

運動生理學

PER-OLOF ASTRARAND

KAARE RODAHL

譯者：彭英毅
彭清次

合記圖書出版社 發行

出版登記證局版台業字第 0698 號

著作權註冊台內著字第 號

版權所有 翻印必究

運動生理學

譯 者：彭 英 毅·彭 清 次

發行人：吳 富 章

發行所：合 記 圖 書 出 版 社

總經銷：合 記 書 局

地 址：台北市吳興街 249 號（台北醫學院對面）

電 話：7071647 郵政劃撥 6919 號

中華民國 71 年 2 月初版

（全一冊）實價 450 元正

序 言

此次修訂新版「運動生理學」之目的仍與出版原書之目的相同，即將影響人體功能表現之各種因素整理成冊，以供生理學者，體育教育學者以及臨床醫師之參攷。與重點為靜止休息時身體各種功能調節的一般生理學教科書不同，本書特別強調在身體活動期間的調節機轉。我們假定讀者都有一些基本物理學和化學，以及解剖學和生理學之知識；然而為了促進在工作壓力和身體運動期間所遭逢的一些生理學和生化學事件之瞭解，本書亦包括了一些基本之生理學和生化學。

而在課程材料之選擇中，我們意圖滿足體育系學生（大學部和研究所）的近代需要，我們氏一般習慣採用了較多的參攷文獻，但不可避免的，在修訂版本的提出後發生的一些新的發展無法包括在本書中。

我們也瞭解一項事實，許多體育系課程不能夠有像本書所涵蓋的那樣對生理學作充分的研究，因此之故，我們儘量使每一章都成為一完整的單元，與書中其他部分獨立無關。我們相信，做了這樣的安排，本書亦適合一些希望深入探討特殊領域的學生。

我們希望本書不只適合體育系的教學，同時亦適用於臨床和應用生理學之教學，同時它亦可能激勵大家對體育教育對年青人和老年人，在健康和疾病中所佔角色之認識。

本書中許多未發行資料係由 Stockholm 的體育學院和在 Oslo 的工作生研究研究所和體育學院之同行所提供，我們誠懇地感謝他們的合作，我們也在此感謝在這些研究機構中許同事的個人聯繫和經常的討論。我們尤其感謝 O. Gronnerod 和 Vaage，對他們在第二章修訂中的貢獻，還有 O. Vaage 和 N. Secher 在準備第十六章的一些節次中的努力也一併致謝。

我們也非常感謝 Karin Marina 和 Joan Rodahl 在稿本準備中的許多技術的幫助。

Per-Olof Astrand

Kaare Rodahl

目 錄

前言 PREFACE	
第一章 身體的活動 Chapter One PHYSICAL ACTIVITY.....	1
參考文獻.....	6
第二章 能量放釋和轉送 Chapter Two ENERGY LIBERATION AND TRANSFER.....	7
能量轉換 Energy Transformation	7
高能量磷酸鹽 High energy phosphates	10
燃料的氧化作用 The Oxidation of Fuel.....	12
無氧性能量釋放 Anaerobic energy yield.....	15
有氧性能量釋放 Aerobic energy yield	17
ATP 形成 ATP formation	19
能量釋放 Energy Yield.....	22
控制系統 Control Systems	24
有氧性和無氧性能量釋出間之相互關係 Interplay between Anaerobic and Aerobic Energy Yield	26
不同能量貯存之相對重要性 Relative Importance of the Different Energy Stores	27
參考文獻 References.....	31
第三章 骨骼肌生理學 Chapter Three MUSCLE CONTRACTION	33
肌肉做什麼事 WHAT MUSCLES DO	33
肌肉和肌群之協調 Coordination of Muscles and Muscle Groups ...	33
肌肉收縮的型態 Types of Muscular Coordination	34
肌肉如何工作 HOW MUSCLES WORK	36
肌組織 Muscle Tissue	37
結締組織 Connective Tissue.....	45

