

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240053

• 专题报道 •

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

张玲^{1△}, 祁瑞瑞^{1△}, 王俊骏¹, 潘磊磊¹, 刘志杰^{1,2}, 赵龙¹, 肖水凤¹, 李勃³, 徐子超¹, 蔡懿灵^{1*}

1. 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

2. 上海理工大学健康科学与工程学院, 上海 200093

3. 海军军医大学(第二军医大学)卫生勤务学系军事和体育教研室, 上海 200433

[摘要] **目的** 探讨正弦垂荡刺激、正弦垂荡联合视觉虚拟现实(VR)涌浪刺激2种防晕动症习服训练方法对极重度晕动症者认知作业能力下降的改善作用。**方法** 根据海上连续航行6 h期间Graybiel评分, 筛选出极重度晕动症者90名, 随机分为垂荡训练组、垂荡+VR训练组和对照训练组($n=30$)。利用自主开发的认知作业能力评测软件对受训者习服训练前后的警觉性、记忆力、快速计算能力、信息处理能力、视觉操作控制能力进行评测。

结果 垂荡训练组、垂荡+VR训练组受训者在训练第1天的警觉性测试遗漏目标数增加, 短期记忆、快速计算、信息处理、视觉操作控制反应时间均延长, 快速计算效率下降。经训练达习服水平后, 垂荡训练组、垂荡+VR训练组受训者的警觉性测试遗漏目标数恢复至训练前水平, 短期记忆、快速计算、信息处理、视觉操作控制反应时间及快速计算效率均得到明显改善。**结论** 垂荡刺激和垂荡联合视觉VR涌浪刺激引起的晕动症可导致警觉性、短期记忆力、快速计算能力、信息处理能力、视觉操作控制能力下降, 防晕动症习服训练对以上认知作业能力有明显的改善作用。

[关键词] 晕动症; 晕船; 习服训练; 认知; 垂荡模拟; 虚拟现实

[引用本文] 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.

Improving effects of motion sickness acclimatization training of vertical oscillation simulation combined with visual virtual swell stimulation on cognitive performance

ZHANG Ling^{1△}, QI Ruirui^{1△}, WANG Junjin¹, PAN Leilei¹, LIU Zhijie^{1,2}, ZHAO Long¹, XIAO Shuifeng¹, LI Bo³, XU Zichao¹, CAI Yiling^{1*}

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

2. School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

3. Department of Military Science and Sports, Faculty of Health Services, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To explore the improving effects of motion sickness acclimatization training methods, namely sinusoidal vertical oscillation stimulation and sinusoidal vertical oscillation stimulation combined with visual virtual reality (VR) swell stimulation, on cognitive performance of individuals with extremely severe motion sickness.

Methods A total of 90 individuals with extremely severe motion sickness screened by the Graybiel score during 6 h navigation were randomly divided into vertical group, vertical+VR group, and control group ($n=30$). The abilities of vigilance, memory, rapid calculation, information processing and visual manipulation were evaluated before and after the acclimatization training using a self-developed cognitive performance evaluation software. **Results** On the 1st day of training, the numbers of missed targets of the vertical group and vertical+VR group were increased in the vigilance test; the reaction time was prolonged in the short-term memory, rapid calculation, information processing and visual manipulation tasks; and the efficiency of rapid calculation was reduced. After acclimatization training, the numbers of missed targets were reduced to the baseline level in the vertical and vertical+VR groups, and the reaction time in the short-term memory, rapid calculation, information processing and visual manipulation tasks and the efficiency of rapid calculation were improved.

[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(81601638), 军队后勤科研项目(BHJ22J021). Supported by National Natural Science Foundation of China (81601638) and Scientific Research Program of Military Logistics (BHJ22J021).

[作者简介] 张玲, 硕士生. E-mail: zhang_jenny999@163.com; 祁瑞瑞, 硕士, 副教授. E-mail: qrxq05@126.com

[△]共同第一作者(Co-first authors).

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

Conclusion Motion sickness caused by vertical oscillation stimulation or vertical oscillation combined with visual VR swell stimulation can decrease vigilance, short-term memory, rapid calculation, information processing and visual manipulation abilities. Motion sickness acclimatization training can significantly improve the above cognitive abilities.

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

[Citation] 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.

