

生理学指标在运动处方中的应用分析

石磊, 贺智裕, 彭习涛, 张斌南

西安交通大学体育中心, 陕西 西安
Email: shilei@xjtu.edu.cn

收稿日期: 2020年8月2日; 录用日期: 2020年8月25日; 发布日期: 2020年9月1日

摘要

健康是促进人全面发展的必然要求。运动处方作为落实以预防为主、推行健康生活方式、提高全民身体素质的重要手段, 在我国的政策层面得以明确呈现和部署。运动生理学是体育科学的基础学科, 主要研究人体在运动过程中机能变化的规律。通过运动处方进行科学健身可以显著改变人体各器官和系统机能水平, 而通过生理学的指标来监控运动处方的实施具有必然性。为此, 本文通过文献资料分析法, 对健康的定义与基本要求、运动处方的内涵与原则、运动处方促进健康的理论分析、生理学指标在运动处方中的应用等四个方面进行了梳理与分析, 旨在为运动处方在大众健身、学校体育等领域的推广提供理论基础和资料。

关键词

健康, 生理学, 指标, 运动处方

Analysis on the Application of Physiological Index in Exercise Prescription

Lei Shi, Zhiyu He, Xitao Peng, Binnan Zhang

Sports Center, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi
Email: shilei@xjtu.edu.cn

Received: Aug. 2nd, 2020; accepted: Aug. 25th, 2020; published: Sep. 1st, 2020

Abstract

Health is an inevitable requirement to promote the all-round development of people. Exercise prescription, as an important means to implement prevention, promote a healthy lifestyle, and improve the physical fitness of the whole people, has been clearly presented and deployed at the policy level of our country. Exercise physiology is a basic subject of sports science, which mainly

studies the laws of human body function changes during exercise. Scientific fitness through exercise prescription can significantly change the function level of various organs and systems of the human body, and it is inevitable to monitor the implementation of exercise prescription through physiological indicators. To this end, this article uses the literature data analysis method to sort out and analyze the definition and basic requirements of health, the connotation and principles of exercise prescription, the theoretical analysis of exercise prescription to promote health, and the application of physiological indicators in exercise prescription, which aims to provide theoretical basis and materials for the promotion of exercise prescriptions in the fields of mass fitness and school sports.

Keywords

Health, Physiology, Index, Exercise Prescription

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

健康是促进人全面发展的必然要求，是民族昌盛和国家富强的重要标志，也是广大人民群众的共同追求。2016 年中共中央和国务院印发了《健康中国 2030 规划纲要》，成为我国新时代改善和保障民生的战略部署。在《“健康中国 2030”规划纲要》中的第六章第三节明确提出，要“建立完善针对不同人群、不同环境、不同身体状况的运动处方库，推动形成体医结合的疾病管理与健康服务模式，发挥全民科学健身在健康促进、慢性病预防和康复等方面的积极作用”。作为落实以预防为主、推行健康生活方式、提高全民身体素质的重要手段，运动处方终于在实践层面探索多年后，在我国的政策层面得以明确呈现和部署。

生理学是研究生物机能的学科，是研究机体各组成部分的功能及实现其功能的内在机制的一门学科。生理学的实验可分为几个层次：器官系统水平、细胞水平和分子水平，目前大量的生理学研究是集中于机体的器官系统水平。运动生理学是体育科学的基础学科之一，是人体生理学的一个分支，主要研究人体在运动过程中机能变化的规律，论证并确立各种科学的训练制度和锻炼方法。通过运动处方进行科学健身可以显著改变人体各器官和系统机能水平，而通过生理学的指标来监控运动处方的实施具有必然性。定期测量和评价各器官、系统的生理指标变化特征，掌握人体对体育锻炼的反馈信息，有助于运动处方的制定、运动处方的执行、运动处方的调整和机体的恢复，从而获得最佳的健身效果。为此，本文通过文献资料分析法，对健康的定义与基本要求、运动处方的内涵与原则、运动处方促进健康的理论分析、生理学指标在运动处方中的应用等四个方面进行了梳理与分析，旨在为运动处方在大众健身、学校体育等领域的推广提供理论基础和资料。