血管組織 Vascular Tissue	46
骨骼肌力學 Skeletal Muscle Mechanics.....	46
肌肉張力之神經控制 Neural Control of Muscle Tension	47
特論 SPECIAL CONSIDERATIONS	47
骨骼肌纖維型態 Skeletal muscle Fiber Types	47
運動訓練對骨骼肌之效果 Training Effects on skeletal muscle.....	50
摘要.....	51
參考文獻 References	53
第四章 神經肌肉功能 Chapter Four NEUROMUSCULAR FUNCTION...	55
運動神經原以及神經衝動之傳送 The Motoneuron and Transmission of Nerve Impulses	57
解剖學 Anatomy	57
靜止膜電位 Resting membrane potential	58
促進——興奮作用 Facilitation-excitation	61
抑制作用 Inhibition	63
抑制作用和興奮作用 Inhibition and excitation	63
神經傳導速度 Nerve conduction velocity	65
衝動由神經軸突傳遞至骨骼肌 Transmission of Impulses from Nerve Axon to Skeletal Muscle :	66
運動單元 The Motor Unit.....	66
反射活動以及本體接受器之一些基本功能 Reflex Activity and Some of the Basic Functions of Proprioceptors	69
Renshaw 氏細胞以及其他抑制性中間神經原 Renshaw cells and other inhibitory interneurons	70
γ —運動神經原 The gamma motor system	71
高爾基氏肌腱器官 The Golgi tendon organs.....	73
交互抑制作用 (神經支配) Recipocal inhibition (innervation) ...	74
關節接受器 Joint receptors	74
靜止和賦活之肌肉 The resting and activated muscle	74
側枝抑制 Lateral inhibition.....	74
脊髓以上層次對運動神經原之控制 Supraspinal control of moton- eurons.....	75

大腦運動皮質 Cerebral motor cortex	75
小腦 Cerebellum	77
涉及動作之腦內神經核 Various nuclei in the brain involved in movement	80
動作中神經活動之整合作用 Integration of the neuronal activity in movement	80
學習 Learning	83
肌肉之性質和肌肉收縮 Properties of the Muscle and Muscular Contraction	85
運動單元 The motor unit	85
機械功 Mechanical work	85
姿勢 Posture	86
肌肉長度和收縮速度 Muscle length and speed of contraction	87
“肌力之調節” Regulation of strength	91
協調作用 Coordination	95
神經之退化和再生 Degeneration and regeneration of nerves	95
肌疲勞 Muscle fatigue	96
肌肉酸痛 Sore muscles	101
肌力、性別和年齡 Muscle strength, Sex, and Age	102
參考文獻 References	105
五章 血液和體液 Chapter Five BLOOD AND BODY FLUIDS	111
體液 Body Fluids	111
血液 Blood	112
容積 Volume	112
血球 Cells	113
比熱 Specific heat	115
緩衝作用——血液酸鹼度——二氧化碳運送 Buffer action-blood pH-CO ₂ transport	115
粘滯度 Viscosity	118
參考文獻 References	120
六章 循環 Chapter Six CIRCULATION	121
心臟 Heart	121

心肌 Cardiac muscle	122
血流 Blood flow	123
心動週期中的壓力變化 Pressures during a cardiac cycle	123
心臟之神經支配 Innervation of the heart	125
血行動力學 Hemodynamics	125
機械工作和壓力 Mechanical work and pressure	127
靜水壓 Hydrostatic pressure	127
張力 Tension	128
血流和阻力 Flow and resistance	129
血管系統 Blood Vessels	130
動脈 Arteries	131
微動脈 Arterioles	131
微血管 Capillaries	132
微血管構造和運送機轉 Capillary structure and transport mechanisms	134
過濾和滲透作用 Filtration and osmosis	134
靜脈 Veins	136
骨骼肌之血管形成 Vascularization of skeletal muscles	136
靜止時循環之調節 Regulation of Circulation at Rest	138
動脈血壓和血管運動狀態 Arterial blood pressure and vasomotor tone	139
心臟和神經衝動之作用 The heart and the effect of nerve impulses	140
中樞神經系統所施之控制和影響 Control and effects exerted by the central nervous system (CNS)	140
動脈血管之機械接受器 Mechanoreceptors in systemic arteries ..	141
姿勢 Posture	142
其他接受器 Other receptors	143
運動期間循環之調節 Regulation of Circulation during Exercise	145
心輸出量和氧氣運送 Cardiac Output and the Transportation of Oxygen	150
心臟之效率 Efficiency of the heart	150
靜脈血液回流 Venous blood return	151

