



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2304484

引用格式:李闯涛,高晓麟,王昊,等.基于有序 Logistic 回归模型的北京高校男生有氧能力[J].科学技术与工程,2024,24(16):6659-6666.

Li Chuangtao, Gao Xiaolin, Wang Hao, et al. Aerobic capacity of male students in Beijing colleges and universities based on ordered Logistic regression modeling[J]. Science Technology and Engineering, 2024, 24(16): 6659-6666.

医药、卫生

基于有序 Logistic 回归模型的北京高校男生有氧能力

李闯涛,高晓麟*,王昊,王文迪

(国家体育总局体育科学研究所,北京 100061)

摘要 为探索北京高校男生有氧能力的影响因素,通过随机抽样法抽取 134 名 18~25 岁北京高校男生,空腹抽静脉血测血液指标,用德国 MetaMax 3B 系统实时监测气体代谢,通过线性递增方案测得最大摄氧量(maximum oxygen uptake, VO_{2max})相对值。采用 Spearman 相关、有序 Logistic 回归等分析方法进行分析处理。结果表明:回归方程中影响北京高校男生有氧能力的因素有体重(M)、心率(heart rate, HR)、每搏输出量(stroke volume, SV)、心室射血时间(ventricular ejection, VET)、血红蛋白(hemoglobin, HGB)。方程模型系数综合检验步(step)、块(block)、模型(model)检验的 P 均小于 0.01;拟合优度检验的 -2 对数似然值($-2LL$)为 159.374, Cox & Snell R^2 为 0.331, Nagelkerke R^2 为 0.373;方程预测等级 1 准确率为 45.5%,等级 2 准确率为 100%,等级 3 准确率为 100%,综合为 81.8%,说明 Logistic 回归模型性能良好。Hosmer 和 Lemeshow 检验预测值与观想值无显著性差异($P>0.05$)。可见北京高校男生定量负荷心功能、血液指标与有氧能力的多元 Logistic 回归模型拟合度较好,且 HR、SV、VET、HGB 是预测北京高校男生有氧能力的重要因素。同时研究中受试者无需运动至极限状态,运动强度大大降低,可以有效避免运动风险的发生,回归模型的检验结果良好,适合在大样本人群中推广。

关键词 有氧能力;生长和发育;运动;男生;有序 Logistic 回归模型

中图法分类号 R339.4;

文献标志码 A

Aerobic Capacity of Male Students in Beijing Colleges and Universities Based on Ordered Logistic Regression Modeling

LI Chuang-tao, GAO Xiao-lin*, WANG Hao, WANG Wen-di

(China Institute of Sports Science, Beijing 100061, China)

[Abstract] In order to explore the influencing factors of aerobic capacity of male students in Beijing colleges and universities, 134 male students aged 18~25 years old in Beijing colleges and universities were selected by random sampling method, and venous blood was drawn in fasting to measure the blood indexes, and gas metabolism was monitored in real time with the MetaMax 3B system from Germany, and the relative maximum oxygen uptake (VO_{2max}) was measured by a linear incremental scheme. The results were analyzed and processed based on Spearman's correlation and ordered Logistic regression. The results show that the factors affecting the aerobic capacity of male students in Beijing colleges and universities in the regression equation are body weight (M), heart rate (HR), stroke volume (SV), ventricular ejection time (VET) and hemoglobin (HGB). The P of the combined regression equation model coefficients test step, block, and model tests are less than 0.01. The -2 log likelihood value ($-2LL$) of the goodness-of-fit test is 159.374, the Cox & Snell R^2 is 0.331, and the Nagelkerke R^2 is 0.373. The predicted rank 1 accuracy is 45.5%, rank 2 accuracy is 100%, rank 3 accuracy is 100%, and the combined is 81.8%, indicating that the Logistic regression model performs well. Hosmer and Lemeshow test predicts that there is no significant difference between the predicted values and the observed values ($P>0.05$). This indicates that the multivariate Logistic regression model of quantitative loading cardiac function, blood indexes and aerobic capacity of male students in Beijing colleges and universities has a good fit, and HR, SV, VET and HGB are important factors to predict aerobic capacity of male

收稿日期:2023-06-15 修订日期:2024-03-12

基金项目:国家体育总局体育科学研究所基本科研业务费(基本 18-46、基本 19-18、基本 20-02)

第一作者:李闯涛(1995—),男,汉族,河南驻马店人,硕士。研究方向:运动心脏医学监督。E-mail:1153799696@qq.com。

*通信作者:高晓麟(1974—),男,汉族,北京人,博士,研究员。研究方向:运动损伤与运动性心血管意外的风险评估、预防与康复。E-mail:gaoxiaolin@ciss.cn。

投稿网址:www.stae.com.cn

students in Beijing colleges and universities. Meanwhile, the subjects do not need to exercise to the limit state, and the intensity of exercise is greatly reduced, which can effectively avoid the occurrence of exercise risk, and the test results of the regression model are better and good, which is suitable for the promotion in a large sample of the population.

