



军事预防医学系列教材

军队劳动卫生学

JUNDUI LAODONG WEISHENGYUE

主编 王登高



军事医学科学出版社

前 言

第三军医大学预防医学系承担的国家教育部 21 世纪高等教育教学改革课题《预防医学五年制本科教学体系和教学内容的改革研究》，组织编写了军医大学预防医学专业五年制本科系列教材，正式出版了 4 个主干学科教材《军队流行病学》、《军事劳动卫生学》、《军队营养与食品卫生学》和《军队环境卫生学》。本套教材主要供军队院校预防医学专业本科教学使用，基础医学、临床医学、空军航空医学、海军医学、检验专业及预防医学专科、专科升本科均可选用本教材，同时也是我军各级卫生防疫干部的参考用书。

本教材的编写，以军委新时期军事战略方针为指导，结合新时期军事斗争及未来高技术局部战争对部队卫生防疫工作的要求，着眼于军事预防医学的特殊要求和军队卫生防疫工作的客观规律，吸收了本专业最新技术和学术成果。《军队流行病学》共分 26 章，介绍了疾病的发生、流行、分布、监测与预防，流行病学调查研究，消毒杀虫灭鼠，血清流行病学，分子流行病学，各类流行病及生物武器防护。《军事劳动卫生学》从军事劳动过程中的生理、心理变化基础，特殊地域（冷、热、高原环境）对机体的影响及预防保健，物理因素（微波、噪声、振动、激光）与健康，特殊兵种（炮兵、坦克兵、雷达兵、电子对抗作业人员等）的卫生保健，以及未来战争中高新技术武器使用的卫生学问题等方面进行了深入浅出的阐述，突出理论、强调应用，具有较强的针对性和实用性。《军队营养与食品卫生学》共分 12 章，主要围绕基本的营养需要、合理膳食、各类食物的营养价值、营养评价、营养与疾病、野战营养、战时营养缺乏病、战创伤营养、特殊作战条件营养保障，以及食品污染、食物中毒和食品卫生管理等内容撰写。结合平、战时及特殊条件下部队营养保障需要，书中强化了部队营养章节的撰写，补充了诸如中国居民膳食指南、平衡膳食宝塔等内容。《军队环境卫生学》渗透融合现代环境科学、医学、卫生学、生物学的研究进展，系统阐明了军队环境卫生学的基本理论与应用技术。全书包括绪论、空气与气象卫生、给水卫生、营区卫生、阵地卫生、污物处理、环境污染与人群健康、环境卫生标准、环境卫生监测共九章。

本书在编写过程中得到了总后勤部卫生部的关心和支持，第三军医大学领导、专家给予了热忱的指导和帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，本书不足之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见，以便再版时修正。

总主编 王登高

2000 年 6 月 20 日

目 录

绪言	(1)
第一章 劳动生理及有关问题	(4)
第一节 体力劳动的调节与适应	(4)
一、体力劳动时的肌肉收缩	(4)
二、影响体力劳动的因素	(5)
三、心理状态与体力劳动	(6)
四、军事劳动强度分级	(6)
第二节 体力疲劳和过度疲劳的预防	(8)
一、疲劳的意义	(8)
二、疲劳的分类	(8)
三、疲劳判定的指标	(9)
四、过度疲劳的预防	(10)
第三节 脑力劳动的调节与适应	(12)
一、脑力劳动过程	(12)
二、感觉和认知	(13)
三、脑力劳动的代谢特点	(14)
四、学习和记忆	(15)
五、作业环境对脑力劳动工效的影响	(17)
六、评估脑力劳动工效的指标	(18)
七、维护脑力 防止过劳	(19)
第二章 军事训练卫生学	(21)
第一节 军事训练的卫生学原则	(21)
一、体能训练	(21)
二、智能训练	(24)
第二节 军训伤的调查与卫生监督	(26)
一、军训伤的调查分析	(26)
二、军训伤的防护	(29)
第三节 常见军训外伤与战斗应激异常	(30)
一、训练中的肌肉关节骨骼损伤	(30)
二、不同训练科目易致的损伤	(30)
三、职业性肌肉骨骼疾患	(31)
四、应力性骨折	(32)

