

# 不同时相呼吸阻力负荷生理、心理效应的比较

吴兴裕 张立藩 姜世忠 王兴邦 航空环境生理学教研室  
马谋超 中国科学院心理研究所

**摘要** 以17名健康男性青年为对象,采用两因素(总阻力值×阻力负荷时相)6×3析因实验设计,以多级估量表(MES)评量呼吸感觉量。对不同程度、不同时相的呼吸阻力负荷的生理、心理效应进行了系统的考察与比较。主要结果如下:①在三种负荷时相下,面罩腔压力波动幅度( $\bar{P}$ )、总外呼吸功率( $\dot{W}_T$ )与总阻力值( $R_T$ )间均呈凹向下型函数关系;②呼吸感觉量( $S_{MES}$ )与物理刺激量之间只是间接关系,与生理刺激量呈直接关系;③不同负荷条件下,生理刺激量与 $S_{MES}$ 间均呈凹向上型式关系。以上结果提示在制订RPE外加阻力标准时,除规定总阻力值外,在“中度”负荷水平时,还应有匹配条件的限制。

**关键词** 外加呼吸阻力;多级估量表;呼吸感觉量;呼吸防护装备

关于呼吸防护装备(RPE, Respiratory Protective Equipment)附加阻力容许标准的研究,早期多采取整个呼吸周期均施加一定阻力负荷的方式,即联合呼吸阻力(CR, Combined Resistance),观察被试者的反应<sup>[1-4]</sup>;后来则多以吸气阻力(IR, Inspiratory Resistance)为主,并假定呼气阻力(ER, Expiratory Resistance)或CR负荷的心理效应与IR基本相同<sup>[1,5,6]</sup>。近年的一些理论性工作亦以IR为主<sup>[2,7,8]</sup>。故制订RPE生理标准所需了解的某些基本问题,诸如IR与ER的呼吸不适感程度,究以何者相对较重<sup>[8,9]</sup>,单相与双相阻力负荷的心理效应有无不同,现仍无确切结论<sup>[2]</sup>。对此本实验室先前的一些工作<sup>[3,4]</sup>亦未能解决,除实验设计方面的原因外,还可能与以往所用之心理类别量表的“分辨能力”较低有关。为此,我们改用多级估量表(MES, Multistage Evaluation Scale)<sup>[10]</sup>评量呼吸感觉体验;并采用析因实验设计,着重对由“轻度”到“重度”

范围的单相(IR、ER)及双相(CR)呼吸阻力负荷的生理、心理效应进行系统的考察与比较。

## 实验方法

**被试者** 共17名健康男学员,年龄 $20.2 \pm 2.4$ (SD)岁,身高 $171.4 \pm 5.8$ cm,体重 $59.2 \pm 4.5$ kg。无心肺疾病史,常规肺功能检查属正常范围。

**实验设计** 采用两因素6×3析因实验设计。因素A为外加呼吸阻力的总阻力值( $R_T$ ),共取6种水平( $a_1 \sim a_6$ ),其R值分别为50、90、170、250、330及490mmH<sub>2</sub>O·1<sup>-1</sup>·S(实验装置的基础阻力, $R_0 = 10$ mmH<sub>2</sub>O·1<sup>-1</sup>·S,已计入内)。因素B为呼吸阻力负荷时相,取3种水平,即 $b_1$ —ER(阻力值主要被分配在呼气相), $b_2$ —CR(吸、呼气相各分一半), $b_3$ —IR(吸气相)。实验中,各因素、各水平均能有机会相遇一次,以使每一名被试者均接受由不同水平a、b所组合的18种呼吸阻力负荷。

**实验装置** 以XY-1型呼吸气体流率与压力测量仪<sup>[11]</sup>感受相应的生理变化,由A69数据记录仪(Sony)记录。以MDR-Z80微计算机脱机处理数据<sup>[12]</sup>。外加阻力由多节的网屏式阻力器给出。其他见文献<sup>[10]</sup>。

**心理量表** 主要采用MES<sup>[10]</sup>,为了比较也采用了传统的类别量表(归类估计的间距量表)<sup>[13,14]</sup>。

**实验步骤** 被试者先接受指导语,然后静坐在布幕后的实验椅上,戴妥面罩,体验一定阻力负荷和试填心理量表,俟结果稳定后才开始。实验中对每种阻力均体验3min,从负荷的第1.5min开始,连续记录呼吸流率、压力变化,第3min时填写心理量表。实验开始及终了时,还测定了 $R_T$ 时的生理、心理效应。阻力负荷顺序按随机原则,先将因素A的各水平随机配置,再把B的各水平也随机配置。各次负荷间安排一定休息。全部实验过程均在2h内完成。

