

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240052

• 专题报道 •

垂荡模拟联合视觉虚拟涌浪防晕动症习服训练的效果研究

王俊骏[△], 潘磊磊[△], 祁瑞瑞, 刘志杰, 肖水凤, 赵 龙, 张 玲, 徐子超, 蔡懿灵*

海军军医大学(第二军医大学)海军医学系航海特殊损伤防护教研室, 上海 200433

[摘要] **目的** 研究正弦垂荡刺激、视觉虚拟现实(VR)涌浪刺激和两者联合刺激条件下的防晕动症习服时间和习服效果。**方法** 通过海上实航6 h筛选120名极重度晕动症者,随机分为4组($n=30$):垂荡训练组、VR训练组、垂荡+VR训练组和对照训练组。采用Graybiel量表评估训练期间每日的症状严重程度,记录VR训练组的弹性踏台掉落次数,以连续3 d Graybiel评分为0分和/或弹性踏台掉落次数为0次判定为完全习服。采用比筛选时更恶劣海况条件下的海上实航验证训练效果。**结果** 垂荡训练组、垂荡+VR训练组的Graybiel评分及VR训练组的弹性踏台掉落次数均随着训练天数的增加而下降,并分别于训练第3天、第5天和第2天达到习服水平。垂荡训练组、垂荡+VR训练组、VR训练组的最长习服时间分别为8、8、5 d,平均习服时间分别为3.6、3.9、2.7 d,5 d习服率分别为93.33%(28/30)、76.67%(23/30)、100.00%(30/30),海上实航验证期间习服训练有效人数占比分别为86.67%(26/30)、96.67%(29/30)、66.67%(20/30),训练有效率分别为85.19%、96.30%、62.97%。**结论** 3种训练方法均有明确的防晕动症习服训练效果,且习服时间仅为5~8 d。垂荡和垂荡+VR训练的习服效果优于VR训练。

[关键词] 晕动症;习服训练;垂荡模拟;虚拟现实

[引用本文] 王俊骏,潘磊磊,祁瑞瑞,等.垂荡模拟联合视觉虚拟涌浪防晕动症习服训练的效果研究[J].海军军医大学学报,2024,45(8):943-949. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240052.

Training effect of vertical oscillation simulation plus visual virtual swell stimulation for motion sickness acclimatization

WANG Junqin[△], PAN Leilei[△], QI Ruirui, LIU Zhijie, XIAO Shuifeng, ZHAO Long, ZHANG Ling, XU Zichao, CAI Yiling*

Department of Nautical Injury Protection, Faculty of Naval Medicine, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To study the acclimatization time and effects for preventing motion sickness under sinusoidal vertical oscillation stimulation, visual virtual reality (VR) swell stimulation, and their combined stimulation. **Methods** Totally 120 individuals with extremely severe motion sickness during 6 h navigation were randomly divided into 4 groups ($n=30$): vertical group, VR group, vertical+VR group, and control group. The severity of symptoms during the training period was assessed daily by Graybiel scale, and the number of drops from flexible treadmill in the VR group was recorded. The Graybiel score of 0 for 3 d and/or the number of drops for 0 were considered as complete acclimatization. The training effect was validated by navigation under more severe sea conditions. **Results** The Graybiel scores of the vertical group and vertical+VR group, as well as the number of drops of the VR group were decreased with the increase of training days, and reached the acclimatization level on the 3rd, 5th, and 2nd training day, respectively. The longest acclimatization time in the vertical, vertical+VR, and VR groups was 8, 8, and 5 d, with an average acclimatization time of 3.6, 3.9, and 2.7 d, respectively; the acclimatization rates within 5 d were 93.33% (28/30), 76.67% (23/30), and 100.00% (30/30), respectively; the proportions of individuals with effective acclimatization training in the verification voyage were 86.67% (26/30), 96.67% (29/30), and 66.67% (20/30), respectively; and the training efficiency was 85.19%, 96.30%, and 62.97%, respectively. **Conclusion** Three training methods all have effects on motion sickness acclimatization, and the acclimatization period is 5-8 d. The acclimatization effects of the vertical oscillation and vertical oscillation+VR training are better than the VR training.

