

基于二级功率车试验推算18~25岁青年人最大摄氧量研究

冒祖宇¹, 徐凯^{1*}, 范超群², 曹琨琦¹, 刘威¹, 邹玉辉¹, 施依帆¹

¹南京体育学院运动健康学院, 江苏 南京

²国家体育总局体育科学研究所, 北京

收稿日期: 2024年10月14日; 录用日期: 2024年11月19日; 发布日期: 2024年12月6日

摘要

目的: 本研究探究二级功率车试验中相关指标与最大摄氧量的相关性, 使用二级功率车试验推算18~25岁青年人的最大摄氧量, 建立简便易行的心肺功能评价模型。方法: 招募18~25岁健康青年人, 仔细阅读知情同意书并在完全了解测试内容后进行签署, 测量身高、体重, 计算BMI。采用意大利COSMED-K5设备, 通过逐级递增负荷运动方案(改良Bruce方案)测得 VO_{2max} 。两级负荷运动均按照60 rpm运动3分钟, 在第一级前、第二级后各增加30 s (60 rpm)以帮助受试者热身与放松。测试过程中持续监测受试者HR, 记录一级末心率(HR1)及二级末心率(HR2)。利用逐步回归分析建立二级功率车推算最大摄氧量方程模型。结论: 体重、一级末心率与最大摄氧量呈现相关性; 模型具有统计学意义, 男性模型 $R^2 = 0.64$, RMSE = 7.732, 女性模型 $R^2 = 0.53$, RMSE = 6.024。

关键词

心肺耐力, 最大摄氧量, 体质

Extrapolation of Maximal Oxygen Uptake in Young People Aged 18~25 Years Based on the Secondary Power Cycling Test

Zuyu Mao¹, Kai Xu^{1*}, Chaoqun Fan², Kunqi Cao¹, Wei Liu¹, Yuhui Zou¹, Yifan Shi¹

¹School of Sports and Health, Nanjing Sport Institute, Nanjing Jiangsu

²China Institute of Sport Science, Beijing

Received: Oct. 14th, 2024; accepted: Nov. 19th, 2024; published: Dec. 6th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 冒祖宇, 徐凯, 范超群, 曹琨琦, 刘威, 邹玉辉, 施依帆. 基于二级功率车试验推算18~25岁青年人最大摄氧量研究[J]. 体育科学进展, 2024, 12(6): 968-977. DOI: 10.12677/aps.2024.126140

Abstract

Objective: Using the secondary power cycle test to determine the maximum oxygen uptake of young people between the ages of 18 and 25, this study examined the relationship between pertinent indices and maximal oxygen absorption, established a simple and easy-to-use model to evaluate cardiopulmonary function. **Methods:** Healthy young people aged 18~25 years were enlisted. They were asked to carefully read the informed consent form and sign it once they understood its contents. Their height, weight, and BMI were also determined. VO_{2max} was determined utilizing the Italian-made COSMED-K5 equipment as part of a progressive incremental loading exercise regimen called the Modified Bruce regimen. The loading exercise was done in two stages, with each level lasting three minutes at 60 rpm and the first level lasting three minutes at 60 rpm. The Modified Bruce protocol, which involves progressive incremental loading exercise, was used to assess VO_{2max} using the Italian COSMED-K5 equipment. Throughout the test, HR was continually monitored, and the heart rates at the conclusion of the first and second levels (HR1 and HR2, respectively) were noted. The maximal oxygen uptake equation for the secondary power cart was modeled using stepwise regression analysis. **Conclusion:** Body weight, end-of-first-order heart rate and maximal oxygen uptake showed a correlation; the models were statistically significant, with $R^2 = 0.64$, RMSE = 7.732 for the male model and $R^2 = 0.53$, RMSE = 6.024 for the female model.