晕动症 (motion sickness) 是由于机体暴露于异常加速度刺激或虚拟现实 (virtual reality, VR) 环境所引发的一系列多系统功能紊乱综合征, 主要表现为恶心、呕吐、胃部不适、自主神经活动增加 (如出冷汗、面色苍白、潮红、体温变化)、觉醒变化 (如嗜睡、疲劳)、头晕、头痛等症状^[1-3], 是影响航海、航空、航天领域军事作业和科学探索等活动的重要医学问题^[4]。研究报道, 晕动症不仅会导致体能下降, 还可导致认知水平降低, 显著影响人体在复杂加速度环境下的多任务认知水平和操作能力^[5-8], 在军事作业中这种负面影响可能会导致部队作战效能和整体战斗力下降。此外, 晕动症对工作效能的影响还会持续到任务结束后的工作和生活中, 对海军陆战队员参加航海训练后的回顾性调查研究表明, 海上航行训练降低了海军陆战队员登陆后的工作能力 (特别是会引起注意力分散), 并导致生活质量下降, 且这种影响与晕动症严重程度相关^[9]。针对晕动症最有力的非药物预防措施是开展防晕动症习服训练^[10-11], 然而, 由于晕动症对认知的影响结果目前尚无定论, 防晕动症习服训练对认知作业能力的影响研究较少。本研究利用自行设计的垂荡模拟器^[12]和视觉虚拟涌浪系统^[13-14]对重度晕动症者开展晕动症习服训练, 并利用认知作业能力评测软件评测训练过程中受试者认知作业能力的变化, 旨在为制定防晕动症习服训练方案和维持部队战斗力策略提供重要的科学依据。

1 对象和方法

1.1 受试对象及分组 根据海上连续航行 6 h 期间 Graybiel 评分, 从 400 名健康成年男性 [年龄为 18~32 岁] 中筛选出极重度晕动症者 (Graybiel 评分 ≥ 16 分)^[15-16] 90 人为受试对象。90 名受试对象年龄为 (23.46 ± 3.44) 岁, 身高为 (175.45 ± 4.32) cm, 体重为 (69.49 ± 7.47) kg, BMI 为 (22.56 ± 2.17) kg/m²。按照 Graybiel 评分随机分为垂荡

训练组、垂荡+VR 训练组、对照训练组, 每组 30 人。受试对象纳入标准: 身体健康, 既往无前庭系统疾病、心脑血管系统疾病、消化系统疾病、神经精神系统疾病等病史, 试验前 24 h 及训练周期内未服用过抗晕药物、解热镇痛药、镇静催眠药, 自愿同意参加试验并签署知情同意书。本试验经海军军医大学 (第二军医大学) 医学研究伦理委员会审核批准。

1.2 试验方法

1.2.1 防晕动症习服训练 (1) 垂荡训练: 用自行研制的人体垂荡模拟器对受训者进行垂荡运动刺激, 4 名受训者分别就坐于非透明模拟器训练舱内, 每个模拟器训练舱内固定放置一套配备了安全带的座椅, 座椅正前方的安全扶手处安装有摄像头和对讲机。受训者系好安全带就坐后, 双眼平视前方, 可通过对讲机与评估员实时沟通。待受训者准备妥当, 评估员将安全门关闭, 在固定参数模式下开启模拟器, 使受训者持续暴露于正弦垂荡运动 40 min (频率 0.3 Hz, 加速度 0.20 g)。评估员依据国际上常用的 Graybiel 量表^[15]对受训者进行晕动症症状评估, 每间隔 10 min 评估 1 次, 共 4 次, 以 4 次评估中症状总分最高值作为训练当天的 Graybiel 评分。如此每天训练 1 次, 连续训练直至达到习服标准 (连续 3 d Graybiel 评分为 0 分) 后, 停止训练。

(2) 垂荡+VR 训练: 受训者同样就坐于人体垂荡模拟器训练舱, 并佩戴 VR 头盔 (中国台湾 HTC VIVE 公司), 头盔内播放动态虚拟涌浪视频 (虚拟涌浪系统为本课题组与中国航天员科研训练中心合作设计), 视频呈现仿真度较高的虚拟海洋场景并伴有海浪。受训者接受垂荡刺激的同时接受视觉虚拟涌浪刺激, 持续训练 40 min, 每天训练 1 次, 连续训练直至达到习服标准 (同单纯垂荡训练) 后, 停止训练。