[Key words] motion sickness; acclimatization training; vertical oscillation simulation; virtual reality

[收稿日期] 2024-01-19 **[接受日期]** 2024-05-07

[基金项目] 国家自然科学基金青年科学基金(82001993),军队后勤科研项目(BHJ22J021). Supported by National Natural Science Foundation of China for Young Scholars (82001993) and Scientific Research Program of Military Logistics (BHJ22J021).

[作者简介] 王俊骏,博士,副教授. E-mail: Wangjunqin11@hotmail.com;潘磊磊,博士,讲师. E-mail: 43062183@qq.com

[△]共同第一作者(Co-first authors).

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-81871137, E-mail: yilingcai1@sohu.com

[Citation] WANG J, PAN L, QI R, et al. Training effect of vertical oscillation simulation plus visual virtual swell stimulation for motion sickness acclimatization[J]. Acad J Naval Med Univ, 2024, 45(8): 943-949. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240052.

晕动症是由于异常加速度引起的一组多系统综合征,这种异常环境不仅包括道路、海洋、天空等真实运动环境,也包括虚拟现实(virtual reality, VR)、3D电影、互动游戏等模拟运动环境^[1]。在海洋环境下,晕动症通常由船舶的侧倾和俯仰运动引起^[2],其主要症状可从出冷汗、流涎和偶尔的头痛进展到面色苍白和恶心,并进一步发展至呕吐甚至失能,严重影响船员的操作和认知能力^[3]。长期且反复暴露于异常加速度环境会出现症状消失、认知和操作能力恢复等明显的习服现象^[4]。习服训练是公认的最为简便、有效的晕动症预防措施^[5],且不存在嗜睡、全身无力等抗晕药物常见的不良反应,对船员的认知和操作能力影响最小。目前常见的防晕动症习服训练方法有4类:一是海上实航训练,需在一定的风浪条件下反复出海训练,成本高且易中断;二是模拟器训练,目前已有汽车、飞机、舰艇、航空等多种模拟器^[6-8],均可诱导出晕动症症状,但其主要作用在于驾驶能力训练,而专项用于抗晕训练的转椅针对的是航空晕动症,对航海晕动症的习服训练效果不佳;三是器械训练,包括滚轮、浪木、旋梯、不稳定平台等,较难诱导出晕动症症状;四是视觉VR训练,能诱导出晕动症症状,但较少出现恶心、呕吐等重度症状,习服时间较短^[9]。采用陆上模拟器训练和视觉VR训练是现实中常用且易实现的训练方式。本研究利用自行设计的垂荡模拟器和视觉虚拟涌浪系统进行防晕动症习服训练,并通过海上实航进行人员筛选和训练效果验证,比较新型陆上习服训练方法的训练效果,为制订切实有效的抗晕训练计划提供科学依据。

1 对象和方法

1.1 对象与分组 在成年男性400人[年龄18~32(23.50±3.25)岁]中,以6h海上航行期间的Graybiel评分筛选出极重度晕动症者(Greybiel评分≥16分)120人,随机分为4组,分别为垂荡训练组、垂荡+VR训练组、VR训练组、对照训练组,每组30人。

所有参与者都必须在试验前1d获得足够的睡眠,并且在试验期间避免剧烈的体力活动,不允许服用抗晕药物。研究方案通过海军军医大学(第二军医大学)医学研究伦理委员会审核批准,所有参与者均签署知情同意书。

1.2 试验方法

1.2.1 症状评分 按国际上常用的Graybiel量表^[10]进行评估,内容包括恶心综合征(最高16分)、皮肤颜色(最高8分)、出冷汗(最高8分)、流涎(最高8分)、嗜睡(最高8分)和中枢神经系统体征(最高1分)等6类症状^[11]。6类症状总分用于晕动症严重程度评估,分为无晕动症(0分)、轻度晕动症(1~2分)、中度晕动症(3~7分)、重度晕动症(8~15分)、极重度晕动症(≥16分)。

1.2.2 垂荡训练 采用自行设计的垂荡模拟器(图1A)进行训练。该模拟器配备了4个不透明的隔间,由大功率伺服电机驱动^[12]。训练时,受训者被要求单独坐在机舱内并系好安全带,连续暴露于正弦垂直振荡40min(频率0.30Hz,加速度0.20g)。垂荡训练期间,评估员使用对讲机和摄像机与受训者进行实时通信。采用Graybiel量表进行症状评估,每10min评估1次,在4次评估中各类症状最严重时记录Graybiel评分。



图1 训练设备图

Fig 1 Training equipment diagram

A: Vertical simulator; B: Visual virtual surge system.