**资料整理** 均取阻力负荷时第1.5min至2min间5个连续呼吸周期的数据进行统计处理<sup>[13]</sup>。

### 实验结果

面罩腔压力(P)及外呼吸功(W)随总阻力水平(A)及负荷时相(B)的变化。为了比较总阻力值一定的条件下,不同负荷时相的呼吸力学效应,已将IR、ER及CR负荷下的面罩腔压力(压力积分均值 $\bar{P}$ ,压力积分值 $\bar{P} \cdot T = \int_0^T P(t) \cdot dt$ )及外呼吸功(包括总外呼吸功率 $\bar{W}$ ,每升通气量所需的外呼吸功 $W/L$ )与 $R_T$ 间的关系整理于图1。图中可见,各种P或W指标在三种负荷时相下,除 $\bar{P} \cdot T$ 外皆与 $R_T$ 呈凹向下型式曲线关系;且均以CR负荷下引起的生理变动为最大,IR次之,ER最低。 $\bar{P} \cdot T$ 与 $R_T$ 间呈线性关系,不同负荷时相间无显著差别( $P > 0.05$ )。面

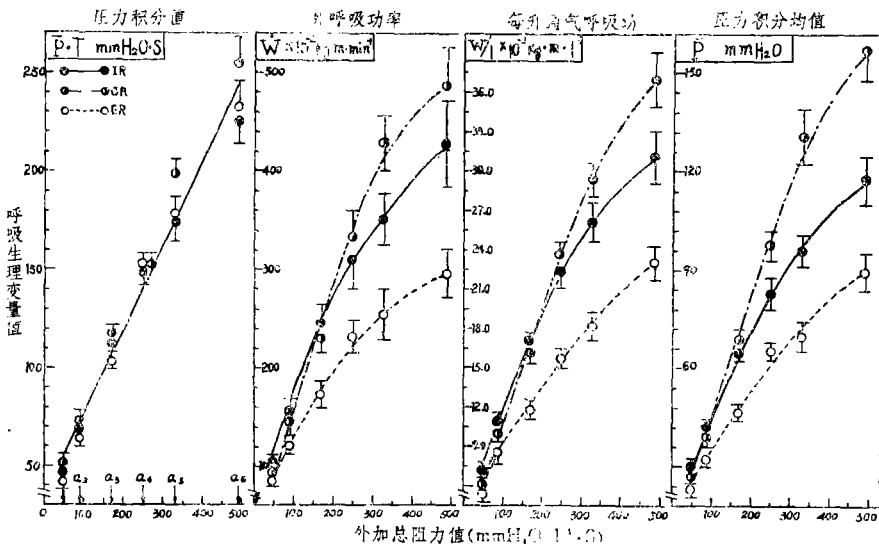


图1 面罩腔压力积分值( $\bar{P} \cdot T$ )、压力积分均值( $\bar{P}$ )、外呼吸功( $\bar{W}$ 、 $W/L$ )与总阻力值及负荷时相间的关系

注:图中 $\bar{P} \cdot T$ 、 $\bar{P}$ 、 $\bar{W}$ 、 $W/L$ 均为吸、呼两相的绝对值之和。垂直线段表示 $\pm 1SE$

罩腔压力峰值 $P_{max(I,E)}$ 、压力波动幅度 $\bar{P} = |P_{Imax}| + P_{Emax}$ 与 $R_T$ 间亦呈凹向下型式的函数关系。ANOVA结果(表1): 因素A和B的主效应均达非常显著水平。其对呼吸参数 $\bar{P}$ 、 $\bar{V}$ 、 $W/L$ 、 $\bar{P}$ 的影响存在着交互作用, 即因素A与B之间有协同作用。

**呼吸型式随总阻力水平(A)及负荷时相(B)的变化**

1. 呼吸气体流率( $\dot{V}$ ) 图2的曲线表明三种负荷方式下峰值流率( $\dot{V}_{max}$ )、平均流率( $\bar{V}$ )和吸气、呼气峰值流率比值( $\dot{V}_{Imax}/\dot{V}_{Emax}$ )随 $R_T$ 的变化情形。可见不同负荷条件下 $\dot{V}_{max}$ 、 $\bar{V}$ 的变化趋势基本一致。在单相阻力负荷下, 除轻度IR( $a_1$ 、 $a_2$ )可使 $\dot{V}_{Imax}$ 、 $\bar{V}$ 有些升高外, 随着 $R_T$ 的