(3) 对照训练: 根据晕动症发生与垂荡加速度之间的关系, 匀速垂荡运动几乎不会诱发晕动

症,故对照组受训者就坐于垂荡模拟器训练舱内,并持续暴露于匀速垂荡运动(速度 0.5 s/m,加速度 0 g),同时佩戴 VR 头盔,但头盔内不播放虚拟涌浪视频。持续训练 40 min,每天训练 1 次,训练时间与前 2 组匹配。

1.2.2 认知作业能力评测 利用自主开发的认知作业能力评测软件,从警觉性、记忆力、快速计算能力、信息处理能力、视觉操作控制能力 5 个方面对受训者习服训练前后的认知作业能力进行评测。

(1) 警觉性评测:屏幕任意位置随机呈现 15 个目标,受训者看到目标时需以最快的速度点击目标 1 次。记录遗漏目标数以评估受训者的警觉性。

(2) 记忆力评测:包括图形顺序记忆和图形匹配记忆 2 项测试。①图形顺序记忆测试。屏幕最初呈现 4 种不同颜色形状的图形,受训者需快速记忆图形特征和排列顺序,待图形消失后按排列顺序依次点击图形,并在第 2 次呈现时点击记忆中的第 3 个图形。②图形匹配记忆测试。屏幕上随机出现 1 个大小、颜色、位置随机的图形,受训者快速记忆,并在待测图形停留时迅速判断该图形与之前出现过的前 1 个或前 2 个图形是否相同。分别记录 2 项测试中的正确题目数和反应时间以评估受训者的短期记忆水平。(3) 快速计算能力评测:屏幕随机出现 10 道加减法运算,受训者需尽快作答,记录快速计算反应时间并计算快速计算效率。快速计算效率=正确题目数/测试消耗时间。(4) 信息处理能力评测:屏幕中出现 1 个大箭头,大箭头中包含多个方向一致的小箭头,受训者以最快速度按键确定小箭头或大箭头方向,记录正确题目数和反应时间,并计算信息处理正确率。信息处理正确率(%)=正确题目数/测试题目数×100%。(5) 视觉操作控制能力评测:屏幕上出现多个五颜六色的汉字,受训者按照要求在 10 s 内点击去除相应的字,如“点掉‘红’这个字”,记录正确题目数和反应时间,并计算视觉操作控制正确率。视觉操作控制正确率(%)=正确题目数/测试题目数×100%。

在认知作业能力评测过程中,为排除学习效应对评测结果的影响,习服训练前受试者需接受多次评测练习,直至在 5 min 内完成所有测试项目且所有测试题目正确率≥90%即为训练前基础水平。在防晕动症习服训练期间,选取训练第 1 天和训练最后 1 天垂荡刺激训练结束后,以最快速度完成评测。

1.3 统计学处理 应用 SPSS 27.0 软件对数据进行统计分析。呈正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,年龄、身高、体重等基础特征的组间比较采用单因素方差分析,认知作业能力评测数据的比较采用两因素多水平重复测量数据的方差分析,两两比较采用最小显著性差异(least significant difference, LSD)法。检验水准(α)为 0.05。

2 结 果

2.1 筛选及分组结果 根据海上航行 Graybiel 评分结果筛选出 90 名极重度晕动症者,随机分为垂荡训练组、垂荡+VR 训练组、对照训练组。各组间年龄($F_{(2, 89)}=0.542, P=0.584$, 偏 $\eta^2=0.012$)、身高($F_{(2, 89)}=0.361, P=0.698$, 偏 $\eta^2=0.008$)、体重($F_{(2, 89)}=0.205, P=0.815$, 偏 $\eta^2=0.004$)、BMI($F_{(2, 89)}=0.067, P=0.935$, 偏 $\eta^2=0.001$)和 Graybiel 评分($F_{(2, 89)}=0.341, P=0.712$, 偏 $\eta^2=0.007$)差异均无统计学意义。见表 1。

表 1 不同训练组极重度晕动症者的基础特征
Tab 1 Baseline characteristics of participants with extremely severe motion sickness in different training groups

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

VR: Virtual reality; BMI: Body mass index.