動脈血液和混合靜脈血液之氧氣含量 Oxygen content of arterial and mixed venous blood	156
心縮排血量 Stroke volume	160
心率 Heart rate	160
血壓 Blood pressure	164
運動之型態 Type of exercise	165
心臟容積 Heart volume	167
年齡 Age	168
訓練和心輸出量 Training and cardiac output	169
參考文獻 References	173

第七章 呼吸 Chapter Seven RESPIRATION 171

主要功能 Main Function	181
解剖學和生理學 Anatomy and Histology	182
呼吸道 Airways	182
血管 Blood vessels	185
神經 Nerves	185
「空氣調節」 “ Air Condition ”	185
過濾和清淨之機轉 Filtration and Cleansing Mechanisms	187
呼吸力學 Mechanics of Breathing	189
胸膜、肋膜 Pleurae	189
呼吸肌 Respiratory muscles	189
呼吸之總阻力 Total resistance to breathing	190
呼吸容積 Volume Changes	191
術語和「靜態」容積測定法 Terminology and methods for the determination of “ static ” volumes	191
年齡和性別 Age and sex	193
「動態」容積 “ Dynamic ” volumes	194
順應性 Compliance	195
呼吸道阻力 Airway Resistance	195
靜止時和工作中之肺通氣量 Pulmonary Ventilation at Rest and during Work	196
運動期間的肺通氣量 Pulmonary ventilation during exercise	196

無效腔 Dead space	199
潮氣容積——呼吸頻率 Tidal volume-respiratory frequency	201
呼吸功（呼吸為身體工作之一項限制因素）Respiratory work （respiration as a limiting factor in physical work）	202
肺組織之擴散作用、氣體分壓 Diffusion in Lung Tissues, Gas Pressures	204
通氣量和灌流 Ventilation and Perfusion	206
血液之氧分壓和氣結合能力 Oxygen Pressure and Oxygen-Binding Capacity of the Blood	208
呼吸的調節 Regulation of Breathing	210
靜止時 Rest	210
中樞化學接受器 Central chemoreceptors	211
周邊化學接受器 Peripheral chemoreceptors	212
缺氧和 P_{CO_2} 變化之同時作用 Simultaneous effect of hypoxia and variations in P_{CO_2}	213
運動 Exercise	214
運動期間缺氧之驅力 Hypoxic drive during exercise	216
呼吸困難 Breathlessness (Dyspnea)	217
第二次呼吸 Second Wind	218
高壓、停止呼吸、潛水	219
高壓 High air pressures	219
停止呼吸（屏息）——潛水 Breath holding-diving	220
參考文獻 References	223

第八章 骨骼系統 Chapter Eight SKELETAL SYSTEM

骨骼的多項功能 The Many Functions of Bone	229
骨骼系統之發展和進化 Evolution of the Skeletal System	229
構造 Structure	230
功能 Function	231
成長 Growth	234
恢復——適應 Repair-Adaptation	234
關節 Joints	235
韌帶和肌腱 Ligaments and Tendons	240
背部之病理生理學 Pathophysiology of the Back	240

參考文獻 References	246
九章 身體工作的功能 Chapter Nine PHYSICAL WORK CAPACITY	249
需要——能力 Demand- Capability	249
有氧性代謝過程 Aerobic Processes	251
工作負荷以及工作之期間 Work load and duration of work	252
間歇工作 Intermittent work	255
長期工作 Prolonged work	258
參加工作之肌肉群 Muscular mass involved in exercise	261
無氧性代謝過程 Anaerobic Processes	263
氧積——乳酸生成 Oxygen deficit-lactic acid production	264
乳酸分佈和消失 Lactic acid distribution and disappearance	267
氧積 Oxygen debt	269
有氧性和無氧性能量釋放間之相互關係 Interrelation between Aer- obic and Anaerobic Energy yield	271
最大有氧性功率——年齡和性別 Maximal Aerobic Power- Age and Sex	273
心理因素 Psychological Factors	280
參考文獻 References	281
第十章 以測驗檢查為基礎評估體能工作量 Chapter Ten EVALUATION OF PHYSICAL WORK CAPACITY ON THE BASIS OF TESTS	285
體能適應性測驗 Physical Fitness Tests	285
最大有氧力的測驗 Tests of Maximal Aerobic Power	285
直接測定法 Direct determination	286
道格拉斯袋法 The Douglas bag method	290
工作測驗程序 Work test procedures	291
踏車測力器 Bicycle ergometer	292
跑步器 Treadmill	293
從測驗或次最大測驗所得數據之預估 Prediction from data obta - ined at rest or submaximal test	295

