimation maximale des flux métaboliques 31
Ce qu'il faut retenir 31
Questions de révision 32

Chapitre 3

Méthodes et techniques d'étude du métabolisme énergétique à l'exercice 29

Introduction 29
1. Les méthodes d'étude du métabolisme énergétique à l'exercice : approche « in vivo » 30
1.1 Les techniques non invasives d'étude du métabolisme énergétique à l'exercice 31
1.1.1 La calorimétrie directe et indirecte 31
1.1.2. La spectrométrie à partir de la résonance magnétique nucléaire 34
1.1.3 La spectrométrie proche infrarouge 35
1.1.4 La technique à l'eau doublement marquée 36
1.1.5 L'excrétion des émonctoires 37
1.2 Les méthodes invasives d'étude du métabolisme énergétique à l'exercice 37
1.2.1 Les prises de sang 38
1.2.2 La biopsie 39
1.2.3 La microdialyse 40
1.2.4 Les méthodes isotopiques 42
1.2.5 La spectrométrie de masse 43
2. Les techniques d'étude du métabolisme énergétique à l'exercice : approche « in vitro » 44
2.1 La détermination des métabolites 44
2.1.1 La spectroscopie 44
2.1.2 La fluorimétrie 45
2.1.3 La chromatographie 45
2.1.4 Les méthodes immunochimiques 45
2.2 L'analyse de l'activité enzymatique 46
2.3 Les méthodes provenant de la biologie moléculaire 47
Conclusion 49
Ce qu'il faut retenir 49
Questions de révision 51

Matériel protégé par le droit d'auteur

Les mécanismes biochimiques de la contraction musculaire – La typologie des fibres 57

Ce qu'il faut se rappeler 57

1. Les protéines myofibrillaires 59
   - 1.1 Les différents types de protéines myofibrillaires 59
     - *1.1.1 Les protéines du filament épais* 60
     - *1.1.2 Les protéines du filament fin* 62
     - *1.1.3 Les protéines du cytosquelette* 63
2. Les bases moléculaires de la contraction musculaire 65
   - 2.1 Introduction 65
   - 2.2 Devenir du calcium intracellulaire 65
   - 2.3 Le cycle « actine-myosine-ATP » 67
     - *2.3.1 Généralités* 67
     - *2.3.2 Description du cycle « actine-myosine-ATP »* 67
3. Le relâchement musculaire 70
   - 3.1 Définition 70
   - 3.2 Les mécanismes du relâchement musculaire 70
4. La typologie des différentes fibres musculaires 71
   - 4.1 Introduction 71
   - 4.2. Historique (d'après [Needham 1971]) 71
     - *4.2.1 Étape pigmentaire* 71
     - *4.2.2 Étape physiologique* 71
     - *4.2.3 Étape histologique* 71
     - *4.2.4 Étape biochimique* 72
   - 4.3. Les techniques d'identification des fibres musculaires chez l'homme 72
     - *4.3.1 Méthode générale* 72
     - *4.3.2 Utilisation de l'ATPase myofibrilloire* 73
     - *4.3.3 La microdissection des fibres musculaires* 73
     - *4.3.4 Les techniques physico-chimiques* 73
     - *4.3.5 L'immuno-histochimie* 74
     - *4.3.6 La résonance magnétique nucléaire (RMN)* 74
     - *4.3.7 L'imagerie en résonance magnétique nucléaire (IRM)* 74
     - *4.3.8 Conclusions* 74
   - 4.4 Classification générale des diverses catégories de fibres chez l'homme 75
     - *4.4.1 Caractéristiques structurales des fibres musculaires chez l'homme* 75
     - *4.4.2. Caractéristiques biochimiques des fibres musculaires chez l'homme* 76
     - *4.4.3 Schéma récapitulatif général des différentes fibres musculaires chez l'homme* 77
     - *4.4.4 Comparaison entre le muscle cardiaque et le muscle squelettique* 78
   - 4.5 La distribution des fibres musculaires chez l'homme 78
     - *4.5.1 Le sujet sédentaire* 78
     - *4.5.2 Le sujet entraîné* 82
   - 5.1 Les expérimentations animales et humaines et la plasticité musculaire 85
     - *5.1.1 Les innervations croisées* 85
     - *5.1.2 La stimulation électrique artificielle* 86
     - *5.1.3 L'inactivité provoquée (immobilisation)* 87
   - 5.2 Entraînement et plasticité musculaire chez l'homme 87
     - *5.2.1 L'entraînement de type aérobie* 87
     - *5.2.2 L'entraînement de la force* 89
   - 5.3 Hypertrophie et/ou hyperplasie ? 90
     - *5.3.1 Signaux moléculaires de la croissance musculaire* 91
     - *5.3.2 L'hypertrophie induite par l'entraînement : un phénomène bien démontré* 92
     - *5.3.3 L'hyperplasie du tissu musculaire* 93
     - *5.3.4 Conclusions* 96
6. Expression génique et plasticité tissulaire à l'exercice .96
   - 6.1 Genre humain, évolution et activité physique 96
   - 6.2 Génotype, phénotype et performance physique .97
   - 6.3 Le transfert de gènes et la performance sportive .100