五、肌肉、韧带、关节伤	(33)
六、训练外伤的救治原则	(34)
七、战斗应激的异常反应	(34)
第三章 寒冷对机体的影响及冷损伤的预防	(37)
第一节 寒冷对机体的影响	(37)
一、人对寒冷的生理反应	(37)
二、人对寒冷的习服	(38)
三、寒冷对人体的损伤	(39)
第二节 冻伤	(39)
一、冻伤的病因	(39)
二、冻伤的发生机制	(41)
三、冻伤的分类及临床表现	(43)
四、冻伤的救治原则	(44)
第三节 寒冷损伤的预防	(45)
一、冬防准备	(45)
二、建立人体冷习服	(46)
三、耐寒锻炼	(46)
四、防寒的具体措施	(47)
五、卫生监测	(47)
第四章 热环境对机体的影响及热病的防治	(50)
第一节 热环境对机体的影响	(50)
一、我国热区气候特点	(50)
二、高温对人体健康的影响	(51)
三、高温作业时的生理反应	(56)
四、热适应与热习服	(60)
第二节 中暑及其预防	(61)
一、中暑	(61)
二、中暑的预防	(65)
第五章 高原环境卫生	(68)
第一节 高原环境特点	(68)
一、低氧分压	(68)
二、寒冷	(69)
三、强紫外辐射	(69)
四、低沸点与高蒸发	(70)
五、空气离子化	(70)

第二节 高原低氧对机体的影响	(71)
一、神经行为与心理平衡	(71)
二、心血管与血液功能	(71)
三、肺功能	(72)
四、消化功能	(73)
五、劳动效率	(73)
第三节 高原病的分型与救治原则	(73)
一、急性高原病	(74)
二、慢性高原病	(78)
第六章 噪声与机体健康	(80)
第一节 声的计量与频谱	(80)
一、声压与声压级	(80)
二、响度级与等响曲线	(81)
三、声的频谱	(82)
第二节 噪声危害	(84)
一、噪声的听觉外效应	(84)
二、噪声对听觉器官的影响	(85)
第三节 噪声的评价指标	(87)
一、A 声级——dB(A)	(87)
二、D 声级——dB(D)和感觉噪声级	(87)
三、统计声级—— L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90}	(88)
四、等效噪声级—— $LeqdB(A)$	(88)
五、昼夜等效噪声级 $L_{dndB(A)}$	(89)
六、语言干扰级(SIL)	(90)
七、本底噪声	(90)
八、白噪声	(91)
第四节 噪声标准	(91)
第五节 噪声的控制原则	(93)
一、吸声	(93)
二、消声	(94)
三、隔声	(94)
四、阻尼与隔振	(95)
五、听力保护器	(95)
第七章 军事振动作业与健康	(97)
第一节 军事振动与等振感觉	(97)

一、军事作业的振动	(97)
二、影响振动作用的因素	(98)
三、等振感觉	(99)
第二节 全身振动	(101)
一、全身振动在人体的传播	(101)
二、全身振动的不良影响	(101)
三、全身振动的防护原则	(105)
第三节 局部振动	(105)
一、局部振动在人体的传播	(105)
二、局部振动的不良影响	(106)
三、振动病	(108)
四、局部振动致病的危险因素	(110)
五、局部振动所致振动病的预防	(110)
第八章 军事激光作业与健康	(111)
第一节 激光的物理特征	(111)
一、激光的概念	(111)
二、激光的特征	(112)
三、激光的计量	(113)
四、激光在武器系统中的应用	(113)
第二节 激光的生物效应	(114)
一、生物效应	(114)
二、激光生物效应的决定因素	(116)
第三节 激光的损伤作用	(117)
一、激光对眼的损害	(117)
二、激光对皮肤的损伤	(119)
三、激光对神经系统的损害	(120)
第四节 激光的安全标准	(120)
一、激光对眼睛和皮肤损害的阈值	(120)
二、激光器的危害分级	(121)
三、激光安全标准	(122)
第五节 激光的安全防护措施	(122)
一、激光装置的安全防护	(122)
二、激光作业人员的安全防护	(124)
三、激光器的分级管理措施	(124)
第九章 微波对机体的影响	(126)