2.2 习服训练对警觉性的改善效果 采用两因素多水平重复测量数据的方差分析对警觉性测试遗漏目标数进行检验,结果显示,训练时间主效应有统计学意义($F_{(2, 83)}=11.846, P<0.001$, 偏 $\eta^2=0.226$),训练方法主效应无统计学意义($F_{(2, 84)}=0.089, P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.002$),不存在交互作用($F_{(4, 168)}=0.568, P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.014$)。LSD 法两两比较结果显示,垂荡训练组和垂荡+VR 训练组受训者在训练第 1 天的警觉性测试遗漏目标数相较于训练前基础水平增多(均 $P<0.01$),而在训练最后 1 天较训练第 1 天有所减少(均 $P<0.01$)并恢复至训练前基础水平(均 $P>0.05$);

对照训练组训练前后各时间点比较差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。见图 1。

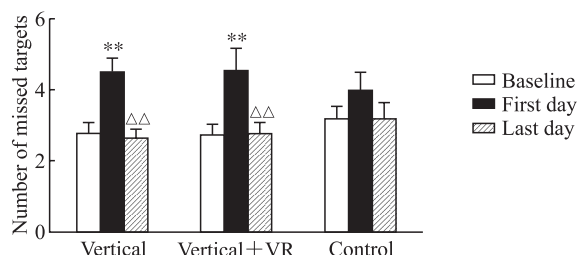
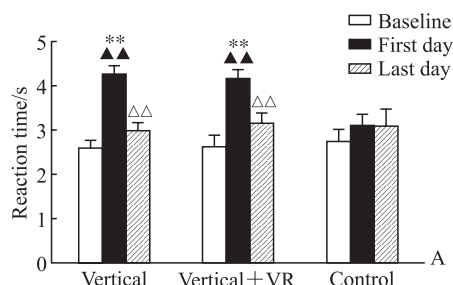


图 1 习服训练前后极重度晕动症者的警觉性测试遗漏目标数

Fig 1 Missed target number of extremely severe motion sickness participants in vigilance test before and after acclimatization training

Baseline: The data before training; First day: The data on the first day of training; Last day: The data on the last day of training. ** $P<0.01$ vs the baseline in the same group; $\Delta\Delta P<0.01$ vs the first day in the same group. $n=30$, $\bar{x}\pm s$. VR: Virtual reality.

2.3 习服训练对记忆力的改善效果 采用两因素多水平重复测量数据的方差分析对图形顺序记忆反应时间进行检验,结果显示,训练前后时间主效应有统计学意义 ($F_{(2, 83)}=36.432$, $P<0.001$, 偏 $\eta^2=$



0.308), 训练方法主效应无统计学意义 ($F_{(2, 84)}=1.016$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.024$), 训练方法与训练时间存在交互作用 ($F_{(4, 168)}=4.845$, $P=0.001$, 偏 $\eta^2=0.106$)。LSD 法两两比较结果显示,垂荡训练组和垂荡+VR 训练组受训者的图形顺序记忆反应时间在训练第 1 天比训练前基础水平延长 (均 $P<0.01$), 在训练最后 1 天较训练第 1 天缩短 (均 $P<0.01$) 并恢复至训练前基础水平 (均 $P>0.05$); 在训练第 1 天垂荡训练组和垂荡+VR 训练组的图形顺序记忆反应时间均长于对照组 (均 $P<0.01$)。见图 2A。

采用两因素多水平重复测量数据的方差分析对图形匹配记忆反应时间进行检验,结果显示,训练时间主效应有统计学意义 ($F_{(2, 83)}=24.791$, $P<0.001$, 偏 $\eta^2=0.380$), 训练方法主效应无统计学意义 ($F_{(2, 84)}=1.062$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.025$), 不存在交互作用 ($F_{(4, 168)}=0.768$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.018$)。LSD 法两两比较结果显示,垂荡训练组和垂荡+VR 训练组在训练第 1 天的图形匹配记忆反应时间较训练前基础水平延长 (均 $P<0.01$), 在训练最后 1 天较训练第 1 天缩短 (均 $P<0.01$)。见图 2B。