Ce qu'il faut retenir 101

Questions de révision 102

Chapitre 5

Métabolisme du phosphagène 119

Ce qu'il faut se rappeler 119

1. L'ATP 121
   - 1.1 Les concentrations basales d'ATP 122
   - 1.2 La déplétion de l'ATP à l'exercice 123
   - 1.3 Le taux de renouvellement de l'ATP 125
   - 1.4 La réplétion de l'ATP dans la récupération 125
2. La phosphorylcréatine (PC) 126
   - 2.1 Les concentrations basales en PC 126
   - 2.2 La déplétion de la PC à l'exercice 127
   - 2.3. PC et taux de renouvellement en ATP 129
   - 2.4 La réplétion de la PC 129
   - 2.5 Rôle de la navette créatine/phosphorylcréatine dans la régulation de la respiration mitochondriale à l'exercice 129
   - 2.6 Les apports de la résonance magnétique nucléaire spectroscopique (^{31}P-SRMN) 130
3. Le réservoir des nucléotides phosphates 131
4. Le cycle des purines nucléotides 133
5. Les effets de l'entraînement et du désentraînement 135
   - 5.1 Évolution des concentrations en ATP et PC après l'entraînement 135
   - 5.2 Évolution des enzymes après entraînement 136
   - 5.3 Le désentraînement 137

