

# 呼吸阻力感觉的多级评量、最小可觉差 梯级与等感关系\*

张立藩 吴兴裕 姜世忠 张 荣 肖赞英

(第四军医大学航空环境生理学教研室, 西安)

马 谋 超

(中国科学院心理研究所, 北京)

## 摘 要

本文报道将类别判断的模糊集模型以及最小可觉差梯级、等感关系概念用于呼吸感觉研究的方法及结果: 1. 应用基于模糊集理论的多级估量法较满意地解决了呼吸阻力感觉的评量问题。对 37 名被试者由本法测得的呼吸感觉量不仅能正确反映呼吸负荷时相所致的差异, 且其导出的心理物理函数符合幂定律。而古典类别量表则不具备此种性质。2. 将多级估量表与最小可觉差 (JND) 梯级测定相结合, 得以阐明人对于一定范围阻力负荷的辨别能力与感觉体验之间的关系。由 9 名被试者测得,  $10-500\text{mmH}_2\text{O}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{s}$  的单相阻力负荷所对应的感觉连续体一般包括 6—7 个 JND 梯级; 还测得每一个梯级的感觉量。3. 在此基础上所进行的等阻力感曲线测定则有助于系统地阐明呼吸感觉量随总阻力值及两个时相阻力比值而变化的规律。由 13 名被试者测得的、基础阻力值以上 2, 3, 4JND 梯级的等呼吸阻力感曲线, 均可由二次抛物线方程拟合。分析曲线的意义得知: 人对于联合阻力的耐受能力最高; 对于呼气相口腔压力波动最敏感。本工作提出了系统地阐明各种外加阻力生理-心理效应的新途径。

安静状态下, 人很少意识自身的呼吸活动; 当呼吸机械负荷(如呼吸系统内部或外部的气流阻力或弹性阻力等)增大时, 呼吸感觉增强。一些理论或实际问题, 如生理或病理情况下呼吸活动的行为性调节, 慢性阻塞性肺疾患与呼吸困难的发病或发生机理, 特种环境下作业时的呼吸调节与呼吸防护装备的评价以及卫生标准的制定等, 均涉及呼吸感觉问题<sup>[1-4]</sup>。近廿余年来, 关于呼吸感觉的心理物理学研究主要集中在以下三个方面<sup>[1-2]</sup>: ① 绝对阈及辨别阈的测量; ② 应用类别量表、比率量表等评量个体对阈上机械负荷的感觉体验, 阐明呼吸感觉强度与物理或生理刺激量间的函数关系<sup>[5,6]</sup>; ③ 探讨 Stevens 定律对于呼吸感觉的有效性问题<sup>[7]</sup>。然而, 上述研究呼吸感觉的方法途径及其结论尚难以直接用于阐明各种呼吸防护条件

本文 1985 年 4 月 29 日收到, 1986 年 7 月 2 日收到修改稿。

\* 王兴帮同志曾参加数据处理工作。

下所遇到的呼吸阻力感觉问题。分析其原因,主要有以下三个方面:一是究以何种心理量表更适用于呼吸阻力感觉体验的评量问题。本领域内常用的古典类别量表的精度较差,往往不能反映实际呼吸感觉量的差别及其增长规律;由比率量表得到的心理物理函数虽然符合 Stevens 定律,但又不能直接给出所对应的感觉类别。二是以往的研究工作多限于对呼吸感觉个别特性的测量和分析,至于各个特性之间的关系,如感觉体验与辨别力之间的关系等,却很少或几乎未曾涉及。三是实际使用各种呼吸防护装备时,还经常遇到由不同比例的吸气相和呼气相阻力负荷所组成的“联合阻力”的影响问题。但以往关于呼吸感觉的研究又多是针对吸气阻力负荷的<sup>[1,2]</sup>,很少注意不同负荷时相间的差别。为此,本工作试图采用一种基于类别判断的模糊集模型的新型心理量表——多级估量量表<sup>[8,9]</sup>,作为测量感觉体验的基本方法;并试图将感觉生理中的最小可觉差梯级与“等感”概念<sup>[10-12]</sup>用于本领域,以系统地阐明各种联合阻力影响下的感觉体验及其与辨别力之间的关系。整个工作由如下几个部分组成:1.呼吸阻力感觉体验的多级评量;2.呼吸阻力感觉的最小可觉差(JND, Just Noticeable Difference)梯级的测量;3.等呼吸阻力感曲线(Equivalent respiratory-resistive-load-sensation contour)的测定。