Keywords

Cardiorespiratory Fitness, Maximal Oxygen Uptake, Physiques

Copyright © 2024 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

心肺耐力是指在剧烈运动中, 机体努力保持内部平衡并在运动后尽快恢复稳定状态的能力[1]。众多研究表明, 心肺耐力是影响人群健康的重要因素。低水平的心肺功能(Cardiorespiratory Fitness, CRF)与心血管疾病、全因死亡率以及各种癌症的死亡率之间具有高相关性[2]。随着“健康中国”的提出, 人们对健康的重视程度不断提高。18~25岁青年人在人口结构中占据重要比例, 他们的健康状况直接影响着整个人群的健康水平。健康的青年人能够为社会创造更多的价值, 推动经济社会的持续发展。对这一群体的最大摄氧量进行研究, 可以为制定针对性的健康促进策略提供依据, 助力提升整个社会的健康素养。

最大摄氧量是一种能够准确反映健康人群心肺功能生理上限的测量指标, 也被广泛应用于临床医疗领域, 特别是在评估患者的最大运动耐力方面, 被认定为是评估心肺耐力的“金标准”[2]。最大摄氧量(Maximal Oxygen Uptake, VO_{2max})概念自1923年由Hill等人提出, 指在有较大肌肉群参与的长时间的剧烈运动中, 机体的心肺功能和肌肉利用氧的能力都达到了极限水平时, 单位时间内所摄取的氧气量[3]。最大摄氧量最准确的测试方法是直接测试法。其中逐级递增负荷测试(GXT), 即通过逐步提高运动强度直至个体达到极限水平的方案, 被认为是最大摄氧量测试的黄金标准, 已被广泛用来进行最大氧摄氧量的直接测量。但由于其受测试场地、设备的限制, 成本极其高昂、专业性较强, 并且由于运动强度过大的方案特点, 测试风险较高, 难以在人群中推广测试。

由于直接测试方法存在的诸多限制, 这催生了大量关于最大摄氧量间接测试方法的研究。这种间接

测试方法在众多研究中通常被称为亚极限负荷测试法。在这种方法中,受试者只需承受一定程度的亚极限负荷运动,便可以推算出最大摄氧量。这种方法的可行性基于摄氧量与工作负荷或心率之间的线性关系。间接测试通常利用台阶、功率自行车、运动场地、跑台等设备来产生运动负荷,并根据负荷级别分为单级负荷、二级负荷以及多级负荷。有研究进一步指出,比较两个不同负荷下的心率可以更有效地揭示心率与摄氧量的关系,从而推导出 VO_{2max} [4]。

本研究采取二级功率自行车试验作为实验模型,选取安静心率、一级负荷末瞬时心率、以及二级负荷末瞬时心率作为主要研究指标。利用多元回归分析对 18~25 岁青年人的最大摄氧量建立模型并进行预测。深入探讨各心率指标在预测最大摄氧量中的可行性及其准确性。

2. 研究对象与实验方法

2.1. 研究对象

招募 18~25 岁青年人 88 人,测试有效者 86 人,其中男 43 人,女 43 人。身体健康,无心脑血管方面疾病,无运动禁忌症,可通过运动风险筛查问卷。经充分了解试验内容后签署知情同意书。受试者基本身体情况见表 1。

Table 1. Basic physical condition of subjects

表 1. 受试者基本身体情况

	男性(n = 43)	女性(n = 43)	总样本(n = 86)
身高(cm)	176.89 ± 5.73	162.54 ± 5.49	169.63 ± 9.13
体重(kg)	71.54 ± 13.54	56.71 ± 8.21	64.04 ± 13.37
BMI (kg/m ²)	22.84 ± 4.09	21.43 ± 2.49	22.13 ± 3.43

2.2. 研究方法

受试者在填写《运动前风险筛查问卷》及《知情同意书》后一共完成两次实验,包括二级功率车测试与跑台试验,以跑台试验数据为校标建立公式。测试前一天无剧烈运动,两次测试间隔时间不少于 24 h,不多于一个月,以保证两次测试中受试者身体情况基本一致。