2. 健康的定义与基本要求

世界卫生组织(WHO)对健康的定义是“一个人在身体健康、心理健康、社会适应健康和道德健康四个方面皆健全”。健康的基本要求是：1) 有足够充沛的精力，能从容不迫地应付日常生活和工作的压力而不感到过分紧张；2) 处世乐观，态度积极，乐于承担责任，不挑剔事物的巨细；3) 善于休息，睡眠质量良好；4) 应变力强，能适应各种环境的变化；5) 对一般感冒和感染传染病有一定的抵抗力；6) 体重适当，

体型匀称,头颈和四肢位置协调;7) 眼睛明亮,反应敏锐,眼睑不发炎,听力正常;8) 牙齿清洁、无缺损、无疼痛,齿龈颜色正常、无出血现象;9) 头发有光泽,无头屑;10) 肌肉和皮肤富有弹性,走路轻松。

WHO 提出健康生活方式的“四大基石”:合理膳食、戒烟限酒、适量运动、心理平衡。合理膳食即摄入食物多样性,减少烹调油,尽量清淡少盐;戒烟限酒能够降低多种疾病发病风险;适量运动就是加强身体活动,日常生活少静多动;心理平衡是指没有心理疾病,具备积极发展的心理状态,主动解决心理困扰。

3. 运动处方的内涵与原则

3.1. 运动处方的概念与演进

1954年,美国的生理学家卡波维奇(Karpovich)首次提出“运动处方”(Exercise Prescription)的概念,它是在自然体育实行两个多世纪的经验总结中和现代科学发展的基础上,形成和发展起来的新的体育锻炼方式。1969年,运动处方这一术语被世界卫生组织(WHO)采用,从而在国际上得到了一致认可。美国运动医学会(ACSM)对推进运动处方的发展起到至关重要的作用,其出版的《运动测试与运动处方指南》(Guidelines for Graded Exercise Testing and Exercise Prescription)综合了当今世界各国专家的研究成果,自1975年出版至今已经到第10版,此书代表着运动处方的最新成果。

中国的众多古籍记载了古代医家对运动疗法的理解与应用,证实了运动在疾病防治和健康促进中的重要作用。结合文献梳理可以看出,随着运动疗法在中医诊疗中的应用经历了萌芽、形成、初步发展、兴盛、短暂停滞和再发展等主要的历史阶段,逐步走向系统化。中国对于现代运动处方的研究较西方发达国家要晚,20世纪80年代初,随着由中国高等教育协会体育研究会主办的《体育学通讯》对国外运动处方研究信息的持续介绍,以及对运动处方价值与作用的广泛宣传,我国学者对这一新兴学科才有了初步的认识。自进入21世纪以来,运动处方应用的研究得到了快速的发展,研究成果明显增多,研究领域也由医疗康复发展到疾病预防、强身健体、运动训练以及体育教学等方面。

随着国际社会在研究、推广和应用历程中对运动处方作用认识的不断深入、功效开发的不断拓展、应用范围的不断扩大,运动处方概念也在不断丰富与完善[1]。在2018年第10版《ACSM运动测试与运动处方指南》中对运动处方做出新的界定:运动处方是包括运动频率、运动类型、运动强度、运动时间、运动量及进阶,适用于为不同年龄、不同体质健康水平以及是否存在冠心病危险因素或冠心病病人,制定健康促进及慢病防治运动锻炼指导方案。2016年,中国国家运动处方库建设课题组将国际运动处方理论与应用的最新成果与我国运动处方推广应用的实际相结合,给出了如下定义:运动处方是由运动处方师(Instructor of Exercise Prescription)依据运动处方需求者的健康信息、医学检查、运动风险筛查、体质测试结果,以规定的运动频率、强度、时间、方式、总运动量以及进阶,形成目的明确、系统性、个性化健康促进及疾病防治的运动指导方案。这一定义明确了运动处方的实施者、实施对象、实施流程、实施内容、实施方法及实施目的,较完整准确地对运动处方概念进行了诠释。

3.2. 运动处方的 FITT-VP 原则

《ACSM运动测试与运动处方指南》将运动处方定义为六个要素:运动频率(Frequency,每周锻炼的次数)、运动强度(Intensity,费力的程度)、运动时间(Time,运动持续的时间)、运动方式(Type,运动模式或类型)、运动量(Volume,也称运动负荷,其大小决定于运动频率、强度和时间等多种因素)和运动处方实施进程(Progression,运动水平进阶,通常分为适应期、提高期和稳定期),以这六个要素的英文首字母可简称为FITT-VP,也经常称为FITT-VP原则,是运动处方的核心内容。无论是运动处方师还是大家自己在尝试制定运动处方时,一定要遵循FITT-VP原则才能做到有的放矢。

