



基于运动负荷熵理论的大学生运动觉差运动 负荷分级与觉差感知实践研究*

李鑫^{1, 2#}, 杨培娜^{2, 3#}, 王路遥^{2, 3}, 韩海军⁴, 白鹏⁵, 李箭⁶, 肖雪^{2, 3△}

1. 四川大学华西第二医院医学遗传科(成都 610041); 2. 出生缺陷与相关妇科疾病教育部重点实验室(四川大学)(成都 610041);
3. 四川大学华西第二医院妇产科(成都 610041); 4. 四川大学体育学院(成都 610065);
5. 四川大学华西基础医学与法医学院(成都 610041); 6. 四川大学华西医院骨科/骨科研究所(成都 610041)

【摘要】目的 基于运动负荷熵测度理论,探讨大学生在不同运动负荷级别下运动负荷分级、觉差感知及韦伯分数的变化规律,为个性化运动负荷评估提供依据。**方法** 于2025年1月-2025年4月纳入138名大学生,采用功率自行车完成6个递增负荷级别的运动测试。根据受试者自觉运动负荷分级与觉差感知,计算各负荷级别下的觉差值和韦伯分数。采用单因素分析、相关分析及多重线性回归分析对数据进行统计处理。**结果** 随着运动负荷级别的增加,觉差感知总体呈下降趋势,但差异无统计学意义($P=0.156$)。韦伯分数随负荷级别增加呈递减趋势,由负荷级2的0.49下降至负荷级6的0.11($P=0.034$)。多重线性回归分析表明,运动负荷级别每增加1级,韦伯分数平均降低0.07[95%置信区间(confidence interval, CI): $-0.12 \sim -0.02$, $P=0.009$];男性韦伯分数较女性低0.09(95%CI: $-0.12 \sim -0.06$, $P<0.001$)。**结论** 在大学生群体中,运动负荷感知随负荷级别增加呈现非线性变化特征,韦伯分数随负荷增强而降低。

【关键词】 运动负荷熵 运动负荷分级 觉差感知 韦伯分数 个性化干预

Exercise Load Classification and Perceptual Difference Awareness Training Based on Exercise Load Entropy Theory in University Students

LI Xin^{1, 2}, YANG Peina^{2, 3}, WANG Luyao^{2, 3}, HAN Haijun⁴, BAI Peng⁵, LI Jian⁶, XIAO Xue^{2, 3△}. 1. Department of Medical Genetics, West China Second University Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Key Laboratory of Birth Defects and Related Diseases of Women and Children (Sichuan University), Ministry of Education, Chengdu 610041, China; 3. Department of Obstetrics and Gynecology, West China Second University Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 4. College of Physical Education, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 5. West China School of Basic Medical Sciences & Forensic Medicine, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 6. Department of Orthopedics/Orthopedic Research Institute, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

△ Corresponding author, E-mail: xiaoxuela@scu.edu.cn

This study was supported by grants from the National Key Research and Development Program of China (No. 2022YFC3600304).

[Abstract] Objective Based on exercise load entropy measurement theory, this study aimed to investigate patterns of change in exercise load classification, perceptual difference awareness, and Weber fraction among university students across different exercise load levels, thereby providing theoretical support for personalized exercise load assessment. **Methods** From January to April 2025, 138 college students completed six incrementally increasing load tests on a cycle ergometer. Based on self-perceived load staging and perceptual discrimination, discrimination thresholds and Weber fractions were calculated for each load level. Data were analyzed using univariate analysis, correlation analysis, and multiple linear regression analysis. **Results** With increasing exercise load levels, differential perception showed an overall downward trend, but the difference was not statistically significant ($P = 0.156$). The Weber fraction decreased progressively with increasing load level, from 0.49 at load level 2 to 0.11 at load level 6 ($P = 0.034$). Multiple linear regression analysis indicated that for each one-level increase in exercise load, the Weber fraction decreased by an average of 0.07 (95% CI: -0.12 to -0.02 , $P = 0.009$). In addition, males had a lower Weber fraction than females (95% CI: -0.12 to -0.06 , $P < 0.001$). **Conclusion** Among college students, the perception of exercise load changes nonlinearly as the

* 国家重点研发计划(No. 2022YFC3600304)资助

共同第一作者

△ 通信作者, E-mail: xiaoxuela@scu.edu.cn

出版日期: 2026-01-20

load level increases, and the Weber fraction decreases as the load intensifies.