2.2.1. 技术路线

根据研究设计,详细实验流程参照如图 1 所示。

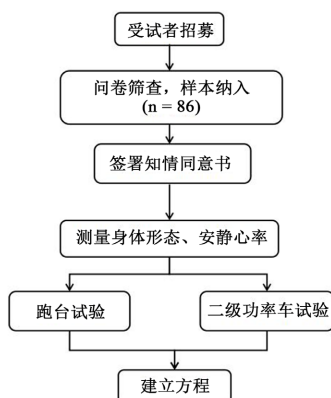


Figure 1. Technical line

图 1. 技术路线

2.2.2. GXT 试验

本研究采用逐级递增负荷试验直接准确测量心肺耐力情况,采用跑台测试法(改良 Bruce 方案,见表 2),佩戴 COSMED K5 气体代谢仪直接测量受试者的最大摄氧量,测试过程中佩戴 Polar 心率表进行风险控制,同时记录受试者的每级负荷结束时的 RPE。当出现以下 4 项中的 3 项可终止实验[5]: ① 最大摄氧量出现明显平台期,随着负荷增加不变或下降; ② 测试中达到最大心率(220-年龄); ③ 呼吸商 ≥ 1.10 ; ④ 受试者主观要求停止实验。

Table 2. Modified Bruce stress protocol

表 2. 改良 Bruce 负荷方案

阶段	速度(km/h)	坡度(%)	持续时间(min)
1	2.7	0	3
2	2.7	5	3
3	2.7	10	3
4	4	12	3
5	5.5	14	3
6	6.8	16	3
7	8	18	3
8	8.9	20	3
9	9.7	22	3

2.2.3. 二级功率车测试

根据预实验及前期积累的大样本人群 VO_{2max} 逐级递增负荷心肺耐力直接测试数据的基础,按照最大摄氧量的 40% 和 80% 的原则设计次极限功率车二级负荷试验方案。有一定运动习惯的实验人员方案男性为 90~160 W, 女性为 70~120 W; 无运动习惯的实验人员方案男性为 80~140 W, 女性为 60~110 W。每级试验运动按照 60 转/分钟运动 3 分钟,在第一级前、第二级后各增加 30 s (60 转/分钟)以帮助受试者热身与放松。在运动过程中通过 Polar 表记录实时心率,同时记录受试者的每级负荷结束时的 RPE。

2.3. 主要观察指标

本研究主要观察指标为安静心率、二级功率车实验中一级末心率(HR1)、二级末心率(HR2)、GXT 测试的最大摄氧量(VO_{2max})。

2.4. 统计学处理

本研究利用统计软件 SAS JMP 17.2 对收集到的原始数据进行录入和逻辑性筛查。对各项指标进行描述性统计分析以便对数据集有一个全面和准确的理解。统计结果以均值 \pm 标准差的形式进行呈现,以便于对数据的分布和离散程度进行直观的理解。本研究采用了逐步回归分析方法,将主要观察指标作为自变量,最大摄氧量(VO_{2max})作为因变量,按性别将参与者分为男性组和女性组,以此来探究各指标对最大摄氧量的影响并建立方程;同时通过 R 方检验评估模型的解释力。

3. 研究结果

3.1. 心肺耐力测试

如表 3 所示,在心肺耐力测试中,男性的 VO_{2max} 显著高于女性,而其安静心率则低于女性。此外,

在二级功率自行车测试中,观察到男性在一级负荷末和二级负荷末的心率均显著低于女性。这些结果指示在心肺耐力的性别差异中,男性相比女性展现出更高的最大摄氧量和较低的心率响应,反映了性别在心肺功能和耐力方面的生理差异。

Table 3. Comparison of indicators by gender

表 3. 不同性别各项指标比较

	男性(n = 43)	女性(n = 43)	总样本(n = 86)
VO ₂ max (mL/kg/min)	50.21 ± 12.34	39.64 ± 8.52	44.99 ± 11.83
安静心率(次/min)	79.14 ± 13.57	85.89 ± 10.76	82.56 ± 12.70
一级末心率(次/min)	129.30 ± 18.55	151.65 ± 18.68	140.48 ± 21.65
二级末心率(次/min)	159.35 ± 21.55	176.26 ± 14.33	167.80 ± 20.08

3.2. 相关性分析

通过相关性分析,各指标与最大摄氧量之间的相关性如下(见表 4)。

Table 4. Correlation analysis

表 4. 相关性分析

	VO ₂ max (男性; n = 43)		VO ₂ max (女性; n = 43)	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
身高	-0.052	0.918	0.108	0.565
体重	-0.573	0.000**	-0.245	0.159
一级末心率	-0.577	0.000**	-0.613	0.000**
二级末心率	-0.503	0.000*	-0.614	0.000**
安静心率	-0.691	0.000**	-0.382	0.015*