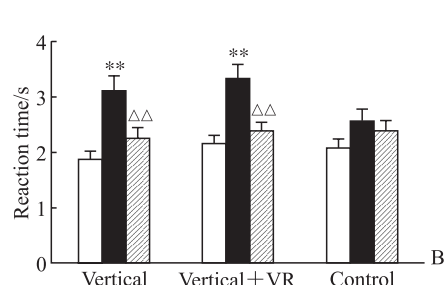


图 2 习服训练前后极重度晕动症者的图形评测记忆力反应时间

Fig 2 Reaction time of extremely severe motion sickness participants in graphic memory tasks before and after acclimatization training

A: Reaction time of graphic sequence memory; B: Reaction time of graphic matching memory. Baseline: The data before training; First day: The data on the first day of training; Last day: The data on the last day of training. ** $P<0.01$ vs the baseline in the same group; $\Delta\Delta P<0.01$ vs the first day in the same group; $\blacktriangle\blacktriangle P<0.01$ vs control group on the same day. $n=30$, $\bar{x}\pm s$. VR: Virtual reality.

2.4 习服训练对快速计算能力的改善效果 采用两因素多水平重复测量数据的方差分析对快速计算反应时间进行检验,结果显示,训练时间主效应有统计学意义 ($F_{(2, 83)}=9.232$, $P<0.001$, 偏 $\eta^2=0.186$), 训练方法主效应无统计学意义 ($F_{(2, 84)}=1.844$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.043$), 不存在交互作用 ($F_{(4, 168)}=1.212$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.029$)。LSD 法两两比较结果显

示,垂荡训练组和垂荡+VR 训练组受训者在训练第 1 天的快速计算反应时间较习服训练前基础水平延长 (均 $P<0.01$), 且在训练最后 1 天较训练第 1 天缩短 ($P<0.05$, $P<0.01$); 垂荡+VR 训练组在训练最后 1 天的快速计算反应时间恢复至训练前基础水平 ($P>0.05$), 但垂荡训练组在训练最后 1 天的快速计算反应时间仍长于训练前 ($P<0.05$)。见图 3A。

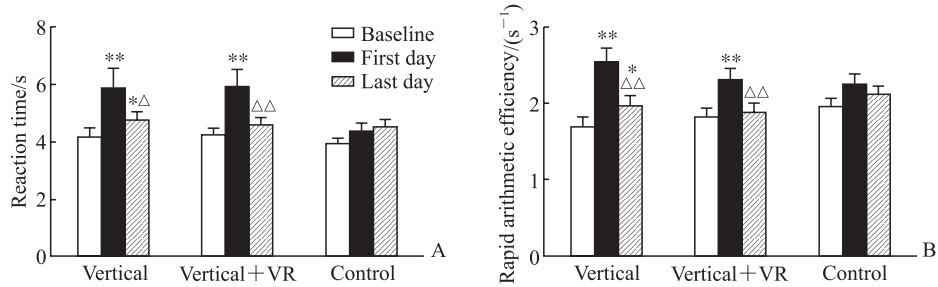


图3 习服训练前后极重度晕动症者的快速计算反应时间和计算效率

Fig 3 Reaction time and arithmetic efficiency of extremely severe motion sickness participants in rapid calculation tasks before and after acclimatization training

A: Reaction time of rapid arithmetic; B: Rapid arithmetic efficiency. Baseline: The data before training; First day: The data on the first day of training; Last day: The data on the last day of training. * $P<0.05$, ** $P<0.01$ vs the baseline in the same group; $\Delta P<0.05$, $\Delta\Delta P<0.01$ vs the first day in the same group. $n=30$, $\bar{x}\pm s$. VR: Virtual reality.

对快速计算效率的分析结果显示, 训练时间主效应有统计学意义 ($F_{(2, 83)}=17.171$, $P<0.001$, 偏 $\eta^2=0.298$), 训练方法主效应无统计学意义 ($F_{(2, 84)}=0.295$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.007$), 不存在交互作用 ($F_{(4, 168)}=1.846$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.043$)。进一步采用LSD法进行两两比较, 垂荡训练组和垂荡+VR训练组在训练第1天的快速计算效率较习服训练前基础水平增加 (均 $P<0.01$), 在训练最后1天较训练第1天减少 (均 $P<0.01$); 在习服训练最后1天, 垂荡+VR训练组快速计算效率恢复至训练前基础水平 ($P>0.05$), 但垂荡训练组仍高于训练前基础水平 ($P<0.05$)。见图3B。