1.2.3 VR训练 采用本课题组与中国航天员科研

训练中心合作设计的视觉虚拟涌浪系统(图 1B)进行训练^[13-14]。视觉刺激通过 VR 头盔(中国台湾 HTC VIVE 公司)进行呈现,本体觉通过 Step360°弹性踏台(美国 SPRI 公司)产生,前庭觉按节拍(10 s/次)左右摆头产生。训练时,受训者佩戴头盔站立于弹性踏台上,训练时长为 10 min。训练期间工作人员对受训者进行保护,防止跌伤。评估员在 10 min 训练结束后采用 Graybiel 量表评估 1 次晕动症症状,并记录训练期间掉落弹性踏台的次数。

1.2.4 垂荡+VR 训练 受训者单独坐在垂荡模拟器机舱内,同时头戴 VR 头盔。垂荡训练期间,头盔内播放虚拟涌浪视频。评估员每 10 min 评估 1 次晕动症症状,方法与单纯垂荡训练时相同。

1.2.5 对照训练 受训者单独坐在垂荡模拟器机舱内,同时头戴 VR 头盔。头盔内不播放视频,垂荡模拟器以 0.5 m/s 的匀速进行垂荡运动。评估员每 10 min 评估 1 次晕动症症状,方法与单纯垂荡训练时相同。

1.3 试验流程

1.3.1 晕动症人员筛选 400 名参与者分 3 d 乘坐排水量为 180 吨的小船(35~40 人/船)在海上航行 6 h。航海活动区域浪高 1.0~1.5 m,风力 3~4 级。船舶纵摇 0.5°~2.7°,横摇 0°~12°(以 3°~8°为主)。评估员随船进行 Graybiel 量表(问询版)评价,每小时评价 1 次,在 6 h 内各类症状最严重时记录 Graybiel 评分。

1.3.2 习服训练 120 名极重度晕动症者按分组给予相应的训练。垂荡训练组、垂荡+VR 训练组、对照训练组受训者每天训练时间为 40 min,以连续 3 d Graybiel 评分为 0 分判定为完全习服,停止训练。

VR 训练组每天训练时间为 10 min,以连续 3 d 弹性踏台掉落次数为 0 次且 Graybiel 评分为 0 分判定为完全习服,停止训练。

1.3.3 效果验证 120 名受训者乘坐排水量为 180 吨的小船在海上航行 6 h。航海活动区域浪高 1.5~2.0 m,风力 5~6 级,阵风 7 级。船舶纵摇 0.5°~3.6°,横摇 0°~12°(以 5°~10°为主)。评估员随船进行 Graybiel 量表(问询版)评价,方法同人员筛选时。采用公式计算训练有效率:试验组训练有效率(%)=(对照训练组晕动症发生率-试验组晕动症发生率)/对照训练组晕动症发生率×100%。

1.4 统计学处理 采用 SPSS 27.0 软件进行统计分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,年龄、身高、体重等基础数据的组间比较采用单因素方差分析;训练期间 Graybiel 评分的比较采用两因素多水平重复测量数据的方差分析,两两比较采用 Bonferroni 事后分析。计数资料以人数和百分数表示,训练期间晕动症发生率及习服率的比较采用 Pearson χ^2 检验或 Fisher 确切概率法(理论频数<5),两两比较采用 Z 检验。检验水准(α)为 0.05。