[Key words] Exercise load entropy Exercise load classification Perceptual difference awareness
Weber fraction Personalized intervention

随着社会健康意识的提高,运动干预逐渐成为预防和改善慢性病的重要手段。然而,传统的运动负荷评估方法大多基于物理学和生理学的简单线性模型,未能充分考虑个体差异和感知过程的复杂性^[1]。运动负荷的准确评估不仅关乎运动效果的最大化,也涉及个体化健康管理及运动治疗的实施。在此背景下,基于不确定性科学和信息理论的运动负荷熵理论为运动负荷的个性化评估提供了新的思路。该理论强调运动负荷感知过程的非线性与不确定性,为精准测量和评估运动负荷提供了科学依据^[2-4]。学生进入大学生活后,随着学业压力和生活方式的变化,运动参与度和运动负荷的感知可能存在较大个体差异。此前我们虽然已经研究探讨了运动负荷的感知情况,但针对不同群体尤其是大学生群体的运动负荷评估研究未进行完整的理论实践,尤其在性别差异、运动负荷分级结果和觉差感知等方面的研究较少^[3]。因此,本研究旨在应用运动负荷熵理论,探索大学生在不同运动负荷级别下的运动负荷分级、觉差感知及其韦伯分数的变化趋势,为进一步开展个体化运动干预和健康管理提供理论支持。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取2025年1月-2025年4月四川大学在校学生,年龄范围为18至26岁。所有受试者均需符合以下纳入标准:身体健康,无心血管疾病等运动禁忌证,且近半年内无运动损伤史。研究获得了四川大学华西第二医院伦理委员会批准,批准号:医学科研2022伦审批第(314)号。所有参与者均在实验前签署了知情同意书。本研究样本量的估算基于不同运动负荷级别下运动觉差(最小可觉差)的变化情况。参考前期相关研究中在相似运动负荷条件下测得的运动觉差均值及标准差参数^[2],采用两独立样本均数比较的样本量计算公式进行估算。设定显著性水平 $\alpha=0.05$ (双侧),检验效能 $1-\beta=0.90$,依据文献报道的觉差均值差($\delta=5.13$)及方差估计值($s^2=40.65$),计算得到每组最低所需样本量为约26例。考虑实验过程中可能出现的脱落情况,进一步增加约10%的样本量作为冗余,最终确定每组最低纳入不少于29例受试者。由于本研究样本来源于高校自然人群,入组过程中男性大学生参与积极性较高,最终纳入男性108例、女性30例。

1.2 数据采集

本研究采用功率车配合心电图带进行运动负荷强度测试,实验分为评估实验和数据采集实验两部分。每个单级实验的时长为45 min,共进行6个负荷级别的测试。使用Ergoselect4功率自行车(Ergoline,德国)及心电图带监测受试者的心率。测试过程中,受试者佩戴心电图带进行实时心率监测,以确保运动过程中的生理数据得到准确记录和保证运动安全。受试者静息休息15 min后,骑上恒功率自行车并握住判断器。每个负荷级别要求受试者骑行45 min,转速控制在 (60 ± 5) r/min以内。运动负荷将逐级增加,并依次进行6个负荷级别的测试。在每个负荷级别,受试者需根据自身感受判断运动负荷是否发生变化并按下判断按钮,一级实验结束后,机器会自动生成对应负荷等级的最小觉差功率,称为运动负荷分级与觉差感知。每一负荷级的测试时段约为45 min,其间由程序随机进行100次重复测量;相邻负荷级之间设置10~15 min的静息休息与洗脱期,待心率恢复后再进入下一负荷级测试,以避免疲劳累积对觉差感知的影响。在实验过程中,为避免受试者的主观干扰,禁止过多交谈或使用电子设备。

觉差感知通过比较受试者在各负荷级别下感知的最小可觉差(即最小觉差功率减去当前负荷等级初始功率)来评估个体的感知敏感度。觉差感知实验将在每个负荷级别上进行多次测试,每次测试后根据受试者的反馈记录感知到的差异。每个负荷级的觉差值代表受试者对该负荷下运动刺激变化的感知阈限。