[Keywords] aerobic capacity; growth and development; exercise; males; ordered Logistic regression models

有氧能力是长时间进行有氧工作的能力,建立在身体需要氧 O_2 、摄取 O_2 及运动后恢复能力的动态平衡上^[1]。近年来,有氧能力也成为研究运动健康领域的热点^[2-3]。张晓亮等^[4]研究发现,大学生体质呈下滑趋势,健康教育水平不高。对大学生的有氧运动能力评估成为现代医务监督的重要问题,关于有氧耐力评估,首先考虑到最大摄氧量(maximum oxygen uptake, VO_{2max}),文献^[5]用 VO_{2max} 评价心肺功能,这也是心脏疾病诊断^[6-7]、康复治疗效果^[8-9]、预测生命健康^[10]的指标。

VO_{2max} 的测试方法有直接法和间接法^[11]。其中,直接法借助心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)测得 VO_{2max} ,CPET基于人体内、外呼吸耦联的原理,监测静息、运动、恢复状态下 O_2 吸入量和 CO_2 排出量,综合反映心肺和循环系统水平^[12]。测试结果真实可靠,但测试成本高、工作强度较大,很难推广到大样本量人群中。间接法逐渐受到人们关注,受试者进行亚极限运动,根据运动强度、心率(heart rate, HR)等数值推测出 VO_{2max} ,间接法更容易操作,受试者不需要运动至极限状态,能有效避免运动风险的发生,虽不如直接法准确,但不影响使用。

当代大学生不良的生活方式使其机能水平下降,影响其健康状况^[13-14],因此对大学生进行体能评估十分重要。冯红新^[15]提出江苏警察的体能划分体系,但该模型只能判断个人体能在总体中的相对位置,不能反映出个人水平高低。何乐^[16]通过百分位数法制订出陕西女子自由式摔跤运动员4个体重级别专项体能评价的标准。这些标准只针对特定的人群,不能推广到大学生人群中。

鉴于此,以18~25岁的北京高校男生为研究对象,使用德国台式MetaMax 3B系统实时监测气体代谢,采用递增负荷运动方案测得 VO_{2max} 相对值,按百分位法^[17-19]将 VO_{2max} 相对值划分为3个等级,基于有序Logistic回归方法,利用定量负荷心功能(起始负荷40 W)、血液指标,建立评估北京高校男生有氧能力的回归模型,为科学体育锻炼提供依据。

1 对象与方法

1.1 对象

试验于2019年3—12月在国家体育总局体育

科学研究所运动心肺功能室。受试者纳入标准:①年龄18~25岁健康大学男生;②无专业运动经历;③能够理解实验并自愿配合测试过程,签署知情同意书。排除标准:①存在心、脑、血管等方面疾病以及家族猝死史;②未通过常规心电图、血压和血液筛查;③近期有手术、外伤和疼痛等情况。通过以上纳、排标准,共招募134名受试者,所纳入的受试者在试验前均通过风险筛查,测试前告知受试者试验流程和试验目的,测试过程中身体无不良状况,积极配合并按照要求完成心肺运动试验。

1.2 方法

1.2.1 心肺运动试验

最大摄氧量测试采用德国台式MetaMax 3B系统实时监测气体代谢。测试方案:受试者充分热身,佩戴好所有传感器,调整座椅高度,受试者在功率车上静坐5 min采集静息数据,静息过后,进入线性递增负荷运动,起始负荷40 W且持续2 min,递增速率为20 W/min,运动至极限状态,然后以20 W的功率继续踏车3 min进行恢复,最后停止测试,通过节拍器将踏车频率控制在60~70 r/min。运动中用POLAR心率表采集受试者的实时心率,测试过程中进行动态心电图监控,避免运动风险的发生^[11]。当满足以下任意3个条件即停止测试^[20-21]:①心率上升至180 b/min或2 min内不再上升;②呼吸商 ≥ 1.15 ;③连续两次间摄氧量的增值 $< 2 \text{ mL}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 或下降;④主观感觉等级接近19(主观体力感觉等级表中主观运动感觉从“安静”到“精疲力竭”分别划分为6~20等级),经反复鼓励不能继续运动。记录评价有氧能力的指标 VO_{2max} 相对值(VO_{2max} 绝对值/体重)。根据研究设计选取定量负荷心功能(40 W)指标。

1.2.2 血液指标测试

所有受试者在运动测试前空腹采取静脉血,用贝克曼GEN.S五分类血细胞分析仪进行血常规测试,贝克曼ACCESS2微粒子化学发光分析仪测量分析睾酮(T)和皮质醇(C)。

1.2.3 形态学测试

参考文献^[22]中的测试方法,身高和体重分别使用身高测量仪和电子体重计测量。体质量指数(BMI)的计算公式为

$$BMI = \frac{M}{H^2} \quad (1)$$

式(1)中: M 为体重,kg; H 为身高,m。

1.3 质量控制

所有受试者在测试前签署知情同意书,在试验前均通过风险筛查,熟知整个测试流程,积极主动配合并按照要求完成测试。试验全程由作者本人进行操作,测试前培训且合格。数据录入均由笔者完成,真实有效。

1.4 统计分析

使用 SPSS26.0 进行原始数据录入和逻辑筛查,针对定量负荷心功能(40 W)指标、血液指标进行描述性统计,计量资料采用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)描述。采用 Spearman 相关筛选与 VO_{2max} 相对值具备相关性的指标;然后通过有序 Logistic 回归模型分析定量负荷心功能指标、血液指标与 VO_{2max} 相对值的关联性;最后进行回代检验方程的准确性。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 受试者基本情况