第一节 微波的物理特性	(126)
一、微波的特性	(127)
二、微波量子能级	(127)
三、微波计量	(128)
四、微波作用场	(128)
五、微波效应强度分级	(128)
六、微波辐射波型	(128)
七、高能微波 (high power microwave, HPM) 武器	(128)
八、微波的双重性	(129)
第二节 微波的生物学作用	(130)
一、热效应与非热效应	(130)
二、影响微波能量吸收的因素	(131)
三、微波对人的生物学作用	(135)
四、实验动物的生物效应	(136)
第三节 微波辐射的卫生标准	(138)
一、职业暴露标准	(138)
二、居民照射标准	(140)
三、设备泄漏标准	(140)
第四节 微波辐射的防护	(140)
一、时间防护	(141)
二、距离防护	(141)
三、屏蔽防护	(142)
四、减源防护	(143)
五、微波辐射的个体防护	(143)
六、抗微波药物	(144)
第十章 炮兵卫生	(145)
一、爆震伤与防护	(145)
二、腰腿痛与防护	(147)
三、视力减退的防护	(148)
第十一章 坦克兵卫生	(150)
一、噪声来源与防护	(150)
二、振动的来源与防护	(152)
三、灰尘、火药气及废气对坦克内部空气污染的防护	(153)
四、过热、过冷的防护	(154)
五、皮肤损害的防治	(155)

六、一般卫生防护措施	(156)
第十二章 雷达兵卫生	(158)
第一节 雷达概述	(158)
一、脉冲雷达组成	(158)
二、主要技术参数	(158)
三、雷达波段及一般用途	(159)
第二节 雷达微波对人体的影响	(160)
一、雷达波束的量-效影响	(160)
二、雷达作业的环境因子与心理影响	(161)
三、微波对人体的影响	(163)
第三节 雷达微波的防护	(163)
第十三章 电子对抗兵卫生	(166)
第一节 电子对抗概念	(166)
一、电子战与电子对抗	(166)
二、电子战的倍增效应	(167)
三、电子对抗波段的划分	(168)
四、电子对抗的基本手段	(168)
第二节 电子对抗作业对健康影响	(170)
一、电子对抗作业的特点	(170)
二、高频电磁场对人体的影响	(171)
三、毫米波的生物效应	(172)
第十四章 信息作业与健康	(173)
一、信息作业的人-机-环境	(173)
二、VDT 作业对健康的影响	(176)
三、防护措施	(179)
第十五章 军事地下空间与健康	(181)
第一节 地下空间微小气候	(183)
一、地下空间微小气候变化的特点	(183)
二、地下居住空间对人体的影响因素	(186)
三、地下空间热工环境	(186)
第二节 通风与生命维持系统指导原则	(188)
一、自然通风	(188)
二、强制或机械通风	(188)
三、人体新陈代谢气体浓度的评估	(189)
四、密闭不通风空间可停留的时间	(190)

五、生命维持系统应用指导	(191)
第三节 地下空间的防潮除湿	(191)
一、工事潮湿的成因	(191)
二、增温降湿与冷却除湿	(192)
三、隔离潮湿源	(192)
四、排水堵漏与防热空气	(193)
五、吸湿剂应用	(193)
六、防潮除湿管理制度	(193)
第四节 地下空间生活设施卫生处理原则	(194)
一、饮水	(194)
二、饮食	(195)
三、照明	(195)
四、粪污	(196)
五、噪声	(197)
第十六章 部队移动卫生	(198)
第一节 徒步行军卫生	(198)
一、影响徒步行军能力的因素及卫生要求	(198)
二、高技术条件下的单兵装备	(200)
三、部队移动和徒步行军卫生保障通则	(201)
第二节 运兵卫生	(205)
一、铁路运兵卫生	(205)
二、汽车运兵卫生	(206)
第三节 特殊条件下的徒步行军	(207)
一、夜行军	(207)
二、冬季行军	(210)
三、夏季与热带丛林地行军	(211)
四、高原行军	(214)
五、沙漠行军	(216)
第十七章 高技术武器伤害及其防护	(218)
第一节 高技术武器概述	(218)
一、高技术常规武器	(218)
二、新概念武器	(219)
第二节 几种高技术武器的基本理论与伤害作用	(220)
一、激光武器及其伤害作用	(220)
二、微波武器及其伤害作用	(222)