注: **p* < 0.05; ***p* < 0.01。

3.3. 建立回归方程

在本研究中,我们选取最大摄氧量(VO₂max)作为因变量,以相关性显著的指标作为自变量进行逐步回归,考虑性别差异,将所有参与者按性别分为男性组和女性组。男性逐步回归后纳入的指标为体重、安静心率及一级末心率(HR1);女性逐步回归后纳入指标为体重及一级末心率(HR1)。逐步回归采用前进模式进行,以最小贝叶斯信息准则(BIC)作为停止规则(详见表 5),对相关方程开展拟合优度的检验操作[6],以此来判别所纳入的自变量对于因变量的解释程度,拟合结果显示(见表 6)。

对于男性:

$$\text{VO}_{2\text{max}} = 132.642 - 0.474 \times \text{体重} - 0.343 \times \text{HR1} - 0.052 \times \text{安静心率} \quad (1)$$

$$R^2 = 0.64, \text{RMSE} = 7.732$$

对于女性:

$$\text{VO}_{2\text{max}} = 109.544 - 0.35 \times \text{体重} - 0.332 \times \text{HR1} \quad (2)$$

$$R^2 = 0.53, \text{RMSE} = 6.024$$

据表 6 显示,无论是男性还是女性,体重、一级末心率都与最大摄氧量存在负相关关系。对男性而

言, 体重每降低 1 kg, 预计最大摄氧量将提升 0.474 ml/kg/min; 安静心率每提升 1 次/min, 预计最大摄氧量将下降 0.052 ml/kg/min; 在二级功率车测试中, 一级末心率每降低 1 次/min, 预计最大摄氧量将提升 0.343 ml/kg/min。然而, 对女性来说, 体重每降低 1 kg, 预计最大摄氧量将提升 0.35 ml/kg/min; 二级功率车测试中, 一级末心率每降低 1 次/min, 预计最大摄氧量将提升 0.332 ml/kg/min。据方程模型中各自变量标准化系数显示(见表 7、表 8), 对于男性, 体重的变化对最大摄氧量的影响最大($\beta = -0.520$), 其次是一级心率($\beta = -0.516$), 然后是安静心率($\beta = -0.057$); 对于女性, 一级心率的影响最大($\beta = -0.736$), 体重的影响次之($\beta = -0.273$)。

Table 5. Regression equation
表 5. 回归方程

	VO ₂ max (男性; n = 43)	VO ₂ max (女性; n = 43)
R ²	0.64	0.53
RMSE	7.732	6.024
RSq	0.64	0.53
F 比	22.682	21.583
BIC	312.535	281.871

Table 6. Parameter estimate
表 6. 参数估计值

模型	VO ₂ max (男性; n = 43)	VO ₂ max (女性; n = 43)
身高	—	—
体重	-0.474	-0.35
一级末心率	-0.343	-0.332
二级末心率	—	—
安静心率	-0.052	—

Table 7. Male VO₂max model regression coefficients
表 7. 男性最大摄氧量模型回归系数

	未标准化系数		标准化系数	t	p 值	共线性统计	
	B	标准误差	β			容差	VIF
常量	132.642	10.850		12.225	0.000		
体重	-0.474	0.124	-0.520	-3.828	0.000	0.506	1.976
一级心率	-0.343	0.104	-0.516	-3.294	0.002	0.381	2.625
安静心率	-0.052	0.169	-0.057	-0.308	0.760	0.270	3.706

Table 8. Female VO₂max model regression coefficients
表 8. 女性最大摄氧量模型回归系数

	未标准化系数		标准化系数	t	p 值	共线性统计	
	B	标准误差	β			容差	VIF
常量	109.544	12.457		8.793	0.000		
体重	-0.349	0.145	-0.273	-2.408	0.021	0.948	1.054
一级心率	-0.332	0.051	-0.736	-6.500	0.000	0.948	1.054