1.3 韦伯分数的计算

韦伯分数用于衡量个体对运动刺激变化的敏感度。根据韦伯的经典公式,韦伯分数(C)的计算公式为: $C=\Delta I/I$ 。其中, ΔI 表示最小可觉差,即参考刺激与比较刺激之间的差异; I 为参考刺激的功率值。韦伯分数越小,表示个体对刺激变化的感知越敏感;反之,分数越大,则表明感知较弱。在本研究中,韦伯分数通过对不同负荷级别下觉差值与功率值的比值计算得出,以评估受试者在不同负荷下的感知敏感度。

1.4 统计学方法

所有实验数据均使用SPSS软件(version 26.0)进行统计分析。首先,通过Shapiro-Wilk检验对数据的正态性进行检验,符合正态分布的数据采用 $\bar{x}\pm s$ 进行描述。组间

比较使用独立样本 *t* 检验, 比较男性和女性在运动负荷分级、觉差感知等方面的差异。韦伯分数与运动负荷级之间的相关性通过 Pearson 相关分析进行, 相关性强度以相关系数 (*r*) 表示, 并进一步进行趋势检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

本研究最初纳入了 145 名大学生, 排除了 2 名因身体原因无法完成测试的受试者 (1 名血压过高, 1 名心率过快), 以及 5 名脱组受试者, 最终分析中包含 138 名受试者 (男性 108 名, 女性 30 名)。研究对象的年龄范围为 18 至 26 岁, 平均年龄为 (20.33 ± 1.37) 岁, 平均体质量指数 (body

mass index, BMI) 为 (21.61 ± 2.53) kg/m^2 。男性和女性在年龄和 BMI 方面差异无统计学意义。见表 1。

2.2 运动负荷分级与觉差感知的性别比较

在不同运动负荷级别下, 男性运动负荷水平普遍高于女性, 但差异无统计学意义。男性和女性在觉差感知上的差异无统计学意义。

2.3 不同负荷级对应的自行车功率

随着运动负荷级别的增加, 自行车功率逐渐增大, 见表 2。功率的标准差在各负荷级别之间逐渐增大, 反映出随着负荷等级的提升, 个体在运动负荷耐受方面的差异性逐渐增大 ($P < 0.001$)。

2.4 不同负荷级对应的觉差感知

见表 2。觉差感知结果显示, 随着运动负荷级别的

表 1 男性和女性大学生运动负荷分级与觉差感知比较

Table 1 Comparison of exercise load grading and differential perception between male and female college students

Variable	Male ($n = 108$)	Female ($n = 30$)	F/χ^2	<i>P</i>
Age/yr.	20.45 ± 1.34	19.90 ± 1.49	0.195	0.052
Body mass index/ (kg/m^2)	21.53 ± 2.56	21.90 ± 2.43	0.722	0.467
Exercise load level				
Level 1	24.10 ± 7.75	22.57 ± 8.00	0.100	0.342
Level 2	33.80 ± 12.76	30.93 ± 12.07	0.755	0.274
Level 3	42.37 ± 16.13	38.77 ± 14.34	1.101	0.270
Level 4	50.7 ± 19.31	46.53 ± 17.66	1.517	0.289
Level 5	60.11 ± 24.9	54.47 ± 20.29	3.263	0.256
Level 6	68.1 ± 28.09	60.03 ± 22.95	3.196	0.151
Just-noticeable difference				
Level 2	18.80 ± 12.76	15.93 ± 12.07	0.765	0.274
Level 3	8.57 ± 6.44	7.83 ± 6.35	0.034	0.577
Level 4	8.33 ± 7.18	7.77 ± 5.95	1.423	0.693
Level 5	9.41 ± 8.03	7.93 ± 5.94	1.890	0.351
Level 6	7.99 ± 6.82	5.57 ± 4.15	2.863	0.066

表 2 不同运动负荷水平下功率、觉差感知及韦伯分数的线性变化趋势

Table 2 Linear trends in cycling power, differential perception, and Weber fractions across exercise load levels

