

# 说话测试作为血流限制运动强度评价指标的可行性

https://doi.org/10.12307/2022.217 顾正秋<sup>1</sup>, 徐飞<sup>2</sup>, 魏佳<sup>1</sup>, 邹永帝<sup>1</sup>, 王晓路<sup>1</sup>, 黎涌明<sup>1</sup>

投稿日期: 2021-01-04

送审日期: 2021-01-06

采用日期: 2021-01-22

在线日期: 2021-07-20

中图分类号:

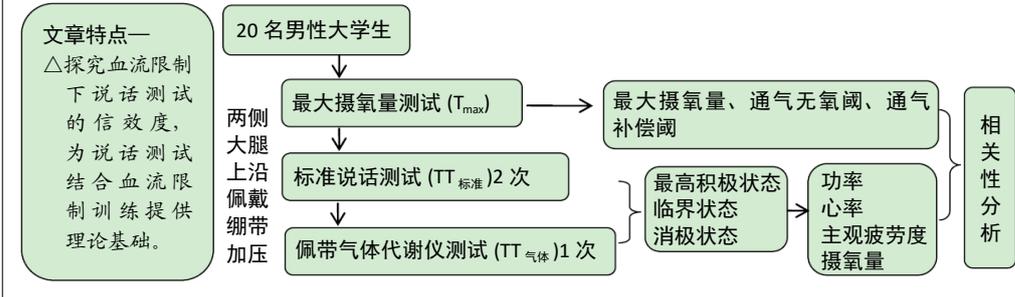
R459.9; R496; R318

文章编号:

2095-4344(2022)08-01154-06

文献标识码: B

## 文章快速阅读:



## 文题释义:

**血流限制训练(BFRT):**是指在运动期间通过特殊加压装置(一般为气动袖带或弹性绷带)对肢体(上肢和/或下肢最近端)进行外部加压,使静脉血流闭塞的同时部分阻塞动脉血流以提高训练效果的训练方法。

**通气补偿阈:**是指递增负荷运动中,当通气当量急剧上升同时伴随摄氧量和二氧化碳输出量快速增加时对应的强度。

**最大乳酸稳态:**是指在不引起血乳酸浓度持续增加前提下,一段时间内所能维持的最高负荷。

## 摘要

**背景:**血流限制结合有氧运动具有潜在的训练益处,说话测试是运动处方强度制定的便捷选择,能否将说话测试应用于血流限制有氧运动首先取决于血流限制下说话测试的信效度。

**目的:**探究血流限制下说话测试的信效度。

**方法:**对20名男性大学生进行1次最大摄氧量测试( $T_{max}$ )和3次说话测试。3次说话测试运动方案相同,其中1次全程佩带气体代谢仪测试( $TT_{气体}$ ),其余2次为标准说话测试。最大摄氧量测试可测得最大摄氧量( $VO_{2max}$ )、通气无氧阈和通气补偿阈(RCT),标准说话测试可测得最高积极状态、临界状态和消极状态对应的心率和主观疲劳度,佩带气体代谢仪测试可测得标准说话测试运动方案中各级对应的摄氧量( $VO_2$ )、心率和主观疲劳度。4次测试均全程在两侧大腿上沿佩戴绷带加压(40%动脉闭塞压)。

**结果与结论:**①2次标准说话测试测得的最高积极状态和消极状态功率的信度都为高;最高积极状态、临界状态和消极状态对应心率的信度为高到非常高;但最高积极状态、临界状态和消极状态对应主观疲劳度的信度为一般到中等;②最高积极状态对应的摄氧量、心率和主观疲劳度与通气无氧阈强度相关性为高到非常高( $R=0.63-0.84, P < 0.05$ );消极状态对应的摄氧量、心率和主观疲劳度与通气无氧阈强度相关性分别为中等( $R=0.36, P > 0.05$ )、非常高( $R=0.80, P < 0.01$ )和中等( $R=0.52, P < 0.05$ );③最高积极状态摄氧量和主观疲劳度、临界状态摄氧量、心率和主观疲劳度与通气无氧阈强度对应值比较差异均无显著意义( $P > 0.005$ );消极状态摄氧量和心率与通气补偿阈强度对应值比较差异均无显著意义( $P > 0.005$ );④结果说明,40%动脉闭塞压血流限制下有氧运动中的说话测试具有高的重测信度和中到高到高的效度,能够有效评价通气无氧阈运动强度,但不能准确评价通气补偿阈强度。说话测试可作为血流限制有氧运动过程中监控低强度的一种便捷和可靠选择。

**关键词:**说话测试;血流限制;运动强度;通气无氧阈;通气补偿阈

## Exploratory study on talk test as a measure of intensity in blood flow restriction training

Gu Zhengqiu<sup>1</sup>, Xu Fei<sup>2</sup>, Wei Jia<sup>1</sup>, Zou Yongdi<sup>1</sup>, Wang Xiaolu<sup>1</sup>, Li Yongming<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shanghai Institute of Physical Education, Shanghai 200438, China; <sup>2</sup>Hangzhou Normal University, Hangzhou 311122, Zhejiang Province, China

Gu Zhengqiu, Master candidate, Shanghai Institute of Physical Education, Shanghai 200438, China

**Corresponding author:** Li Yongming, MD, Professor, Shanghai Institute of Physical Education, Shanghai 200438, China

## Abstract

**BACKGROUND:** Blood flow restriction combined with aerobic exercise has potential training benefits, and talk test is a convenient option for prescribing the exercise intensity. Whether the talk test can be applied to the blood flow restricted aerobic exercise depends on the reliability and validity of the talk test under blood flow restriction.