2 结果

2.1 受训者基础特征分析 通过海上航行期间的 Graybiel 评分筛选出 120 名极重度晕动症者(均存在呕吐症状),随机分入 4 个训练组。如表 1 所示,各组间年龄($F_{(3, 119)}=0.933$, 偏 $\eta^2=0.024$, $P=0.427$)、身高($F_{(3, 119)}=0.454$, 偏 $\eta^2=0.050$, $P=0.715$)、体重($F_{(3, 119)}=0.246$, 偏 $\eta^2=0.032$, $P=0.864$)、BMI($F_{(3, 119)}=0.062$, 偏 $\eta^2=0.000$, $P=0.980$)和 Graybiel 评分($F_{(3, 119)}=0.415$, 偏 $\eta^2=0.047$, $P=0.742$)差异均无统计学意义。

表 1 不同训练组极重度晕动症者的基础特征

Tab 1 Baseline characteristics of extremely severe motion sickness participants in different training groups

n=30, $\bar{x} \pm s$				
Index	Vertical group	Vertical+VR group	VR group	Control group
Age/year	22.94±2.74	23.63±3.36	24.54±4.17	23.79±4.10
Body height/cm	174.94±4.46	175.53±4.09	176.23±4.52	175.85±4.46
Body weight/kg	69.06±6.59	69.20±8.03	70.42±7.10	70.17±7.88
BMI/(kg·m ⁻²)	22.56±1.88	22.46±2.57	22.67±2.03	22.66±2.09
Graybiel score	17.23±2.39	17.73±3.31	17.92±3.61	17.24±2.43

VR: Virtual reality; BMI: Body mass index.

2.2 训练期间测评结果 采用两因素多水平重复测量数据的方差分析对训练期间 Graybiel 评分进行检验,

结果显示,训练天数($F_{(7, 77)}=28.336$, 偏 $\eta^2=0.203$, $P<0.001$)、训练方式($F_{(3, 111)}=13.486$, 偏 $\eta^2=$

0.267, $P < 0.001$) 主效应有统计学意义, 且存在交互作用 ($F_{(21, 777)} = 9.032$, 偏 $\eta^2 = 0.196$, $P < 0.001$)。采用 Bonferroni 法进行两两比较, 结果提示垂荡训练组和垂荡+VR 训练组的 Graybiel 评分随着训练天数的增加而下降, 并分别于训练第 3 天和第 5 天接近习服水平 (均 $P > 0.05$); VR 训练组的 Graybiel 评分在训练全程中均无显著升高 ($P > 0.05$)。同一训练日内各训练方式间比较结果显示, 与对照训练组相比, 训练第 1、2 天垂荡训练组、垂荡+VR 训练组的 Graybiel 评分均升高 (均 $P < 0.05$), 训练第 3、4 天垂荡+VR 训练组的 Graybiel 评分仍较高 (均 $P < 0.05$)。见图 2。

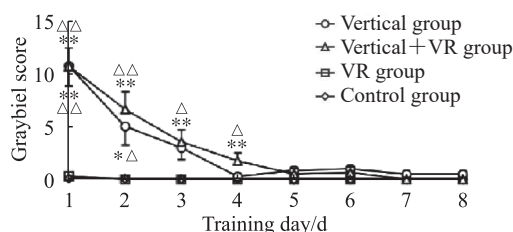


图 2 各组极重度晕动症者训练期间的 Graybiel 评分

Fig 2 Graybiel scores of extremely severe motion sickness participants in each group during training period

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ vs training day 8 in the same group; $\Delta P < 0.05$, $\Delta\Delta P < 0.01$ vs control group on the same training day. $n = 30$, $\bar{x} \pm s$. VR: Virtual reality.

VR 训练组各训练日间的弹性踏台掉落次数差异有统计学意义 ($F_{(7, 207)} = 9.259$, 偏 $\eta^2 = 0.317$, $P < 0.001$)。采用 Bonferroni 法进行两两比较, 弹性踏台掉落次数随着训练天数的增加而减少, 于训练第 2 天接近习服水平 ($P > 0.05$)。见图 3。

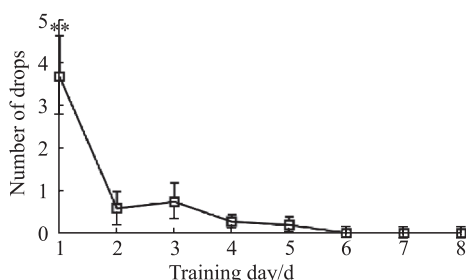


图 3 VR 训练期间极重度晕动症者的弹性踏台掉落次数

Fig 3 Number of drops from flexible treadmill of extremely severe motion sickness participants during VR training period