2.5 习服训练对信息处理能力的改善效果 采用两因素多水平重复测量数据的方差分析对信息处理反应时间进行检验, 结果显示, 训练时间主效应有统计学意义 ($F_{(2, 83)}=12.222$, $P<0.001$, 偏 $\eta^2=0.130$), 训练方法主效应无统计学意义 ($F_{(2, 84)}=0.736$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.018$), 不存在交互作用 ($F_{(4, 168)}=1.411$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.033$)。进一步采用LSD法进行两两比较, 结果显示, 垂荡训练组和垂荡+VR训练组在训练第1天的信息处理反应时间比训练前基础水平延长 (均 $P<0.01$), 在训练最后1天较训练第1天缩短 ($P<0.05$, $P<0.01$) 并均恢复至训练前基础水平 (均 $P>0.05$)。对照训练组各时间点信息处理反应时间比较差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。见图4。垂荡+VR训练组在训练前、训练第1天、训练最后1天的信息处理正确率分别为 (98.06 $\pm$ 7.50)%、(98.00 $\pm$ 8.05)%、(97.33 $\pm$ 12.85)%, 垂荡训练组分别为 (99.33 $\pm$ 3.65)%、

(97.24 $\pm$ 11.61)%、(98.28 $\pm$ 3.84)%, 对照训练组分别为 (98.70 $\pm$ 6.26)%、(99.17 $\pm$ 4.08)%、(97.92 $\pm$ 5.09)%, 各组信息处理正确率比较差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。

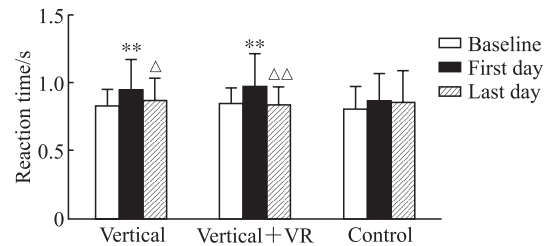


图4 习服训练前后极重度晕动症者的信息处理反应时间
Fig 4 Reaction time of extremely severe motion sickness participants in information processing tasks before and after acclimatization training

Baseline: The data before training; First day: The data on the first day of training; Last day: The data on the last day of training. ** $P<0.01$ vs the baseline in the same group; $\Delta P<0.05$, $\Delta\Delta P<0.01$ vs the first day in the same group. $n=30$, $\bar{x}\pm s$. VR: Virtual reality.

2.6 习服训练对视觉操作控制能力的改善效果 采用两因素多水平重复测量数据的方差分析对视觉操作控制反应时间进行检验, 结果显示, 训练时间主效应有统计学意义 ($F_{(2, 83)}=10.323$, $P<0.001$, 偏 $\eta^2=0.112$), 训练方法主效应无统计学意义 ($F_{(2, 84)}=0.408$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.010$), 不存在交互作用 ($F_{(4, 168)}=1.437$, $P>0.05$, 偏 $\eta^2=0.028$)。进一步采用LSD法进行两两比较, 垂荡训练组和垂荡+VR训练组在训练第1天的视觉操作控制反应时间较训练前基础水平延长 (均 $P<0.01$), 在训练最后1天较训练第1天缩短 (均 $P<0.05$) 并均

恢复至训练前基础水平(均 $P>0.05$)。对照训练组各时间点的视觉操作控制反应时间差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。见图5。垂荡+VR训练组在训练前、训练第1天、训练最后1天的视觉操作控制正确率分别为(99.68±1.80)%、(97.50±10.06)%、(98.00±10.95)%,垂荡训练组均为(100.00±0.00)%,对照训练组分别为(98.55±6.95)%、(97.18±10.15)%、(100.00±0.00)%,各组视觉操作控制正确率比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。

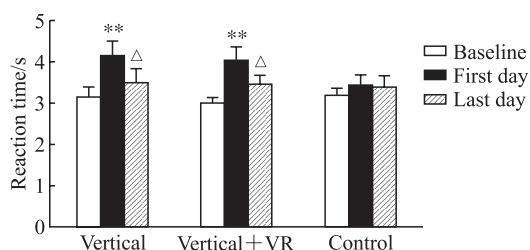


图5 习服训练前后极重度晕动症者的视觉操作控制反应时间

Fig 5 Reaction time of extremely severe motion sickness participants in visual manipulation tasks before and after acclimatization training

Baseline: The data before training; First day: The data on the first day of training; Last day: The data on the last day of training. ** $P<0.01$ vs the baseline in the same group; $\Delta P<0.05$ vs the first day in the same group. $n=30$, $\bar{x}\pm s$. VR: Virtual reality.