3.4. 方程检验

方程(1)实测 $VO_2\max$ 值与方程预测值相关性为 0.797, 拟合度达到 0.64; 方程(2)实测 $VO_2\max$ 值与方程预测值相关性为 0.749, 拟合度达到 0.53。方差膨胀系数(VIF)是用于反映多重共线性回归模型中共线性严重程度的一个度量指标。为防止推算方程出现多重共线性问题, 对方程进行 VIF 检验。此次研究所建立的方程中, VIF 值均小于 5, 这表明所建立的本研究构建的两个推算方程不存在多重共线性[7]。进一步对本研究所建立两个方程进行检验。对两个方程的残差进行分析(见图 2、图 3), 男性与女性方程的残差均满足正态分布, 表明模型在一定程度上符合统计假设, 能够较为准确地反映因变量和自变量之间的内在联系。

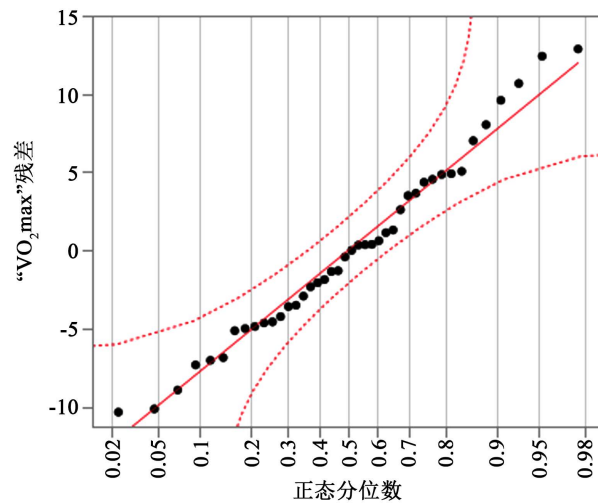


Figure 2. Male-Residual normal quantile plot

图 2. 男性 - 残差正态分位数图

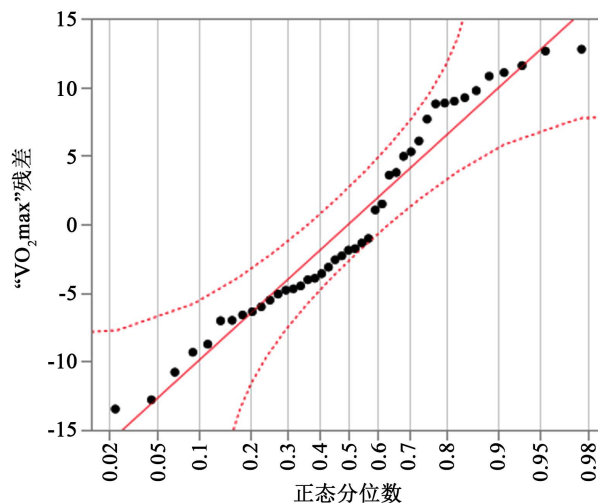


Figure 3. Female-residual normal quantile plot

图 3. 女性 - 残差正态分位数图

4. 讨论

随着“健康中国”这一重要概念的提出, 青年人的体质状况日益受到社会各界的广泛关注。心肺功

能的评定作为体质与健康评价中的关键重要内容,已然得到了各国的高度认同。许多国家对青年人心肺功能能力的下降进行了相关的报道。 $VO_2\max$ 作为心肺适能(CRF)的评估标准,具有显著的生理意义,能够准确地反应健康人群心肺功能的生理极限水平,是评价心肺耐力的金标准[8]。 $VO_2\max$ 还是协调心血管、呼吸与肌肉系统功能的关键生命体征,是整体身体健康状态的一个衡量指标,已然在大众健身领域、竞技运动范畴以及健康测评等诸多方面获得了广泛的应用[9] [10]。在了解青年人的心肺功能状态、制定科学合理的运动处方以及预防心血管疾病等方面都具有至关重要的作用。

作为反映人体心肺功能水平的有效指标,其测定方法也多种多样。目前,关于最大摄氧量的测量主要分直接测试和间接测试,许多研究报告表明,直接测量和间接测量都可以很好作为预测最大摄氧量的方法[2]。直接测量法是指在实验室环境中,借助呼吸气体测定仪等专业设备进行的测试。在测试过程中,受试者需要进行递增负荷的持续运动,直至达到其生理极限(即力竭)。在此状态下,设备会直接测量单位时间内(通常以分钟为单位)的最大摄氧量($VO_2\max$) [11]。