Exercise load level	Cycling power	Differential perception	Weber fraction
Level 1	23.77 ± 7.81	/	/
Level 2	33.17 ± 12.63	18.17 ± 12.63	0.49 ± 0.17
Level 3	41.59 ± 15.77	8.41 ± 6.41	0.19 ± 0.10
Level 4	49.80 ± 18.98	8.21 ± 6.91	0.16 ± 0.09
Level 5	58.88 ± 24.02	9.09 ± 7.62	0.14 ± 0.08
Level 6	66.35 ± 27.18	7.46 ± 6.4	0.11 ± 0.07
<i>P</i> for trend	< 0.001	0.156	0.034

增加,最小可觉差逐渐减小。在负荷级2时,觉差较高(18.17 ± 12.63),表明在较低负荷下,个体对运动刺激的感知变化较为敏感。随着负荷级别的升高,觉差逐步降低,显示出感知敏感度的下降,但差异无统计学意义。

2.5 韦伯分数与运动负荷级关系

见表2。随着运动负荷的增加,韦伯分数逐渐减小。在负荷级2时,韦伯分数为 0.49 ± 0.17 ,个体差异较大。随着负荷级数增加,尤其在负荷级4至负荷级6之间,韦伯分

数显著下降,表明在较高负荷下,个体对刺激变化的感知能力减弱。此变化趋势表明感知差异随着负荷增加而减小($P=0.034$)。用多重线性回归分析进一步探讨韦伯分数的影响因素。见表3。校正年龄与BMI后,结果显示运动负荷级别及性别均与韦伯分数存在统计学显著相关。具体而言,运动负荷级别每增加1级,韦伯分数平均降低 $0.07(95\% \text{ CI: } -0.12 \sim -0.02, P=0.009)$;此外,与女性相比,男性的韦伯分数平均降低 $0.09(95\% \text{ CI: } -0.12 \sim -0.06, P<0.001)$ 。

表3 韦伯分数影响因素的多重线性回归分析

Table 3 Multivariable analysis of factors influencing Weber fractions

Variable*	Crude beta (95% CI)	P	Adjusted beta (95% CI)	P
Exercise load level	-0.08 (-0.13, -0.03)	0.003	-0.07 (-0.12, -0.02)	0.009
Sex	-0.10 (-0.13, -0.07)	< 0.001	-0.09 (-0.12, -0.06)	< 0.001

Multivariable linear regression analysis was performed. The model included exercise load level and sex as independent variables, with age and BMI adjusted as confounding factors. * Exercise load level (level 1-level 6 corresponds to grade 1-grade 6); sex (female = grade 0, male = grade 1).

2.6 年龄及性别对最大负荷的影响

通过线性相关分析,进一步探讨了年龄与最大负荷之间的关系。结果显示,大学生群体的年龄与最大负荷之间没有显著的相关性($P=0.436$),即在大学生群体中,年龄变化对最大负荷的影响较小,见图1。然而,在亚组分析中,男性大学生的平均最大负荷(66.88 ± 26.76)显著高于女性大学生(65.52 ± 26.45)($P=0.025$),表明性别对最大负荷有一定影响。

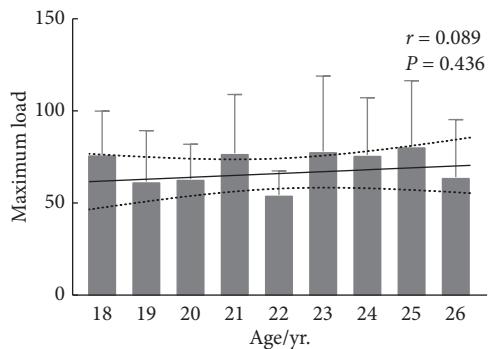


图1 年龄与最大负荷关系

Fig 1 Association of age with maximum load

Bars represent the mean maximum load with error bars indicating variability. The solid line shows the fitted linear regression, and the dotted lines indicate the 95% confidence interval. No significant association was observed between age and maximum load ($r = 0.089, P = 0.436$).