逐步增大主要是引起有负荷时相的 $\dot{V}_{max}$ 、 $\bar{V}$ 升高。上述改变又以ER引起者较为严重, 如 $R_T$ 为 $a_6$ 水平时,  $\dot{V}_{Emax}$ 、 $\bar{V}_E$ 已分别降为对照值的68%与76%。在两相均有负荷的CR影响下:  $\dot{V}_{Imax}$ 、 $\bar{V}_I$ 始终高于对照值, 直到 $R_T$ 为 $a_6$ 时才恢复到对照时水平;  $\dot{V}_{Emax}$ 、 $\bar{V}_E$ 自 $a_3$ 起开始下降, 至 $a_6$ 时降为对照值的90%。

$\dot{V}_{Imax}/\dot{V}_{Emax}$ 的对照值( $R_0$ 时)为 $1.072 \pm 0.203$  (SD), 在CR负荷下变化很小,  $a_6$ 时仍为 $1.241 \pm 0.129$ ; 而在单相阻力负荷下, 则根据负荷时相不同而发生相应变化,  $a_6$ 时, IR、ER负荷下的相应值分别为 $0.798 \pm 0.319$ 、 $2.023 \pm 0.584$ 。

2. 呼吸时相时间(T) 在三种负荷

表1 6×3析因设计实验数据的方差分析

变 异 来 源	F 值				
	$\bar{P}$	$\bar{V}$	w/l	$\bar{P}$	$S_{MBS}$
因素A 外加总阻力值	349.14	144.63	358.57	384.76	101.33
因素B 阻力负荷时相	139.81	46.63	104.41	149.26	19.59
A×B 交互影响	13.97	5.09	11.06	16.32	1.74*

\*  $P > 0.05$ , 表中其他数据P值皆 $< 0.01$

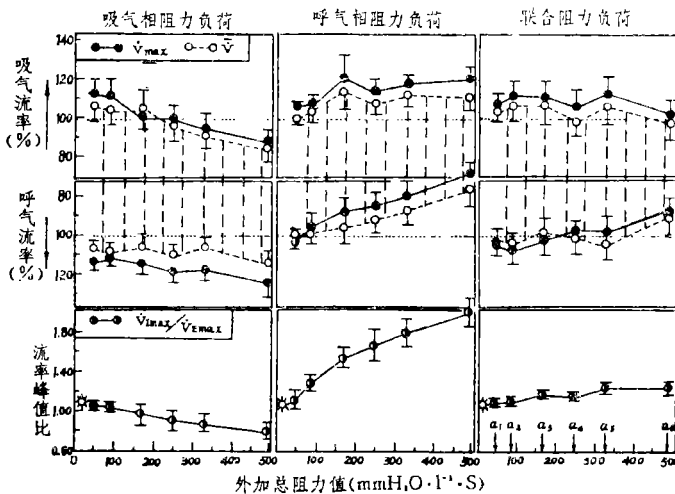


图2 呼吸气体流率及其峰值比( $\dot{V}_{Imax}/\dot{V}_{Emax}$ )与总阻力值及负荷时相间的关系

方式下吸气时间 ( $T_I$ )、呼气时间 ( $T_E$ ) 及吸气时间/呼吸周期 ( $T_I/T_C$ ) 比值随  $R_T$  的变化情形为：在单相有阻力负荷的条件下，有负荷时相的时间随  $R_T$  的增大而延长，两者近似呈线性关系；未加负荷时相的时间改变则视负荷时相而有所不同，IR 负荷下可使  $T_E$  缩短，但在 ER 负荷下则  $T_I$  基本保持不变。上述条件下  $T_I/T_C$  的改变则取决于  $T_I$  与  $T_E$  变化的结果。在 CR 负荷下， $T_I$ 、 $T_E$  均相应延长，故  $T_I/T_C$  基本保持不变。

3. 潮气量 ( $V_T$ )、呼吸频率 ( $f$ ) 及肺通气量 ( $MV$ ) 轻度 IR 负荷 ( $a_1$ 、 $a_2$ ) 时， $V_T$  及  $MV$  均有所增加， $V_T$  为对照值的 110%， $MV$  为对照值的 115%， $f$  基本保持不变。随  $R_T$  的增大均渐趋下降，至  $a_6$  时各指标均接近于对照值水平。轻度 ER 负荷时，各指标基本保持不变。CR 时变化的基本趋势同 ER。