如表 1 所示,两组人群的基本资料无显著差异($P>0.05$),说明两组受试者具有同质性。

表 1 两组人群基本资料比较
Table 1 Comparison of basic information between the two groups of people

指标	方程建立组 ($n=101$)	回代检验组 ($n=33$)	总体 ($n=134$)
年龄/岁	21.6 $\pm$ 1.8	21.5 $\pm$ 1.7	21.6 $\pm$ 1.8
身高/cm	176.5 $\pm$ 6.6	174.1 $\pm$ 5.7	175.9 $\pm$ 6.5
体重/kg	73.0 $\pm$ 14.4	69.1 $\pm$ 7.1	72.0 $\pm$ 13.1
BMI/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	23.3 $\pm$ 3.6	22.8 $\pm$ 1.9	23.2 $\pm$ 3.3

注:数据用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示; n 为样本量。

表 2 心肺运动试验测试结果
Table 2 Results of the cardiorespiratory exercise test

指标	方程建立组($n=101$)	回代检验组($n=33$)	总体($n=134$)
定量负荷心功能指标	—	—	—
心指数(CI)/($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)	5.6 $\pm$ 0.8	6.1 $\pm$ 0.9	5.8 $\pm$ 0.9
心输出量(CO)/($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	10.7 $\pm$ 2.3	11.5 $\pm$ 2.5	10.9 $\pm$ 2.4
心率(HR)/($\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$)	108.1 $\pm$ 13.5	104.0 $\pm$ 10.4	107.0 $\pm$ 12.8
每搏输出量(SV)/mL	100.4 $\pm$ 25.5	111.5 $\pm$ 26.9	103.4 $\pm$ 26.3
每搏输出量指数(SVI)/($\text{mL}\cdot\text{m}^{-2}$)	52.8 $\pm$ 9.7	59.2 $\pm$ 10.4	54.6 $\pm$ 10.3
每搏输出量变异(SVV)/%	17.3 $\pm$ 2.3	17.4 $\pm$ 2.7	17.3 $\pm$ 2.4
瞬时胸生物电抗(dxdt)	286.9 $\pm$ 58.1	305.8 $\pm$ 44.8	292.0 $\pm$ 55.3
心室射血时间(VET)/ms	223.7 $\pm$ 35.4	243.1 $\pm$ 35.7	229.0 $\pm$ 36.4
血液指标	—	—	—
血红蛋白(HGB)/($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	153.9 $\pm$ 9.8	153.6 $\pm$ 9.3	153.8 $\pm$ 9.7
睾酮(T)/($\text{ng}\cdot\text{dL}^{-1}$)	558.8 $\pm$ 136.3	609.5 $\pm$ 159.8	571.3 $\pm$ 143.5
皮质醇(C)/($\mu\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$)	13.14 $\pm$ 4.19	13.37 $\pm$ 3.29	13.19 $\pm$ 3.99
有氧耐力指标	—	—	—
VO_{2max} 相对值/($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	37.8 $\pm$ 7.4	38.2 $\pm$ 5.7	37.9 $\pm$ 7.0

注:数据用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示; n 为样本量。

2.2 测试指标情况

如表 2 所示,两组人群的定量负荷心功能、血液和有氧耐力指标无显著差异($P>0.05$),表明两组受试者具有同质性。

2.3 指标的相关性分析

由表 3 可知, VO_{2max} 相对值和 HR、血红蛋白(hemoglobin, HGB)呈负相关,与每搏输出量(stroke volume, SV)、瞬时胸生物电抗(dxdt)、心室射血时间(ventricular ejection time, VET)呈正相关(P 均小于 0.05)。

表 3 与 VO_{2max} 相对值相关性显著的指标
Table 3 Indicators significantly correlated with relative VO_{2max}

指标	r	P
心率(HR)	-0.293 **	0.005
每搏输出量(SV)	0.322 **	0.002
瞬时胸生物电抗	0.369 **	0.000
心室射血时间(VET)	0.367 **	0.000
血红蛋白(HGB)	-0.237 *	0.017

注: r 为相关性; P 为显著性;**代表 $P<0.01$; *代表 $P<0.05$ 。

2.4 北京高校男生有氧能力 Logistic 回归方分析

如表 3 所示,与 VO_{2max} 相对值具有相关性的指标有 HR、SV、dxdt、VET、HGB。通过有序 Logistic 回归模型进行分析,相关信息如表 4 所示。

根据表 4 可得有序 Logistic 回归模型为

$$\ln\{P(Y\leq 1|x)/1-P(Y\leq 1|x)\} = -2.757 - 0.067X_1 - 0.025X_2 + 0.066X_3 + 0.018X_4 - 0.009X_5 \tag{2}$$

$$\ln\{P(Y\leq 2|x)/1-P(Y\leq 2|x)\} = -0.771 - 0.067X_1 - 0.025X_2 + 0.066X_3 + 0.018X_4 - 0.009X_5 \tag{3}$$