**OBJECTIVE:** To explore the reliability and validity of talk test with blood flow restriction.

**METHODS:** Twenty collegiate males participated in one maximum oxygen uptake test ( $T_{max}$ ) and three talk tests. The protocols for the three talk tests were the same, with the one equipped with a gas metabolizer ( $TT_{gas}$ ) throughout the whole test process, and the other two following the standard procedure ( $TT_{standard}$ ). In  $T_{max}$ , the maximum oxygen uptake, ventilatory threshold and respiratory compensation threshold were examined. In  $TT_{standard}$ , the corresponding heart rate and rating

<sup>1</sup>上海体育学院,上海市 200438; <sup>2</sup>杭州师范大学,浙江省杭州市 311122

第一作者:顾正秋,男,1995年生,江苏省盐城市人,汉族,上海体育学院在读硕士,主要从事训练负荷监控、血流限制训练研究。

通讯作者:黎涌明,博士,教授,上海体育学院,上海市 200438

https://orcid.org/0000-0003-3651-7880 (顾正秋)

基金资助:国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项课题(2018FF0300901),项目负责人:黎涌明

引用本文:顾正秋,徐飞,魏佳,邹永帝,王晓路,黎涌明.说话测试作为血流限制运动强度评价指标的可行性[J].中国组织工程研究,2022,26(8):1154-1159.



of perceived exertion of the last positive stage, equivocal state and negative stage were examined. In TT-gas, the corresponding oxygen uptake, heart rate and rating of perceived exertion of all steps were examined. All the four tests were fully pressurized along the bandages on both thighs (40% arterial occlusion pressure).

**RESULTS AND CONCLUSION:** The reliability of corresponding power of the last positive stage and negative stage measured by two TT-standard was high. The reliability of corresponding heart rate of the last positive stage, equivocal state and negative stage was high to very high. However, the reliability of corresponding rating of perceived exertion of the last positive stage, equivocal state and negative stage was low to medium. The correlation between corresponding oxygen uptake, heart rate and rating of perceived exertion of the last positive stage and ventilatory threshold was medium to high ( $R=0.47-0.63$ ,  $P < 0.05$ ). The correlation between corresponding oxygen uptake, heart rate and rating of perceived exertion of the equivocal state and ventilatory threshold is high to very high ( $R=0.63-0.84$ ,  $P < 0.05$ ). The correlations between corresponding oxygen uptake, heart rate and rating of perceived exertion of the negative stage and ventilatory threshold were medium ( $R=0.36$ ,  $P > 0.05$ ), very high ( $R=0.80$ ,  $P < 0.01$ ) and medium ( $R=0.52$ ,  $P < 0.05$ ), respectively. Except for corresponding heart rate of the last positive stage, there was no significant difference between corresponding oxygen uptake, heart rate and rating of perceived exertion of the last positive stage and equivocal state and ventilatory threshold values ( $P > 0.005$ ). There was no significant difference between corresponding oxygen uptake and heart rate of the negative stage and respiratory compensation threshold ( $P > 0.005$ ). To conclude, the talk test in aerobic exercise with blood flow restriction under 40% arterial occlusion pressure has high retest reliability and medium to high validity, which can effectively evaluate the intensity of ventilatory threshold, but cannot effectively evaluate the intensity of respiratory compensation threshold. Talk test can be a convenient and reliable option for monitoring low intensity during blood flow restricted aerobic exercise.

**Key words:** talk test; blood flow restriction; exercise intensity; ventilation threshold; respiratory compensation threshold

**Funding:** the National Key Research and Development Program of China, No. 2018FF0300901 (to LYM)

**How to cite this article:** GU ZQ, XU F, WEI J, ZOU YD, WANG XL, LI YM. Exploratory study on talk test as a measure of intensity in blood flow restriction training. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2022;26(8):1154-1159.

## 0 引言 Introduction

血流限制训练是指在运动期间通过特殊加压装置(一般为气动袖带或弹性绷带)对肢体(上肢和/或下肢最近端)进行外部加压<sup>[1]</sup>,使静脉血流闭塞的同时部分阻塞动脉血流以提高训练效果的训练方法<sup>[2]</sup>。血流限制训练单独使用或结合低强度的力量训练可有效预防肌肉萎缩<sup>[3]</sup>,提高肌肉质量和力量<sup>[4-6]</sup>;血流限制训练结合低强度有氧运动同样具有积极效果<sup>[7-10]</sup>,并在促进中老年人心肺耐力方面有着广阔的应用前景<sup>[11]</sup>。

有氧运动是血流限制训练的一种运动方式。然而,现有血流限制有氧运动中运动强度的监控指标主要是摄氧量( $VO_2$ )类的相关指标(如 $\%VO_{2R}$ 和 $\%VO_{2max}$ <sup>[7-8, 12]</sup>),尽管这些指标有利于实现实验室精准控制,却不利于在健身人群中大范围推广应用,后者需要一个更为便捷和有效的监控指标或方法。说话测试(talk test, TT)是根据人体运动中说话舒适程度或单次呼吸的最大计数值来判断运动强度的方法<sup>[13]</sup>,是运动处方强度制定的便捷选择<sup>[14]</sup>,且在健康人群<sup>[15]</sup>、慢性病患者和部分项目运动员中具有高的重测信度和测试者间信度<sup>[16-19]</sup>,以及高至非常高的效度[能够准确预测通气无氧阈(ventilatory threshold, VT)和通气补偿阈(respiratory compensation threshold, RCT)]。

能否将说话测试用于血流限制有氧运动中,成为广大健身人群监控运动强度的一种便捷和有效选择呢?对此问题的回答首先取决于血流限制下说话测试的信效度。但目前可检索到的中英文文献中,未见有关血流限制下说话测试的信效度研究。鉴于此,此次研究旨在探究说话测试在血流限制有氧运动中评价运动强度的信效度,假设说话测试可以有效评价血流限制有氧运动中的运动强度,同时有高的重测信度。

## 1 对象和方法 Subjects and methods

**1.1 设计** 血流限制条件下的说话测试,信度及效度检验及相关性评价,信度检验用Kolmogorov-Smirnov检验数据正态分布加配对样本 $t$ 检验;效度检验符合正态分布的指标用重复测量方差分析加Bonferroni配对法事后检验;相关状态指标的相关性用Pearson分析,相关状态指标的比较采用重复测量方差分析。