3 讨论

本研究通过应用运动负荷熵测度理论,系统地探讨了大学生在不同运动负荷级别下的运动负荷分级水平、

觉差感知以及韦伯分数的变化规律。研究结果表明,随着运动负荷的增加,受试者对运动刺激的感知能力呈现逐渐减弱的趋势,韦伯分数和觉差感知均显示出显著的下降。这一现象验证了运动负荷熵理论中关于“感知差异随负荷增大而减小”的假设,体现了运动负荷感知的非线性和不确定性特征^[2]。特别是在较高负荷级别时,韦伯分数急剧下降,显示出较低的感知灵敏度。这一发现进一步支持了运动负荷熵测度理论在个体化运动干预中的应用价值。

从专业角度来看,本研究的结果为运动负荷的精准测量提供了新的理论依据。与传统的基于生理学和物理学的运动负荷评估方法不同,运动负荷熵测度理论通过量化运动负荷对个体感知的影响,更加全面地考虑了感知差异和个体化因素,避免了过于简化的评估方法^[4-5]。具体而言,随着运动负荷强度的增加,个体对运动刺激变化的感知阈限减小,提示运动负荷感知具有明显的非线性特征。在低参考负荷阶段,个体可接受的刺激增量较大;随着参考负荷的增加,在中低负荷区间内感知阈限迅速缩小,表现出对刺激变化的高度敏感性;而当负荷进一步增加至较高水平后,差别阈限趋于相对稳定,表明人体的最小感知阈限并不会无限缩小,而是存在生理和感知层面的上限。这一规律提示,在中高强度运动阶段,单纯依赖主观感受(如自觉用力程度)可能低估实际运动负荷,从而增加过度训练或运动损伤的潜在风险。因此,在运动训练与健康干预实践中,尤其是在较高负荷区间,应结合功率、心率等客观指标对运动负荷进行动态监控,以

实现更加安全、精准和个体化的运动负荷调控。这一理论框架能够为不同负荷级别的运动干预提供更加科学的依据,尤其是在高负荷训练和运动康复中,能够有效指导运动强度的调控,避免运动过度或不当的负面影响。

本研究还探讨了性别对运动负荷分级和觉差感知的影响。虽然男性和女性在运动负荷分级和觉差感知上存在一定差异,但这些差异并无统计学意义。另一方面,性别差异对最大负荷有显著影响,男性大学生的平均最大负荷明显高于女性,这可能与生理结构、肌肉量和激素水平等因素密切相关^[6-8]。这一结果表明,在制定个性化运动负荷干预方案时,应充分考虑性别差异,针对不同性别群体量身定制运动方案,以提高训练效果并减少运动损伤的风险。在未来的运动健康管理中,个体化的运动负荷评估和调整将成为关键。运动负荷熵测度理论为制定更加精准的运动干预方案提供了方法学支持,尤其在慢性病管理、老年人健康促进等领域,能够根据每个人的感知差异和身体反应调整运动负荷,避免过度运动导致的不良后果^[9-10]。

随着社会健康需求的增加,精准的运动负荷测量和干预成为提升全民健康水平的关键技术。高效的运动干预不仅有助于减缓慢性病的进展,还能促进整体社会的健康水平^[11]。通过运动负荷熵测度理论,能够为个体提供更加个性化的运动负荷评估和调整,避免过度或不足的运动量对身体造成伤害,从而实现更健康的生活方式。在慢性病预防、老龄化社会健康管理等方面,个性化的运动干预将成为未来医学和公共卫生领域的重要手段^[12-13]。

此外,随着运动健康管理的普及,尤其是青少年和大学生群体的健康管理需求逐渐增大,本研究的成果具有较高的社会意义。大学生群体正处于身心发展的关键期,通过个性化运动负荷的调控,不仅可以提高运动效率,还能有效防止运动损伤、改善体质,促进健康成长^[14-15]。因此,本研究为大学生群体的运动干预提供了理论依据,也为未来在校园健康管理中推广科学运动负荷评估和干预方案提供了实践指导。

尽管本研究通过运动负荷熵测度理论为大学生群体的运动负荷评估提供了有益的理论支持,但仍存在一些局限性。首先,本研究为观察性研究设计,尽管在分析中通过多重线性回归对年龄、BMI等潜在混杂因素进行了校正,但仍无法完全排除未测量混杂因素(如运动经验、体能基础、心理状态等)对结果的影响,因此因果推断需谨慎。其次,研究中涉及多个结局指标和多重比较分析,尽管已明确区分主要结局指标与次要结局指标,但仍可能存在一定的 I 型错误和假阳性风险,相关结果应主要

