

文章编号:1004-7220(2014)04-0351-04

晕船适应性的指数模型

刘广建¹, 方颖¹, 孙钢², 吴建华¹

(1. 华南理工大学 生物科学与工程学院, 广州 510006; 2. 济南军区总医院 医学影像科, 济南 250031)

摘要: **目的** 建立晕船适应性数学模型,为科学制定晕船适应性训练计划提供量化研究工具。**方法** 基于晕船适应性规律,建立晕船发生率(MSI)指数模型,以通过拟合训练数据提取航海适应率(AMSI)和适应速率(μ)等晕船适应性参数,并模拟 AMSI 和 μ 对 MSI 的影响。**结果** 模型能够较好地拟合 2 次海上适应性训练数据,AMSI 和 μ 在间断性训练中的拟合结果为 0.87 和 0.048,而在连续性训练中则为 0.81 和 0.34。提高 AMSI 和 μ 可增强晕船适应性训练效果。**结论** 本文建立的 MSI 模型可用于晕船适应性训练的效果评估和最优策略制定。

关键词: 晕船; 适应性训练; 航海适应率; 指数模型

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

A kind of exponential model of seasickness habituation

LIU Guang-jian¹, FANG Ying¹, SUN Gang², WU Jian-hua¹ (1. School of Bioscience and Bioengineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. Department of Medical Imaging, Jinan Military General Hospital, Jinan 250031, China)

Abstract: Objective To provide a quantitative analysis tool by building a mathematical model of seasickness habituation to make adaptive training plans scientifically for anti-seasickness purpose. **Methods** Based on the regular pattern of seasickness habituation, an exponential model of motion sickness incidence (MSI) was established to extract such seasickness habituation parameters as anti-motion sickness incidence (AMSI) and anti-motion sickness rate (μ) through making the seasickness habituation data fitting into the corresponding training, and the effects of AMSI and μ on MSI was also simulated. **Results** The data from two marine adaptive trainings were well fitted with the MSI model, and the fitting results of AMSI and μ were 0.87 and 0.048 for intermittent training, or 0.81 and 0.34 for continuous training. Effects of seasickness habituation training would be enhanced by increasing the value of AMSI and μ . **Conclusions** The present model of MSI is suitable for evaluating the effect of training on anti-seasickness and making the optimal strategy for such seasickness habituation training.

Key words: Seasickness; Adaptive training; Anti-motion sickness incidence (AMSI); Exponential model

晕船,也称航海运动病,是渡海作战、海洋科考、航海旅行等海上活动面临的最常见而且最难处置的疾病之一^[1-2],其主要症状为眩晕、疲乏、嗜睡、恶心,甚至呕吐。晕船的发生严重影响了海上人员的作业能力,特别是对于作战部队而言,晕船引起的体能与认知能力的下降可导致相当数量的非战斗减员,降低作战能力。因此,长期以来,关于晕船和抗晕船的

研究受到海洋与船舶工程、运动与军事医学领域的持续关注。

诚然,抗晕船药物可以有效预防或减轻晕船症状,但其可能引起的嗜睡、视觉障碍和记忆力损害等副作用却往往是不可接受的。幸运的是,随着海上航行时间的延长,大部分人会获得晕船适应性,这是一个自然的生理过程。因此,晕船适应性训练被认

为是一种简单实用的抗晕船方法^[3]。适应性训练是指通过几天或几周重复暴露而提高对运动刺激的耐受性^[4],从而减轻或消除晕船症状。通常,晕船适应性会在持续暴露于运动中数小时至数天内产生^[5],但其规律比较复杂,不仅与训练方法有关,还与训练对象的年龄、性别、身体状况和精神状态等个体差异以及周围环境密切相关^[6]。并且,据文献报道,约5%的个体永远不会产生晕船适应性^[6]。这种复杂性导致目前的适应性训练计划缺乏针对性和科学性,抗晕船效果不明显,浪费时间与财力,甚至可能发生伤害事故。因此,亟需相应的理论工具来指导重复暴露次数、暴露时间间隔、持续时间和刺激强度等关键训练参数的选择。

本文通过引入航海适应率和适应速率两个晕船适应性参数,建立指数型晕船适应性训练模型,旨在提供一种定量评估适应性训练效果的数学工具,以便科学指导抗晕船适应性训练计划的制定,提高训练效率。