**1.2 时间及地点** 试验于2019年5-7月在上海体育学院体能中心实验室完成。

**1.3 对象** 20名体育教育专业健康男性大学生,年龄(24.7±2.3)岁,身高(176.3±7.0)cm,体质量(74.8±10.5)kg。

**纳入标准:** ①男性大学生;②年龄24岁左右;③自愿参与试验。

**排除标准:** 在填写PAR-Q问卷后<sup>[20]</sup>,排除6个月内有关损伤、酗酒、吸烟、高血压(>140/90 mmHg)、心脏病和血栓风险的受试者。

受试者知晓此次研究的目的、测试流程、测试要求及存在的风险,并签署知情同意书。

**1.4 测试设备及仪器** 功率自行车(Excalibur Sport, Lode, The Netherlands);心率带(Polar Accurex Plus, Polar Electro, Finland);便携式气体代谢仪(K4b<sup>2</sup>, Cosmed, Italy);血流限制装置(Kaatsu-Master, Kaatsu, Japan)。

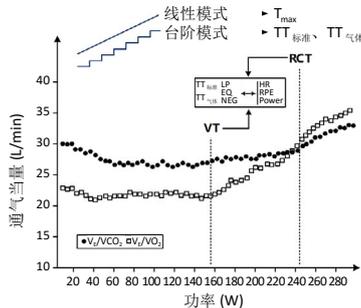
### 1.5 方法

**1.5.1 测试流程和测试指标** 正式试验前,测量受试者身高、体质量和腿围。受试者依次进行4次测试,包括1次最大摄氧量测试( $T_{max}$ )和3次说话测试。3次说话测试的运动方案相同,前2次为标准说话测试(TT<sub>标准</sub>),第3次为佩戴气体代谢分析仪进行说话测试(TT<sub>气体</sub>)。TT<sub>max</sub>与其他测试间隔≤48 h,TT<sub>标准</sub>与TT<sub>气体</sub>测试之间每次间隔≥24 h。测试时间为每天14:00-17:00和18:00-20:00。受试者每次测试前24 h内无剧烈运动,每次测试前2 h内禁食但可正常补水。

**1.5.2 血流限制条件下的最大摄氧量测试( $T_{max}$ )** 受试者根据自身情况调节座椅高度和车把角度,确保以舒适的姿势骑行。随后在功率自行车上以100 W、70-90 r/min踏频热身5 min,并在实验人员带领下完成动态拉伸。热身后,佩戴心率带、便携式气体代谢仪和血流限制装置。血流限制装置佩戴在两侧大腿根部,压力为40%动脉闭塞压。动脉闭塞压根据Loenneke建模后推荐值计算得出<sup>[21]</sup>,40%动脉闭塞压=腿围对应100%动脉闭塞压值×40%。TT<sub>max</sub>测试采用liner模式:起始负荷为60 W、70-90 r/min,持续1 min,第2分钟起,以25 W/min负荷递增,级间无间歇,每分钟结束即刻记录受试者心率和主观疲劳度值,当出现以下3种情况中的任意

一种则停止测试：①受试者感觉自己无法继续骑行；②踏频不能维持在 70 r/min 及以上；③出现由测试带来的不良症状。测试结束后，受试者以舒适踏频放松 5 min。测试过程中，受试者达到最大疲劳程度的标准包括：呼吸商 >1.1，VO<sub>2</sub> 平台 ≤ 150 mL/min，主观感觉疲劳程度 (ratings of perceived exertion, RPE，简称主观疲劳度) ≥ 17。VO<sub>2max</sub> 取值判定标准为连续 30 s 内 VO<sub>2</sub> 最高平均值<sup>[17]</sup>。

气体代谢分析时取每次呼吸的数据 (breath×breath)，通气无氧阈为 VE/VO<sub>2</sub> 首次出现增加的拐点，见图 1。



图注：V<sub>E</sub> 为通气当量；VO<sub>2</sub>：摄氧量；VCO<sub>2</sub>：二氧化碳排出量；VT：通气无氧阈；RCT：通气补偿阈；LP：最高积极状态；EQ：临界状态；NEG：消极状态；HR：心率；RPE：主观疲劳度；Power：功率

图 1 | 通气阈、通气补偿阈判断示意图

Figure 1 | Schematic diagram of ventilatory threshold and respiratory compensation threshold

通气补偿阈为 VE/VO<sub>2</sub> 出现增加后，VE/VCO<sub>2</sub> 开始出现增加的拐点<sup>[22-23]</sup>。通气无氧阈、通气补偿阈对应的功率和心率为通气无氧阈、通气补偿阈对应时间 ±5 s 的平均值，主观疲劳度为该级负荷结束即刻值，以此确立强度判断指标通气无氧阈、通气补偿阈对应的功率、心率、主观疲劳度值。

**1.5.3 标准说话测试 (TT<sub>标准</sub>)** TT<sub>标准</sub> 朗读或背诵的中文材料为中华人民共和国宪法第二章第三十三条内容：“中华人民共和国公民在法律面前一律平等，国家尊重和保障人权，任何公民享有宪法和法律规定的权力，同时必须履行宪法规定的义务”<sup>[24]</sup>。TT<sub>标准</sub> 的热身方案与 T<sub>max</sub> 相同，热身后佩戴心率带和血流限制装置。TT<sub>标准</sub> 测试采用 Step 模式，以 60 W、70-90 r/min 为起始强度，30 W/2 min 逐级递增，级间无间歇。受试者每级负荷结束前 30 s 在实验人员提示下，响亮流畅地背诵或朗读置于受试者前下方 30 cm 处的 TT<sub>标准</sub> 的材料。背诵或朗读完毕后，实验人员询问受试者是否可以舒适说话，受试者回答选项包括“可以”“不完全可以”和“不可以”3 种。当受试者最后一次回答“可以”时，该级所对应的状态为“最高积极状态 (last positive stage, LP)”；当首次回答“不完全可以”时，即最高积极状态下一级状态为“临界状态 (equivocal stage, EQ)”；当受试者首次回答“不可以”时，该级则对应“消极状态 (negative stage, NEG)”。消极状态出现时，该级结束则停止测试。每级结束前即刻询问受试者主观疲劳度，每级结束前即刻的心率表示为该级对应心率。该测试重复 2 次，以评价说话测试的重测信度 (ICC)。