## 一、实验方法

**1. 被试者** 共 53 名健康男性,均本实验室工作人员或大学生,无心、肺疾病史,常规肺功能检查属正常范围。实验于静坐条件下进行。

**2. 实验装置** 用 XY-1 型呼吸气体流率、压力测量仪<sup>[13]</sup>测量呼吸流率及口腔(或面罩腔)压力变化。其模拟量输出由 A-69 数据记录器(Sony)记录,并由 MDR-Z80 微计算机脱机处理数据<sup>[14]</sup>。流率变送器被置于咬嘴(或面罩)与呼吸活门之间。外加吸气或呼气阻力负荷分别由连接于呼吸活门外侧的两套多节的阻力装置给出。每两节之间均安装有尼龙网制的阻力片。每节中间有一侧管,开口可以启、闭。外加阻力的大小即由开口的位置决定。

**3. 呼吸阻力感觉量的多级估量法** 37 人参加实验。根据类别判断的模糊集模型<sup>[8]</sup>,呼吸阻力感觉乃是一类模糊的心理现象,在性质上主要应是呈可能性分布的,而不是概率的。专门为评量呼吸阻力感觉而设计的测试表格如表 1。表的第一行表示呼吸阻力感觉体验的五个类别等级,分别定义如下:“无”——未察觉到外加阻力;“轻度”——察觉到阻力,但无不快感;

表 1 呼吸阻力感觉的多级估量表格\*

		无	轻度	中度	重度	极重度
赞同	坚决		√			
	基本					
	少许	√				
反对	少许					
	基本			√		
	坚决				√	√

\* 表内“√”为某被试对一个阻力负荷反应的标记。

被试者——主试者——

“中度”——呼吸用力,可以耐受;“重度”——呼吸费力,难以忍受;“极重度”——完全窒息感,需立即解除负荷。表的第一列表示主观评量,包括态度与肯定度。使用该表格的程序是:首先,确定一个最符合自己感觉体验的类别等级及其赞成的肯定度,并在表格内的相应小格上画上一个“√”;然后,对其相邻两个类别作对偶判断,以确定赞同或反对的肯定度,并在各自相应的小格内画“√”;仿此,再对其余两个类别作出评量。其感觉量 ( $F(u_i)$ ) 可由下式估计:

$$F(u_i) = \frac{1}{t} \left( \sum_{i=1}^m V_i y_{ii} w_i / \sum_{i=1}^m y_{ii} w_i \right), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中:  $t$  是极重度阻力负荷的极限值,据文献[1],  $t = 1100 \text{ mmHg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{s}$ , 用作规范化;  $w_i$ ——滑动的权数集合;  $y_{ii}$ ——在  $i$  类别对  $u_i$  负荷感觉评定的肯定度;  $V_i$ ——各感觉类别  $i$  的代表值。其它有关详情见文献[9]。为了比较目的,同时还求取了古典类别量表的评量结果。

**4. JND 梯级数目的测定** 9人参加实验。对每名被试者均分别测定其对  $10-500 \text{ mmHg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{s}$  范围的吸气相与呼气相阻力负荷的 JND 梯级数目各 6-8 次,并进一步求出各梯级所对应的平均起始阻力值。JND 梯级数目的测定按辨别阈限法(渐增法)进行。其步骤大致如下:先给以只作用于某一呼吸时相的标准阻力刺激,令被试者体验 3-6 次呼吸;紧接着更换为作用于同一呼吸时相的试验阻力刺激,令体验 5 次呼吸。要求被试者比较更换阻力前、后的感觉体验,并表明是否已察觉到阻力感觉强度上的差别。如被试者分辨不出,即重新回到原先的标准阻力刺激状态,并增加下一次试验阻力刺激的强度,再行比较。如此反复进行,至刚能辨别时为止。此刚能辨别的阻力也即是下一个 JND 梯级所对应的起始阻力。再以此作为新的标准阻力刺激,重复上述步骤即可测出下一个梯级的“长度”。仿上述方法,继续进行至所规定的阻力上限,即可完成一次 JND 梯级数目的测定。完成全部测定后,为了评量各 JND 梯级的感觉体验和记录相应生理变化,每名被试者还需对本人各 JND 梯级所对应的平均起始阻力值再依次体验 3 min: 前 2 min 记录生理变化;第 3 min,按多级估量法评量呼吸感觉体验。