Ce qu'il faut retenir 137

Questions de révision 138

Matériel protégé par le droit d'auteur

Chapitre 6

Métabolisme des glucides 145

Ce qu'il faut se rappeler 145

Introduction au métabolisme des glucides 145

Métabolisme du glucose 146

Structure du glucose 146

La gluconéogenèse 156

Métabolisme du glycogène 157

Différentes formes de glycogène 158

1. L'utilisation périphérique du glucose et du glycogène 160

Introduction 160

1.1 Le glucose 161

1.1.1 Présentation générale 161

1.1.2 Utilisation immédiate et permanente du glucose sanguin à l'exercice 161

1.1.3 Les transporteurs de glucose à l'exercice 161

1.1.4 Paramètres modifiant la consommation musculaire de glucose à l'exercice 163

1.2 Le glycogène 166

1.2.1 Les réserves en glycogène 167

1.2.2 L'utilisation du glycogène musculaire et hépatique à l'exercice 169

1.3 Régulation de la glycolyse et de la glycogénolyse musculaire à l'exercice 176

1.3.1 La glycogénolyse musculaire 177

1.3.2 La glycolyse musculaire 181

1.4 La formation du lactate 181

1.4.1 La production de lactate musculaire 182

1.4.2 Les transporteurs de lactate 185

1.4.3 La lactatémie à l'exercice 187

1.4.4 Les seuils lactates 191

1.4.5 Le concept d'état stable maximal de la lactatémie 193

1.4.6 Le lactate sudoral, urinaire et salivaire 194

1.4.7 Le lactate cérébral à l'exercice 194

1.4.8 La navette lactate 196

1.5 Le rendement énergétique de la glycolyse et de la glycogénolyse à l'exercice 197

2. Apports endogène et exogène de glucose à l'exercice 197

2.1 Gluconéogenèse hépatique à l'exercice 198

2.1.1 Contribution relative de la glycogénolyse et de la néoglucogenèse hépatique à l'exercice 198

2.1.2 Effet du régime alimentaire sur la production hépatique de glucose à l'exercice 199

2.2 Gluconéogenèse rénale à l'exercice 199

2.3 Apports exogènes en glucides 200

2.3.1 Effets glaboux de l'ingestion de glucides 200

2.3.2 Ingestion de glucides avant l'exercice 200

2.3.3 Ingestion de glucides pendant l'exercice 201

2.3.4 Ingestion de glucides et performance 202

3. L'oxydation des résidus glucosyles 203

3.1 La transformation du pyruvate en acétyl-CoA 203

3.2 La dégradation de l'acétyl-CoA au niveau du cycle des acides tricarboxyliques 205

3.3 La chaîne respiratoire 207

3.4 Oxydation glucidique et rendement énergétique 207

4. La resynthèse glycogénique dans la récupération 207

4.1 Optimisation des réserves en glycogène par le régime 207

4.2 Facteurs influençant la resynthèse en glycogène musculaire 209

4.3 Optimisation des réserves en glycogène hépatique 213

4.4 La resynthèse du glycogène cérébral 214

5. Effets de l'environnement sur le métabolisme des glucides à l'exercice 214

5.1 Effets de l'altitude sur le métabolisme des glucides 214

5.2 Effets de la température sur le métabolisme des glucides 215

6. Effets de l'entraînement et du désentraînement sur le métabolisme glucidique 215

6.1 L'entraînement en puissance 215

6.2 L'entraînement en endurance 215

6.2.1 Les réserves en glycogène chez le sujet entraîné 215

6.2.2 L'utilisation des substrats chez le sujet entraîné 216

6.2.3 L'adaptation enzymatique 218

6.2.4 Pour conclure sur les limitations métaboliques glucidiques des mécanismes oxydatifs 221

6.3 Le désentraînement 221

Ce qu'il faut retenir 222

Questions de révision 224

Chapitre 7

Métabolisme des lipides 253

Ce qu'il faut se rappeler 253

Les lipides 253

Les acides gras 253

Les triglycérides 254

Les autres formes lipidiques 254

Les différents types de tissus adipeux 254

Les réserves lipidiques chez l'Homme 256

Les transporteurs cellulaires d'AGNE 257

Vue générale du catabolisme des acides gras non estérifiés (AGNE) 257

L'activation des acides gras non estérifiés sous forme d'acétyl-CoA 258

La navette de la carnitine 258

La ß-oxydation 259

Les corps cétoniques 259

La synthèse des acides gras 259

La synthèse des triglycérides (TG) 260

Le cycle acide gras non estérifiés-triglycérides 260

Matériel protégé par le droit d'auteur