作为探索性发现加以解读。再次,本研究样本来源于特定高校大学生群体,样本代表性有限,且性别比例不均,可能对结果的外推性产生一定影响。未来研究有必要在更大样本、多中心人群中进行验证,并结合纵向研究或干预性研究设计,以进一步验证运动负荷熵测度理论在不同人群和应用场景中的适用性。

综上所述,本研究基于运动负荷熵测度理论,探讨了大学生在不同运动负荷级别下的运动负荷分级水平、觉差感知和韦伯分数的变化规律。结果表明,随着负荷级别的增加,受试者对运动刺激的感知逐渐减弱,韦伯分数和觉差感知呈递减趋势,验证了运动负荷感知的非线性特征。尽管性别对运动负荷的感知差异影响较小,但个体差异仍表现显著。研究结果为个性化运动负荷评估和精准干预提供了理论支持,为运动医学和健康管理领域的应用奠定了基础。

* * *

作者贡献声明 李鑫和杨培娜负责论文构思、数据审编、正式分析、研究方法和初稿写作,王路遥负责论文构思、数据审编、调查研究和研究方法,韩海军、白鹏和李箭负责经费获取和研究项目管理,肖雪负责经费获取、研究项目管理、监督指导和审读与编辑写作。所有作者已经同意将文章提交给本刊,且对将要发表的版本进行最终定稿,并同意对工作的所有方面负责。

Author Contribution LI Xin and YANG Peina are responsible for conceptualization, data curation, formal analysis, methodology, and writing--original draft. WANG Luyao is responsible for conceptualization, data curation, investigation, and methodology. HAN Haijun, BAI Peng, and LI Jian are responsible for funding acquisition and project administration. XIAO Xue is responsible for funding acquisition, project administration, supervision, and writing--review and editing. All authors consented to the submission of the article to the Journal. All authors approved the final version to be published and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

利益冲突 本文作者肖雪是本刊编委会青年编委。该文在编辑评审过程中所有流程严格按照期刊政策进行,且未经其本人经手处理。除此之外,所有作者均声明不存在利益冲突。

Declaration of Conflicting Interests XIAO Xue is a member of the Junior Editorial Board of the journal. All processes involved in the editing and reviewing of this article were carried out in strict compliance with the journal's policies and there was no inappropriate personal involvement by the author. Other than this, all authors declare no competing interests.

参 考 文 献

- [1] IMPELLIZZERI F M, MARCORÀ S M, COUTTS A J. Internal and external training load: 15 years on. *Int J Sports Physiol Perform*, 2019, 14(2): 270-273. doi: 10.1123/ijspp.2018-0935.
- [2] 李祥臣, 彭小令, 石磊, 等. 运动负荷熵: 一种运动负荷测度新理论. *体育科学*, 2024, 44(6): 3-14. doi: 10.16469/j.css.202406001.
- LI X C, PENG X L, SHI L, et al. Exercise load entropy: a new theoretical approach to measuring exercise load. *Chin J Sports Sci*, 2024, 44(6): 3-14.