3 讨论

晕动症一直是航空、航天、航海任务中悬而未决的难题,其不仅会导致体能下降,还会影响认知功能^[17-18]。在抗晕药物存在中枢抑制等不良反应的局限下,防晕动症习服训练是目前预防晕动症最有效的非药物应对措施。但在防晕动症习服训练过程中受训者的认知功能是否会受到影响未见相关报道。本课题组前期利用自主研发的人体可调式垂荡模拟装置、视觉虚拟涌浪系统分别开展了垂荡刺激诱发晕动症、视觉虚拟涌浪联合本体觉防晕动症训练效果研究,证实反复垂荡刺激或反复视觉虚拟涌浪联合本体觉训练可建立晕动症习服或降低晕动症症状^[12-13,19]。本研究应用垂荡模拟装置联合视觉虚拟涌浪系统开展防晕动症习服训练,进一步评估习服训练是否会影响认知作业能力。

认知功能由多个认知域组成,包括注意力、记忆力、逻辑推理、执行功能、语言功能、情感和社

会认知等^[20-22]。计算机辅助认知评估或训练作为一种无明显不良反应的非药物干预手段,近年来成为认知障碍患者认知筛查、辅助诊断和康复训练的重要手段^[23-24]。本研究利用自主开发的认知作业能力评测软件开展计算机化任务式认知测评,评估警觉性、记忆力、快速计算能力、信息处理能力、视觉操作控制能力等认知功能相关指标,结果表明,受训者接受单次垂荡刺激或垂荡联合视觉虚拟涌浪刺激后,在跟踪点击闪现目标的警觉性测试中遗漏目标数增多,说明受训者的警觉性在垂荡刺激后明显下降。而在一项利用三自由度运动模拟器进行的晕动刺激研究中,晕动刺激对警觉性的影响主要体现在受试者的警觉性平均反应时间和最大反应时间大大延长,而响应目标正确数没有明显变化^[25]。研究报道,晕动刺激对短期记忆力和计算力也有不利影响,在正弦运动刺激导致的晕动症中发现,即使是轻度晕动症,计算能力和短期记忆能力也会降低^[26]。本研究同样发现,垂荡刺激不仅导致受训者对图形顺序和图形特点的短期记忆力下降,还会造成快速计算效率下降和计算反应时间延长。相关资料表明,晕动症也会降低简单推理、命令和控制任务、视觉搜索任务效率^[5-8],本研究中虽没有发现垂荡刺激会对信息处理和视觉操作控制正确率产生影响,但这2类测试中受训者的反应时间都延长,说明垂荡刺激同样对信息处理能力和视觉操作控制能力有不利影响。

晕动症对认知功能的影响已有研究报道,但由于晕动症习服训练仅在部队中开展,相关报道较少,防晕动症习服训练对认知作业能力影响的研究更是鲜有报道。在本研究中,单次垂荡运动刺激降低了受训者的认知作业能力,但持续反复垂荡刺激除了可以帮助受训者获取防晕动症习服能力,还对其认知作业能力有改善效果。反复垂荡刺激后受训者不仅警觉性测试遗漏目标数减少,快速计算效率也有所改善,计算反应时间缩短,而且记忆力、信息处理能力、视觉操作控制反应时间甚至可以恢复至训练前水平。更有意思的是,本研究发现垂荡联合视觉虚拟涌浪系统训练比单一垂荡刺激训练对认知作业能力的改善效果更好,特别是对快速计算能力的改善效果;垂荡刺激训练后快速计算效率和反应时间虽有改善,但不能完全恢复,而垂荡联合视觉虚拟涌浪系统训练可使受训者的快速计算能力恢

复至训练前水平。这可能与VR训练对认知作业能力的改善作用有关。大量研究表明,基于VR的认知训练在促进认知功能康复方面具有潜在的优势,包括注意力、记忆力、思维操作、视觉空间感知、执行功能等^[27-29]。