表 4 有序逻辑回归模型中的变量
Table 4 Variables in the ordered logistic regression model

指标	系数	标准误	wald	df	P	OR95% CI	
						下限	上限
体重(X_1)	-0.067	0.018	14.333	1	0.000	-0.102	-0.033
HR(X_2)	-0.025	0.021	1.529	1	0.006	-0.066	0.015
SV(X_3)	0.066	0.037	3.225	1	0.003	-0.006	0.138
VET(X_4)	0.018	0.008	5.310	1	0.021	0.003	0.034
HGB(X_5)	-0.009	0.024	0.147	1	0.031	-0.056	0.038
截距 1 12	-2.757	5.292	0.271	1	0.002	—	—
截距 2 13	-0.771	5.286	0.021	1	0.004	—	—

注:wald 为卡方值;df 为自由度;OR95% CI 为 95% 置信区间。

2.5 模型的检验

2.5.1 模型系数的综合检验

如表 5 所示,在方程模型系数综合检验中,步(step)、块(block)和模型(model)检验 P 均小于 0.01。

表 5 模型系数的综合检验
Table 5 Comprehensive test of model coefficients

指标	wald	df	P
步(step)	35.814	5	0.000
块(block)	35.814	5	0.000
模型(model)	35.814	5	0.000

注:wald 为卡方值;df 为自由度; P 为显著性。

2.5.2 模型拟合优度检验

方程的模型 -2 对数似然值 $[-2\log \text{likelihood}(-2LL)]$ 为 159.374, Cox&Snell R^2 为 0.331, Nagelkerke R^2 为 0.373,如表 6 所示。

如表 7 所示,有序 Logistic 回归模型的准确情况为:观测值为 1 时,预测的准确率为 45.5%;观测值为 2 时,预测的准确率为 100%;观测值为 3 时,预测的准确率为 100%;综合为 81.8%。

Hosmer 和 Lemeshow 检验中预测值与观望值无差异($P>0.05$),如表 8 所示。

表 6 模型汇总
Table 6 Model summary

-2 对数似然数(-2LL)	Cox&Snell R^2	Nagelkerke R^2
159.374	0.331	0.373

注:Cox&Snell R^2 和 Nagelkerke R^2 均为伪 R^2 ,代表方程模型的拟合程度。

表 7 分类预测^a
Table 7 Classification prediction^a

观测值 (等级)	预测值(等级)			预测 准确率/%
	1	2	3	
1	1	4	0	45.5
2	0	2	9	100
3	0	2	9	100
总计	—	—	—	81.8

注:切割值 α 为 0.500。

表 8 Hosmer 和 Lemeshow 检验

Table 8 Hosmer and Lemeshow test

wald	df	P
3.422	5	0.635

注:wald 为卡方值;df 为自由度; P 为显著性。

3 讨论

3.1 既往研究与本研究的对比分析

大学生日益下降的身体素质水平,使得有效地对大学生进行体能评估,并进行科学等级划分显得十分重要。关于体能等级划分的研究,刘丽霞等^[23]通过探讨晚期大学生 BMI 与健康相关体能的关系,为青少年的健康促进提供参考依据。郭倩^[24]通过功率车二级定量负荷实验,利用摄氧量和心率建模,制定出评价中老年人心肺耐力的标准。综上所述,不同的研究者评价心肺耐力的指标有所不同,由此会形成不同的分级标准,这些标准也只针对于特定的人群,并不能推广到广大人群中,所以制定一个属于大学生人群的等级划分标准显得至关重要。

本研究同时采用新一代医用 NICOM,相比于传统的心功能监控技术,该方法能无创、连续测量和推断出受试者的 CO,该方法也得到了众多研究者的认可^[25-30]。用 NICOM 监控心功能,也能直观地观察到 SV 的变化,尽早发现心脏的不耐受性,对客观评定心功能具有重要意义,还可以观察到受试者的最大运动能力,到达最大负荷后,SV 将不再增加^[31],而不受主观感觉的限制。与心肺运动试验结合时,对辅助判定运动强度、评定负荷很重要。同时本研究结合有序 Logistic 回归模型,能较好解决结果变量的有序分类对分析结果的影响,相对来说估计误差较小,稳定性比较高。最终纳入方程的指标包括定量负荷心功能指标 HR、SV、VET 及血液指标 HGB。既往研究大多使用心率、血压和肺活量等指标来预测心肺耐力,但使用定量负荷心功能、血液等较全面的指标预测心肺耐力的研究不多。本研

究利用定量负荷心功能、血液指标 2 个方面的指标,再加上体重因素,建立评估大学生有氧能力的逻辑回归方程,同时考虑到中枢和外周机制对心肺耐力的影响,而且对于体重因素的影响也考虑在内,相较于既往研究来说更为全面。最终方程检验结果发现方程拟合优度较好,对于健康水平评估和运动训练的科学指导能起到一定作用。

3.2 定量负荷心功能与心肺耐力

研究发现定量负荷心功能指标 HR 与心肺耐力呈负相关,SV 和 VET 与心肺耐力呈正相关。根据 Fick 定律,摄氧量 = 心输出量 $\times$ 动静脉血氧差,在相同摄氧量情况下,心功能不同的受试者,CO 和动静脉血氧分压差有所不同。CO 可以有效地评估循环系统效率,也是评价运动心肺功能关键指标。心输出量等于心率和每搏量的乘积,HR、SV 的变化影响 CO,且 HR、SV 也是摄氧量的重要影响因素。本研究是以 VO_{2max} 相对值来反映心肺耐力,HR、SV 和心肺耐力有着密不可分的关系。董莉等^[30]研究发现,大学生的有氧能力与 CO 和最 SV 的增加有关。Barbosa 等^[32]研究表明,HR 和 VO_{2max} 相对值呈显著负相关($P < 0.01$)。这与本研究结果一致。左室心射血时间(left ventricular ejection time, LVET)主要反映左室心肌纤维收缩时缩短的程度^[33],还能间接反映心功能是否正常,尤其是心脏收缩能力的强弱,是临床上用于定量评估心脏功能的重要指标之一。LVET 与心率快慢呈负相关,与心排量呈正相关,LVET 反映心脏排血量的大小主要取决于心肌纤维缩短程度,心肌纤维缩短越多,每排量越多,LVET 越长,说明心功能越好^[34]。