1. Introduction 260
2. Utilisation des lipides plasmatiques au cours de l'exercice 262
2.1. L'utilisation des acides gras non estérifiés (AGNE) à l'exercice 262
a) Effet de la durée de l'exercice 262
b) Effet de l'intensité de l'exercice 264
2.2. Utilisation des triglycérides et les chylomicrons circulants à l'exercice 264
2.3. Le glycérol 265
2.4. Les corps cétoniques 265
3. Les triglycérides héparines à l'exercice 265
4. Utilisation des triglycérides intramusculaires au cours de l'exercice 266
4.1 Le muscle strié squelettique 266
4.2 Le cœur 269
5. Techniques permettant de juger de la mobilisation des acides gras non estérifiés au niveau du tissu adipeux au cours de l'exercice 269
5.1 Les techniques indirectes 270
5.1.1 Utilisation des agents pharmacologiques 270
5.2 Mesures du flux sanguin au niveau du tissu adipeux 270
5.3 La microdialyse au niveau du tissu adipeux 271
6. La ß-oxydation à l'exercice 272
6.1 Le transfert mitochondrial des acides gras par la L-carnitine 272
6.2 L'oxydation spécifique des différents acides gras non estérifiés à l'exercice 273
6.3 Les complémentations en acides gras 275
6.4 Les régulations métaboliques de la ß-oxydation 275
6.4.1 L'acétyl-CoA carboxylase et le rôle du malonyl-CoA 275
6.4.2 Autres enzymes limitantes de la ß-oxydation 276
6.4.3 Le cycle « triglycérides-acides gras » à l'exercice 277
7. Les interrelations glucides-lipides 278
7.1 Utilisation préférentielle des glucides et des lipides à l'exercice 278
7.1.1 Expérimentations animales portant sur l'interrelation entre substrats 278
7.1.2 Caféine et utilisation des lipides à l'exercice chez l'homme 279
7.2 Le cycle glucose-acides gras 279
7.3 Le « cross-over concept » à l'exercice prolongé 281
7.4 Les signaux de régulation du métabolisme lipidique à l'exercice 283
8. Effets de l'entraînement 283
8.1 Mobilisation et captation musculaire des AGNE et des corps cétoniques chez le sujet entraîné en endurance 284
8.1.1 Les acides gras non estérifiés 284
8.1.2 Les corps cétoniques 285
8.1.3 Le transport transmembranaire des AGNE ... 285
8.2 Utilisation des triglycérides musculaires à l'exercice chez le sujet entraîné en aérobie 285
8.3 Oxydations des AGNE chez le sujet entraîné en endurance 285
8.4 Lipolyse adipocytaire chez le sujet entraîné en aérobie 286
8.5 Activités enzymatiques lipidiques et entraînement aérobie 287
8.6 Adaptation des facteurs de régulation lipidique chez le sujet entraîné en endurance 288
8.7 Contribution relative des glucides et des lipides après un entraînement de type aérobie 288
8.8 Effets de l'entraînement de type aérobie sur le cholestérol et les lipoprotéines plasmatiques 289
8.8.1 Entraînement de la force 290
8.8.2 Entraînement en endurance 290
8.9 Effets du désentraînement 291
Ce qu'il faut retenir 291
Questions de révision 292

Chapitre 8

Métabolisme des protéines 309

Ce qu'il faut se rappeler 309
Introduction 309
Les acides aminés 310
Les protéines 312
La digestion protéique 312
Le catabolisme des acides aminés 314
La synthèse protéique 317
Les outils de la biologie moléculaire au service des sciences du sport 318
Le bilan azoté 319
1. Introduction historique 319
2. Distribution des protéines dans les liquides biologiques à l'exercice 321
2.1 Les protéines et la variation du volume plasmatique 321
2.2 Les enzymes plasmatiques et la lyse tissulaire 322
2.3 Immunité, protéines et exercice 324
2.3.1 Lors d'un exercice aigu 325
2.3.2 Avec l'entraînement 328
2.4 Les protéines urinaires et la perturbation rénale à l'exercice 329
2.5 La coagulation et la fibrinolyse à l'exercice 330
3. L'utilisation des acides aminés à l'exercice 330
3.1 La mobilisation des acides aminés plasmatiques. 330
3.2 Les acides aminés intramusculaires 331
3.3 La mobilisation splanchnique des acides aminés libres 332
3.4 Le métabolisme spécifique de certains acides aminés à l'exercice 333
3.4.1 La glutamine 333
3.4.2 Le tryptophane 334
4. L'oxydation des acides aminés à l'exercice 334
4.1 La production d'urée à l'exercice 334