作为最大摄氧量测试的金标准,由于其对设备要求高、危险性大的原因,难以作为大众评价心肺耐力的方法进行推广。因此,在直接测试法的基础上,人们开发出多种 $VO_2\max$ 间接测试法,即在规定的负荷内通过心率、功率等指标,测量出 $VO_2\max$ [4],其特点是受试者无需进行极限负荷运动,而是通过执行一定方案的亚极量负荷运动测试,并利用运动过程中及运动后的心率数据,对 $VO_2\max$ 进行推测。目前,国内外广泛应用的间接测试方法包括多种形式。其中,台阶测试的代表性方法如 Astrand-Rhyming 列线图法;功率车测试则包括 YMCA 测试、PWC170 测试、FOX 测试法以及陈文培法等。此外,还有一系列基于走跑实验的测试方法,如 20 米折返跑、12 分钟跑步、1500 米跑步和 2000 米快走等。较于直接测试法,基于亚极限负荷方案的间接测试法具有许多优点,如测试成本更低、测试时间更短、操作更简便;由于受试者无需达到极限状态,这种方法的安全性也远高于极量测试。确定运动负荷的方法有多种。一种是通过量化单位时间内的功率输出,另一种是依据完成特定距离所需的时间进行估算,还有一种是通过评估在预定时间内可完成的距离。采用功率自行车作为实验工具,不仅能有效地呈现工作负荷与获取受试者的输出功率,其低学习效应和低测试成本的特性使其更具有优势。在安全性方面,使用功率自行车施加负荷时,由于受试者始终维持较为稳定的体位,从而能进一步降低运动过程中的风险。在使用功率自行车直接测定最大摄氧量($VO_2\max$)的相关研究中,Astrand 设计了一套适用于 20 至 65 岁受试者的方案。该方案设定了初始负荷为 50 W,并要求受试者进行 8 分钟的骑行。对于未达到极限的受试者,经过充分休息后,负荷将增加至 75 W,再进行 8 分钟的骑行。如果受试者仍未达到极限,将在 24 小时后进行 100 W 负荷的 8 分钟骑行,负荷将继续递增至 125 W,直到受试者达到力竭,以此测定其 $VO_2\max$ [12]。人们广泛关注的美国《ACSM 运动测试与运动处方指南》中,推荐使用功率自行车测定 $VO_2\max$ 的负荷方案是每 2 min 递增 25 W [11]。近年来,我国学者对功率车二级定量负荷推算 $VO_2\max$ 进行了探讨。郭倩[13]等人探讨了使用二级定量负荷功率车评估中老年人群心肺耐力的可行性,并初步定义了评估老年人群心肺耐力水平的参考等级。王众[14]等人则对 20~39 岁人群的功率车二级定量负荷方案推测最大摄氧量进行了设计与探讨。

本研究考虑到安全性、经济性、适用性、准确性等方面因素,选取二级负荷功率车方案进行间接测试。在通过递增负荷测试方案测量其最大摄氧量的基础上,对两种负荷实验进行科学性分析,通过比较心肺功能试验与二级功率试验的最大摄氧量,探讨两种不同试验方法评价心肺耐力的一致性,通过相关性分析、逐步回归等方法选出基础身体指标如身高、体重及运动过程中的心率为自变量指标,以性别为依据与最大摄氧量进行拟合,运用逐步回归建立功率车二次负荷实验评价 18~25 岁青年人心肺耐力水平的回归方程,并对方程进行检验。