3.3 血液与心肺耐力

研究发现,血液指标 HGB 与心 VO_{2max} 相对值呈负相关。从运动生理学角度出发,血液中红细胞数目多、血红蛋白含量高,机体的耐力水平高^[35],故 HGB 作为氧转运环节的核心物质,其浓度和有氧工作能力直接相关。研究表明,运动员在耐力训练过程中,氧气的供应占据较大的作用,氧运输是基础,这又与血红蛋白浓度高度相关,能够通过血管的全身或局部调节达到改变心输出量的目的^[36-38]。心输出量较大时,最重要的因素是顺应性心脏和能够分离的心包,有较高舒张容积,因而每搏输出量较大^[39]。因此,只要 HGB 足够高,CO 和 VO_2 随着血容量的增加而增加。在常氧时, VO_2 主要取决于 CO 和 HGB;在缺氧时,主流氧分压起主要作用,肺和骨骼肌中的 O_2 扩散速率则成为限制因素。在这种情况下,血红蛋白的浓度可能会对有氧耐力造成不同的影响。研究发现,HGB 和 VO_{2max} 均呈正相

关^[40-45],但也有研究指出 HGB 和 VO_{2max} 不相关^[46]。本次研究发现,HGB 与 VO_{2max} 相对值呈微弱负相关,这可能是受试者性别、锻炼水平以及体重等因素影响所致;此外体液丢失造成的血容量减少、HGB 的总量增加或减少,该指标都会发生变化。值得注意的是:以上研究均是针对运动员,关于普通大学生 HGB 和 VO_{2max} 的研究并不多见,二者关系还有待进一步研究。

4 结论

(1)北京高校男生定量负荷心功能、血液指标与有氧能力的多元逻辑回归模型拟合度较好,判别能力较强。

(2)纠正其他因素后,HR、SV、VET、HGB 是预测北京高校男生有氧能力的重要因素。

(3)研究中受试者无需运动至极限状态,运动强度大大降低,可以有效避免运动风险的发生,且回归模型的检验结果较好良好,适合在大样本人群中推广。

参 考 文 献

- [1] 季加伟,王鹏,袁诚,等. 健步走对养老院老人人体适能和生命质量的影响[J]. 当代体育科技, 2019, 9(26): 165-167, 169. Ji Jiawei, Wang Peng, Yuan Cheng, et al. Effects of walking on fitness and quality of life of elderly nursing home residents[J]. Contemporary Sports Science and Technology, 2019, 9(26): 165-167, 169.
- [2] 谢敏豪,李红娟,王正珍,等. 心肺耐力: 体质健康的核心要素——以美国有氧中心纵向研究为例[J]. 北京体育大学学报, 2011, 34(2): 1-7. Xie Minhao, Li Hongjuan, Wang Zhengzhen, et al. Cardiorespiratory endurance: a core component of physical fitness; an example from a longitudinal study of aerobic centers in the United States[J]. Journal of Beijing Sport University, 2021, 34(2): 1-7.
- [3] 陈莞婧. 成年人心肺耐力水平与心血管病风险的相关性[J]. 健康体检与管理, 2022, 3(4): 380-384. Chen Wanjing. Correlation between cardiorespiratory endurance level and cardiovascular disease risk in adults[J]. Health Screening and Management, 2022, 3(4): 380-384.
- [4] 张晓亮,高晓峰. “新课标”背景下学校体育促进学生体质健康的机遇、挑战及应对策略[J]. 西安体育学院学报, 2022, 39(6): 635-640. Zhang Xiaoliang, Gao Xiaofeng. Opportunities, challenges and strategies for promoting students' physical fitness and health in school sports under the background of "New Curriculum" [J]. Journal of Xi'an Institute of Physical Education and Sports, 2022, 39(6): 635-640.
- [5] 任爽,刘静,王宇,等. 最大摄氧量与安静时肺功能相关性研究——以我校女大学生为例[J]. 健与美, 2023(8): 134-136. Ren Shuang, Liu Jing, Wang Yu, et al. Study on the correlation between maximum oxygen uptake and lung function at quiet time: a case study of female college students in our university[J]. Health