4. 运动处方促进健康的理论分析

4.1. 运动处方促进健康的生理学基础

人体具有应激性和适应性的基本生命特征[2]，运动作为一种应激原(外界刺激)，可以使人体的各种机能随之产生一定的应激反应。当这种外界刺激是良性刺激时，人体可以产生正性的应激反应，重新调整各个系统和器官的功能与协同关系，从而适应到下一个更高层次的体质健康水平，就会给人体带来收益。相反，如果我们所进行的运动超过了承受范围而是一种恶性刺激时，人体将会产生负性的应激反应，致使各个系统和器官的功能损失或是关系紊乱，最终对生命活动甚至是生命本身造成风险和伤害。以上就是运动促进健康的生理学基础。所以，正如水可载舟亦可覆舟一样，运动也具有双重性，是一把双刃剑。尤其是在疫情时期进行体育锻炼，一定要遵循科学的锻炼规律，必须要远离“运动多多益善”和“运动万能”的认识误区，要逐渐建立科学健身的理念。

4.2. 运动处方对人体的基本作用

通过运动处方模式进行科学健身可以提高人体新陈代谢能力，改善血液循环，从而延缓衰老，延长寿命。另外，科学运动对改善人的精神和心理状态，调动和发挥主观能动性，也有积极和良好的作用。通过运动处方模式进行科学健身对健康促进的主要作用有：1) 对运动系统的作用。改善骨骼的血液循环，增强骨骼的物质代谢，预防骨质疏松及骨折；加强关节周围肌肉力量和韧带韧性，增加关节的牢固性、稳定性和灵活性；增加肌肉的血液供应和新陈代谢，促进肌肉生长，防止肌肉萎缩。2) 对神经系统的作用。改善神经系统的调节功能，提高人体对各种活动及时作出准确的反应；促进神经系统的血液循环，预防大脑衰老并增强抵抗各种疾病因素的能力；消除疲劳和精神紧张，改善睡眠质量。3) 对心血管系统的作用。引起心脏形态的改变，并使血管变粗而更具有弹性；引起心脏功能改变，改善心脏的泵血功能，对预防血栓和高血压等心血管系统疾病有良好的作用。4) 对呼吸系统的作用。增强呼吸肌的力量，增大肺通气量；改善肺部的通气和换气功能，增加摄氧能力；提高呼吸道的防御功能，预防感冒、慢性支气管炎和肺部其他疾病。5) 对消化系统的作用。改善消化系统的整体机能，减少肠道疾病；使固定内脏器官的组织得到加强，防治胃肠下垂病症；促进消化液分泌和肝脏脂肪代谢，增强消化道对食物的消化吸收能力。6) 对内分泌系统的作用。促甲状腺素分泌，提高能量代谢，增加肌肉供能；改善胰岛素的分泌，促进糖原合成，调节血糖。7) 对生殖系统的作用。延缓男性生殖系统衰老，提高前列腺患者的生活质量；提高绝经期妇女的生活质量，对潮热出汗、失眠、胸闷心悸等症有改善作用。8) 对人的心理健康和社会适应具有积极的促进作用。可以减缓或消除焦虑、抑郁类等心理疾病。在情绪改善、意志培养、人际关系处理、自我认知和竞争意识培养等方面，科学健身有着独到的作用和特有的优势[3]。

5. 生理学指标在运动处方中的应用

5.1. 运动处方的流程

中国体育科学学会近期组织了全国体育与医学及相关领域的专家开展了运动处方标准体系的研究，并针对我国国民的体质特点与特征制定了“运动处方制定与实施规范”，为运动处方的制定和实施提供了工作程序和技术标准[4]。“运动处方制定与实施规范”核心内容是运动处方制定与实施的流程，主要包括九个环节：健康信息筛查、医学检查、运动风险评价、体质测试及评价、制定运动处方、实施过程监控、实施效果评价、运动处方的调整、实施效果再评估。