**呼吸感觉量与物理、生理刺激量及负荷时相间的关系** 图 3 曲线表明呼吸感觉量与物理 ( $R_T$ )、生理刺激量 ( $\bar{P}$ 、 $W$ ) 及负荷时相间的关系。从图中所列 MES 评量的结果 ( $S_{MES}$ ) 得知：①反映物理刺激量 ( $R_T$ ) 与

$S_{MES}$  关系的曲线，IR 位于最上方，CR 居中，ER 在最下的位置，即一定的  $R_T$  下所引起的呼吸感觉体验强度系按  $IR > CR > ER$  的顺序排列。 $R_T$  为  $a_1$  时即可区分出这种趋势， $R_T$  越增大这种差别也越明显 ( $P < 0.01$ )；②反映生理刺激量 ( $\bar{P}$ 、 $W$ ) 与  $S_{MES}$  关系的曲线均呈凹向上型式。其位置以 ER 位于最上方、IR 居于中间、CR 在最下方，即对一定量的生理刺激而言，其呼吸感觉体验强度系按  $ER > IR > CR$  的顺序排列。三种负荷时相间的差别显著，刺激量为中度以上时，这种差别越加明显。对  $S_{MES}$  结果的  $6 \times 3$  ANOVA 表明：A 和 B 的主效应均达非常显著程度，但两者间无交互影响 (见表 1)。

### 讨 论

本工作之理论意义如下：①明确了呼吸感觉量与物理刺激量 ( $R_T$ ) 之间只是间接关系，即在一定  $R_T$  下，由 MES 评量之呼吸感觉量按  $IR > CR > ER$  的顺序排列， $R_T$  越大这种差别越明显 (见图 3 左侧方框)；而呼吸感觉量与生理刺激量 ( $\bar{P}$ 、 $W$ ) 之间是直接关系，即在一定的  $\bar{P}$  或  $W$  下，呼吸感觉量

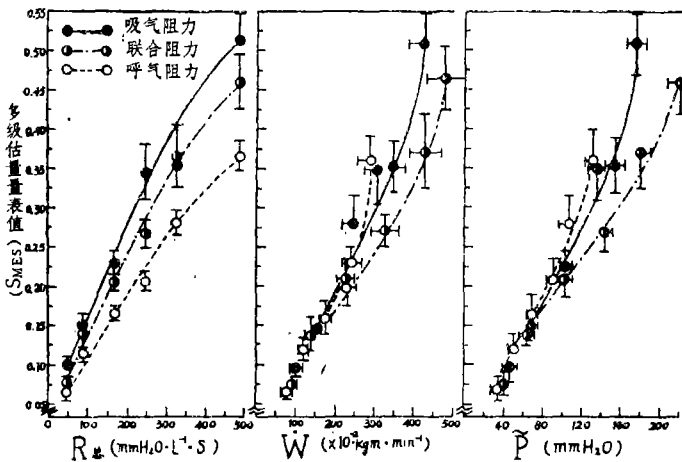


图 3  $S_{MES}$  与物理刺激量 ( $R_T$ )、生理刺激量 ( $\bar{P}$ 、 $W$ ) 间的关系

按ER>IR>CR的顺序排列,其生理刺激量值越大则这种差别越加明显(见图3中间和右侧方框)。以往由于物理及生理刺激量相互混淆,致使基本结论不一致<sup>[2-4]</sup>。②由生理刺激量、阻力负荷时相与呼吸感觉量三者间的关系得知,在 $\bar{P}$ 或 $\bar{V}$ 一定的条件下,CR所致的呼吸阻力感与不适感相对最轻,IR次之,ER最重;即与IR、ER负荷相比较,在CR负荷条件下引起同等呼吸阻力感觉所需的生理刺激阈限最高。这可能与在吸、呼两相均有一定阻力负荷时,胸膜腔内压力更接近于正常水平,或呼吸运动比单相阻力负荷时协调有关;③根据MES评量的结果(图3中间和右侧方框),不同负荷时相条件下,生理刺激量与呼吸感觉量之间的函数关系均呈凹向上型式的曲线,符合感觉量随刺激量增长变化的规律<sup>[14]</sup>。而由传统类别量表评量之结果,感觉量与 $\bar{P}$ 或 $\bar{V}$ 之