1 材料与方法

1.1 资料来源

研究资料来自文献[7-8]中报道的两次海上适应性训练,分别编号为T1和T2。T1训练对象为入伍1年以上且合计航行5次以内、有晕船经历的船员152人,训练方法为乘坐某小型舰艇,在3~4级风浪条件下,平均每周出海3~4次,每次8h左右;T2训练对象为年龄22~50岁的医务人员104人(其中女性48人,男性56人),训练方法为乘坐某医院船,连续航行15d,遇到使舰船摇摆中度以上的大风浪4次,分别发生于第1、3、7、12d。两次训练中对晕船程度的判断均采用问卷调查的方法。

1.2 晕船适应性模型

构建晕船适应性模型需考虑两个基本要素——模型结构和模型参数,结构是根据晕船适应性规律确定出的基本计算模式,而参数则代表某一次适应性训练的具体特征。因此,晕船适应性模型设计的主要工作就是确定合理的结构和选用最佳的参数,使模型的输出与实际发生最为接近。由于在适应性训练过程中晕船适应率基本上呈单调上升,本文选择比较简易的指数曲线方程作为模型结构。在选择模型参数时,有两个问题必须考虑:① 当时间足够

长时,训练对象中有多少人可获得晕船适应性;② 训练对象获得晕船适应性的速率如何。因此,引入航海适应率和适应速率2个参数,构建晕船适应性的模型:

$$MSI = 1 - AMSI \times (1 - e^{-\mu t}) \quad (1)$$

式中:MSI (motion sickness incidence)为晕船发生率,表示晕船病患者经历时间 t 的适应性训练后再患晕船病的概率。AMSI (anti-motion sickness incidence)为航海适应率,表示在经历足够长的时间($t \rightarrow \infty$)训练之后原有晕船个体不再晕船的比率,即晕船病患者不再患病的概率;显然, $0 \leq AMSI \leq 1$,AMSI的值与训练对象的体质密切相关。 μ 为适应速率,表征具有航海适应性的晕船病患者经历单位时间后再患晕船病可能性的衰减速率;它不但依赖于训练对象的体质,而且和所采用的训练方法有关, $\mu > 0$ 。一般,适应性训练时间 t 的单位为天(d)。

1.3 参数估计

利用晕船适应性训练数据和指数型晕船适应性训练模型(式(1)),通过模型拟合方法,提取AMSI和 μ 值。这里,使用Microsoft Excel的“规划求解”工具求得非线性最小二乘估计值。

1.4 模型验证

利用相关系数 r 并通过卡方拟合优度检验来评价本模型(式(1))的适用性。

$$r = \frac{\text{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{y})}{\sqrt{D(\mathbf{x})} \sqrt{D(\mathbf{y})}} \quad (2)$$

式中: $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $\mathbf{y} = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, x_j 和 y_j 分别表示经历训练时间 t_j 之后,晕船发生率的测量值与理论预报值, $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ 。 $\text{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ 为数组 \mathbf{x} 和 \mathbf{y} 的协方差, $D(\mathbf{x})$ 和 $D(\mathbf{y})$ 分别为数组 \mathbf{x} 和 \mathbf{y} 的方差。

利用卡方值 χ^2 的计算公式作卡方拟合优度检验

$$\chi^2 = \sum \frac{(A - T)^2}{T} \quad (3)$$

式中: A 、 T 分别为晕船发生率的测量和理论预报值。

2 结果

2.1 两次海上适应性训练的数学模型

基于1.2节建立的晕船适应性模型(式(1)),利用两次海上适应性训练(T1和T2)收集到的晕船适应性数据,通过Microsoft Excel中的“规划求解”

工具分别求得相应模型参数。相关结果见表 1。

表 1 两次海上适应性训练的晕船适应性模型参数

Tab.1 Model parameters for two marine adaptive trainings

编号	模型参数		r	拟合优度检验	
	AMSI	μ		χ^2	ν
T1	87.00%	0.048	0.989	2.830	3
T2	81.34%	0.342	0.935	6.144	3

注: $\chi^2 < \chi^2(0.05, 3) = 7.815, P > 0.05$

结果表明,本文所建立的指数型晕船适应性数学模型能较好地反映晕船适应性规律。事实上,两次训练的晕船适应性模型的晕船发生率理论数据与实际数据具有较高的吻合度(见图 1);两者的相关系数分别为 0.989 和 0.935,卡方拟合优度检验的 P 值均大于 0.05(见表 1),提示理论预报值与实测数据之间无显著差异。