三、次声武器及其伤害作用	(225)
四、粒子束武器及其伤害作用	(227)
第三节 对高技术武器伤害防护的探讨	(227)

绪 言

军事劳动卫生学是军队卫生学的重要分支学科,实际上是军人的职业卫生学(occupational health),而不是单纯强调体力劳动的卫生学。军人从事的职业活动多种多样,即使战士的日常训练活动也不单纯是体力劳动。随着科学技术的发展,智力型劳动愈益重要,尤其在高技术条件下,武器装备的现代化,要求军人付出更多的智力活动。当然体力活动也的确存在,只是在不同的职业岗位上,依据工作需要,脑-体劳动各有侧重,但智力型活动的比例将日益加大。由于建国以来一直沿用“劳动卫生学”这一名称,故称军事劳动卫生学,但其内涵和覆盖的领域已有了很大的拓展。

军事劳动卫生学是研究军人在执行脑-体劳动的职业工作时,特殊的职业环境对军人的工作效率与健康可能产生的影响,进而提出卫生学防护对策与评价,预防职业危害因素,并采取相应的技术措施提高军人对人-机-环境的适应性、保障工作效率、增强身体素质的一门学科。军人在其职业活动中,可能接触到特有的严寒、酷热、高原、沙漠等地域、气候大环境和武器装备如坦克、雷达、坑道、数据处理室等具体作业小环境,大小环境中的物理和(或)化学因素对人员精神、心理状态及智力、体力均产生影响。军事劳动卫生学即研究这类因素对军人的职业危害和卫生学评价,同时研究在这样的环境中人与武器装备怎样更有效的结合,以便充分发挥武器效能并避免危害因素和预防职业损伤,从而提高战斗力。

随着当代信息技术、新材料技术、新能源技术、新生物技术的蓬勃发展,形成了多层次多领域的新技术挑战。当代局部战争更使人们清醒地认识到,要打赢一场现代技术,尤其是高技术下的局部战争,需提前做好各方面的准备工作,这对军事劳动卫生学的研究内容和发展方向提出了相应的要求。

下面是研究军事劳动卫生学应重视的几个问题。

(一)卫生学本身的目的是保障人群的健康,但在军事领域中应考虑在满足军事作业需要的前提下权衡风险与安全,因为军人的职业特性决定了在作业和战场中必然会冒一定的风险;但在经济和技术条件许可的情况下,应高度重视军人的安全与健康,以便更好的发挥工作效率。

(二)军人职业接触的小环境是直接作用于人体的主要因素,其作用效果与作业性质、操作方式、工作节律、脑-体劳动强度应成比例的要求,并与环境危害因素的强度、精神与心理状态等相关联,同时自然大环境如冷、热气候和高原、沙漠、海洋等必然对作业小环境产生影响。军人除特殊作业外,一般不可能生活于可调控的舒适人工环境中,但我们可以利用卫生学知识和技术改善恶劣的作业小环境,减少其对人员健康所造成的不良影响。如炎热地区的坦克或雷达车内部,由于热辐射作用内环境温度可升高,高于环境 $8 \sim 13^{\circ}\text{C}$,超过生理代偿的上限,因而海湾战争中,美军为 M1A1 坦克乘员配发

了液冷背心,保障乘员健康和战斗力。这件事反映了这样一个基本观点:当环境因素通过影响军人健康而影响战斗力时,应尽量采取对抗危害因素的技术措施;在不致明显影响战斗力条件下,应通过增强训练来提高身体素质,以适应军事作业的需要。