** $P < 0.01$ vs training day 8. $n = 30$, $\bar{x} \pm s$. VR: Virtual reality.

以 Graybiel 评分 0 分作为垂荡训练组和垂荡+VR 训练组的习服标准, 以弹性踏台掉落次数 0 次且 Graybiel 评分 0 分作为 VR 组的习服标准, 记录不同训练组受训者的晕动症习服情况, 结果如表 2 所示。采用 Fisher 确切概率法分析不同时间点各训练组的习服情况, 各组的习服率差异有统计学意义 ($\chi^2 = 24.285$, $P = 0.004$), Z 检验两两比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。垂荡训练组的最长习服时间为 8 d, 平均习服时间为 3.6 d, 3 d 习服率为 60.00% (18/30), 5 d 习服率为 93.33% (28/30)。垂荡+VR 训练组的最长习服时间为 8 d, 平均习服时间为 3.9 d, 3 d 习服率为 56.67% (17/30), 5 d 习服率为 76.67% (23/30)。VR 训练组的最长习服时间为 5 d, 平均习服时间为 2.7 d, 3 d 习服率为 76.67% (23/30), 5 d 习服率为 100.00% (30/30)。

表 2 各组极重度晕动症者训练期间的习服情况

Tab 2 Acclimatization rates of extremely severe motion sickness participants in each group during training period

N=30, n (%)			
Acclimatization time	Vertical group	Vertical+VR group	VR group
Day 2	10 (33.33)	8 (26.67)	21 (70.00)
Day 3	8 (26.67)	9 (30.00)	2 (6.67)
Day 4	2 (6.67)	3 (10.00)	3 (10.00)
Day 5	8 (26.67)	3 (10.00)	4 (13.33)
Day 6	0	4 (13.33)	0
Day 7	0	1 (3.33)	0
Day 8	2 (6.67)	2 (6.67)	0
Total	30 (100.00)	30 (100.00)	30 (100.00)

VR: Virtual reality.

2.3 习服效果海上实航验证结果 采用 Pearson χ^2 检验分析各训练组不同晕动症症状严重程度的人员占比, 结果显示各训练组晕动症症状严重程度差异有统计学意义 ($\chi^2 = 100.312$, $P < 0.001$)。垂荡训练模式和垂荡+VR 训练模式可消除极重症晕动症者的极重症症状和呕吐症状, VR 训练模式可使极重症率从 100.00% 降至 10.00% (3/30), 使呕吐发生率从 100.00% 降至 6.67% (2/30)。对照训练模式可使极重症率从 100.00% 降至 73.33% (22/30), 呕吐发生率从 100.00% 降至 70.00% (21/30)。Pearson χ^2 检验分析各训练组的晕动症发生率, 各训练模式的训练效果差异有统计学意义 ($\chi^2 = 59.341$, $P < 0.001$)。经 Z 检验两两比较, 与对照训练组 (90.00%, 27/30) 相比, 垂荡训练组 (13.33%, 4/30)、垂荡+VR 训练组 (3.33%,

1/30) 和 VR 训练组 (33.33%, 10/30) 的晕动症发生率均降低 (均 $P < 0.05$) ; 与 VR 训练组相比, 垂荡训练组和垂荡+VR 训练组的晕动症发生率均降低 (均 $P < 0.05$) ; 垂荡训练组和垂荡+VR 训练组的晕动症发生率差异无统计学意义 ($P > 0.05$) ;

对照训练组的晕动症发生率与筛选阶段相比无变化 ($P > 0.05$) 。垂荡训练组、垂荡+VR 训练组和 VR 训练组的训练有效率分别为 85.19%、96.30%、62.97%。见表 3。

表 3 海上实航验证期间各训练组的晕动症发生率及训练有效率

Tab 3 Motion sickness incidence and training effectiveness of training groups during verification voyage period

N=30				
Item	Vertical group	Vertical+VR group	VR group	Control group
Mild symptom, n (%)	3 (10.00)	1 (3.33)	1 (3.33)	0
Moderate symptom, n (%)	0	0	2 (6.67)	2 (6.67)
Severe symptom, n (%)	1 (3.33)	0	4 (13.33)	3 (10.00)
Extremely severe symptom, n (%)	0	0	3 (10.00)	22 (73.33)
Symptomatic, n (%)	4 (13.33)* [△]	1 (3.33)* [△]	10 (33.33)*	27 (90.00) [△]
Training efficiency/%	85.19	96.30	62.97	

* $P < 0.05$ vs control group; [△] $P < 0.05$ vs VR group. VR: Virtual reality.