5.2. 运动处方中基础性的生理学指标

5.2.1. 体力活动和体适能

体力活动(Physical activity)是指任何引起骨骼肌收缩并在静息能量消耗基础上引起能量消耗增加的活动。体力活动这一术语是以美国为主的国际主流研究的称谓习惯,我国习惯将之称为“身体活动”[5]。日常生活的体力活动可以分为体育运动、工作、家务和娱乐活动等四类。体育运动是指有计划、有组织、可重复以保持和/或提高体适能为目的的体力活动。从概念来看,两者属于从属关系,运动属于体力活动,是体力活动的一种表现形式。从健身的角度和目的来看,除了科学的运动,合理的工作、家务和娱乐活动等其他三类体力活动,同样具备刺激人体而增加能量消耗的效果。体适能(Physical Fitness)一词最早源于美国,常被用于表达身体对某种事物的适应能力。德国人将体适能更多的称为工作能力,法国人称之为身体适性,日本人称之为体力。体适能是指人体所具备的有充足的精力从事日常工作(学习)而不感疲劳,同时有余力享受休闲活动的乐趣,能够适应突发状况的能力。体适能的内容包括“健康体适能”和“技能体适能”。技能体适能是指灵敏、平衡、协调、速度、爆发力和反应时间。我们国内学者所常用的“体能”是指通过力量、速度、耐力、柔韧和灵敏等五个基本身体素质所表现出来的运动能力,偏重于运动能力,接近于“技能体适能”的概念。本书的科学健身内容主要发展的是“健康体适能”,包括心肺耐力、肌肉力量和耐力、柔韧性和身体成分四个方面。

5.2.2. 最大摄氧量

最大摄氧量(VO_2max)也被称为最大吸氧量或最大耗氧量,是人体在进行大量肌肉参与的长时间激烈运动中,心肺功能和肌肉利用氧的能力达到本人极限水平时,单位时间所能摄取的氧量。 VO_2max 是运动生理学评估心肺功能和有氧耐力的经典指标,成为评估心肺耐力的最可靠参数。 VO_2max 有绝对值和相对值两种表达形式,绝对值是指机体在单位时间内所能吸的最大氧量,通常以 1 L/min (升/分)为单位;相对值则按每千克体重来计算最大摄氧量,以 ml/kg/min (毫升/公斤/体重/分)为单位。 VO_2max 通常用相对值表示,因为个体的氧和能量消耗与体重相关。 VO_2max 的制约因素有:1) 年龄、性别因素;2) 遗传因素;3) 训练因素;4) 环境因素。 VO_2max 的测量方法:1) 直接测量法。又称做实验室测试,所使用的工具和仪器有负荷工具(如跑台和功率自行车等)、呼出气采集装置(如面罩)和及气体分析装置。受试者戴上呼出气采集装置进行运动直至力竭,然后将受试者呼出的气体纳入气体分析仪进行分析,直接测定出 VO_2max 。2) 间接测试法。其依据是人体的耗氧量与本身完成的功率和运动时的心率密切相关,因而通过运动时的心率和运动完成的功推测受试者的最大摄氧量。

5.2.3. 心率、最大心率、储备心率和靶心率

心率(HR)是指正常人安静状态下每分钟心跳的次数,可因年龄、性别或其他生理因素产生个体差异。心率对心血管疾病发生、发展及预后有着重要的影响,它是全因病死率和心血管疾病病死率的独立预测因子,同时也是心血管疾病的独立危险因素。心率在运动实践中最常用来反映运动强度和生理负荷量。最大心率($HRmax$)指的是进行运动负荷时,随着运动量的增加,在最大负荷强度时,耗氧量和心率不能继续增加时心率达到最高水平。通过递增负荷测试确定最大心率是制订个体化运动处方中测定最大负荷能力的基础之一,但针对普通健康人群,在不具备测试条件时,通常需要通过经验公式推算。当然,目前随着科技的高速发展,使得测量心率从专业到普通运动设备(心率带、光电心率表)上都有望得以实施,每个人都可能比较准确地测量到自己的静息心率和最大心率。储备心率(HRR)的概念最初是由卡蒙内(Karvonen)等人首先提出,其计算公式如下:储备心率 = 最大心率 - 安静心率。储备心率百分比与运动强度百分比相对最大心率具有更高的关联性,作为监测指标在把控运动强度时,储备心率法比最大心率