$VO_2\max$ 是一个多变量决定的复杂指标,其测量和预测需要深入考虑众多影响因素。评估 $VO_2\max$

时, 需要综合考虑其他一些可能影响其测量结果的因素, 例如体质构成、年龄、性别以及锻炼习惯等。 $VO_2\max$ 与年龄具有相关性, 通常来说, 在成年以前, 青少年的最大摄氧量因为身体发育的原因, 随着年龄而逐渐增长, 并在 16~24 岁达到峰值, 此后与年龄呈现负相关。本研究选取的受试者年龄段位于 18~25 岁, 由于年龄跨度小, 且在这个年龄段, 大多数人的心肺功能都处于相对峰值, 年龄差异可能并不会导致显著的 $VO_2\max$ 差异, 因此在相关性分析与最大摄氧量不呈现显著相关, 不作为自变量纳入模型。性别是影响最大摄氧量的重要因素, 范超群[15]等人的研究结果表明, 男性的最大摄氧量普遍高于女性。在本实验中, 男性最大摄氧量显著大于女性。因此, 以性别为依据构建模型是合理的。

本研究在逐步回归统计分析中将身高、二级末心率等指标剔除模型方程, 最终选取对因变量贡献大的自变量: 体重、一级末心率、安静心率引入方程模型。分析各指标与最大摄氧量的相关性, 发现在两个方程中, 二级末心率与最大摄氧量的相关性较低, 且作为相关指标参与回归方程的构建时, 对回归方程的贡献度较低。在实验进行过程中, 受试者在进行二级功率车试验时, 一级负荷刚开始触发身体机能, 心率的变化可能更加敏感地反映出身体机能的初始状态和适应过程。而在二级负荷施加时, 身体机能相对于一级已经达到较稳定的状态, 身体机能的稳定性可能使得二级末心率的变化相对较小, 导致其对心肺耐力等关键指标的反映能力不如一级末心率。这可能导致一级末心率指标相较于二级末心率指标具有更高的价值。在本研究中, 也可能是二级末心率与其他的自变量(比如一级末心率)之间的相关性较高, 所以被剔除。安静心率指标在女性模型中被剔除而在男性模型中被纳入。在男性模型中, 安静心率与最大摄氧量呈负相关, 这与李闯涛[16]、马向阳[17]等人的研究结果一致。在本研究中, 男性的安静心率标准差大, 变异系数大, 女性的安静心率标准差小, 这代表本研究中的女性安静心率都非常接近, 因此在女性模型中安静心率很难对最大摄氧量产生显著的预测效果, 这可能导致了安静心率指标被排除。此外, 女性通常比男性有更高的身体脂肪比例, 这可能影响了心率与最大摄氧量之间的关系。身体脂肪比例高的人, 往往在进行相同强度的运动时, 心率会比脂肪比例低的人更高。这是因为脂肪组织对氧气的需求较低, 但是增加了身体的负重, 使得心脏需要更大的负荷来输送氧气到身体的各个部位, 这可能影响心肺功能从而影响最大摄氧量。有研究[18]显示, 体成分的差异会影响运动表现。此外, 李莉婕[19]将体脂率作为自变量建立最大摄氧量的预测模型, 其研究显示体脂率与最大摄氧量相关性较高。这可能是因为体脂率能够反映个体的身体成分, 体脂率较高的个体可能在运动时需要消耗更多的能量, 这可能限制了他们的最大摄氧量。以体脂率作为影响最大摄氧量的相关指标需要继续研究。同时说明, 利用心率指标预测最大摄氧量仍需进一步去探究。

本研究中所选取的特定年龄段为青年人, 模型对于其他年龄段人群的适用性可能会受到限制。不同年龄段的人群在身体生理特征、心肺功能发展阶段等方面存在差异, 因此该方程在推广至其他年龄段时可能会产生偏差。回归方程的建立主要依赖于身高、体重、心率等有限的自变量指标, 虽然这些指标在一定程度上能够反映心肺耐力水平, 但不能涵盖所有影响心肺耐力的因素。例如, 个体的遗传因素、生活习惯、长期的运动经历以及环境因素等都可能对心肺耐力产生重要影响, 而这些因素在当前的回归方程中未能得到充分考虑。本次研究采用的二级负荷功率车方案虽然在安全性、经济性、适用性等方面具有一定优势, 但该测试方法本身也存在局限性。功率车测试的结果可能会受到受试者对测试设备的熟悉程度、测试过程中的心理状态以及测试环境等因素的影响, 从而可能导致回归方程的预测结果出现一定的误差, 使得本次研究所建立的用于评价 18 至 25 岁青年人心肺耐力水平的回归方程存在一定的局限性。