(三)人-机-环境工效学中“机”的问题,也是武器装备涉及的工效问题。“机”的问题往往涉及到设计、制造、装备部门对主要技术诸元的要求,装备和设计部门常以为卫生学家是难以参与解决这一特殊的“机”的,实际上这一看法并不确切。卫生学家可以通过深入研究从而发现有助于工效和健康的因素,做出卫生学评价,指出危害症结所在,从人-机-环境工效健康学角度提出建议或要求,供决策单位作为改型设计和(或)采取补救措施的参考。如某型坦克,因设计的车底应急门位置不当,不能由车底救出伤员,反而需冒敌火力的威胁从炮塔舱盖中拖救伤员,救护与被救护者有二次致伤的可能性,经卫生学家提出后获得改进。某型装甲运兵车发动机位于车体前部,且排气口密封不严,行驶时因前重后轻导致严重颠簸;同时废气因风压作用向尾部乘员舱大量泄漏,致行车2小时后搭乘人员在出车后15分钟内,出现头晕眼花、动作不协调,不能准确射击等不利现象,致战斗力显著下降。现经改进后已大大减少上述现象的出现。这两个例子反映了一个问题:武器装备设计决策部门应以何种方式吸收、协调、了解卫生学家调查研究的结果与改进建议,或授予卫生学家专题调研任务。尤其在高技术武器装备快速发展的时代,怎样使人-机-环境工效健康学能更好地为高技术发展服务,两者紧密的结合是一个极为需要重视的问题。

(四)现代作战新理论的出现,必然对未来战争的卫勤保障,特别是对预防医学的卫生保障产生重大影响,亟待预防医学工作者对此进行研究。美国、俄罗斯在总结和吸取海湾战争作战经验的基础上,对本国未来作战理论进行重大调整。两者的共同特点是①突出“非线性作战”;②快速、应急进行全纵深打击。“非线性作战”指没有固定战线,同时在空中、地面、海上、空间联合作战,并在全纵深范围内选择有利的作战方向和交战地区,通过在重点地区的决战一举达到作战目的的模式。美军根据“减少伤亡,尽快夺取决定性胜利”作战指导思想,要求今后“更注重非线性作战”;俄罗斯也提出了重视“非线性作战”的观点,认为“有条不紊的线性行动样式和近距离战斗即将成为过去,稳定的战线和长时间的战役间隙也将成罕见现象”。作战理论的改变,将使未来战场环境、作战方式有别于以往模式,使战场环境构成陆、海、空、天、电五位一体的非线性网络战场,并因各种高技术武器的应用,使战场环境更为恶劣和残酷,人员心理和生理上将承受更大的压力,对军人的精神与耐力提出更高的要求,给人-机-环境工效与健康带来更严峻的挑战,预防医学保障将面临更多的新问题。

(五)军事职业危害因素的影响。军人在训练、作战、施工或从事武器装备操作等职业活动中,都受作业性质、强度、节律、精神和心理状态的影响,同时与组织安排、操作方式、熟练程度、脑-体劳动的比例相关联,尤其高技术武器装备的部队,要有作业瞬间及时准确的反应能力和连续作战的耐力,这些都会使军人精神高度紧张,应激增强,从而导致军人体力和脑力易于疲劳,进而影响思维协调和武器效率的充分发挥,甚至因影响健康而出现职业性疾患。

军事劳动环境常见的有害因素有:物理性因素——高温、严寒、低氧、高能电磁场、激光辐射、噪声、振动等;化学性因素——粉尘、一氧化碳、氮氧化物、废气、酸雾、有机

溶剂,火箭推进剂等。研究有害因素对人体造成的不良影响需密切關注量-效关系。理化因素只有达到一定剂量或强度时,才可能引起机体产生明显的不良反应,若仅暴露于阈上剂量时,这类反应往往为非特异性或亚临床性的,不易被接触者所察觉,或仅有劳累、疲乏、头晕、不适、睡眠障碍等表现。但若进行生理、生化、行为工效等指标的检测,并与健康人群比较,则可发现职业人群工作效率降低,或检测指标处于生理上限,显示身体素质下降。当有害因素的作用强度过大,接触时间较长,则可造成特定的功能性或器质性损害,并出现相应的症状,引起特定疾病,如急进高原所致的急性高原病,有害气体所致的急、慢性中毒,强脉冲噪声所致的听力损害。

有害因素还可降低机体的抵抗力,促使潜在的疾病显露或已有的疾病加重。表现为患病率增高或病情加重、病程延长。如高温作业者胃肠道疾患较多;寒区作业者感冒、支气管炎较多,坑道居住和特种兵部队中肌肉、骨骼疾病较多等。

