Jürgen Stegemann

Leistungsphysiologie

Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports

3., überarbeitete Auflage
195 Abbildungen, 20 Tabellen

Vorarlberger Landesbibliothek
0 000000 677745
Dok-Nummer: 0000000067772

1984
Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York

Inhaltsverzeichnis

Einführung 1
Arbeitsphysiologie 2
A. Probleme und Aufgaben der Arbeitsphysiologie 2
B. Arbeitsphysiologie und Technik 4
C. Arbeitsphysiologie und Wirtschaftswissenschaft 5
Sportphysiologie 5

1 Muskeltätigkeit 8
1.1 Mechanische Eigenschaften des Muskels 8
1.1.1 Verhalten und passive Dehnung 8
1.1.2 Kontraktionsformen der Muskulatur 9
1.2 Allgemeine Grundlagen der Erregung 11
1.2.1 Ruhepotential 12
1.2.2 Lokale Erregung 14
1.2.3 Fortgeleitete Erregung 14
1.3 Struktur und Funktion des kontraktilen Apparates 16
1.3.1 Aufbau der Muskelfaser 16
1.3.2 Gleitfilamenttheorie 19
1.3.3 Erregung der Muskelfaser 20
1.3.4 Grundlagen der elektromechanischen Koppelung 22
1.3.5 Kontraktur und Muskelkrampf 25
1.4 Die energieliefernden Prozesse für die Muskeltätigkeit 25
1.4.1 Der Begriff der Energie und die Hauptsätze der Thermodynamik 25
1.4.2 Prinzipien der Energetik der chemischen Kraftmaschine „Muskel“ 27
1.4.3 Die Funktion von Enzymen 29
1.4.4 Die Regulation des Stoffwechsels über Enzyme 29
1.4.5 Die Rolle des ATP für den Stoffwechsel 31
1.4.6 Die Energiebereitstellung durch ATP und Kreatinphosphat 33
1.4.7 Der Abbau der Kohlenhydrate 34
1.4.8 Aufbau und Funktion der Mitochondrien 38
1.4.9 Zitratzyklus und Atmungskette 40
1.4.10 Die Energiebereitstellung durch Fette und Proteine 43
1.4.11 Stoffwechselregulation 45

1.4.12 Kinetik der Sauerstoffaufnahme 50
1.4.13 Muskelermüdung als Störung des biochemischen Gleichgewichts 57
1.5 Grundlagen der Energieumsatzmessung 57
1.5.1 Direkte Kalorimetrie 57
1.5.2 Indirekte Kalorimetrie 58
1.5.3 Wichtige Fehlerquellen der indirekten Kalorimetrie 61
1.6 Energieumsatz, körperliche Arbeit und sportliche Leistung 62
1.6.1 Ruheumsatz und Arbeitsumsatz 62
1.6.2 Wirkungsgrad 62
1.6.3 Tagesumsatz bei beruflicher Arbeit 69
1.6.4 Energieumsatz beim Sport 70
1.6.5 Arbeitsbelastung und ihre Grenzen 71
1.7 Grundlagen der Ernährung 72
1.7.1 Brennwert der Nährstoffe 74
1.7.2 Kohlenhydrat- und Fettbedarf 74
1.7.3 Eiweißbedarf 75
1.7.4 Bedarf an Vitaminen und Spurenelementen 78
1.7.5 Ernährung unter besonderem Blickwinkel sportlicher Ausdauerleistung 83
1.8 Grundlagen der Motorik 86
1.8.1 Aufbau und Funktion von Neuronen 86
1.8.2 Motorische Einheit 88
1.8.3 Aufbau und Funktion von Synapsen 88
1.8.4 Spinalmotorische Systeme 91
1.8.5 Supraspinalmotorische Systeme 98
1.8.6 Einfluß des Gleichgewichtsorgans auf die Motorik 103
1.8.7 Motorisches Lernen 105
1.9 Ökonomischer Einsatz der Muskelkraft 108
1.10 Das vegetative System in leistungsphysiologischer Sicht ... 112

2 Blutkreislauf und Arbeit 116
2.1 Herz-Kreislauf-System 116
2.2 Physiologie des Herzens 118
2.2.1 Grundeigenschaften des Herzmuskels 118
2.2.2 Wirkung der Herznerven 119
2.2.3 Elektrokardiogramm 119
2.2.4 Das Herz als Pumpe 121
2.2.5 Die Wirkung körperlicher Anstrengung auf die Förderleistung des Herzens 124
2.2.6 Arbeit und Umsatz des Herzens 125
2.2.7 Versorgung des Herzmuskels 126
2.3 Das Gefäßsystem 126
2.3.1 Das arterielle System 128