**1.5.4 佩戴气体代谢分析仪的说话测试 (TT<sub>气体</sub>)** TT<sub>气体</sub> 与 TT<sub>标准</sub> 方案相同。受试者除佩戴心率带和血流限制装置外，还需佩戴便携式气体代谢仪，以记录每级负荷对应的 VO<sub>2</sub>。当完成 TT<sub>标准</sub> 测得的消极状态对应负荷后停止运动，并放松骑行

5 min。取每级负荷最后 30 s 的平均 VO<sub>2</sub> 为该负荷下的 VO<sub>2</sub> 值。

**1.6 主要观察指标** ①最高积极状态、临界状态和消极状态下的功率、心率和主观疲劳度；②3 种状态下的功率、心率和主观疲劳度与通气无氧阈、通气补偿阈强度对应值的相关性分析及比较。

**1.7 统计学分析** 用 SPSS 19.0 进行分析，数据以  $\bar{x} \pm s$  呈现。信度检验方面，用 Kolmogorov-Smirnov 检验数据正态分布，采用配对样本 t 检验比较最高积极状态、临界状态和消极状态同一状态下的功率、心率和主观疲劳度，用变异系数 (CV) 评价指标离散程度，可靠性分析中的信度检验用组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 表示，ICC 范围 0.21-0.40, 0.41-0.60, 0.61-0.80, 0.81-1.00 分别对应信度一般、中等、高和非常高<sup>[25]</sup>。效度检验方面，用 Kolmogorov-Smirnov 检验数据正态分布，符合正态分布的指标用重复测量方差分析进行统计，用 Bonferroni 配对法进行事后检验，显著性水平  $P < (0.05 / \text{对比次数})$ ；不符合正态分布的指标用 Friedman 非参数检验进行分析。相关状态 (最高积极状态 vs. 通气无氧阈，临界状态 vs. 通气无氧阈，消极状态 vs. 通气补偿阈) 对应的强度指标 (VO<sub>2</sub>、心率和主观疲劳度) 之间的相关性用 Pearson 相关 (R 值) 进行评价，R 值范围 0.31-0.50, 0.51-0.70, 0.71-0.90, 0.91-0.99 分别对应相关性中等、高、非常高和接近完美<sup>[26]</sup>；相关状态下强度指标的比较采用重复测量方差分析，显著性水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果 Results

**2.1 参与者数量分析** 20 名受试者都完成了测试，全部进入结果分析。

**2.2 说话测试相关强度评价指标的重测信度** 20 名受试者测得的 VO<sub>2max</sub> 为 (42.2±5.6) mL/(kg·min)。2 次 TT<sub>标准</sub> 测得的最高积极状态和消极状态对应功率的信度都为高 (ICC > 0.7)；2 次最高积极状态对应功率分别 (93.0±14.1) W 和 (96.0±20.9) W (ICC=0.702, CV=21%)；2 次消极状态对应功率分别为 (163.5±22.7) W 和 (160.5±22.4) W (ICC=0.778, CV=14%)。2 次 TT<sub>标准</sub> 测得最高积极状态、临界状态和消极状态下心率的 ICC 为高到非常高 (ICC=0.79-0.85, CV=8%-16%)，而 3 种状态下主观疲劳度对应的 ICC 为一般到中等 (ICC=0.21-0.60, CV=12%-16%)，见表 1。

表 1 | 两次说话测试最高积极状态、临界状态和消极状态对应功率、心率和主观疲劳度的信度

Table 1 | Reliability of corresponding power, heart rate, and rating of perceived exertion of the last positive stage, equivocal state and negative stage in the two talk tests

项目	ICC(95%CI)	标准误	标准误 (%)	变异系数 (%)
最高积极状态 - 功率	0.70(0.28-0.88) <sup>b</sup>	3.14	3.32	21
消极状态 - 功率	0.78(0.44-0.91) <sup>b</sup>	3.53	2.17	14
最高积极状态 - 心率	0.83(0.57-0.93) <sup>b</sup>	1.61	1.42	9
临界状态 - 心率	0.79(0.48-0.92) <sup>b</sup>	1.89	1.53	10
消极状态 - 心率	0.85(0.62-0.94) <sup>b</sup>	1.80	1.29	8
最高积极状态 - 主观疲劳度	0.60(-0.1-0.84) <sup>a</sup>	0.25	2.49	16
临界状态 - 主观疲劳度	0.21(-0.99-0.69)	0.26	2.02	13
消极状态 - 主观疲劳度	0.42(-0.47-0.77)	0.30	1.89	12

表注：<sup>a</sup>P < 0.05, <sup>b</sup>P < 0.01

**2.3 说话测试评价血流限制运动强度指标的效度** TT<sub>气体/标准</sub>测得的最高积极状态、临界状态、消极状态的强度指标和T<sub>max</sub>的通气无氧阈和通气补偿阈对应强度指标的相关性见图2。最高积极状态与T<sub>max</sub>对应各强度指标的相关性为中等到高相关( $R=0.48-0.63, P < 0.05$ )；临界状态与T<sub>max</sub>对应各强度指标为高到非常高相关( $R=0.63-0.84, P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ )；消极状态与T<sub>max</sub>对应各强度指标的相关性差别较大，其中心率( $R=0.80, P < 0.01$ )和主观疲劳度( $R=0.52, P < 0.05$ )的相关性高，VO<sub>2</sub>的相关性低且差异无显著性意义( $R=0.36, P > 0.05$ )。