但必须指出,指战员接触到的职业有害因素不一定会损害身体健康,有害因素的损伤作用还与接触的条件有密切关系,如接触机会、方式、时间、强度或浓度,而且与个体危害因素(host risk factor)如遗传、年龄、性别、心理与行为、习惯、营养和健康状况有关,上述这些因素呈不良状态者,称为易患者或高危人群(high risk group)。

为防止或减轻军事职业有害因素对军人的影响,必须尽量采取各种预防措施,以创造一个良好的军事劳动环境,这些措施包括组织管理、卫生技术、个人防护、健康教育和医学监督等方面。

第一章 劳动生理及有关问题

现代健康的观念已更新为：“人体不仅没有疾病，而且在精神上和社会上处于完满状态”。它替代了生物—医学模式时期“无病就是健康”这一不完整的概念，强调了人体除身心健康外，还应对外界环境具有良好的适应能力。这也是劳动生理对普通人健康标准的要求，而对军人则要求更高，不仅要有强健的体质，勇敢坚毅的精神，还要有持久的作业耐力，对环境变换的迅速适应能力，从而保证军人的战斗力。

第一节 体力劳动的调节和适应

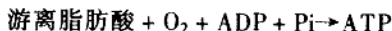
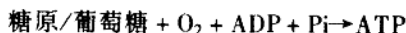
一、体力劳动时的肌肉收缩

军事训练、体育锻炼、生产劳动、掩体挖掘等各项体力活动，主要依赖于骨骼肌的收缩。肌肉收缩过程涉及到的主要因素有：

（一）体力活动时的能量供应

肌肉收缩时，肌纤维的肌动蛋白（actin）和肌球蛋白（myosin）发生相对滑动，所需的能量由肌肉细胞中的三磷酸腺苷（ATP）分解提供。其具体过程为：当刺激冲动传递至肌肉，使肌浆网膜上的钙通道开放，大量 Ca^{2+} 转移至肌浆， Ca^{2+} 与肌钙蛋白结合，激活 ATP 酶，促使 ATP 分解为 $\text{ADP} + \text{Pi}$ 而提供能量，致肌动蛋白与肌球蛋白的横桥联结发生屈曲运动，使肌动与肌球蛋白产生相对滑动而造成肌肉收缩。肌肉舒张时上述过程逆转； Ca^{2+} 则因 Ca^{2+} 泵作用而反输，供肌肉下次收缩用。

ATP 的供应主要来自糖和脂肪的分解，在有氧状况下，主要通过氧化磷酸化过程合成 ATP，此时 1 克分子葡萄糖能产生 38 克分子 ATP。



中小劳动强度活动时，ATP 的合成以有氧代谢为主，可使体力活动能够经济、持久地进行。而大强度活动时，ATP 分解迅速导致供给不足，为保持活动需要，则主要靠无氧酵解的方式提供能量，此时每克分子葡萄糖仅能产生 2 克分子 ATP，但因形成速度快而可迅速提供肌肉能量。无氧酵解供能既不经济，活动持续时间也不能持久。肌肉转化能量的作功率约 40%，若包括恢复所需的能量，则总效率视锻炼与操作熟练程度而在 10% ~ 30% 之间。

(二) 体力活动时的氧消耗

体力劳动时所需要的氧量取决于劳动强度,强度愈大,需氧量也愈多。体力劳动 1 分钟所产生的代谢产物被完全氧化所需的氧量称需氧量(oxygen requirement);人体 1 分钟经血液能实际摄取的氧量称耗氧量(或摄氧量);人体平均每分钟实际能摄取的最大氧量称最大摄氧量(VO_{2max})。肌肉活动时需氧量和耗氧量之差称氧债(oxygen debt),它表示劳动时摄取的氧量不能满足有氧代谢的氧需,由此可导致血中乳酸堆积,也代表劳动时除有氧代谢外,还需要无氧酵解参与的程度。血液中乳酸浓度的增高间接表明机体存在氧债,这一现象称为乳酸性氧债。