3 讨 论

众所周知, 海上航行过程中, 船舶受风、浪、涌共同作用可产生 6 个自由度的运动, 其运动幅度大小与海况等级和船舶吨位相关。海况等级越高, 船舶运动幅度越大; 船舶吨位越大, 摇摆周期越长, 摇摆幅度越小^[15]。本研究中共有 2 次海上航行, 按国家标准《海浪等级》(GB/T 42176-2022), 筛选航行时的海况等级是 3~4 级, 验证航行时的海况等级是 4 级, 但从船舶摇晃幅度来看, 横摇角度明显大于救护艇在 5 级海况下的横摇峰值幅度 ($\pm 8^\circ$)^[16]。研究报道, 乘坐长 100 英尺 (1 英尺=0.304 8 m) 的小船 (排水量<500 吨) 在波高大于 1 m 的海况条件下航行 4 h, 呕吐发生率可达 72.2%^[17]; 乘坐大船在海上遇到风浪, 船舶横摇 8~10°时, 晕动症发生率达到 92.3%^[18]。本研究中 2 次海上实航时的船舶运动幅度均能达到诱导极重度晕动症的条件, 说明参训人员筛选和训练效果验证试验的结果是可信的。

垂直振荡是引起海上晕动症的主要运动方式^[19-20], 晕动症发生率与垂荡频率和加速度有关^[21]。国外研究发现, 采用频率 0.083~0.7 Hz、加速度 0.027 8~0.55 g 的垂直正弦运动进行 2 h 诱导, 晕动症发生率在 0.16 Hz 时达到最高, 并存在频率的对称依赖性; 若固定一个频率, 则晕动症发生率与垂荡加速度成正比^[21-22]。晕动症敏感性与种族、年龄、性别等因素相关。对于旋转椅或视

动鼓诱导的晕动症, 黄种人的敏感性显著高于白种人和黑种人^[23-24]。对于 VR 诱导的晕动症, 黄种人的敏感性高于黑种人, 但黄种人与白种人敏感性无差别^[25]。本课题组研究发现, 对中国男性来说, 0.42 Hz/0.22 g 的垂荡刺激比 0.25 Hz/0.44 g 的刺激能诱发更高的晕动症发生率^[12], 此结果与以白种人为主的国外研究结果^[22]明显不同。因此, 采用适合中国人的垂荡训练参数是训练取得良好效果的要素之一。

研究证实, 由视觉虚拟涌浪系统产生的视觉刺激和由弹性踏台产生的本体觉刺激相结合, 经过为期 10 d 的训练, 能显著减轻晕动症症状^[13]。本研究验证了单纯垂荡、单纯 VR 和垂荡+VR 混合 3 种训练模式的训练效果, 发现最长习服时间为 5~8 d, 平均习服时间为 2.7~3.9 d。其中垂荡+VR 训练组的 5 d 习服率最低 (76.67%), 但在海上实航验证期间的习服效果最好, 无症状人数占比达到 96.67%; VR 训练组的 5 d 习服率最高 (100.00%), 在海上实航验证期间与对照训练组相比虽然有一定的习服效果, 但其习服效果显著弱于垂荡训练组和垂荡+VR 训练组。研究报道, 在涌高 0.5~1.5 m、横摇 4°~12°的条件下连续航行 9 d 和 12 d, 晕动症发生率从首日航行时的 39.0% 分别降至 12.0% 和 4.0%^[26]; 若在浪高 1.5~2.5 m、小到中涌的条件下每日航行 4 h, 晕动症发生率从首日航行时的 60.3% 降至 20 d 后的 15% 以下^[27]; 连续航行 12 d, 遇到较大风浪时的晕动症发生率从 66.4% 降至