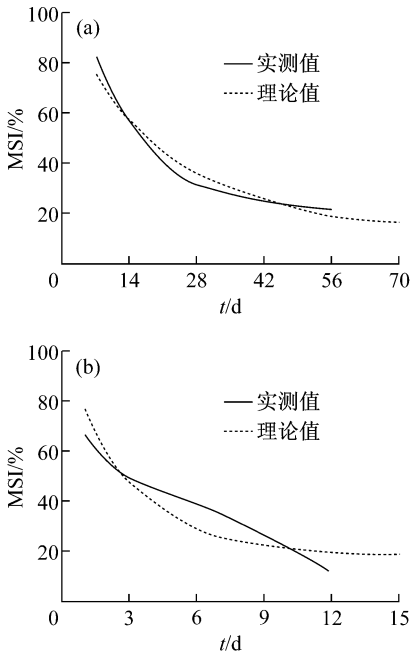


图 1 T1 (a) 和 T2 (b) 次海上适应性训练过程中晕船发生率预测
Fig.1 Prediction of motion sickness incidence (MSI) during the marine adaptive training T1 (a) and T2 (b)

与 T2 次训练相比,在 T1 次训练中得到 AMSI 值要大(见表 1),这可能与 T1 次训练对象全部为青年男性,其体质明显优于 T2 次训练对象有关;与之相反,与 T2 次训练相比,在 T1 次训练中得到 μ 值要小得多,这一看似相悖的结果,其可能的原因在于

T1 次训练是间断性进行的,而 T2 次训练为在海上的持续航行,提示持续训练可加速乘员对航海的适应性,降低晕船病的发生率。

2.2 航海适应率和适应速率对训练效果的影响

为揭示 AMSI 和 μ 对抗晕船适应性训练效果的影响,本文基于晕船适应性模型(式(1)),数值模拟 AMSI 和 μ 对 MSI 的影响(见图 2)。结果表明,AMSI 和 μ 的提高显著增强适应性训练效果,减少训练时间。图 2(a)表明,在 μ 保持 0.048 不变的情况下,AMSI 越高,MSI 越小,在相同训练时间条件下的训练效果越好。同时,当 AMSI = 0.87 时,MSI 随着 μ 的增加而减小,在较大的 μ 值情形下,仅需较少的训练时间,就可体现更好的训练效果(见图 2(b))。通过改变训练方法,在 AMSI 维持不变的情况下,将 μ 从 0.048 提高到 0.5,在不到 1 周的时间内就可接近最好的训练效果,所需训练时间可缩短为原来的 1/10。

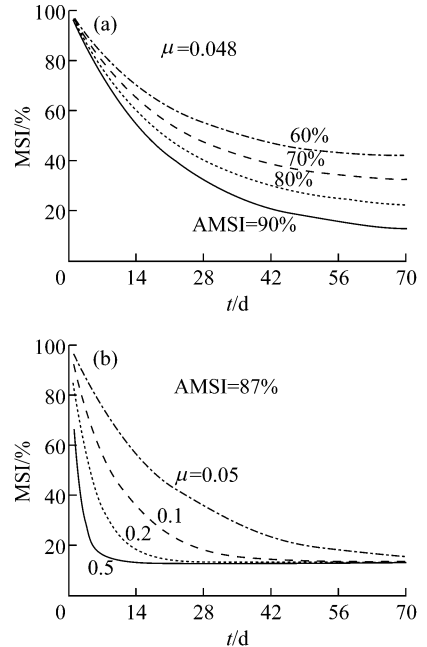


图 2 不同 AMSI (a) 或 μ (b) 下 MSI 随训练时间 t 的变化
Fig.2 Variation of MSI versus the training time t under various AMSI (a) or μ (b)

3 讨论

目前,运动病确切的发病机理还不确定,适应性的机制也不明晰。人们普遍接受的理论是神经不匹

配学说^[9],即在特定运动环境中,来自耳石器、半规管、视觉和本体感受器的传入信息与根据过去的经验所预期的传入信息不一致而产生冲突,从而引发运动病。一般认为,在反复刺激之下,由于预期输入的更新,这种冲突最终被调解,对该运动模式的适应性随之产生^[10]。本文通过对晕船适应性训练数据的分析,构建了晕船适应性训练效果的指数模型(式(1))。结果表明,该模型能较好地描述晕船适应性规律,从而为晕船适应性训练计划的制定提供了一种量化的研究工具。