二、影响体力劳动的因素

(一) 劳动强度

长期轻劳动或中等强度劳动时,由于人体的有限糖原储备约相当于 4 184 kJ 能量,可持续供应此劳动强度下所需的能量物质 ATP,需氧量与耗氧量保持相对平衡状态,使作业能力维持较长时间,不产生致人体疲劳的副产物。大强度劳动时,由于糖原储备有限,ATP 易于耗竭;糖酵解增强导致肌肉内有大量乳酸蓄积,pH 值降低;由于氢离子浓度的增加能干扰多种酶的催化活性,可全部或部分抑制磷酸果糖激酶活性,致糖酵解产生的 ATP 减少,抑制磷酸化激酶和腺苷环化酶活性,影响 HPO_4^{2-} 转化成 $H_2PO_4^-$,造成糖原分解困难;同时可使游离 Ca^{2+} 增多,减少肌浆网 Ca^{2+} 的释放,促进肌钙蛋白表面结合 Ca^{2+} 增加,降低肌肉的张力和减弱肌收缩反应。以上几种因素作用结果均可导致劳动能力下降。

(二) 锻炼程度

体力活动时需氧量能否得到满足,宏观取决于循环、呼吸系统的摄氧功能;微观则与毛细血管密度、肌红蛋白浓度、骨骼肌线粒体密度等有密切关系。

劳动要求氧供应加大,通常心率随劳动强度增大而加快。轻、中度劳动时心率可由正常水平增加至 89~120/min,重劳动时可达 169/min。缺乏锻炼者主要靠心率增加来提高氧的输送;而经常锻炼者的心脏舒张完全,心肌收缩有力,每搏输出量增大,心率虽有加速但不显著,从而保护心肌细胞避免因过频收缩而衰竭。体力活动停止后,心率在数秒至 15 秒内即迅速减少,再缓缓降至原有水平,恢复期的长短随劳动强度、工间休息、环境条件和健康状况而异。有人曾提出以恢复期心率的长短作为劳动能力的评价指标,但实际测量中由于多因素的影响而难以确切评价,现已少用这一指标。由于心率往往与劳动强度呈平行性改变,因此可作为衡量劳动强度的指标。

锻炼使肌纤维粗壮,肌肉的毛细血管密度增高。肌纤维粗壮既使肌糖原储备增多,又可将同样的绝对负荷量分散到较大的肌横断面上,减轻了单位横断面的负荷量,因而增强肌肉整体的作功效率。毛细血管丰富则使单位时间内通过的血流量提高,供氧量增大,保障有氧代谢的进行,使肌肉收缩耐力增加。研究证实,骨骼肌的有氧锻炼可使锻炼部位肌细胞的线粒体数量增多,其原因与激素无关,而与线粒体蛋白质 mRNA 编码加快,线粒体蛋白质合成增加有关。同时持续的有氧肌肉锻炼诱导激活多种胞液酶转移至线粒体内,导致游离脂肪酸的 β -氧化过程增强,从而节约葡萄糖的利用,使肌

肉收缩耐力延长。有氧耐力锻炼可使单位重量的骨骼肌中糖酵解酶的活性下降,以及磷酸果糖激酶活性降低,从而使无氧酵解过程受到抑制。同时经过锻炼的肌纤维中,含高 ATP 酶的快肌球蛋白异构体转换成含 ATP 酶少的慢肌球蛋白异构体,使每运动单位的能量消耗减少。

肌红蛋白为骨骼肌和心肌细胞浆中的呼吸色素,具有在细胞水平储氧和促进氧化磷酸化的功能。安静状态下肌红蛋白在血中的水平是稳定的,而活动状态下其浓度随劳动强度增大和氧债的增高而提高。故劳动时肌红蛋白的改变可视为非乳酸性氧债的表现之一;另一方面它也是心肌受损早期灵敏的血清学指标。肌球蛋白与肌动蛋白富含氨基酸,当机体细胞在低氧或无氧环境下运动,其合成速度赶不上分解速度时,可导致血氨含量大幅度升高。因此血液中肌红蛋白和血氨的浓度不失为衡量劳动能力的较好指征之一。