12.5%^[28]。从筛选和验证试验时的海况和船舶运动数据分析,本次试验中海上航行时的晕动症症状诱发率高于国内其他研究结果。从本次训练效果分析,垂荡训练模式的效果相当于中等风浪条件下连续航行9 d,垂荡+VR训练模式的效果相当于连续航行12 d。本次试验中受训者只采用陆上模拟器训练40 min/d、连续8 d即达到了与连续航行9~12 d类似的训练效果,且所有受训者均消除了呕吐症状,训练有效率分别达到85.19%和96.30%,同时能解决海上训练时花费高、时间长、不确定性因素多等问题。若采用单纯VR训练模式,能在更短的时间(5 d)内达到相对良好的训练效果,训练有效率为62.97%,且能基本消除呕吐症状,保持船员的体力和操作认知能力。被动垂荡运动与视觉虚拟涌浪2种防晕动症习服训练方法的训练参数、训练时长、训练效果的确定,为制订科学、有效的陆上抗晕训练方案及更快、更好地达到抗晕训练目的提供了科学依据。

[参考文献]

- [1] LAESSOE U, ABRAHAMSEN S, ZEPERNICK S, et al. Motion sickness and cybersickness—sensory mismatch[J]. *Physiol Behav*, 2023, 258: 114015. DOI: 10.1016/j.physbeh.2022.114015.
- [2] GUPTA A K, KUMAR B V, RAJGURU R, et al. Assessment of sea sickness in naval personnel: incidence and management[J]. *Indian J Occup Environ Med*, 2021, 25(2): 119-124. DOI: 10.4103/ijoem. IJOEM_94_20.
- [3] MATSANGAS P, MCCAULEY M E, BECKER W. The effect of mild motion sickness and sopite syndrome on multitasking cognitive performance[J]. *Hum Factors*, 2014, 56(6): 1124-1135. DOI: 10.1177/0018720814522484.
- [4] HEUTINK J, BROEKMAN M, BROOKHUIS K A, et al. The effects of habituation and adding a rest-frame on experienced simulator sickness in an advanced mobility scooter driving simulator[J]. *Ergonomics*, 2019, 62(1): 65-75. DOI: 10.1080/00140139.2018.1518543.
- [5] KESHAVARZ B, GOLDING J F. Motion sickness: current concepts and management[J]. *Curr Opin Neurol*, 2022, 35(1): 107-112. DOI: 10.1097/WCO.0000000000001018.
- [6] CHANG C H, STOFFREGEN T A, CHENG K B, et al. Effects of physical driving experience on body movement and motion sickness among passengers in a virtual vehicle[J]. *Exp Brain Res*, 2021, 239(2): 491-500. DOI: 10.1007/s00221-020-05940-6.
- [7] NEWMAN M C, MCCARTHY G W, GLASER S T, et al. Motion sickness adaptation to Coriolis-inducing head movements in a sustained G flight simulator[J]. *Aviat Space Environ Med*, 2013, 84(2): 104-109. DOI: 10.3357/ASEM.3170.2013.
- [8] GEYER D J, BIGGS A T. The persistent issue of simulator sickness in naval aviation training[J]. *Aerosp Med Hum Perform*, 2018, 89(4): 396-405. DOI: 10.3357/AMHP.4906.2018.
- [9] SMYTH J, JENNINGS P, BENNETT P, et al. A novel method for reducing motion sickness susceptibility through training visuospatial ability—a two-part study[J]. *Appl Ergon*, 2021, 90: 103264. DOI: 10.1016/j.apergo.2020.103264.
- [10] GRAYBIEL A, WOOD C D, MILLER E F, et al. Diagnostic criteria for grading the severity of acute motion sickness[J]. *Aerosp Med*, 1968, 39(5): 453-455.
- [11] TAMURA A, IWAMOTO T, OZAKI H, et al. Wrist-worn electrodermal activity as a novel neurophysiological biomarker of autonomic symptoms in spatial disorientation[J]. *Front Neurol*, 2018, 9: 1056. DOI: 10.3389/fneur.2018.01056.
- [12] 毛宇奇,潘磊磊,苏阳,等.上下垂荡运动刺激下大鼠及人体模拟晕船的反应规律[J]. *解放军医学杂志*, 2020, 45(3): 298-303. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2020.03.12.
- [13] 何思扬,邹朋,安明,等.虚拟涌浪系统晕动症防护及训练效果研究[J]. *航天医学与医学工程*, 2020, 33(4): 327-330. DOI: 10.16289/j.cnki.1002-0837.2020.04.007.
- [14] 张玲,祁瑞瑞,王俊骏,等.垂荡模拟联合视觉虚拟涌浪防晕动症习服训练改善认知作业能力的效果[J]. *海军军医大学学报*, 2024, 45(8): 935-942. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240053.
- [15] ZHANG L, QI R, WANG J, et al. Improving effects of motion sickness acclimatization training of vertical oscillation simulation combined with visual virtual swell stimulation on cognitive performance[J]. *Acad J Naval Med Univ*, 2024, 45(8): 935-942. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240053.
- [16] 马洁,韩蕴韬,李国斌.不同航态下船舶运动规律仿真研究[J]. *舰船科学技术*, 2006, 28(1): 32-36.
- [17] 李杰,阎勇,曹利军,等.模拟海上救护训练平台的设计[J]. *医疗卫生装备*, 2017, 38(5): 22-24. DOI: 10.7687/j.issn1003-8868.2017.05.022.
- [18] POLYMERPOULOS V M, CZEISLER M É, GIBSON M M, et al. Tradipitant in the treatment of motion sickness: a randomized, double-blind, placebo-controlled study[J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 563373. DOI: 10.3389/fneur.2020.563373.
- [19] 罗伟,缪东生,常英展,等.药物预防晕船症的疗效观