间均呈凹向下型式的函数关系,不能很好地反映负荷时相间的差别。

实际意义:由 $\bar{P}$ 或 $\bar{V}$ 引起的心理效应与阻力匹配因素有关,当呼吸阻力稍大,约达到“中度”负荷水平时,应尽量考虑合理匹配问题。以往<sup>[1,5,6]</sup>多只考虑IR,并假定ER或CR与IR基本相同,缺乏实验根据。由图3可见,假定 $S_{MES}=0.100$ ,则 $\bar{P}$ 约为50mmH<sub>2</sub>O,代表“轻度”负荷,可以不考虑阻力匹配;当 $S_{MES}=0.200$ 时, $\bar{P}$ 约为100mmH<sub>2</sub>O,即达到“中度”负荷水平,IR、CR及ER之间的差别逐步明显,故应考虑外加阻力合理匹配的问题。在制订RPE附加阻力容许标准时,不仅要规定各种阈限,还应考虑提出阻力匹配方面的条件,并尽量避免出现单相阻力负荷。

(1985年11月7日收稿。校对者:吴兴裕)

### 参 考 文 献

[1] Senneck CR. Breathing apparatus for use in mines, in Davies, CN(ed): Design and use of respirators, Pergamon press 1962: 143~159  
 [2] 张立藩. 呼吸机械负荷. 国外医学军事医学分册 1984(2): 82 [3] 李兵林,等. 解放军医学杂志 1984; 9(3): 184 [4] 马瑞山,等. 第四军医大学学报 1985; 6(1): 1 [5] Cooper EA. J Appl physiol 1960; 15: 1053 [6] Bentley RA, et al. Arch. Envir. Health 1973; 27(4): 273 [7] Altose MD, et al. Amer Rev Respir Dis 1982; 126: 807 [8] Muza SR, et al. J Appl physiol 1984; 56(1): 211 [9] Chapman KR, et al. Respiration 1983; 44: 425 [10] 张立藩,等. 第四军医大学学报 1986, 7(1): 1 [11] 谈跃中,等. 第四军医大学学报 1985; 6(1): 65 [12] 冯林华,等. 第四军医大学学报 1985; 6(1): 64 [13] 吴兴裕,等. 应用生理学杂志 1985; 1(3): 183 [14] Bennett TL 著,旦明译. 感觉世界——感觉和知觉导论,科学出版社, 1983: 28~50

# Comparison of Physiological and Psychological Effects of Added Resistance Loaded during Different Respiratory Phases

Wu Xingyu, et al

(Department of Aviation Environmental Physiology)

In 17 healthy male subjects, the physiological and psychological effects of added respiratory resistance, ranging from "light" to "heavy" degree, during the inspiratory or expiratory (IR or ER) or both phases (CR), were systematically studied. In order to analyse the main effects of the experimental factors and their interactions, a 2-factor  $6 \times 3$  factorial experimental design was adopted. The perceived magnitude (PM) associated with added respiratory resistance was estimated by the Multistage Evaluation Scale ( $S_{MES}$ ).

The results were as follows: (1) During phasic or combined resistive loading, the relationships between total resistance added ( $R_T$ ) and mask cavity pressure swing ( $\bar{p}$ ), on total external respiratory workrate ( $\dot{W}_T$ ) respectively were curvilinear and exhibited an upward convexity. (2) The PM was only related to the quantity of the physical stimulus ( $R_T$ ) indirectly. With  $R_T$  fixed, the PM also depended upon the phase of the breathing cycle loaded whereas the relationship between PM and the physiological stimulus ( $\bar{p}$  or  $\dot{W}_T$ ) was a direction. (3) The PM estimated by MES could reflect the differences caused by different loading conditions.

The results show practical significance for establishing and revising the physiological standard of permissible added resistance for respiratory protective equipment design.

**Key Words** multistage evaluation scale; respiratory sensation; respiratory protective equipment; added respiratory resistance

## 用单克隆抗体对人血管内皮细胞抗原的研究

用胶原酶消化人脐静脉分离人血管内皮细胞。用分离到的内皮细胞免疫小鼠，用淋巴细胞杂交瘤技术制备了抗人内皮细胞的McAb。其中一个克隆(EN3)分泌的抗体与脐静脉内皮细胞呈强阳性反应，与脐动脉内皮细胞和胎盘滋养层也呈阳性反应，但较弱。正常人食道和扁桃体的毛细血管，精原细胞瘤和乳腺癌的毛细血管有EN3对应抗原存在；其他胚胎或成人组织为阴性。胚胎、成人和肿瘤组织内该抗原的特殊分布表明，不同部位的内皮细胞可能有结构和功能的差异。本文还讨论了人内皮细胞培养上清液(HECS)对杂交瘤生长的促进作用。

(崔运昌, 等. 中华微生物和免疫学杂志1985; 5(1):5)