**2.4 血流限制条件下说话测试不同状态对应强度判断指标的比较** TT<sub>气体/标准</sub>三级状态(最高积极状态、临界状态、消极状态)和T<sub>max</sub>测试的通气无氧阈、通气补偿阈对应强度判断指标的结果见图3。总体来看，最高积极状态、临界状态与通气无氧阈对应的强度指标较为接近(因采用Bonferroni配对法进行10次两两对比，显著性水平取 $P \leq 0.005$ )。最高积极状态与通气无氧阈的VO<sub>2</sub>差异无显著性意义[(24.6±3.1) mL/(kg·min) vs. (26.2±3.5) mL/(kg·min),  $P > 0.005$ ]；临界状态与通气无氧阈的主观疲劳度差异无显著性意义[(13.0±1.7)分 vs. (12.1±2.2)分,  $P > 0.005$ ]。最高积极状态、

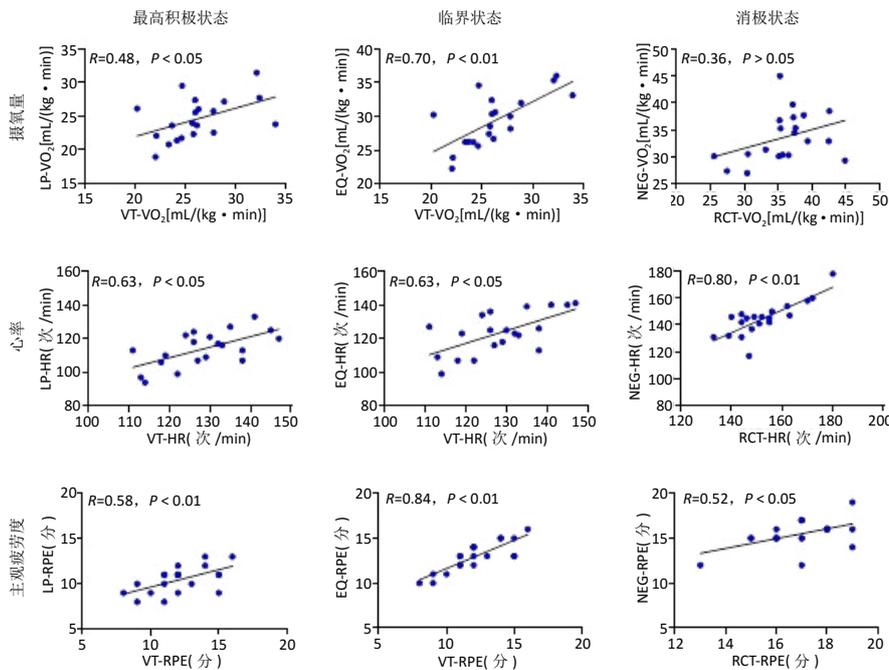
临界状态的心率均低于通气无氧阈对应值，但临界状态与通气无氧阈对应心率差异无显著性意义[(123.5±12.4)次/min vs. (128.4±10.4)次/min,  $P > 0.005$ ]。

消极状态和通气补偿阈对应的VO<sub>2</sub>和心率差异均无显著性意义[(35.9±4.8) mL/(kg·min) vs. (33.7±4.6) mL/(kg·min),  $P > 0.005$ ; (144.8±12.7)次/min vs. (152.5±12.0)次/min,  $P > 0.005$ ]，消极状态的主观疲劳度显著低于通气补偿阈的对应值[(16.9±1.5)分 vs. (15.5±1.6)分,  $P < 0.005$ ]。

**2.5 不良事件** 所有受试者测试过程中均未发生运动损伤及因肢体加压而发生的肢体损伤等不良反应。

### 3 讨论 Discussion

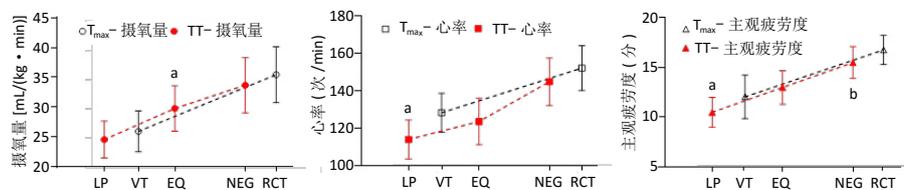
血流限制训练有助于增强肌肉适能、提高心肺耐力，因其高效和安全性而具有很好的应用前景<sup>[2-3]</sup>。说话测试是运动处方强度制定的便捷选择，在不同人群中有较为广泛的应用<sup>[13]</sup>。此次研究首次探索了说话测试作为血流限制运动强度评价指标的可行性。重测信度结果显示，说话测试最高积极状态、临界状态对应的功率(ICC分别为0.70, 0.78)，最高积极状态、临界状态和消极状态对应的心率(ICC=0.79-0.85)的组内相关系数较高，说明说话测试对应的生理强度指标有可接受的重测信度，其不同状态分级有较高的稳定性。这与前人说话测试信度结果一致，NIELSON等<sup>[27]</sup>发现，测试人员和受试者在无血流限制下的说话测试结果具有很高的重测信度，说话测试对应功率的ICC分别为0.81和0.88。此外，JEANS等<sup>[28]</sup>和BALLWAG等<sup>[29]</sup>发现，健康成年人说话测试对应的速度、功率和心率也有相似的重测信度(ICC为0.81-0.89)。但此次研究说话测试对应的生理心理指标主观疲劳度的重测信度(ICC分别为0.60、0.21和0.42)低于功率、心率指标，也低于精英自行车运动员的研究结果(ICC=0.87)<sup>[30]</sup>。这很可能与血流限制条件以及受试者运动水平有关，因为说话测试与主观疲劳度类似，都通过主观感受评价运动强度。研究发现运动水平低的受试者能有效区分不适感<sup>[31]</sup>，而高水平运