- and Beauty, 2023(8): 134-136.
- [6] 王彦新, 耿祯, 刘振华. 心肺运动试验对于冠状动脉微血管病变的诊断作用研究[J]. 中国实验诊断学, 2021, 25(10): 1502-1503.
- Wang Yanxin, Geng Zhen, Liu Zhenhua. Diagnostic effect of cardiopulmonary exercise test on coronary microangiopathy[J]. Chinese Experimental Diagnostics, 2021, 25(10): 1502-1503.
- [7] 苗孟丹, 信栓力, 邵丽莉. 心肺运动试验与冠状动脉狭窄程度的相关性及其诊断冠心病的临床价值[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2021, 19(8): 1321-1324.
- Miao Mengdan, Xin Shuanli, Shao Lili. Correlation between cardiopulmonary exercise test and coronary artery stenosis and its clinical value in diagnosing coronary heart disease[J]. Journal of Cardiovascular and Cerebrovascular Diseases in Chinese and Western Medicine, 2021, 19(8): 1321-1324.
- [8] 张超. 基于心肺运动试验评估的运动康复治疗对慢性心力衰竭患者心功能及运动耐力的影响[J]. 反射疗法与康复医学, 2021(15): 172-174.
- Zhang Chao. Effects of exercise rehabilitation therapy based on cardiopulmonary exercise test assessment on cardiac function and exercise tolerance in patients with chronic heart failure[J]. Reflexology and Rehabilitation Medicine, 2021(15): 172-174.
- [9] 孙远东, 薛宁, 王焱, 等. 心肺运动试验在尘肺患者心肺功能评估及康复治疗中的应用[J]. 中国工业医学杂志, 2021, 34(1): 44-47.
- Sun Yuandong, Xue Ning, Wang Yan, et al. Application of cardiopulmonary exercise test in the assessment of cardiopulmonary function and rehabilitation of pneumoconiosis patients[J]. Chinese Journal of Industrial Medicine, 2021, 34(1): 44-47.
- [10] 敬容, 刘剑, 罗飞, 等. 中年男性静息心率、最大摄氧量及颈动脉内膜中层厚度与心血管危险因素的相关性[J]. 西部医学, 2020, 32(11): 1690-1693.
- Jing Rong, Liu Jian, Luo Fei, et al. Correlation of resting heart rate, maximum oxygen uptake and carotid intima-media thickness with cardiovascular risk factors in middle-aged men[J]. Western Medicine, 2020, 32(11): 1690-1693.
- [11] 朱为模. 《ACSM 运动测试与运动处方指南》的过去、现在与未来[J]. 体育科研, 2022, 43(6): 1-9, 46.
- Zhu Weimo. Past, present and future of the *ACSM Guidelines for Exercise Testing and Prescription*[J]. Sports Research, 2022, 43(6): 1-9, 46.
- [12] 郭小亚, 吴雪娇, 洪怡, 等. 不同性别、年龄及体力活动心脏康复患者心肺运动试验指标分析[J]. 实用心脑血管病杂志, 2021, 29(9): 10-17.
- Guo Xiaoya, Wu Xuejiao, Hong Yi, et al. Analysis of cardiopulmonary exercise test indexes in cardiac rehabilitation patients of different genders, ages and physical activities[J]. Journal of Practical Cardiovascular and Pulmonary Vascular Disease, 2021, 29(9): 10-17.
- [13] 刘会平, 李洁明, 洪煜, 等. 体医融合教学模式对高职院校大学生体质健康和健康行为的影响研究[J]. 体育科技, 2023, 44(2): 15-18.
- Liu Huiping, Li Jieming, Hong Yu, et al. Study on the impact of physical-medical integration teaching mode on college students' physical fitness and health behavior in higher vocational colleges[J]. Sports Science and Technology, 2023, 44(2): 15-18.
- [14] 林武慰. 江门市初中体育课堂教学安全性原则贯彻状况与改革策略研究[D]. 广州: 广州体育学院, 2021.
- Lin Wuwei. Research on the implementation status of the principle of safety in physical education classroom teaching and reform strategies in Jiangmen junior high school[D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Physical Education, 2021.
- [15] 冯红新. 我国警察体能评价指标体系构建与应用研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2017.
- Feng Hongxin. Research on the construction and application of physical fitness evaluation index system for police in China[D]. Suzhou: Suzhou University, 2017.
- [16] 何乐. 陕西省优秀女子自由式摔跤运动员体能评价研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2016.
- He Le. Research on physical fitness evaluation of excellent female freestyle wrestlers in Shaanxi Province[D]. Beijing: Beijing Sport University, 2016.
- [17] Policarpo Barbosa F, Silva P E, Guimarães A C, et al. Prediction of maximum oxygen uptake through incremental exercise testing using ventilometry: a cross-sectional study[J]. Brazilian Journal Physical Therapy, 2020, 24(4): 365-372.
- [18] McMahon M J, Holley A B, Warren W A, et al. Posttraumatic stress disorder is associated with a decrease in anaerobic threshold, oxygen pulse, and maximum oxygen uptake[J]. Chest: Journal of Circulation, Respiration and Related Systems, 2021, 160(3): 1017-1025.
- [19] 尹莲花, 郑彦, 吴俊泉, 等. 体力活动, 心肺耐力与40~49岁城市男性心血管风险的相关性研究[J]. 心血管病防治知识, 2019(6): 3-7.
- Yin Lianhua, Zhang Yan, Wu Junquan, et al. Study on the correlation between physical activity, cardiorespiratory endurance and cardiovascular risk in urban men aged 40~49 years[J]. Cardiovascular Disease Prevention and Control Knowledge, 2019(6): 3-7.
- [20] 刘自慧, 彭莉. 最大摄氧量判定指标标准的有效性研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 39(10): 111-116.
- Liu Zihui, Peng Li. Research on the validity of the index criteria for determining maximal oxygen uptake[J]. Journal of Southwest Normal University (Natural Science Edition), 2014, 39(10): 111-116.
- [21] 李闯涛. 基于动态心肺功能指标预测大学生最大摄氧量的研究[D]. 北京: 国家体育总局体育科学研究所, 2022.
- Li Chuangtao. Research on the prediction of maximum oxygen uptake of college students based on dynamic cardiopulmonary function index[D]. Beijing: China Institute of Sports Science, 2022.
- [22] 王雅薇, 金晶, 冯祎中, 等. 大学生体质健康现状研究——基于《国家学生体质健康标准(2014年修订)》[J]. 安徽体育科技, 2019, 40(5): 72-77, 90.
- Wang Yawei, Jin Jing, Feng Yizhong, et al. Research on the current situation of college students' physical fitness and health: based on the *National Physical Fitness Standard for Students (2014 Revision)*[J]. Anhui Sports Science and Technology, 2019, 40(5): 72-77, 90.
- [23] 刘丽霞, 韩延柏, 汪宏莉. 青少年晚期大学生体质指数与健康相关体能关系[J]. 中国公共卫生, 2023, 39(5): 645-649.
- Liu Lixia, Han Yanbai, Wang Hongli. Relationship between body mass index and health-related physical fitness in late adolescent college students[J]. China Public Health, 2023, 39(5): 645-649.
- [24] 郭倩. 二级定量负荷评价中老年心肺耐力方法的探索与参考