Matériel protégé par le droit d'auteur

4.2 L'oxydation directe des acides aminés à l'exercice 335
5. Le taux de renouvellement protéique durant l'exercice ... 336
5.1 La protéolyse à l'exercice ... 336
5.2 La synthèse protéique à l'exercice ... 337
5.2.1 La captation des acides aminés ... 337
5.2.2 La synthèse protéique proprement dite ... 338
5.3 Le renouvellement du collagène à l'exercice ... 338
5.4 Le bilan protéique à l'exercice ... 339
6. La régulation du métabolisme protéique à l'exercice ... 340
6.1 L'inhibition de la synthèse protéique pendant l'exercice ... 341
6.2 L'augmentation de la synthèse protéique dans la phase de récupération ... 342
6.3 La régulation du muscle strié squelettique par les micro-ARN spécifiques ... 342
6.4 La complémentation en acides aminés et la synthèse protéique dans la phase de récupération 343
7. Effets de l'entraînement sur le métabolisme protéique ... 346
7.1 L'hypertrophie musculaire ... 346
7.2 Effets spécifiques d'un entraînement de type aérobie ... 347
7.2.1 Entraînement aérobie et activité enzymatique 348
7.2.2 Entraînement aérobie et thermogenèse ... 349
7.2.3 Le désentraînement et l'immobilisation ... 349
Ce qu'il faut retenir ... 351
Questions de révision ... 352

Chapitre 9

Régulations hormonales ... 369

Ce dont il faut se rappeler ... 369
Les récepteurs hormonaux ... 370
Le récepteur membranaire plasmique ... 371
Le récepteur cytoplasmique et nucléaire ... 372
Le contrôle de la sécrétion hormonale ... 372
Les neurones et la sécrétion hormonale ... 373
L'axe hypothalamo-hypophysaire ... 374
L'axe hypophyso-thyroïdien ... 376
L'axe hypophyso-surrénalien ... 376
L'axe hypophyso-gonadique ... 378
1. Chez la femme ... 378
2. Chez l'homme ... 378
Mécanisme d'action des androgènes ... 379
Le pancréas et le système gastro-intestinal ... 379
Le contrôle endocrinien de l'équilibre hydro-minéral 381
Les hormones de croissance ... 382
Les hormones peptidiques de l'encéphale ... 383
Le muscle squelettique comme glande endocrine 383
Le tissu adipeux comme glande endocrine ... 384
Les hormones et les peptides vasculaires ... 385
1) Le monoxyde d'azote (NO) ... 385
2) L'endothéline ... 385
3) La bradykinine ... 385
4) L'adénosine ... 386
1. Introduction ... 386
2. L'activité sympatho-adrénergique à l'exercice ... 386
2.1 Effets du type d'exercice ... 387
2.2 Effets de la disponibilité en oxygène ... 388
2.3 Effets de la disponibilité en glucose ... 388
2.4 La clairance des catécholamines ... 388
2.4.1 La clairance de l'adrénaline ... 388
2.4.2 La clairance de la noradrénaline ... 389
2.5 Implications métaboliques des catécholamines 389
2.5.1 Implications métaboliques sur la sécrétion insulinique du pancréas ... 389
2.5.2 Implications métaboliques sur la production du glucose hépatique ... 389
2.5.3 Implications métaboliques sur la glycogénolyse musculaire ... 390
2.5.4 Implications métaboliques sur la lipolyse du tissu musculaire et adipeux ... 390
2.6 Les effets de l'entraînement sur le système sympatho-adrénergique ... 391
3. La régulation hydrominérale et l'érythropoïétine à l'exercice ... 391
3.1 Le système rénine-angiotensine-aldostérone à l'exercice ... 392
3.2 L'hormone anti-diurétique à l'exercice ... 393
3.3 Le facteur natriurétique auriculaire à l'exercice 393
3.4 Les aquaporines et l'exercice ... 394
3.5 L'érythropoïétine et l'exercice ... 394
3.5.1 L'exercice aigu ... 394
3.5.2 L'exercice chronique ... 395
4. Les hormones pancréatiques à l'exercice ... 396
4.1 L'insuline et l'exercice ... 396
4.1.1 Les concentrations plasmatiques d'insuline à l'exercice ... 396
4.1.2 Les récepteurs insuliniques à l'exercice ... 397
4.1.3 La mobilisation des transporteurs GLUT-4 à l'exercice ... 399
4.1.4 L'action de l'insuline sur la lipolyse à l'exercice 399
4.2 Glucagon et exercice ... 399
4.3 Somatostatine et polypeptide pancréatique à l'exercice ... 400
4.4 Synthèse des implications métaboliques des hormones pancréatiques à l'exercice ... 400
4.5 Les effets de l'entraînement sur les hormones pancréatiques ... 400
4.5.1 Les concentrations plasmatiques d'insuline et de glucagon chez le sujet entraîné ... 400
4.5.2 Les récepteurs insuliniques chez le sujet entraîné (aérobie et glycolytique) ... 401