法更加准确。因为，直接拿最大心率的百分比来监控训练强度时，我们是从心跳为零开始算起，并且没有考虑到安静心率的个体差异，必然就会产生较大的误差。举例说明：有 A、B 两位男士，他们的最大心率同样是 200，但 A 经过长时间的耐力训练，安静心率为 50，而 B 却才刚接触耐力训练，他的安静心率为较高的 70，在这种情况下，如果只采用最大心率的百分比来计算强度，两位运动员会得出同样的结果。但由于两位男士在运动时心率的起始点本来就不一样，A 的体能较佳，其储备心率($200 - 50 = 150$)比 B ($200 - 70 = 130$)高，所以，如果用最大心率法来界定他们的训练强度就会忽略了个体差异。靶心率(THR)是指运动时以心率监控目标强度的心率范围值，也可称为目标心率。每次练习对于靶心率的确定，既可以保证运动处方有效的目标强度，又可以保证我们在运动时机体的安全(尤其是心血管循环系统)。很多人惯用的计算公式为：靶心率 = 目标运动强度百分比(5 个级别) × 最大心率。如上段文字所述，这种最大心率计算法显然不如储备心率法合理，不能体现运动处方个性化的原则。所以，大家在给自己制定靶心率时，应采用的计算公式为：靶心率 = 目标运动强度百分比(5 个级别) × 储备心率 + 安静心率。

5.2.4. 代谢当量

代谢当量(Metabolic equivalent of energy, METs)是指运动时代谢率对安静时代谢率的倍数。常使用它来评定一个人活动时的氧气消耗量，是运动能量的消耗单位，常用于评估心肺功能，同时也是表示运动强度的常用指标。1 MET 被定义每公斤体重每 1 分钟消耗 3.5 毫升氧气或每公斤体重每分钟消耗 1.05 千卡能量时，所对应的运动强度[6]。1 MET = 3.5 ml/kg/min。1 MET 的活动强度，相当于健康成年人安静坐位时的代谢水平，稍高于基础代谢水平，相当于安静时消耗能量 1.05 kcal/kg/hr。比如，一个 5 METs 的活动表示运动时氧气的消耗量是安静状态时的 5 倍。当然，对于不同的个体来说，1 MET 并不完全是 3.5 mL/kg/min，其标准差在 0.5 左右，男性比女性略高，并随着年龄和体重的增加而略有下降。一般可将体力活动分为轻(<3 METs)、中(3~6 METs)、重(>6 METs) 3 个等级，健康的体力劳动者负荷能力可达 16 METs 以上，而 8 METs 则可作为评价大多数冠心病患者运动强度的上限。

5.2.5. 力量练习强度

力量训练的强度评价体系(RMS)即最大重复次数的评价体系，这一体系较好地反映了力量训练中做功的大小，也兼顾了评价力量训练强度时必须考虑个体差异的需求。1 RM 表示健身者以正确的动作只能重复 1 次动作的最大阻力，同样的，10 RM 表示健身者以正确的动作最多重复 10 次动作的最大阻力。心率可以作为许多运动的强度评价指标，但是力量训练的特点是做功时间相对较短、运动不持续，因此心率很难作为评价力量训练强度的主要指标。最大重复次数体系是迄今为止相对科学的控制力量训练强度的指标体系[7]。理解和掌握最大重复次数体系，有助于教练员在力量训练时把握力量训练的方向，较精确地控制力量训练的强度。

5.3. 运动处方中新近性的生理学指标

5.3.1. 表面肌电

肌电信号(electromyography, EMG) 在运动人体科学、基础医学、临床医学和康复医学领域中有着越来越多的应用，它表达了肌纤维的动作电位在时空上的叠加，与肌肉收缩和肌肉力量息息相关。针电极深入肌肉内部所得到的肌电信号比较精确、易于检测和识别，但它的创伤性特征不易被人们接受。而表面肌电信号(surface EMG, sEMG)是指通过皮肤表面的电极来检测神经肌肉活动的电信号，是多个运动单元的动作电位在时间和空间上叠加的综合结果，也可以定量地记录神经肌肉活动的电生理特征、肌肉的疲劳程度和神经传导速度。sEMG 的检测手段操作相对简单，具有无创性的特征，因此，它对运动人体科学、人机工效学和康复医学等领域备受重视，具有重要的应用和学术价值，有着广阔的推广前景。表