- 等级的建立[D]. 北京:北京体育大学, 2014.
- Guo Qian. Exploration of the method of secondary quantitative load evaluation of cardiorespiratory endurance in middle-aged and elderly people and the establishment of reference level[D]. Beijing: Beijing Sport University, 2014.
- [25] 孙阳, 张旭, 叶继伦, 等. 心排量监测技术发展[J]. 中国医疗器械杂志, 2018, 42(4): 268-271.
- Sun Yang, Zhang Xu, Ye Jilun, et al. Development of cardiac output monitoring technology[J]. Chinese Journal of Medical Devices, 2018, 42(4): 268-271.
- [26] 黄伟, 张德春, 杨斌, 等. 无创心排量检测在脓毒症患者早期心功能监测的应用[J]. 航空航天医学杂志, 2020, 31(3): 270-272.
- Huang Wei, Zhang Dechun, Yang Bin, et al. Application of non-invasive cardiac output testing for early cardiac function monitoring in septicemia patients[J]. Journal of Aerospace Medicine, 2020, 31(3): 270-272.
- [27] 李凤英. 探讨无创心排量仪动态监测新生儿呼吸窘迫综合征患儿血流动力学指标的临床意义[D]. 泸州: 西南医科大学, 2023.
- Li Fengying. Exploring the clinical significance of noninvasive cardiac output device for dynamic monitoring of hemodynamic indexes in children with neonatal respiratory distress syndrome[D]. Luzhou: Southwest Medical University, 2023.
- [28] 白园园, 杨自力. 探讨 NICOM 对老年心力衰竭患者的应用价值[J]. 中国实用医药, 2020, 15(14): 38-40.
- Bai Yuanyuan, Yang Zili. Exploring the application value of NICOM for elderly patients with heart failure[J]. China Practical Medicine, 2020, 15(14): 38-40.
- [29] 巫泓生, 马克强, 廖碧玲, 等. 无创心排量联合中心静脉血氧饱和度监测对高脂血症性重症胰腺炎早期目标导向性液体复苏的指导作用[J]. 临床肝胆病杂志, 2022, 38(7): 1602-1607.
- Wu Hongsheng, Ma Keqiang, Liao Biling, et al. Noninvasive cardiac output combined with central venous oxygen saturation monitoring guides early goal-directed fluid resuscitation in hyperlipidemic severe pancreatitis[J]. Journal of Clinical Hepatobiliary Disease, 2022, 38(7): 1602-1607.
- [30] 董莉, 唐纓红, 黄骏, 等. 青少年耐力运动员最大摄氧量与 NICOM 心排量的相关性分析[J]. 2018, 40(5): 57-61.
- Dong Li, Tang Yinghong, Huang Jun, et al. Correlation analysis between maximum oxygen uptake and NICOM cardiac output in adolescent endurance athletes[J]. 2018, 40(5): 57-61.
- [31] 王金铃, 刘剑平, 叶建平. 脉搏指数连续心输出量技术结合颅内压监测在重型颅脑损伤患者去骨瓣减压术后体液复苏中的指导作用[J]. 实用医技杂志, 2021, 28(7): 926-928.
- Wang Jinling, Liu Jianping, Ye Jianping. Guidance role of pulse index continuous cardiac output technique combined with intracranial pressure monitoring in fluid resuscitation after debridement decompression in patients with severe craniocerebral injury[J]. Journal of Practical Medical Technology, 2021, 28(7): 926-928.
- [32] Barbosa F P, Silva P E, Guimares A C, et al. Prediction of maximum oxygen uptake through incremental exercise testing using ventilometry: a cross-sectional study[J]. Revista Brasileira de Fisioterapia, 2020, 24(4): 365-372.
- [33] 左鹏, 倪小宇, 徐长松, 等. 左心室射血分数对急性心源性前循环大血管闭塞性脑卒中血管内治疗预后的影响[J]. 介入放射学杂志, 2022, 31(12): 1189-1193.
- Zuo Peng, Ni Xiaoyu, Xu Changsong, et al. Influence of left ventricular ejection fraction on the prognosis of endovascular treatment in acute cardiogenic anterior circulation large vessel occlusion stroke[J]. Journal of Interventional Radiology, 2022, 31(12): 1189-1193.
- [34] 尹娜, 李岩, 贺晓楠. 不同左心室射血分数急性心肌梗死患者基本临床特征和治疗情况及院内主要不良心脑血管事件的危险因素分析[J]. 中国医药, 2023, 18(6): 820-824.
- Yin Na, Li Yan, He Xiaonan. Analysis of basic clinical characteristics and treatment of patients with acute myocardial infarction with different left ventricular ejection fractions and risk factors for major in-hospital adverse cardiovascular and cerebrovascular events[J]. Chinese Medicine, 2023, 18(6): 820-824.
- [35] 陈圣涛. 不同专项运动员血红蛋白总量与有氧能力的相关性研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2019.
- Chen Shengtao. Study on the correlation between total hemoglobin and aerobic capacity of athletes with different specialties[D]. Beijing: Beijing Sport University, 2019.
- [36] Runacres A, Mackintosh K A, McNarry M A. The effect of constant-intensity endurance training and high-intensity interval training on aerobic and anaerobic parameters in youth[J]. Journal of Sports Sciences, 2019, 37(4): 1-7.
- [37] Sawczyn S, Biskup L, Zasada, et al. Special endurance of young gymnasts: the role of aerobic capacity in fatigue development in the training[J]. Central European Journal of Sport Sciences and Medicine, 2018, 23(6): 59-70.
- [38] Arezzolo D, Coffey V G, Byrne N M, et al. Effects of eight interval training sessions in hypoxia on anaerobic, aerobic, and high intensity work capacity in endurance cyclists[J]. High Altitude Medicine & Biology, 2020, 21(4): 370-377.
- [39] 李丽君, 王晶, 耿晓雯, 等. 应用左心室舒张末容积校正的 QRS 持续时间对心脏同步化治疗的预测作用[J]. 中国心血管病研究, 2021, 19(2): 134-137.
- Li Lijun, Wang Jing, Geng Xiaowen, et al. Predictive effect of QRS duration on cardiac synchronization therapy with application of left ventricular end-diastolic volume correction[J]. China Cardiovascular Disease Research, 2021, 19(2): 134-137.
- [40] 杨梅, 朱欢, 肖杰文, 等. 长期有氧运动对大学生下肢微循环功能及最大摄氧量的影响[J]. 中国学校卫生, 2021, 42(7): 1000-1004.
- Yang Mei, Zhu Huan, Xiao Jiewen, et al. Effects of long-term aerobic exercise on lower limb microcirculatory function and maximum oxygen uptake in college students[J]. China School Health, 2021, 42(7): 1000-1004.
- [41] 李闯涛, 高晓麟, 吴东哲, 等. 大学生动态心肺功能和有氧耐力的关联性[J]. 中国学校卫生, 2023, 44(2): 282-286, 290.
- Li Chuangtao, Gao Xiaojian, Wu Dongzhe, et al. Associations between dynamic cardiorespiratory fitness and aerobic endurance in college students[J]. China School Health, 2023, 44(2): 282-286, 290.
- [42] 杨慧君. 基于心功能、血液、体成分指标预测大学生最大摄氧量的研究[D]. 北京: 国家体育总局体育科学研究所, 2020.
- Yang Huijun. Research on predicting maximal oxygen uptake of college students based on cardiac function, blood and body composition indexes[D]. Beijing: China Institute of Sports Science, 2020.
- [43] 薛同能, 雍辉, 陈雨. 不同有氧运动模式对原发性高血压患