三、心理状态与体力劳动

心理平衡对作业技巧、体力活动的协调有明显影响。军事训练中的跑、跳、射击、刺杀、投掷、工事挖掘、超越障碍等各项动作技巧的完成,不单纯是肌肉、关节、骨骼的活动和协调,而且与心理平衡、消除畏惧不安、学习记忆强化有密切关系,由初始动作(体力活动)的僵硬、不准确、不协调,经持续训练使各器官系统相互配合协调一致,使精力更集中,反应更迅速,能量消耗更经济,以适应训练作业的需要。而当心理不平衡时,信息被当作危险或威胁,应激通路通过交感神经被激活,影响各器官、肌肉和心率、供氧、代谢等的正常生理过程并使之失衡,其后果轻者使训练进度减缓,易出现疲劳;重者在难度较大科目中引起动作不协调、不均衡,出现外伤事故。例如被视为很容易的投掷训练中,当进入实弹投掷阶段时,有的战士因心理畏惧而过度紧张,肌肉关节活动不协调,导致意外伤害的发生。心理平衡时交感神经全面激活机体的各器官系统,使机体功能高于正常水平,以应付“战斗或逃跑”反应的正面或负面(战斗为正面,逃跑为负面)需要,抑制那些不需要的功能和动作出现,使体力活动的力量、速度、耐力、灵敏性得到提高,协调性更完善。

四、军事劳动强度分级

体力劳动强度分级对卫生学评价和划分军人作业的劳动强度、合理指导作业时间、改善营养供给状况、提高劳动效率、减轻疲劳和保护健康具有重要意义。体力劳动强度分级目前虽已有国际和国家标准,但军队作业有其自身特点,同时为区别欧美和国人的体质特征而专门制订了军队的标准。

劳动强度与能量消耗、最大耗氧量、心率和肺通气量显著相关,这些指标是评价劳动强度的重要内容。我国“体力劳动强度分级标准”(1983)是以工矿为主的劳动者 8 小时/劳动日为依据制定的,但军队突击性任务多,持久耐力要求高,故军标偏高于国家标准。军事劳动强度分级见表 1-1。

表 1-1 军事劳动强度分级(1993)

评价指标	劳动强度等级				
	轻	中	重	很重	极重
氧耗量(L/min)	~0.6	~1.1	~1.6	~2.1	>2.1
能量消耗(kJ/min)	~12.5	~23.0	~33.5	~44.0	>44.0
(kcal/min)	~3.0	~5.5	~8.0	~10.5	>10.5
心 率(b/min)	~89	~116	~142	~169	>169
肺通气量(L/min)	~16	~25	~39	~60	>60
相当于(VO_{2max})	<22.5%	~40.0%	~57.5%	~75%	>75%

国际劳工局提出的体力劳动强度分级中,其耗氧量、能量消耗、心率都较军标各级劳动强度高,各指标的分级上限约接近或高于军标 I 级。如很重劳动强度级上限耗氧量为 2.5 L/min,能量消耗为 12.5 kcal/min,心率为 175 /min。这与欧美人的平均体重与体表面积不同于国人有很大关系。而且实验证明,我国士兵以 75% VO_{2max} 劳动做功时,平均出现疲劳时限约 48 分钟,故以 VO_{2max} 75% 作为极重劳动下限,取 VO_{2max} 40% 为中度劳动的上限,在此基础上加、减 17.5%,即可获得轻度和重度劳动强度分级上限。此外体力劳动强度分级可因不同卫生学评价目的而不同,如营养卫生学按每日(24 小时)的能量消耗值进行分级;我国颁布的体力劳动强度分级则依据 8 小时工作日能量代谢率所定的劳动强度指数进行区分。体力劳动强度的分级见表 1-2。

表 1-2 体力劳动强度分级

劳动强度级别	劳动强度指数
I	≤ 15
II	~ 20
III	~ 25
IV	> 25

其计算方法为: $I = 3T + 7M$

式中: I —— 劳动强度指数

T——净劳动时间率 = $\frac{\text{工作日内净劳动时间}(\text{min})}{\text{工作日的总工时}(\text{min})} (\%)$

M——8 小时工作日能量代谢率(kcal/min·m²)