- 察[J]. 人民军医, 2006, 49(5): 255-257. DOI: 10.3969/j.issn.1000-9736.2006.05.006.
- [19] IRMAK T, DE WINKEL K N, POOL D M, et al. Individual motion perception parameters and motion sickness frequency sensitivity in fore-aft motion[J]. Exp Brain Res, 2021, 239(6): 1727-1745. DOI: 10.1007/s00221-021-06093-w.
- [20] IRMAK T, POOL D M, DE WINKEL K N, et al. Validating models of sensory conflict and perception for motion sickness prediction[J]. Biol Cybern, 2023, 117(3): 185-209. DOI: 10.1007/s00422-023-00959-8.
- [21] BOS J E, BLES W. Modelling motion sickness and subjective vertical mismatch detailed for vertical motions[J]. Brain Res Bull, 1998, 47(5): 537-542. DOI: 10.1016/s0361-9230(98)00088-4.
- [22] O'HANLON J F, MCCAULEY M E. Motion sickness incidence as a function of the frequency and acceleration of vertical sinusoidal motion[J]. Aerosp Med, 1974, 45(4): 366-369.
- [23] STERN R M, HU S, UIJTDEHAAGE S H, et al. Asian hypersusceptibility to motion sickness[J]. Hum Hered, 1996, 46(1): 7-14. DOI: 10.1159/000154318.
- [24] KLOSTERHALFEN S, KELLERMANN S, PAN F, et al. Effects of ethnicity and gender on motion sickness susceptibility[J]. Aviat Space Environ Med, 2005, 76(11): 1051-1057.
- [25] MARTINGANO A J, BROWN E, TELAACK S H, et al. Cybersickness variability by race: findings from 6 studies and a mini meta-analysis[J]. J Med Internet Res, 2022, 24(6): e36843. DOI: 10.2196/36843.
- [26] 王尔贵, 杨月珍, 任晓波, 等. 100 名大学生初次航海晕船病发病情况分析[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2003, 10(1): 29-32. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-6906.2003.01.011.
- [27] 刘民航, 郭俊生, 蔡建明, 等. 某陆军部队海上抗晕船适应性锻炼研究[J]. 解放军预防医学杂志, 2004, 22(2): 93-96. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5248.2004.02.005.
- [28] 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. DOI: 10.13730/j.1009-2595.2011.02.035.
- [本文编辑] 杨亚红