**5. 等呼吸阻力感曲线的测定** 13人参加实验。分别以基础阻力值以上的 2, 3, 4 JND 梯级所对应的平均吸气阻力作为测定时的参照阻力负荷。它们的阻力值分别为 37, 59, 88  $\text{mmHg} \cdot 0.5 \text{ l}^{-1} \cdot \text{s}$ 。当施加任何一种参照吸气阻力负荷时,其呼气相的阻力值均维持在 7  $\text{mmHg} \cdot 0.5 \text{ l}^{-1} \cdot \text{s}$  的基础水平。对于每一水平的参照阻力,均需通过被试者的反复体验比较,依次确定出四种能引起等阻力感的负荷条件。这四种阻力负荷的吸、呼气相阻力的比例分别约为 3:1, 2:2, 1:3 和 0:4。对每一种阻值待定的比较阻力,均需测得三次“等感”结果,并以出现次数最多者为初步确定的“等感”阻力。其测定步骤大致如下:被试者先体验某一 JND 梯级的参照阻力 3-6 次呼吸后,随即转为一种比较阻力,并体验 5 次呼吸。被试者可以手势表明前、后所体验到的阻力感是否“相等”。如被试者表明“不相等”,则主试者需先将阻值重新调回到参照阻力水平,3-6 次呼吸后,又转为已调整过阻值的比较阻力,由被试者再行体验和比较;如此反复尝试比较,直到主观上认为参照阻力与比较阻力所引起的阻力感已“相等”时为止。此时的比较阻力值即是所求的等感阻力值。完成全部测定后,按照 JND 梯级顺序,对初步被确定为具有“等阻力感”关系的各阻力负荷再依次进行最后的体验和比较,并记录呼吸流率及口腔压力变化。在此过程中,对于个别不符合等感关系的比较阻力,仍可依上述步骤重行调整。

## 二、结 果

**1. 用多级估量法评量呼吸阻力感觉体验的结果** 为了验证本文所提出的评量方法, 37 名被试者均体验了 18 种呼吸阻力负荷, 并同时用多级估量表和古典的类别量表评量感觉体验, 以兹比较. 这 18 种阻力负荷是由按三种方式施加于不同呼吸时相(吸气相、呼气相、两个时相各负荷一半)的 6 种水平的阻力(总阻力值依次为 40, 80, 160, 240, 320 及 480 mmH<sub>2</sub>O·l<sup>-1</sup>·s) 组合而成. 图 1 所示结果表明: 用多级估量表得出的感觉量值能反映由于总阻力值及阻力负荷时相不同所致的呼吸感觉程度差别(据 3 × 6 析因方差分析, 负荷时相间及总阻力值间的差异均非常显著,  $P < 0.01$ ; 参见图 1(a)); 而由类别量表得出的相应结果则只能反映总阻力水平间的差异 ( $P < 0.01$ ), 而阻力负荷时相间则为无显著差别 ( $P > 0.05$ , 参见图 1(b)). 再者, 由多级估量表得到的相应心理物理函数呈幂函数关系(图 1(a)); 而由古典的类别量表法得到的相应函数则呈对数函数关系(图 1(b)). 最后, 从多级估量法的评量结果还可进一步得出感觉连续量上各个类别等级所对应的生理或物理刺激量. 根据阻力负荷时所记录到的口腔(面罩腔)压力波动( $\bar{P}$ ), 还可得出表征生理刺激量与呼吸感觉量间关系的曲线(见图 2). 由多级估量结果得出的曲线呈凹向上型(图 2(a)); 而由古典的类别量表只能得出凹向下型式的曲线(图 2(b)).