面肌电信号分析包括时域分析与频域分析。时域分析是将肌电信号看作时间的函数,通过分析得到肌电信号的某些统计特征。频域分析常常是通过傅立叶变换而把肌电的时域特征转换为频域信号的频谱或功率谱来进行分析。时域分析参数包括振幅(AMP)、积分肌电值(iEMG)、均方根值(RMS)、时程(DUR)等,频域分析参数包括平均功率频率(MPF)、中位频率(MF)、中心频率(CF)等。上述指标是反映肌电信号频率特征的生物物理指标,其数值与肌纤维的构成比、解剖结构、肌肉收缩的贡献率、运动单位的同步化程度和募集能力有着较强的相关性[8]。

5.3.2. 脉搏波

脉搏波是人体心脏有节律的收缩射血,血液流经弹性管道所产生的波动。脉搏波由心脏搏动射血产生的振动经弹性管道传播产生,传递过程中会受到心脏本身和各级动脉血管阻力、血管壁弹性和血液粘性、交感、副交感神经活动张力等因素的影响,表现出不同波形特征,能反映人体多种病理生理改变。当心脏周期性地收缩和舒张时,左心室射入主动脉的血流冲击主动脉瓣和血管壁,产生的振动以波的形式自主动脉根部发出,动脉树向外周动脉传播,此波称为向前波。当向前波受到动脉分支和外周动脉等因素的作用时,产生与之相反的反射波。反射波沿动脉树向心脏方向传播,与向前波叠加后形成具有不同波形特征的脉搏波。脉搏波的传播过程不仅受到心脏本身的影响,还受到沿途动脉和周围组织器官状况的影响,使脉搏波蕴含着丰富的人体病理和生理学信息。另外,由于脉搏波的检测不需要复杂而昂贵的仪器,操作简便,而且无创,因此关于脉搏波深入细致的研究历来受到中外医学界的重视。目前,对脉搏波的分析主要是波形和传播速度的不同,或者提取时域或频域的特征参数加以分析研究。主要的分析方法包括时域分析法、频域分析法、时频联合分析法、数学建模分析法和脉搏波传播速度分析法等方面。

6. 小结

运动处方是以客观存在的问题为依据的、针对性很强的循环式健身模式,是一个融可行性、科学性、实用性和趣味性于一体的过程,其本身具备自我完善、自我发展和不断优化的科学特点。运动处方模式注重个体的主体性发挥和个体能动性的挖掘,这与人民不断增长的健康需求是紧密结合的,这种新的健身方式符合当前终身学习的指导思想,对推动健康中国战略的实施和人的全面发展具有创新价值和现实意义。通过生理学的指标来监控运动处方的实施具有必然性。定期测量和评价各器官、系统的生理指标变化特征,掌握人体对体育锻炼的反馈信息,有助于运动处方的制定、运动处方的执行、运动处方的调整、和机体的恢复,从而获得最佳的健身效果。现代科学技术的发展极大地促进了运动生理学的研究方法,利用电脑记忆、系统处理、综合分析,使动态的和整体水平的生理学研究达到了新的高度。在运用生理指标对运动处方的实施进行服务的同时,还需要加入人体解剖学、生物化学、生物力学等相关的指标,要将这些学科的指标相互配合,进行综合而系统的研究,才能在运动处方领域达到更好的研究效果。

基金项目

陕西省重点研发计划项目(No. 2020YF-182);中国体育科学学会高校体育与健康教育课程建设专项课题重点项目(No. ZD2019003)。

参考文献

- [1] 杨静宜,徐峻华. 运动处方[M]. 北京:高等教育出版社,2005.
- [2] 王瑞元. 运动生理学[M]. 北京:人民体育出版社,2002.
- [3] 赵生,闫明晓,于俊海,等. 全民科学健身一百招[M]. 陕西:陕西人民出版社,2019.
- [4] 祝莉,王正珍,朱为模. 健康中国视域中的运动处方库构建[J]. 体育科学,2020,40(1):4-15.

- [5] 孙长新. 我国运动处方研究现状分析与思考[J]. 南京体育学院学报(自然科学版), 2012, 11(4): 34-37.
- [6] 罗曦娟, 王正珍, 张军, 等. 体力活动能量消耗编码表在运动处方中的应用[J]. 北京体育大学学报, 2013, 36(9): 76-80.
- [7] 陈栋, 曾玉榕. 关于运动处方的起源及发展探讨[J]. 湖北体育科技, 2002(2): 54-55, 63.
- [8] 李宝成, 石磊, 贺智裕, 何黛. 表面肌电信号在膝关节运动性损伤中的应用价值[J]. 体育科学进展, 2020, 8(1):1-6.