5. 结论

本研究以性别为依据, 构建了两个专门针对青年人的预测模型, 旨在预测最大摄氧量($VO_2\max$)。这

两个模型均展现出良好的拟合度, 残差均满足正态分布, 表明它们可以有效地预测最大摄氧量, 模型所需的安静心率及一级末心率都可以通过简单的测试方法获得, 为青年人心肺耐力评估提供了一种简便、安全且易于普及的途径。然而由于样本量的限制, 模型的校准和验证尚不充分。因此, 推荐在未来的研究中扩大样本量, 以便对这些模型进行更深入的分析 and 验证。

基金项目

江苏省研究生科研与实践创新计划 KYCX24_2415。

参考文献

- [1] Shephard, R.J. (1967) Physiological Determinants of Cardiorespiratory Fitness. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **7**, 111-134.
- [2] Ross, R., Blair, S.N., Arena, R., Church, T.S., Després, J., Franklin, B.A., et al. (2016) Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*, **134**, e653-e699. <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000000461>
- [3] 邓树勋, 王健, 乔德才. 运动生理学(高等学校教材) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [4] Thompson, P.D., Arena, R., Riebe, D. and Pescatello, L.S. (2013) ACSM's New Preparticipation Health Screening Recommendations from ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, Ninth Edition. *Current Sports Medicine Reports*, **12**, 215-217. <https://doi.org/10.1249/jsr.0b013e31829a68cf>
- [5] 杨文兰. 运动心肺试验的安全性及注意事项[J]. 中国实用内科杂志, 2014, 34(S1): 27-29.
- [6] 冯展鹏, 姜岩, 冯雪松. 青年人峰值氧脉搏推算方程的建立[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(29): 4693-4698.
- [7] 米欢, 王正珍. 步行试验推测 40~49 岁人群最大摄氧量回归方程的研究[J]. 北京体育大学学报, 2012, 35(5): 50-54.
- [8] Coquart, J.B., Garcin, M., Parfitt, G., Tourny-Chollet, C. and Eston, R.G. (2014) Prediction of Maximal or Peak Oxygen Uptake from Ratings of Perceived Exertion. *Sports Medicine*, **44**, 563-578. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0139-5>
- [9] Guazzi, M., Arena, R., Halle, M., Piepoli, M.F., Myers, J. and Lavie, C.J. (2016) 2016 Focused Update: Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations. *European Heart Journal*, **39**, 1144-1161. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw180>
- [10] Molinari, C.A., Edwards, J. and Billat, V. (2020) Maximal Time Spent at VO_{2max} from Sprint to the Marathon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **17**, Article 9250. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249250>
- [11] Franklin, B.A., Whaley, M.H. and Howley, E.T. (2010) Acsm's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, Sixth Edition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **4**, 55.
- [12] Astrand, I., Astrand, P., Christensen, E. and Hedman, R. (2010) Intermittent Muscular Work. *Acta Physiologica*, **48**, 448-453. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1960.tb01879.x>
- [13] 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]: [硕士学位论文]. 北京: 北京体育大学, 2015.
- [14] 王众. 评价 20-39 岁人群心肺耐力的功率车二级定量负荷方案的研制[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京体育大学, 2016.
- [15] 范超群, 徐凯, 聂明剑, 等. 心肺耐力的科学测评:心肺运动试验与 6 min 二级台阶试验的比较[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(23): 3686-3691.
- [16] 李闯涛, 高晓嶙, 吴东哲, 等. 心率-摄氧量线性指标推测 18~25 岁大学生最大摄氧量的研究[J]. 中国体育科技, 2023, 59(10): 55-60.
- [17] 马向阳, 穆建玲, 宋红艳. 青年学生平静时心率与最大摄氧量的关系[J]. 卫生职业教育, 2008, 26(5): 155-156.
- [18] 张奔, 殷彰冶, 徐盛嘉, 等. 初始训练水平男性青年学员体成分与最大摄氧量之间的关系研究[J]. 体育科技文献通报, 2024, 32(5): 248-250, 270.
- [19] 李莉婕. 台阶试验评价大学生最大有氧能力方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京体育大学, 2012.