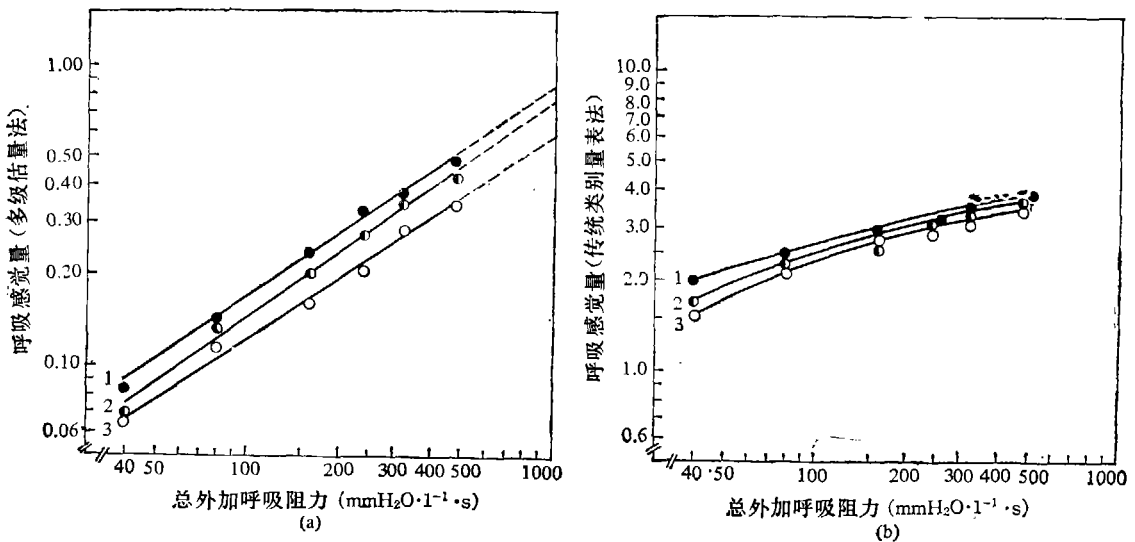


图 1 呼吸阻力负荷与感觉量间的函数关系

(a) 多级估量法 1—吸气阻力负荷,  $Y = 0.0065X^{0.7021}$ ; 2—联合阻力负荷,  $Y = 0.0051X^{0.7221}$ ; 3—呼气阻力负荷,  $Y = 0.0057X^{0.6645}$ . (b) 传统类别量表法 1, 2, 3 同图 1(a)).

**2. 呼吸阻力感觉的最小可觉差(JND)梯级** 据 Fechner 定律, 感觉量可以 JND 梯级为单位进行测量<sup>[2,11]</sup>. 业已阐明, 呼吸阻力感觉量直接与克服阻力负荷时呼吸肌张力的有关, 并可由口腔压力峰值( $P_{max}$ )的大小来代表这种生理刺激的强度; 而外加呼吸阻力则是一项间接有关的物理刺激<sup>[5,6]</sup>. 图 3 所示曲线表明, JND 感觉单位与物理刺激量, 或者生理刺激量之间均呈对数函数关系, 并可由  $\hat{Y} = b \ln(X + k) - a$  型式的方程拟合(式中:  $\hat{Y}$ —JND