過程測驗 Procedures	308
測驗之表現 Performance of the test	309
負荷之選擇 Choice of load	310
工作測驗之評估 Evaluation of the work test	311
參考文獻 References	314

第十一章 身體大小和肌肉工作 Chapter Eleven BODY DIMENSIONS AND MUSCULAR WORK

靜力學 Statics	319
動力學 Dynamics	320
力 Force	321
拉單槓 "Chin-ups"	321
時間 Time	321
加速度 Acceleration	322
頻率 Frequencies	322
跑速 Running speed	322
跳躍 Jumping	323
小孩的最大跑速 Maximal running speed for children	323
動能 Kinetic energy	324
能量供應 Energy supply	325
小孩中之最大有氧性功率 Maximal aerobic power in children	327
女性之最大有氧性功率 Maximal aerobic power in women	328
最大心輸出量 Maximal cardiac output	328
心臟重和氧氣規律輸送 Heart weight, oxygen pulse	330
心率 Heart rate	330
尺寸之世紀增加 Secular increase in dimension	333
老年 Old age	334
參考文獻 References	336

第十二章 身體訓練 Chapter Twelve PHYSICAL TRAINING

緒論 Introduction	339
訓練之原理 Training Principles	344
連續和間續運動 Continuous versus intermittent exercise	346

肌力之訓練 Training of muscle strength	351
無氧性功率之訓練 Training of anaerobic power	351
有氧性功率之訓練 Training of aerobic power	352
整年的訓練 Year-round training	358
心理狀況 Psychological aspects	360
試驗 Tests	360
長期之生物效應 Biological Long-Term Effects	361
運動器官 Locomotive organs	361
氧氣運送系統 Oxygen-transporting system	370
心臟病患者之訓練 Training of cardiac patients	380
由運動中恢復 Recovery from exercise	382
機械效率、技巧 Mechanical efficiency, technique	383
身體組成 Body composition	383
血液脂肪 Blood lipids	383
激素 Hormones	384
心理上的變化 Psychological changes	384
參考文獻 References	386
第十三章 應用工作生理學 Chapter Thirteen APPLIED WORK PH-	
YSIOLOGY	395
緒論 Introduction	395
影響從事持續工作能力之因素 Factors Affecting the Ability to Per-	
form Sustained Physical Work	396
工作負荷與工作能力之評估 Assessment of Work Load in Relation	
to Work Capacity	398
最大有氧性功率之評估 Assessment of the maximal aerobic power	
.....	398
身體工作負荷之評估 Assessment of the physical work load	398
生物體因應整個工作應急之估測 Assessment of the organism's re-	
sponse to the total stress of work	398
工作、休息和休閒之能量消耗 Energy Expenditure of Work, Rest,	
and Leisure	400
工作分類 Classification of work	404
每日之能量消耗 Daily rates of energy expenditure	404

特殊活動中之能量消耗 Energy expenditure during specific activities	405
疲勞 Fatigue	415
一般身體疲勞 General physical fatigue	416
局部性肌肉疲勞 Local muscular fatigue	416
日夜間節律和工作效率 Circadian Rhythms and Performance	417
人類之日夜間節律 Circadian rhythms in the human	417
輪班工作 Shift work	417
月經的影響 Effects of Menstruation	418
參考文獻 References	420