Matériel protégé par le droit d'auteur

5. L'axe hypothalamo-hypophyse antérieure à l'exercice 402
5.1 L'hormone de croissance (GH, *Growth Hormone*) à l'exercice 402
5.2 Prolactine et exercice 403
5.3 L'ACTH et les glucocorticoïdes 404
5.4 La thyroïde et les parathyroïdes à l'exercice 405
6. Les hormones sexuelles à l'exercice 405
6.1 Androgènes et exercice aigu 405
6.2 Androgènes et entraînement 406
7. Les hormones digestives à l'exercice 407
7.1 La gastrine 407
7.2 La ghréline 407
8. Les hormones et peptides cérébraux à l'exercice 407
8.1 Hormones morphiniques et cannabinaïdes à l'exercice 407
8.2 BDNF à l'exercice 408
9. Les hormone adipocytaires et l'exercice 408
9.1 La leptine 408
9.2 L'adipanectine 408
10. Hormones vasculaires et exercice 408
10.1 Monoxyde d'azote et exercice 408
10.2 Endothéline et exercice 409
10.3 Peptides vasculaires et exercice 409
11. Le contrôle de la réponse hormonale à l'exercice 410
Ce qu'il faut retenir 411
Questions de révision 412

Chapitre 10

Le transport des gaz et l'équilibre acido-basique 431

Ce qu'il faut se rappeler 431
Les systèmes tampons 431
Les réserves en oxygène dans le corps humain 431
Le transport de l'oxygène dans le sang 432
L'oxygène dissous dans le sang 432
L'oxygène combiné à l'hémoglobine 432
Le transport de l'oxygène dans le muscle 434
Le transport du dioxyde de carbone dans le sang 435
Le CO_2 dissous dans le sang 436
Le CO_2 combiné aux protéines 436
L'ion bicarbonate 436
Les systèmes tampons du sang 436
Régulation en bicarbonate et évolution de la Pa_{CO_2} au niveau sanguin 438
Les systèmes tampons du muscle 439
Les transporteurs membranaires de protons 439
1. Introduction 440
2. Les gaz du sang à l'exercice 441
2.1 Le transport de l'oxygène 441
2.1.1 La Pa_{O_2} et la Pv_{O_2} 441
2.1.2 La désaturation de l'HbO_2 441
2.1.3 L'exercice et le monoxyde de carbone (CO) 444
2.2 Le transport du dioxyde de carbone (CO_2) 445
3. Facteurs limitant la consommation musculaire en oxygène : un apport déficitaire ou une limitation de l'activité mitochondriale ? 445
3.1 La diffusion de l'oxygène dans le sarcoplasme 445
3.2 L'utilisation mitochondriale de l'oxygène 446
3.3 L'activité limitante des enzymes mitochondriales 447
4. L'équilibre acido-basique à l'exercice 449
4.1 Les variations du pH intramusculaire 449
4.2 La régulation du pH intramusculaire 449
4.3 Les variations du pH sanguin 450
4.4 La complémentation en bicarbonate ou en citrate de sodium 452
4.5 Le concept réel de l'acidose métabolique à l'exercice 452
5. Les effets de l'entraînement et du désentraînement sur le transport des gaz et sur l'équilibre acido-basique 454
5.1 Les effets d'un entraînement de type aérobie sur le transport de l'oxygène 454
5.1.1 La courbe de désaturation de l'Hb 454
5.1.2 Les concentrations en Mb 455
5.2 Les effets de l'entraînement sur l'équilibre acido-basique 455
La régulation du pH intramusculaire 455
5.3 L'entraînement et la régulation de la production de lactate et l'équilibre acido-basique au niveau sanguin 456
5.3.1 Complémentation en β-alanine et effet tampon musculaire 456
5.3.2 Entraînement et effets de l'hypoxie : de l'hypobare à l'hyperbare 457
5.4 Le paradoxe lactate et l'hypoxie 458
5.5 Le désentraînement 461
Ce qu'il faut retenir 462
Questions de révision 463