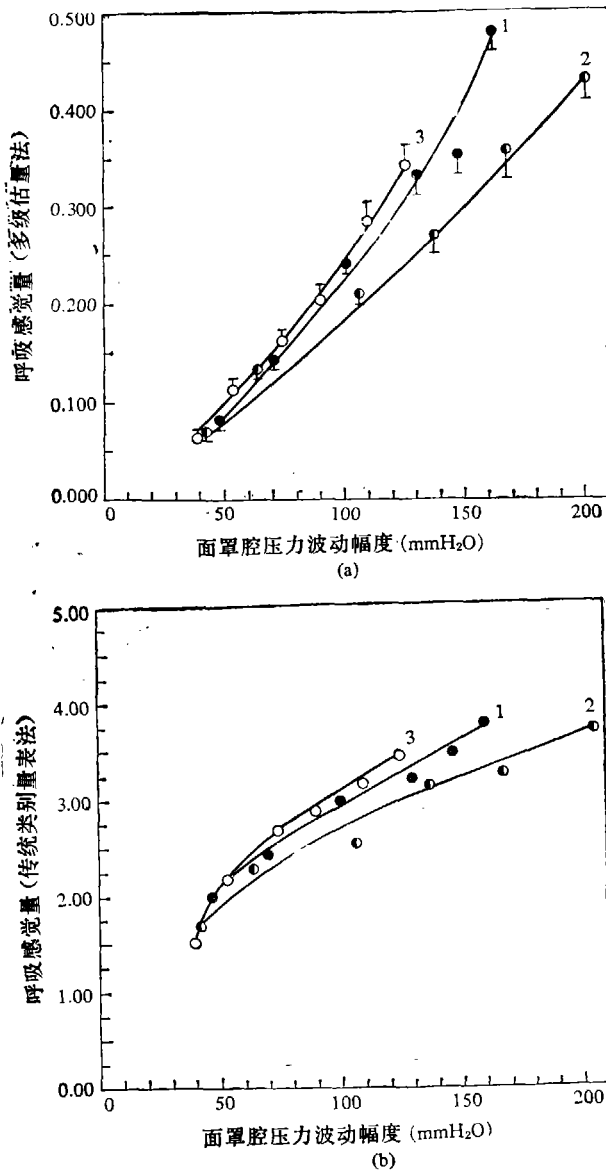


图2 面罩腔压力波动幅度与呼吸感觉量间的函数关系

((a)——多级估量法, (b)——传统类别量表法, 圆点为组的均值, 由圆点外延的线段为 1SE. 1, 2, 3 同图 1)

感觉单位;  $X$ ——物理或生理刺激量;  $a, b, k$ ——参数). 图 3 还表明, 相应拟合曲线之间的关系, 尚因刺激的性质而有所不同: 当以生理刺激量 ( $P_{\max}$ ) 表示时, 呼气相曲线位于吸气相曲线的上方, 前者的增长率明显高于后者 (回归系数相差显著性检验,  $P < 0.01$ ); 而以物理刺激量 (外加阻力) 表示的关系, 则反之 ( $P < 0.01$ ).

**3. 呼吸阻力感觉体验与辨别力之间的关系** 图 4 表示 JND 梯级与感觉体验多级估量值之间的关系, 均可由  $\hat{Y} = e^{a+bX} - k$  型式的指数方程拟合 (式中:  $\hat{Y}$ ——感觉量的估计值;  $X$ ——JND 梯级数目;  $a, b, k$ ——参数). 具体方程见图 4 注. 由量表评量结果, 再结合被

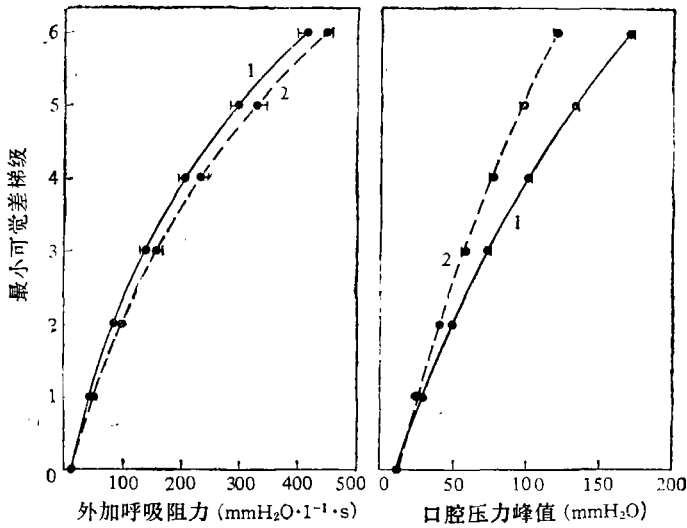


图 3 JND 梯度数与物理刺激量(阻力)、生理刺激量(口腔压力峰值)间的关系  
(1——吸气相, 2——呼气相)

试者的主诉得知：基础阻力值以上的 1—3 JND 感觉单位的阻力负荷感觉属“轻度”；4 JND，“中度”；5 JND，“较重度”以上，并有一定程度的呼吸不适感。由图 4 曲线还可见：在 5, 6 JND 梯级, 吸气相阻力负荷之感觉量值已明显高于呼气相的相应值 ( $P < 0.01$ )。

由各 JND 梯级所对应的生理刺激量关系(图 3)，还可间接推出生理刺激量与感觉量之间的关系, 如图 5 所示。

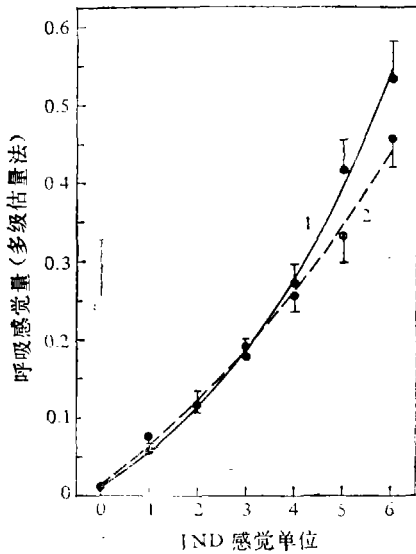


图 4 JND 感觉单位与多级估量表评量之感觉量间的关系

(1,2,同图 3. 拟合方程: 吸气相负荷,  $\hat{Y} = e^{-1.8187+0.2429X} - 0.15$ ;  
呼气相负荷,  $\hat{Y} = e^{-1.0083+0.1295X} - 0.35$ )