2.3.2 Blutdruckregelung im arteriellen System 130
2.3.3 Ruheblutdruck als Funktion des Lebensalters 137
2.3.4 Die Endstrombahn (Mikrozirkulation) 138
2.3.5 Durchspülung des interstitiellen Raumes 140
2.3.6 Das Lymphsystem 141
2.3.7 Das venöse System 141
2.4 Regelung des Blutvolumens und des osmotischen Druckes . 142
2.5 Arbeitseinstellung des Kreislaufes 144
2.5.1 Verstellung der lokalen Muskeldurchblutung 144
2.5.2 Problem des adäquaten Reizes für den Durchblutungsregler 146
2.5.3 Die Durchströmungsverteilung bei Arbeit 147
2.5.4 Herzminutenvolumen und Arbeit 148
2.5.5 Blutdruck bei körperlicher Belastung 150
2.5.6 Geschlechtsbedingte Unterschiede der einzelnen Kreislaufgrößen 151
2.5.7 Die Herzfrequenz als Indikator für den Sympathikotonus bei körperlicher Anstrengung 151
2.5.8 Verhalten der Herzfrequenz während der Arbeit 152
2.5.9 Verhalten der Herzfrequenz nach der Arbeit 154
2.5.10 Übersicht über die möglichen Mechanismen der Herzfrequenzsteuerung bei der Arbeit 155
2.5.11 Natur des adäquaten Reizes der Muskelrezeptoren 160
2.6 Das Blut als Transportmedium 164
2.6.1 Blutplasma 164
2.6.2 Die Blutzellen 165
2.6.3 Transport des Sauerstoffs 166
2.6.4 Transport des Kohlendioxids 171
2.6.5 Die Regulation des pH-Wertes 176
2.6.6 Transport von Wärme, Nährstoffen und fixen Stoffwechselendprodukten 179
2.7 Arteriovenöse Differenz und Durchblutung (Fick-Prinzip) . 180

3 Atmung 181
3.1 Atemmechanik, Atemarbeit und der dazu notwendige Energieumsatz 181
3.2 Gasaustausch 184
3.3 Respiratorischer Totraum und Begriff der alveolären Ventilation 186
3.4 Regelung der Atmung 191
3.4.1 Regelung des pCO_2 192
3.4.2 Wirkung von O_2-Mangel und pH-Senkung auf die CO_2-Antwortskurve 194
3.5 Atmung und körperliche Leistung 195
3.5.1 Einstellung der Atemform 197

4 Wirkung von Umweltfaktoren auf die Physiologie der Arbeitsleistung ... 198
4.1 Einfluß von akutem und chronischem Sauerstoffmangel auf den Menschen ... 198
4.1.1 Perakuter Sauerstoffmangel ... 198
4.1.2 Zusammenhänge zwischen Höhe und Sauerstoffdruck ... 201
4.1.3 Akuter Sauerstoffmangel ... 204
4.1.4 Chronischer Sauerstoffmangel und Höhenakklimatisation 206
4.1.5 Leistungsfähigkeit unter Sauerstoffmangel ... 211
4.2 Einfluß des Klimas auf den Menschen ... 212
4.2.1 Wärmeaustausch zwischen Körperoberfläche und Umgebung ... 216
4.2.2 Körpertemperatur und Wärmebilanz ... 218
4.2.3 Wärmeproduktion ... 220
4.2.4 Wärmeabgabe ... 221
4.2.5 Thermoregulation ... 226
4.2.6 Akklimatisation ... 226
4.3 Salz- und Wasserhaushalt ... 228
4.3.1 Verteilung des Wassers im Organismus ... 228
4.3.2 Bewegung des Wassers im Körper ... 230
4.3.3 Störungen des Wasserhaushaltes ... 231
4.3.4 Wasserbilanz und ihre Regelung ... 232
4.4 Physiologie der Schwerelosigkeit ... 233
4.4.1 Physikalische und physiologische Vorbemerkungen ... 233
4.4.2 Hämodynamische Wirkung der Schwerelosigkeit ... 234
4.4.3 Physiologische Wirkungen der simulierten Schwerelosigkeit 235
4.4.4 Leistungsfähigkeit und Schwerelosigkeit ... 240
4.4.5 Orthostatische Toleranz und Schwerelosigkeit ... 242
4.4.6 Wirkung echter Schwerelosigkeit ... 244
4.5 Physiologie des Tauchens und Schwimmens ... 245
4.5.1 Physikalische und physiologische Vorbemerkungen zum Tauchen ... 245
4.5.2 Apnoisches Tauchen ... 247
4.5.3 Tauchen mit Hilfsmitteln ... 255
4.5.4 Thermoregulation im Wasser ... 258
4.6 Mechanische Arbeit, Energieumsatz und Wirkungsgrad beim Schwimmen ... 261