图注：VT为通气无氧阈；VO<sub>2</sub>为摄氧量；RCT为通气补偿阈；HR为心率；RPE为主观疲劳度；LP为最高积极状态；EQ为临界状态；NEG为消极状态。图中一位受试者VO<sub>2</sub>偏离较大可能对R值有较大影响，假设将该受试者VO<sub>2</sub>剔除( $n=19$ )，消极状态-VO<sub>2</sub> vs. RCT-VO<sub>2</sub>的相关性 $R=0.47, P < 0.05$

图2 | 说话测试不同状态与通气无氧阈、通气补偿阈的相关性

Figure 2 | Correlation between different states of the talk test and ventilatory threshold or respiratory compensation threshold



图注：T<sub>max</sub>为最大摄氧量测试；LP为最高积极状态；VT为通气无氧阈；EQ为临界状态；NEG为消极状态；RCT为通气补偿阈；TT为说话测试。最高积极状态、临界状态分别与通气无氧阈比较，<sup>a</sup> $P < 0.005$ ；消极状态与通气补偿阈比较，<sup>b</sup> $P < 0.005$

图3 | 说话测试不同状态对应强度指标的比较

Figure 3 | Comparison of corresponding intensity indicators in different states of the talk test

动员不适感耐受性更强<sup>[32]</sup>。所以血流限制刺激对受试者造成的不适感可能是血流限制条件下说话测试的主观疲劳度重测信度相对较低的主要原因。

此次研究发现,血流限制条件下说话测试最高积极状态、临界状态与 $T_{max}$ 对应各强度指标分别达到中高度( $R=0.48-0.63, P < 0.05$ )和高度( $R=0.63-0.84, P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ )相关,提示除便捷性的优势以外,说话测试最高积极状态、临界状态能够有效评价通气无氧阈运动强度。因为此次研究是首次探索说话测试作为血流限制性运动强度评价指标的可行性,暂无相似研究结果可供参考,但说话测试在不同人群中的研究结果也能够间接支持此次研究结果。对小样本健康成年人的研究发现,说话测试最高积极状态和临界状态与传统的强度判断指标( $VO_2$ 、心率和速度)之间呈现高度正相关( $R=0.71-0.84$ )<sup>[28]</sup>。MARROYO等<sup>[30]</sup>对职业自行车运动员的研究中同样发现,说话测试临界状态与传统生理指标(心率、主观疲劳度和功率)呈高度正相关( $R=0.79-0.86$ ),表明血流限制条件下说话测试最高积极状态、临界状态有预测通气无氧阈的潜力。

虽然此次研究证实,血流限制条件下说话测试不同状态与强度指标之间有可接受的相关关系,但相关关系某种程度上只能说明数量的方向一致性,尚难以明确最高积极状态、临界状态和消极状态的分级状态与生理阈值之间对应指标的准确性。所以,作者考察了说话测试不同状态与生理阈值指标之间的差异,以确认前文研究所发现一致性关系(相关关系),并验证说话测试作为血流限制运动强度判定指标的稳定性 and 有效性问题。此次研究发现,最高积极状态、临界状态对应的强度指标 $VO_2$ 、主观疲劳度能够覆盖通气无氧阈对应的强度指标,此结果与健康人群<sup>[33]</sup>、慢性疾病患者和运动员的研究结果吻合<sup>[16-17]</sup>。上述研究都发现,最高积极状态和临界状态能够覆盖通气无氧阈强度(即通气无氧阈强度位于最高积极状态-临界状态之间),且通气无氧阈对应强度指标与临界状态对应强度指标之间无显著性差异。此次研究中,除临界的心率略低于通气无氧阈外( $P > 0.05$ ),其余指标都符合这一特征。已有研究证实, $VO_2$ 的高低可以反映出运动强度,而运动中说话不会导致心率显著增加<sup>[34]</sup>,但此次研究中血流限制下说话测试的心率低于 $T_{max}$ 对应水平,推测可能与血流限制、受试者测试状态和情绪等因素的影响有关。综上,最高积极状态对应的 $VO_2$ 与通气无氧阈无显著性差异,结合最高积极状态与强度指标中高度相关的证据( $R=0.48-0.63, P < 0.05$ ),说明最高积极状态能够有效评价通气无氧阈( $VO_2$ )强度;而临界状态对应的心率和主观疲劳度与通气无氧阈无显著性差异,结合临界状态与强度指标高度相关的证据( $R=0.63-0.84, P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ ),说明临界状态能够有效评价通气无氧阈(心率和主观疲劳度)强度。

消极状态与 $T_{max}$ 对应各强度指标的相关性差别较大且存在不一致的结果,其中心率( $R=0.80, P < 0.01$ )和主观疲劳度( $R=0.52, P < 0.05$ )的相关性高, $VO_2$ 的相关性低且无统计学意义( $R=0.36, P > 0.05$ )。但考虑到1位受试者 $VO_2$ 偏离

较大,可能对 $R$ 值有较大影响,如果剔除该受试者 $VO_2$ 数据后( $n=19$ ),消极状态对应的 $VO_2$ 与通气补偿阈呈中度正相关( $R=0.47, P < 0.05$ )。比较消极状态与通气补偿阈对应强度指标发现,也存在不一致的结果,虽然消极状态对应 $VO_2$ 、心率和主观疲劳度均低于通气补偿阈的对应值,但消极状态与通气补偿阈对应的 $VO_2$ 和心率无显著性差异,而主观疲劳度显著低于通气补偿阈的对应值。这与以往非血流限制条件下说话测试的研究结果不同。RECALDE等<sup>[35]</sup>发现,有训练经历者消极状态对应的 $VO_2$ 、心率和主观疲劳度均略高于通气补偿阈的对应值,且均无显著性差异。而精英自行车运动员消极状态对应 $VO_2$ 和血乳酸略高于通气补偿阈的对应值,心率和主观疲劳度略低于通气补偿阈的对应值,但均无显著性差异<sup>[30]</sup>。这表明,血流限制可能导致受试者心率和疲劳感知出现“偏移”现象,使说话测试的消极状态提前出现。