- 者心肌肥厚、自主神经功能及运动耐力的影响[J]. 心脏杂志, 2022, 34(5): 546-551.
- Xue Tongneng, Yong Hui, Chen Yu. Effects of different aerobic exercise modes on cardiac hypertrophy, autonomic function and exercise tolerance in patients with essential hypertension[J]. Heart Journal, 2022, 34(5): 546-551.
- [44] 贾海燕, 李建辉, 张艺. 快步走有氧运动联合抗阻训练对年轻冠心病 PCI 术后患者运动耐力及心功能的影响[J]. 华夏医学, 2021, 34(4): 145-148.
- Jia Haiyan, Li Jianhui, Zhang Yi. Effects of fast walking aerobic exercise combined with resistance training on exercise endurance and cardiac function in young patients with coronary heart disease after PCI[J]. Huaxia Medicine, 2021, 34(4): 145-148.
- [45] Czuba M, Maszczyk A, Gerasimuk D, et al. The effects of hypobaric hypoxia on erythropoiesis, maximal oxygen uptake and energy cost of exercise under normoxia in elite biathletes[J]. Journal of Sports Science & Medicine, 2014, 13(4): 912-920.
- [46] 潘明玲. 少年和成年业余长跑选手最大摄氧量与左心室形态功能、氧运输能力关系研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2012.
- Pan Mingling. Study on the relationship between maximum oxygen uptake and left ventricular morphologic function and oxygen transport capacity in juvenile and adult amateur distance runners[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2012.