5 Körperliche Leistungsfähigkeit ... 264
5.1 Allgemeine Grundlagen ... 264
5.2 Die Bestimmung der Leistungsfähigkeit ... 270
5.2.1 Aerobe Kapazität (maximale O_2-Aufnahme) ... 271
5.3 Die Bestimmung der Leistungsfähigkeit mit Hilfe der „aerob-anaeroben Schwelle“ ... 278

5.4 Bestimmung der Leistungsfähigkeit mit Hilfe des Herzfrequenzverhaltens ... 281
5.4.1 Bestimmung der Dauerleistungsgrenze nach dem Verfahren von Ulmer ... 283
5.4.2 Die Bestimmung der Leistungsfähigkeit mit Hilfe der Erholungspulssumme ... 284
5.5 Schätzung der Leistungsfähigkeit aus dem Verhalten des „Sauerstoffpulses" ... 286
5.6 Muskelermüdung ... 287
5.6.1 Muskelermüdung und Pausengestaltung ... 287
5.6.2 Erholung beim Wechsel von Muskelgruppen bei dynamischer Arbeit ... 289
5.6.3 Leistungsfähigkeit und Ermüdung bei statischer Haltearbeit 290
5.6.4 Verminderung der Leistungsfähigkeit durch zentrale Ermüdung ... 294

6 Leistungssteigerung durch Arbeitsgestaltung, Übung und Training ... 296
6.1 Leistungssteigerung durch rationelle Arbeits- und Bewegungsgestaltung ... 296
6.2 Verbesserung der Leistungsfähigkeit durch Übung ... 302
6.3 Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Training ... 304
6.3.1 Prinzipien der langfristigen Anpassung der Leistungsfähigkeit ... 305
6.4 Grundlagen des isometrischen Krafttrainings ... 307
6.4.1 Physiologische und pharmakologische Einflüsse auf das Krafttraining ... 310
6.5 Grundlagen des Trainings der Schnelligkeit ... 314
6.6 Grundlagen des Trainings der Ausdauer ... 315
6.6.1 Wirkung eines Ausdauertrainings auf die zelluläre Funktion und Struktur des Muskels ... 315
6.6.2 Ausdauertraining und Kapillarisierung ... 322
6.6.3 Wirkung eines Ausdauertrainings auf die Förderkapazität des Herzens ... 327
6.6.4 Wirkung eines Ausdauertrainings auf die Vermehrung des Blutvolumens ... 332
6.6.5 Wirkung eines Ausdauertrainings auf vegetative Funktionen ... 334
6.6.6 Einfluß des Ausdauertrainings auf das Säure-Basen-Gleichgewicht und den Mineralhaushalt ... 336
6.6.7 Die Relation zwischen $V'O_2$ und anaerober Schwelle als Funktion des Trainingszustandes ... 341

Anhang

7 Grundbegriffe biologischer Regelung (biologische Kybernetik) 342
7.1 Aufbau eines Regelkreises 342
7.2 Eigenschaften technischer Regler 344
7.2.1 P-Regler 345
7.2.2 PD-Regler 345
7.2.3 I-Regler 345
7.2.4 Übergangsfunktion des aufgeschnittenen Regelkreises 345
7.2.5 Ortskurve des aufgeschnittenen Regelkreises 347
7.2.6 Stabilitätskriterien von Nyquist 348
7.3 Biologische Regelkreise 349

8 Methoden der Energieumsatzmessung 350
8.1 Offene Systeme 350
8.2 Umsatzmessungen mit dem geschlossenen System 354
8.3 Rechnergesteuerte Spiroergometrie nach der Methode der Einzelatemzuganalyse 356
8.3.1 Theoretische Grundlagen des Verfahrens 356
8.3.2 Praktische Ausführung der Messung mit Hilfe eines Prozeßrechners, eines Massenspektrometers und eines Pneumotachographen 357
8.3.3 Eichung der einzelnen Meßwerte 358
8.3.4 Bestimmung der apparativen Verzögerungszeit 359
8.3.5 Bestimmung der Atemzugdauer 361
8.3.6 Messung und Berechnung der spiroergometrischen Größen 363
8.3.7 Bestimmung der endexspiratorischen und Vorgabe der inspiratorischen Gasdrücke 364
8.3.8 Programmierbare Leistungseinstellung 365
8.3.9 Off-line-Darstellung von Ergebnissen 366

Terminologie und Erklärung von Begriffen 369
Literaturauswahl 379
Sachverzeichnis 390