Chapitre 11

Les spécificités en fonction de l'âge et du sexe 475

Introduction générale 475
L'évolution humaine et l'adaptation à l'activité physique 475

Matériel protégé par le droit d'auteur

1. L'enfant, l'adolescent et la pratique sportive 477
Introduction 477
1.1 Croissance et maturation: des interactions hormonales complexes 477
1.1.1 La croissance 477
1.1.2 Maturation sexuelle 478
1.1.3 Activité physique et croissance somatique 478
1.1.4 Activité physique et maturation sexuelle 478
1.2. Capacités glycolytiques et aérobie chez l'enfant et l'adolescent 480
1.2.1 Typologie musculaire 480
1.2.2 ATP, phosphorylcréatine et réserves glycogéniques. 480
1.2.3 Métabolisme glycolytique 481
1.2.4 Exercices et métabolisme aérobie 483
1.2.5 Effets de l'entraînement chez l'enfant 485
2. Femmes et activité physique et sportive 486
Introduction 486
2.1 Composition corporelle et réserves énergétiques dans les deux sexes 487
2.2 Composition musculaire et différences intersexes 487
2.2.1 Force musculaire et différences intersexes 488
2.2.2 La femme dans l'exercice en résistance 488
2.2.3 La femme dans l'exercice aérobie 488
2.3 Capacités aérobies chez la femme 490
2.3.1 Le système aérobie chez la femme 490
2.3.2 Le transport de l'oxygène 491
2.3.3 Le taux d'hémoglobine et la déficience en fer 491
2.4. Cycle menstruel et aménorrhée secondaire 491
2.5 Exercice et grossesse 492
2.6 Les différences hormonales entre hommes et femmes 492
2.6.1 Concentrations basales en hormones sexuelles 492
2.6.2 Réponses en hormones sexuelles à l'exercice aigu et chronique dans les deux sexes 493
2.7 Rôles des stéroïdes sexuels féminins sur le métabolisme au repos 494
2.7.1 Influence sur le cycle menstruel 494
2.7.2 Effet des contraceptifs oraux sur le métabolisme au repos 494
2.8. Utilisation préférentielle des substrats à l'exercice chez l'homme et la femme 495
2.8.1 Le métabolisme glucidique à l'exercice 496
2.8.2 Le métabolisme lipidique à l'exercice 496
2.8.3 Le métabolisme protéique à l'exercice 497
2.8.4 Effets spécifiques des œstrogènes sur le cycle menstruel à l'exercice 498
2.8.5 Effets des contraceptifs sur le métabolisme à l'exercice 498
2.8.6. Les effets de l'entraînement 499
2.8.7 La femme et la fatigue musculaire 501
2.9 La triade de l'athlète féminine 502
2.9.1 La sous-alimentation chronique 502
2.9.2 Le déréglement hormonal du cycle œstrien 502
2.9.3 L'apparition de l'ostéoporose 503
3. Activité sportive et seniors 504
Introduction 504
3.1 Vieillissement et régression des « fonctions vitales » 505
3.2 Sénescence et sarcopénie 505
3.2.1 Mécanismes de la sarcopénie 507
3.2.2 Évolution des cellules satellites chez la personne âgée 508
3.3 Sénescence et activité physique 509
3.3.1 Sénescence et pompe sodium-potassium à l'exercice 509
3.3.2 Sénescence et métabolisme du phosphagène à l'exercice 509
3.3.3 Sénescence et glycolyse à l'exercice 510
3.3.4 Sénescence et métabolisme aérobie à l'exercice 510
3.4 Effets de l'entraînement chez la personne âgée 512
3.4.1 Entraînement de la force 512
3.4.2 Entraînement de type aérobie 514
3.4.3 Sénescence, exercice et complémentation protéique 516
3.4.4. Sénescence, entraînement et fonctions cognitives 517
3.5. Désentraînement et conséquences chez le senior 518
Conclusion générale 518
Ce qu'il faut retenir 518
Questions de révision 520