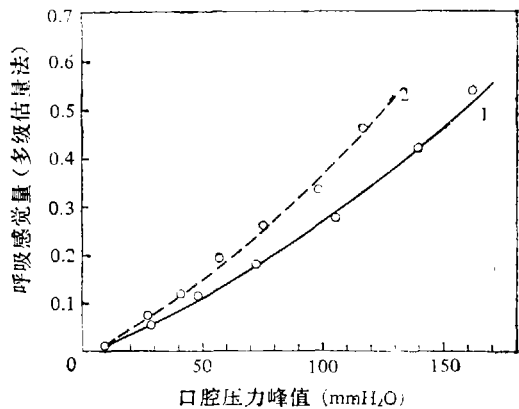


图 5 生理刺激量 ( $P_{max}$ ) 与呼吸感觉量间的函数关系

(1——吸气相负荷,  $Y = e^{-0.7142+0.0045X} - 0.5$ ,  
2——呼气相负荷,  $Y = e^{-0.7153+0.0037X} - 0.5$ )

**4. 等呼吸阻力感曲线** 如以横、纵坐标分别表示一定联合阻力负荷下出现在吸气相、呼气相的相应刺激量(物理的或生理的);则当任何一种阻力负荷作用时,施加于两相的刺激量均可由直角坐标平面上的一个确定的点来表示。对实验中测得的、能够引起“等呼吸阻力感”的比较阻力负荷所对应的诸点进行曲线拟合,即得出等呼吸阻力感曲线。图 6, 7 给出了由物理刺激量(计算阻力值)<sup>[7]</sup>、生理刺激量 ( $P_{max}$ ) 标出的基础阻力值以上 2, 3, 4 JND 梯级的等阻力感曲线,均由二次抛物线方程拟合而成。

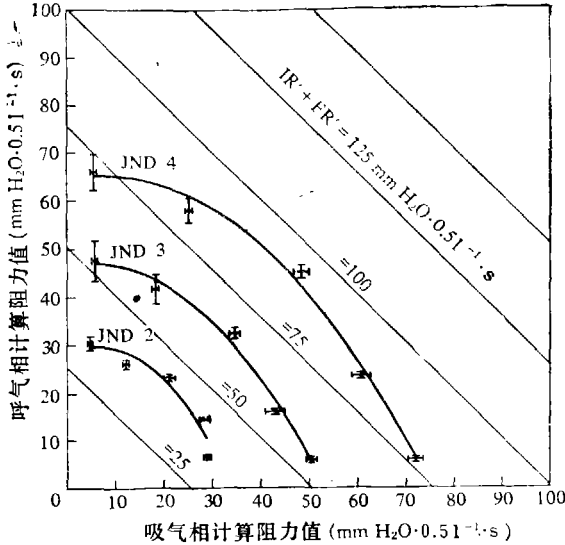


图 6 由计算阻力值标出的等呼吸阻力感曲线

( $n = 13$ , 由每一圆点外延的线段代表 1SE. JND 4:  $Y = 64.1814 + 0.2142X - 0.0142X^2$   
 JND 3:  $Y = 46.3659 + 0.1983X - 0.02X^2$  JND 2:  $Y = 28.0044 + 0.466X - 0.0375X^2$ )

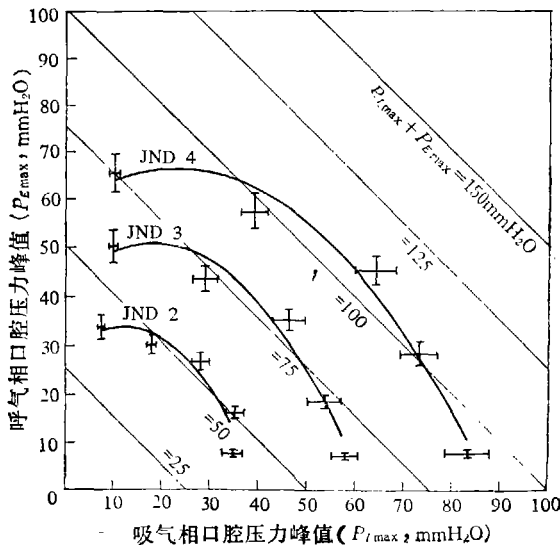


图 7 由口腔压力峰值标出的等呼吸阻力感曲线

(图注同图 6 JND 4:  $Y = 58.6464 + 0.6782X - 0.0151X^2$  JND 3:  $Y = 42.5551 + 0.9102X - 0.0255X^2$  JND 2:  $Y = 28.4947 + 0.8985X - 0.0386X^2$ )