第十四章 營養與身體表現 Chapter Fourteen NUTRITION AND PHYSICAL PERFORMANCE..... 425

簡介 Introduction	425
營養概述 Nutrition in General	426
消化 Digestion	427
能量代謝和影響肌肉工作選擇能源的因素 Energy Metabolism and the Factors Governing the Selection of Fuel for Muscular Work	429
調節機轉 Regulatory Mechanisms	441
運動員的食物 Food for the Athlete	445
持續運動少於一小時者 Events lasting less-than 1 hour	446
持續運動少於一小時和二小時者 Events lasting between 1 and 2 hours	446
持續運動少於數小時者 Events lasting for several hours	446
身體活性、食物攝取和體重 Physical Activity, Food Intake, and Body Weight	448
能量平衡 Energy balance	448
食物攝取的調節 Regulation of food intake	450
理想的體重 " Ideal " body weight	451
肥胖 Obesity	451
節食的飲食 Slimming diets	453
營養的適當供應 Optimal supply of nutrients	453

參考文獻 References	455
第十五章 體溫調節 Chapter Fifteen TEMPERATURE REGULATION	461
熱平衡 Heat Balance	461
評估熱平衡的方法 Methods of Assessing Heat Balance	462
代謝率之大小 Magnitude of Metabolic Rate	464
氣候之影響 Effect of Climate	465
寒冷 Cold	465
熱 Heat	468
工作的效應 Effect of Work	470
體溫調節 Temperature Regulation	475
適應 Acclimatization	480
熱 Heat	480
冷 Cold	482
耐性的極限 Limits of Tolerance	484
正常氣候 Normal climate	484
對熱之不耐性 Failure to tolerate heat	484
可忍受之溫度上限 Upper limit of temperature tolerance	485
年齡 Age	487
性別 Sex	487
訓練的狀況 State of training	487
協調性的運動 Coordinated Movements	488
心智工作量 Mental Work Capacity	488
水平衡 Water Balance	488
正常水份的喪失 Normal water loss	488
渴 Thirst	489
缺水 Water deficit	490
實際的應用 Practical Application	493
體力工作 Physical work	493
暖身 Warm-up	494
輻射 Radiation	495
空氣流動 Air motion	497
衣著 Clothing	497

微氣候 Microclimate	499
參考文獻 References	502

第十六章 應用運動生理學 Chapter Sixteen APPLIED SPORTS PHYSIOLOGY

簡介 Introduction	509
能量產生 Energy yield	509
神經肌肉功能 Neuromuscular function	509
各種運動的分析 Analysis of Specific Athletic Events	510
徒步 Walking	510
賽跑 Running	511
游泳 Swimming	514
溜冰 Speed skating	516
越野賽跑 Cross-country skiing	519
阿爾卑斯山的滑雪 Alpine skiing	522
划獨木舟 Canoeing	525
賽舟 Rowing	527
球賽 Ball games	531
參考文獻 References	536

第十七章 影響運動成績的因素 Chapter Seventeen FACTORS AFFECTING PERFORMANCE

簡介 Introduction	539
高海拔度 High Altitude	539
物理現象 Physics	539
身體表現 Physical performance	541
限制因素 Limiting factors	542
氧氣運輸 Oxygen transport	544
高海拔度的適應 Adaptation to high altitude	549
返回海平面後的表現 Performance after return to sea level	556
實際的應用 Practical applications	557
高空氣壓力 High Gas Pressures	558
壓力效應 Pressure effects	558

氮氣 Nitrogen	559
氧氣 Oxygen	559
二氧化碳 Carbon dioxide	560
運動時氧氣的吸入 Oxygen inhalation in sports	560
吸煙 Tobacco Smoking	561
循環系的影響 Circulatory effects	561
呼吸系的影響 Respiratory effects	562
運動員的吸煙習慣 Smoking habits among athletes	562
酒精與運動 Alcohol and Exercise	562
神經肌肉的功能 Neuromuscular function	562
有氧呼吸及無氧呼吸 Aerobic and anaerobic power	563
興奮劑 Doping	563
勝利的意志 The Will to Win	566
參考文獻 References	568
附錄 APPENDIX	575
索引 INDEX	583