Chapitre 12

Stress et exercice 547
Ce qu'il faut se rappeler 547
Les radicaux libres 548
Les effets dommageables des radicaux libres 549
La défense de l'organisme contre la production des radicaux libres 551
Les protéines de stress 552
1. Les radicaux libres et l'exercice 552
1.1 La production des radicaux libres à l'exercice 553
1.2 La défense enzymatique 555
1.3 Le système non-enzymatique : les anti-oxydants 556
1.3.1 Les vitamines C et E 556
1.3.2 Le ß-carotène et le sélénium 557
1.4 Stress oxydant et hypoxie 557
2. Les protéines de stress et l'exercice 558

Matériel protégé par le droit d'auteur

3. Les lésions musculaires induites par l'exercice 559
3.1 Observations microscopiques 559
3.2 Les réactions cellulaires 560
3.2.1 La souffrance cardiaque et les sports éprouvants 561
3.2.2 Le glycogène, le cytosquelette et les ruptures musculaires 561
3.3 Le stress oxydant, l'exercice et l'apoptose 562
4. Les effets de l'entraînement 563
4.1 Entraînement et radicaux libres 563
4.2 Entraînement et protéines de stress 564
4.3 Effet anti-inflammatoire de l'exercice régulier 564
Ce qu'il faut retenir 564
Questions de révision 565

Chapitre 13

Bases biochimiques de la fatigue 577

1. Introduction 577
2. Les différentes formes de fatigue 577
3. Les mécanismes périphériques de la fatigue musculaire 578
3.1 Les aspects mécano-chimiques de la fatigue musculaire 579
3.1.1 Les propriétés mécaniques 579
3.1.2 Le couplage excitation-contraction 580
3.2 Les aspects métaboliques de la fatigue musculaire 582
3.2.1 Les réserves en glycogène 582
3.2.2 Les ions phosphates inorganiques (Pi) 583
3.2.3 Les ions lactate 584
3.2.4 Les ions H^+ et le pH intramusculaire 584
3.2.5 Influence de l'ATP sur la fatigue 585
3.2.6 Influence des radicaux libres 586
3.2.7 Influence de l'hypoxie 586
4. Les mécanismes centraux de la fatigue 587
4.1 L'hypothèse spinale 587
4.2 L'hypothèse noradrénergique 588
4.3 L'hypothèse dopaminergique 589
4.4 L'hypothèse sérotoninergique (5-HT) 590
4.5 L'hypothèse de l'acide γ-aminobutyrique 594
4.6 Le métabolisme glucidique 594
4.7 L'apport en oxygène 595
5. Qui coordonne la fatigue musculaire induite par l'exercice ? 596
Ce qu'il faut retenir 598
Questions de révision 599

Conclusions générales 611

Glossaire 613

Index 619

Table des matières 631

Matériel protégé par le droit d'auteur