### 三、讨 论

本工作应用模糊集理论较满意地解决了呼吸阻力感觉体验的评量问题。应用多级估量法得出的结果不仅能够反映一定总阻力值下由于负荷的呼吸时相不同所致的感觉体验上的差异;且所导出的心理物理函数也符合幂函数定律,而由古典的类别量表所得之相应结果则不具备上述性质。这显然与上述两种心理量表在方法学上的原则区别有关。首先,多级估量法是以多值逻辑为其基础的,量表各类别之间是相容的,适合于对呼吸感觉和不适感觉一类心理模糊量的评量。其得到的结果呈可能性分布,而古典类别量表的逻辑基础是二值的,量表各类别之间是互相排斥的,其结果呈概率分布,而概率分布与可能性分布之间只有弱的联系。其次,用多级估量法测量,一次便可获得一组向量,包括赞同和反对的态度及其不同肯定度等信息,故可能揭示实际存在的差异。例如,不同阻力负荷时相所致感觉量之间的差异,而传统方法,一次测试只得一个确定的单值,虽然也反映了主要信息,却摒弃了其余有用的信息,故难以反映一些细微的差异。再者,多级估量法是二维评价,相互制约因素多,使测量的可靠程度增加;而传统的方法属于一维评价,任意性较大,因而可靠性相对较差。最后,值得指出的是,从多级估量法所得结果中可以找出感觉连续量上各类别所对应的物理或生理刺激量。这对于呼吸防护装备阻力标准的修订有参考价值。这也是比率量表难以相比的。后者只是揭示心理物理函数关系,而没有提供有关阈限的直接对应物。本工作这一尝试也有可能为其它本体及内脏感觉的评量方法提供一条新的途径。

关于 Fechner 定律对呼吸感觉的有效性问题的,仅见少数作者曾报道过人对呼吸机械负荷的辨别阈关系符合 Weber 法则<sup>[4,2]</sup>。Halttunen<sup>[15]</sup>曾试图用调整法探讨人对肺容积变化的感觉体验是否符合 Fechner 定律的问题,但未得出明确结果。本工作主要探讨呼吸阻力感觉规律,得以阐明以下事实:阻力值范围为 10—500 mmH<sub>2</sub>O·l<sup>-1</sup>·s 的吸气相或呼气相阻力负荷所对应的感觉连续体 (continuum) 一般包括 6—7 个 JND 梯级;其梯级数目 (Y) 与物理或生理刺激量 (X) 间均符合对数函数关系,可由  $Y = b \ln(X + k) - a$  型式的方程拟合(式中: a, b, k——参数)。后者基本符合 Fechner 定律所阐述的对数函数关系。在方法学上,本工作在应用辨别阈限法测量 JND 梯级数目时之所以仅限于递增系列的测定是出于以下的考虑:各次呼吸参数的随机性变异较大,主观上难以严格控制,即使采用经典的、以 50% 概率表达阈限的方法,亦不能从根本上排除一些非感觉因素的影响<sup>[16]</sup>。再者,完成一次 JND 梯级数测量需经多次辨别阈限测定,若步骤过繁,势将由于被试者疲劳等因素的影响而不可能完成。从实用角度,可将本实验的 JND 梯级测量看作评量呼吸阻力感觉的辨别阈量表 (Discriminability Scale) [引自<sup>15]</sup>。它表明在给定的负荷范围内,人能分辨的阻力感觉共有多少个梯级,每一个梯级的“长度”即反映人的辨别感受性。再结合使用多级估量量表,则又可对每一个 JND 梯级的感觉体验作出评量。从而可以系统地阐明人对于一定范围的吸或者呼气相阻力负荷的感觉体验和辨别能力。