虽然以往非血流限制条件下说话测试的研究结果显示,消极状态能够评价通气补偿阈强度<sup>[30, 35]</sup>。但在血流限制条件下,消极状态与强度指标的相关性和强度指标对应值存在不一致的现象。单个数据的偏离有可能影响或掩盖了消极状态与通气补偿阈对应 $VO_2$ 的真实相关,虽然 $VO_2$ 是判断运动强度的可靠指标,且消极状态对应的 $VO_2$ 与通气补偿阈无显著性差异,但心率和主观疲劳度对应值有显著性差异。所以,虽然此次研究对强度对应指标( $VO_2$ 、心率、主观疲劳度)显著差异的临界值判断方面采用了更严格的标准( $P \leq 0.005$ ),结果也倾向于支持非血流限制条件下说话测试消极状态能够评价通气补偿阈强度的结论,但考虑到上述不一致现象对真实结果可能存在的影响,更为谨慎地认为,目前尚不能确认血流限制条件下,消极状态能够有效评价通气补偿阈强度。所以将来需要扩大样本量,并在不同人群中进行重复验证,才能够得出确切结论。

在无血流限制条件下,当运动强度接近通气无氧阈强度时,机体需氧量和 $CO_2$ 排出量出现缓慢增加,但由于受试者说话时要控制语速,这会导致呼吸频率下降和每分通气量受限,进而使 $VO_2$ 下降和 $CO_2$ 分压升高,造成人体主观舒适程度下降<sup>[36]</sup>。当到达通气无氧阈强度时,人体实际 $VO_2$ 不能满足维持既定运动强度并快速流畅说话时的需氧量,因此通气无氧阈出现在临界状态附近。随着运动强度增加达到通气补偿阈强度时,机体需氧量的急剧升高、呼吸频率显著增加,难以保证在维持运动强度的同时还能够舒适流畅地说话,所以导致出现消极状态<sup>[36]</sup>。血流限制主要通过通过对肢体加压以限制动脉血流入、增加静脉血聚集,使肢体处于相对缺血和缺氧的状态<sup>[37]</sup>。盛菁菁等<sup>[9]</sup>探究了不同压力的血流限制对有氧能力的影响,发现当血流限制压达到160 mmHg时,受试者跑速和通气无氧阈对应的 $VO_2$ 显著下降。在血流限制状态下,限制血流的加压装置使运动过程中肌肉收缩的阻力增大,造成舒适程度下降。虽然在通气无氧阈强度时表现并不明显,但随着运动强度提高,很可能在上述制约因素的综合影响下,导致虽然未到达通气补偿阈强度,但已经不能舒适说话(消极状态先于通气补偿阈强度出现)。

此次研究首次探索了说话测试作为血流限制运动强度评价指标的可行性,首次采用中文版的说话测试材料开展研究,因为这是推广中文版说话测试应用的必要条件,但中文材料的发音、字词等都有别于英文材料,所以此次研究对说话时长进行了控制,以便于标准化控制。此次研究探索性地将血流限制条件设置为40%动脉闭塞压(40%动脉闭塞压),40%动脉闭塞压是血流限制压力维持稳定状态的最小有效压力<sup>[3]</sup>,因为血流限制压过高,有氧运动可能无法维持稳定状态,VO<sub>2</sub>和跑速显著下降<sup>[10]</sup>。此外,此次探索研究的对象为单一性别(男性,n=20),所以此次结果,需要在改变血流限制条件,扩充、对比和甄选中文版说话测试的适宜材料,扩大样本量的基础上继续完善,并在女性受试者中加以验证,才更有助于中文版说话测试的推广和有效应用。

**结论:**40%动脉闭塞压血流限制下有氧运动中的说话测试具有高的重测信度和中等到高的效度,能够有效评价通气无氧阈运动强度,但不能准确评价通气补偿阈运动强度。说话测试可作为血流限制有氧运动过程中监控低强度的一种便捷和可靠选择,未来研究需要进一步探究以此方式监控强度的锻炼效果。

**作者贡献:**顾正秋负责试验设计、数据处理、文章撰写,徐飞负责试验评估、协助试验数据的分析、文章撰写和修改,魏佳、邹永帝、王晓路负责试验仪器操作和数据收集,通讯作者黎涌明负责试验设计及文章修改。研究采用单盲评估。

**经费支持:**该文章接受了“国家重点研发计划‘科技冬奥’重点专项课题(2018FF0300901)”的资助。所有作者声明,经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

**利益冲突:**文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

**机构伦理问题:**研究方案的实施符合上海体育学院的相关伦理要求。

**知情同意问题:**受试者均为自愿参加,对试验过程完全知情同意,在充分了解试验方案的前提下签署了“知情同意书”。

**文章查重:**文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

**文章外审:**文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

**生物统计学声明:**该文统计学方法已经上海体育学院专家审核。

**文章版权:**文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

**开放获取声明:**这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

#### 4 参考文献 References

- [1] 盛菁菁,魏文哲,沈勇伟. 加压运动原理及运用的研究进展 [J]. 体育科研, 2018,39(5):92-99.
- [2] 魏佳,李博,杨威,等. 血流限制训练的应用效果与作用机制 [J]. 体育科学, 2019,39(4):71-80.
- [3] LOPES KG, BOTTINO DA, FARINATTI P, et al. Strength training with blood flow restriction - a novel therapeutic approach for older adults with sarcopenia? A case report. Clin Interv Aging. 2019;14:1461-1469.
- [4] VANWYER WR, WEATHERHOLT AM, MIKESKY AE. Blood Flow Restriction Training: Implementation into Clinical Practice. Int J Exerc Sci. 2017;10(5):649-654.
- [5] 王菲. 有关加压抗阻训练对心血管系统影响的 Meta 分析及实证研究 [D]. 上海:上海体育学院,2015.
- [6] 李志远,赵之光,王明波,等. 4周加压训练对男子手球运动员身体成分和最大力量的影响 [J]. 中国体育科技,2019,55(5):37-43.
- [7] BENNETT H, SLATTERY F. Effects of Blood Flow Restriction Training on Aerobic Capacity and Performance: A Systematic Review. J Strength Cond Res. 2019; 33(2):572-583.
- [8] PARK S, KIM JK, CHOI HM, et al. Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. Eur J Appl Physiol. 2010;109(4):591-600.