晕船适应性训练计划的制定,不但需要考虑海员的个体差异,而且和他们所需承担的具体任务相关。如现代海洋战争,通常是在信息化条件下的联合作战,涉及陆、海、空和后勤保障(如医护兵)等多个军兵种。由于个体体格的差异,经训练可达的最大 AMSI 是不同的。AMSI 越大,表明该个体的可塑性越好。在训练过程中注意这一现象,就可以分辨出哪类人群最适于海事作业与渡海作战任务等。持续高强度的训练,可大大提高战士的航海适应性。

适应性训练虽然可以取得较好的抗晕船效果,但往往耗时较长,成本较高,当务之急是找到快速获得适应性的训练方法。国内外对此已进行过许多有益的探索。Stern 等^[11]指出,改变重复暴露的时间间隔会影响适应程度,间隔 48 h 可以产生运动病症状的改善,而间隔 4 ~ 24 d 则没有效果。Howarth 等^[12]的实验表明,暴露次数相较于时间间隔是更为重要的因素。此外,Goldring 等^[13]认为,增加暴露次数比增加刺激强度更加有效。还有研究表明,间断训练方式对晕船适应有一定作用,但比连续训练效果差^[14],这与本研究结果一致。另外,提高训练效果的方法还包括在适应性训练过程中结合生物反馈疗法、呼吸控制疗法、放松疗法、认知行为疗法等^[15-18]。应用本文的模型可以拟合出不同训练方法下的 μ 值,通过 μ 值的差异,可以定量评估每一种方法的效果,从而为训练方法的选择提供依据。从本文研究的两次训练来看,T1 属间断训练,T2 属连续训练,尽管 T1 的训练对象体质较好,但其 μ 值仍远低于 T2,说明训练方式(连续或间断)这一因素可能对训练效果影响较大,在制定训练计划时需着重考虑。

本文提出的晕船适应性模型非常简便,通常只

需要测量 3 次数据就可以实现拟合,其用到的 Excel 工具也很普遍,便于在实际训练中推广。但在拟合海上训练数据时,由于很难控制训练条件(如风浪的大小等),数据起伏较大,增加了估计模型参数的难度,导致某些点的理论值与实际值偏差较大,例如 T2 训练中第 7 d 的晕船适应率数值(见图 1(b))。为了增加模型参数的精确度,在条件难以控制的训练中宜增加测量次数。

晕船发生的个体差异性非常大,本文模型中的 AMSI 和 μ 只能反映群体的适应性规律,却不能应用于个体。一般而言,AMSI 和 μ 值均与群体的年龄、性别、精神状态和生理参数(如血压、心率、脉搏波等)相关。在掌握了足够数据的情况下,可以用回归的方法找出 AMSI 和 μ 的相关因素及其比重,以利用指数模型(式(1))预测不同群体在不同状况下的晕船适应性规律。

参考文献:

- [1] Pingree B. Motion commotion-A seasickness update [J]. J R Nav Med Serv, 1989, 75(2): 75-84.
- [2] Murdin L, Golding J, Bronstein A. Managing motion sickness [J]. BMJ, 2011, doi: 10.1136/bmj.d7430.
- [3] Yen-Pik-Sang F, Billar J, Gresty MA, et al. Effect of a novel motion desensitization training regime and controlled breathing on habituation to motion sickness [J]. Percept Mot Skills, 2005, 101(1): 244-256.
- [4] Stott J. Prevention and treatment of motion sickness: Non-pharmacological therapy [M]// Motion sickness: Significance in aerospace operations and prophylaxis. France: North Atlantic Treaty Organization, Advisory Group for Aerospace Research & Development, 1991.
- [5] Wertheim A. Working in a moving environment [J]. Ergonomics, 1998, 41(12): 1845-1858.
- [6] Stevens SC, Parsons MG. Effects of motion at sea on crew performance: A survey [J]. Mar Biotechnol, 2002, 39(1): 29-47.
- [7] 马文领, 郑璇, 韩德条, 等. 晕船适应和脱适应相关因素的调查与分析[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2007, 13(6): 331-333.
- [8] 吴桂荣, 庄永敬, 胡伟青, 等. 连续航行对医务人员晕船病发生率的影响[J]. 华南国防医学杂志, 2011, 25(2): 151-152.
- [9] Benson AJ. Motion sickness [J]. Aviat Med, 1988: 318-338.