对温度、振动、听觉<sup>[10-12]</sup>等均已成功地测出不同物理刺激在感觉体验上的“等感关系”。本工作将“等感”概念用于呼吸感觉研究,再结合 JND 梯级概念,得以阐明呼吸感觉量随总阻力及两相负荷比例而变化的规律。本工作测得之等呼吸阻力感曲线的生理意义如下:在联合阻力负荷影响下,引起“等阻力感”所需之物理刺激量(总阻力值),或者生理刺激量(如口腔压力



波动幅度,等于吸气相与呼气相口腔压力峰值的绝对值之和),均高于单相阻力负荷时的相应值(见图6,7)。它表明人对联合阻力的耐受能力要高于只施加于单个呼吸时相的阻力。由图7所示等感曲线的特殊形状还得知:同等幅度的口腔压力波动,在呼气相将引起更强的阻力感觉。这也与图2,图5的结果一致。Muza等<sup>[17]</sup>用比率量表得到之结果亦表现有此种趋势。

一个感觉过程除具有性质、数量、时间、空间等维数外,还常具有情感方面的影响<sup>[11]</sup>。阻力感与呼吸不适感之间既有联系又有区别。本工作测得5JND梯级的阻力感觉属“较重度”以上,并有一定程度的呼吸不适感。在“等感”实验中还发现阻力负荷时相也影响呼吸不适感的程度。据被试者主诉,在能引起等呼吸阻力感的各种阻力负荷当中:以吸气相阻力负荷的呼吸不适程度相对为最重;呼气相阻力,次之;联合阻力,相对最轻。

以往为确定呼吸防护装备附加呼吸阻力容许标准所进行的呼吸感觉研究,多采用古典的类别量表,并通过多元回归或概率单位分析等,求出刺激量与感觉量间的经验关系<sup>[18-20]</sup>。其缺点是:回归模型限于建立方程的条件下有效<sup>[22]</sup>;一维心理量表的精确度较低,难以反映不同负荷时相所致感觉量的差别。本工作提出的研究途径则是从感觉生理和心理物理基本规律出发,由较少量实验即可确立能够预期各种外加阻力生理-心理效应的预测模型。

汪培庄、赵汝怀、胡琳等同志曾给予协助,谨此致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 张立藩,呼吸机械负荷(综述),国外医学(军事医学分册),2(1984),82-85.
- [2] Altose, M. D. & Cherniack, N. S., in *Adv. Physiol. Sci.*, vol. 10, Respiration (Ed. Hutás, I. & Debreczeni, L. A.), Pergamon Press, 1980, 111-119.
- [3] Campbell, E. J. M. & Guz, A., in *Regulation of Breathing* (Ed. Hornbein, T. F.), Marcel Dekker, New York, 1981, 1181-1195.
- [4] Sharp, G. R. and Ernsting, J., in *Aviation Medicine* (Ed. Dhenin, G.), Tri-Med, London, 1978, Vol. 1, 84-93.
- [5] Altose, M. D. et al., *Am. Rev. Respir. Dis.*, 126(1982), 807-811.
- [6] Killian, K. J. et al., *J. Appl. Physiol., Respirat Environ. Exercise Physiol.*, 52(1982), 578-584.
- [7] Burdon, J. G. W. et al., *ibid.*, 54(1983), 1222-1228.
- [8] 马谋超、曹志强,心理学报,2(1983),198-204.
- [9] 马谋超、张立藩等,同上,6(1986),8-16.
- [10] Bennett, T. L. 著,且明译,感觉世界——感觉和知觉导论,科学出版社,北京,1983,28-50,105-106.
- [11] Schmidt, R. F. (Ed.), *Fundamentals of Sensory Physiology*, Springer-Verlag, Berlin, 1978, 15-30, 187-188.
- [12] Parsons, K. C. & Griffin, M. J., Methods for predicting passenger vibration discomfort, SAE technical paper series 831029, 1983, 1-14.
- [13] 谈耀中等,第四军医大学学报,6(1985),65-66.
- [14] 冯林华等,同上,6(1985),64-65.
- [15] Halltuen, P. K., *Acta Physiol. Scand. suppl.* 419(1974).
- [16] Narbed, P. G. et al., *Clin. Sci.*, 62(1982), 367-372.
- [17] Muza, S. R. et al., *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 56(1984), 211-216.
- [18] Bentley, R. A. et al., *Arch. Environ. Health*, 27(1973), 273-280.
- [19] 李兵林等,解放军医学杂志,9(1984),184-187.
- [20] 马瑞山等,第四军医大学学报,6(1985),1-8.