- [9] 盛菁菁,魏文哲,孙科,等. 加压状态下慢速下坡步行的生理负荷与增肌效果研究 [J]. 中国体育科技,2019,55(3):13-19.
- [10] 魏文哲,孙科,赵之光,等. 不同程度的血流限制对递增速度跑运动中心肺功能的影响 [J]. 中国体育科技,2019,55(5):8-13.
- [11] PATTERSON SD, HUGHES L, WARMINGTON S, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. Front Physiol. 2019;10:533.
- [12] URSPRUNG WM. The Effects of Blood Flow Restriction Training on VO<sub>2</sub>Max and 1.5 Mile Run Performance. San Antonio, Texas: Texas A and M University-San Antonio. 2016:29-41.
- [13] 顾正秋,徐飞,魏佳,等. 说话测试:运动处方强度制定指标的便捷选择 [J]. 体育科学,2019,39(12):54-61.
- [14] FOSTER C, JOHN PP, SARAH A, et al. Exercise prescription when there is no exercise test: the talk test. Kinesiology. 2018;(Suppl.1):33-48.
- [15] FOSTER C, PORCARI JP, ANDERSON J, et al. The talk test as a marker of exercise training intensity. J Cardiopulm Rehabil Prev. 2008;28(1):24-30.
- [16] VOELKER SA, FOSTER C, JOHN PP, et al. Relationship between the talk test and ventilatory threshold in cardiac patients. Clinical exercise physiology. 2002;(4): 120-123.
- [17] GILLESPIE BD, MCCORMICK JJ, MERMIER CM, et al. Talk test as a practical method to estimate exercise intensity in highly trained competitive male cyclists. J Strength Cond Res. 2015;29(4):894-898.
- [18] NIELSEN SG, BUUS L, HAGE T, et al. The graded cycling test combined with the talk test is reliable for patients with ischemic heart disease. J Cardiopulm Rehabil Prev. 2014;34(4):276-280.
- [19] KRAWCYK RS, ANDERS V, PETERSEN NC, et al. "Graded Cycling Test with Talk Test" Is a Reliable Test to Monitor Cardiovascular Fitness in Patients with Minor Stroke. J Stroke Cerebrovasc Dis. 2017;26(3):494-499.
- [20] WOLTMANN ML, FOSTER C, PORCARI JP, et al. Evidence that the talk test can be used to regulate exercise intensity. J Strength Cond Res. 2015;29(5):1248-1254.
- [21] LOENNEKE JP, FAHS CA, ROSSOW LM, et al. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. Eur J Appl Physiol. 2012;112(8):2903-2912.
- [22] GREEN JM, CREWS TR, BOSAK AM, et al. Overall and differentiated ratings of perceived exertion at the respiratory compensation threshold: effects of gender and mode. Eur J Appl Physiol. 2003;89(5):445-450.
- [23] VILLAMIL CJ, CAMBLOR PM, VALLE DM. Validity of the modified conconi test for determining ventilatory threshold during on-water rowing. J Sports Sci Med. 2011;10(4):616-623.
- [24] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国宪法 [EB/OL]. http://wenku.cjzzd.com/a/130035#wwk-more
- [25] MARÍN PJ, LOZANO AS, MEDEIROS FS, et al. Reliability and validity of the OMNI-vibration exercise scale of perceived exertion. J Sports Sci Med. 2012;11(3):438-443.
- [26] CASAMICHANA D, CASTELLANO J, GONZALEZ JC, et al. Relationship between indicators of training load in soccer players. J Strength Cond Res. 2013;27(2): 369-374.
- [27] NIELSEN SG, VINTHER A. Graded cycling test combined with the talk test is responsive in cardiac rehabilitation. J Cardiopulm Rehabil Prev. 2016;36(5): 368-374.
- [28] JEANES EM, JEANS EA, FOSTER C, et al. Translation of exercise testing to exercise prescription using the talk test. J Strength Cond Res. 2011;25(3):590-596.
- [29] BALLWEG J, FOSTER C, JOHN P, et al. Reliability of the talk test as a surrogate of ventilatory and respiratory compensation thresholds. J Sports Sci Med. 2013;12(3):610-611.
- [30] MARROYO RJ, VILLA JG, GARC AJ, et al. Relationship between the talk test and ventilatory thresholds in well-trained cyclists. J Strength Cond Res. 2013; 27(7):1942-1949.
- [31] EMANUEL IH A. Rating of Perceived Effort: Methodological Concerns and Future Directions. Sports Med. 2020;50(4):679-687.
- [32] ASSA T, GEVA N, ZARKH Y, et al. The type of sport matters: Pain perception of endurance athletes versus strength athletes. Eur J Pain. 2019;23(4):686-696.
- [33] PERSINGER R, FOSTER C, GIBSON M, et al. Consistency of the Talk Test for Exercise Prescription. Med Sci Sports Exerc. 2004;36(9):1632-1636.
- [34] BEVERLEY MD, FOSTER C, PORCARI JP, et al. Relationship between the talk test and ventilatory threshold. Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention. 1999;19(5): 287.
- [35] RECALDE JP, PEDRO T, FOSTER C, et al. The talk test as a simple marker of ventilatory threshold. South African J Sports Med. 2002;9(2):5-8.
- [36] CREAMERS N, FOSTER C, PORCARI JP, et al. The physiological mechanism behind the talk test. Kinesiology. 2017;(1):3-8.
- [37] YASUDA T, ABE T, BRECHUE WF, et al. Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. Metabolism. 2010;59(10):1510-1519.

(责任编辑: WZH, ZN, SX)