- doi: [10.16469/j.css.202406001](https://doi.org/10.16469/j.css.202406001).
- [3] IMPELLIZZERI F M, SHRIER I, MCLAREN S J, *et al.* Understanding training load as exposure and dose. *Sports Med*, 2023, 53(9): 1667-1679. doi: [10.1007/s40279-023-01833-0](https://doi.org/10.1007/s40279-023-01833-0).
- [4] KOWALSKI T, SCHUMANN M, KLICH S, *et al.* Equity in training load: research design considerations for intervention assessment in sports science and physical therapy. *Eur J Appl Physiol*, 2025, 125: 2067-2075. doi: [10.1007/s00421-025-05844-9](https://doi.org/10.1007/s00421-025-05844-9).
- [5] DUDLEY C, JOHNSTON R, JONES B, *et al.* Methods of monitoring internal and external loads and their relationships with physical qualities, injury, or illness in adolescent athletes: a systematic review and best-evidence synthesis. *Sports Med*, 2023, 53(8): 1559-1593. doi: [10.1007/s40279-023-01844-x](https://doi.org/10.1007/s40279-023-01844-x).
- [6] 付强, 许彤, 王娇娇, 等. 运动处方对大学生轻度至中度抑郁症患者认知功能恢复的影响. *四川大学学报(医学版)*, 2025, 56(4): 1112-1119. doi: [10.12182/20250760603](https://doi.org/10.12182/20250760603).
FU Q, XU T, WANG J J, *et al.* Effects of exercise prescription on cognitive function recovery in college students with mild to moderate depression. *J Sichuan Univ (Med Sci)*, 2025, 56(4): 1112-1119. doi: [10.12182/20250760603](https://doi.org/10.12182/20250760603).
- [7] SON J Y, JUNG J, SON J E, *et al.* A graded personalized exercise program's effect on muscle and body fat: randomized controlled trial. *BMC Public Health*, 2025, 25(1): 1258. doi: [10.1186/s12889-025-22453-5](https://doi.org/10.1186/s12889-025-22453-5).
- [8] HUNTER S K, ANGADI S S, BHARGAVA A, *et al.* The biological basis of sex differences in athletic performance: consensus statement for the american college of sports medicine. *Med Sci Sports Exerc*, 2023, 55(12): 2328-2360. doi: [10.1249/MSS.00000000000003300](https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000003300).
- [9] NOONE J, MUCINSKI J M, DELANY J P, *et al.* Understanding the variation in exercise responses to guide personalized physical activity prescriptions. *Cell Metab*, 2024, 36(4): 702-724. doi: [10.1016/j.cmet.2023.12.025](https://doi.org/10.1016/j.cmet.2023.12.025).
- [10] WACKERHAGE H, SCHOENFELD B J. Personalized, evidence-informed training plans and exercise prescriptions for performance, fitness and health. *Sports Med*, 2021, 51(9): 1805-1813. doi: [10.1007/s40279-021-01495-w](https://doi.org/10.1007/s40279-021-01495-w).
- [11] 国家体育总局. 2020年国民体质监测公报. 北京: 人民体育出版社, 2022. General Administration of Sport of China. National physical fitness monitoring bulletin (2020). Beijing: People's Sports Publishing House, 2022.
- [12] 龚明俊, 唐桥, 谭思洁, 等. 运动干预对睡眠障碍的影响及作用机制研究进展. *四川大学学报(医学版)*, 2024, 55(1): 236-242. doi: [10.12182/20240160404](https://doi.org/10.12182/20240160404).
GONG M J, TANG Q, TAN S J, *et al.* Research progress on the effects and mechanisms of exercise interventions on sleep disorders. *J Sichuan Univ (Med Sci)*, 2024, 55(1): 236-242. doi: [10.12182/20240160404](https://doi.org/10.12182/20240160404).
- [13] 《运动处方中国专家共识》专家组. 运动处方中国专家共识(2023). *中国运动医学杂志*, 2023, 42(1): 3-13. doi: [10.3969/j.issn.1000-6710.2023.01.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6710.2023.01.001).
Expert Panel Of Chinese Expert Consensus On Exercise Prescription. Chinese expert consensus on exercise prescription (2023). *Chin J Sports Med*, 2023, 42(1): 3-13. doi: [10.3969/j.issn.1000-6710.2023.01.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6710.2023.01.001).
- [14] DOU X, KIM Y, CHU H. Prevalence of metabolic syndrome according to physical activity, dietary habits, mental status, social status, health behavior, and obesity phenotypes in Korean adolescents: 2016-2021. *Foods*, 2023, 12(17): 3304. doi: [10.3390/foods12173304](https://doi.org/10.3390/foods12173304).
- [15] CARVALHO T, FREITAS O G A, CHALELA W A, *et al.* Brazilian Guideline for Exercise Test in the Adult Population - 2024. *Arq Bras Cardiol*, 2024, 121(3): e20240110. doi: [10.36660/abc.20240110](https://doi.org/10.36660/abc.20240110).

(2025-09-16收稿, 2026-01-13修回)

编辑 吕熙



开放获取 本文使用遵循知识共享署名—非商业性使用 4.0国际许可协议(CC BY-NC 4.0), 详细信息请访问

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>。

OPEN ACCESS This article is licensed for use under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (CC BY-NC 4.0). For more information, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

© 2026 《四川大学学报(医学版)》编辑部

Editorial Office of *Journal of Sichuan University (Medical Sciences)*