综上所述,垂荡刺激和垂荡联合视觉虚拟涌浪刺激的防晕动症习服训练均对受训者的警觉性、短期记忆力、快速计算能力、信息处理能力、视觉操作控制能力等认知功能有一定的改善作用,且垂荡联合视觉虚拟涌浪刺激的习服训练效果可能更具优势。但在本研究中,由于受训者的学历、工作经历、学习能力可能存在一定差异,这些因素是否会对训练过程中的认知作业能力有影响并不清楚,还需要在后续研究中进一步探讨。

[参考文献]

- [1] PAN L, XIAO S, XU Z, et al. Orexin-A attenuated motion sickness through modulating neural activity in hypothalamus nuclei[J]. *Br J Pharmacol*, 2024, 181(9): 1474-1493. DOI: 10.1111/bph.16307.
- [2] KESHAVERZ B, GOLDING J F. Motion sickness: current concepts and management[J]. *Curr Opin Neurol*, 2022, 35(1): 107-112. DOI: 10.1097/WCO.0000000000001018.
- [3] LAGAMI D, GUTKOVICH Y E, JAMISON A, et al. Seasickness susceptibility and the vestibular time constant: a prospective study[J]. *Exp Brain Res*, 2024, 242(1): 267-274. DOI: 10.1007/s00221-023-06745-z.
- [4] LAESOE 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.
- [5] MAIN L C, MCLOUGHLIN L T, FLANAGAN S D, et al. Monitoring cognitive function in the fatigued warfighter: a rapid review of cognitive biomarkers[J]. *J Sci Med Sport*, 2023, 26(Suppl 1): S54-S63. DOI: 10.1016/j.jsams.2023.04.009.
- [6] MUTH E R. The challenge of uncoupled motion: duration of cognitive and physiological aftereffects[J]. *Hum Factors*, 2009, 51(5): 752-761. DOI: 10.1177/0018720809353320.
- [7] TAYS G D, MCGREGOR H R, LEE J K, et al. The effects of 30 minutes of artificial gravity on cognitive and sensorimotor performance in a spaceflight analog environment[J]. *Front Neural Circuits*, 2022, 16: 784280. DOI: 10.3389/fncir.2022.784280.
- [8] DAHLMAN J, SJÖRS A, LINDSTRÖM J, et al. Performance and autonomic responses during motion sickness[J]. *Hum Factors*, 2009, 51(1): 56-66. DOI: 10.1177/0018720809332848.
- [9] QI R R, XIAO S F, SU Y, et al. Sea voyage training and motion sickness effects on working ability and life quality after landing[J]. *Aerosp Med Hum Perform*, 2021, 92(2): 92-98. DOI: 10.3357/AMHP.5614.2021.
- [10] KHALID A, PRUSTY P P, ARSHAD I, et al. Pharmacological and non-pharmacological countermeasures to space motion sickness: a systematic review[J]. *Front Neural Circuits*, 2023, 17: 1150233. DOI: 10.3389/fncir.2023.1150233.
- [11] ZHANG L L, WANG J Q, QI R R, et al. Motion sickness: current knowledge and recent advance[J]. *CNS Neurosci Ther*, 2016, 22(1): 15-24. DOI: 10.1111/cns.12468.
- [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] QI R R, XIAO S F, PAN L L, et al. Profiling of cybersickness and balance disturbance induced by virtual ship motion immersion combined with galvanic vestibular stimulation[J]. *Appl Ergon*, 2021, 92: 103312. DOI: 10.1016/j.apergo.2020.103312.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] VOINESCU A, PETRINI K, STANTON FRASER D. Presence and simulator sickness predict the usability of a virtual reality attention task[J]. *Virtual Real*, 2023, 27: 1967-1983. DOI: 10.1007/s10055-023-00782-3.
- [18] GRETTY M A, GOLDING J F, LE H, et al. Cognitive impairment by spatial disorientation[J]. *Aviat Space Environ Med*, 2008, 79(2): 105-111. DOI: 10.3357/ASEM.2143.2008.
- [19] 刘志杰,潘磊磊,毛宇奇,等.外周血胃肠激素对晕动症易感性的预测效能[J]. *海军军医大学学报*, 2024, 45(8): 929-934. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240054.
- LIU Z, PAN L, MAO Y, et al. Predictive efficacy of peripheral blood gastrointestinal hormones on susceptibility to motion sickness[J]. *Acad J Naval Med Univ*, 2024, 45(8): 929-934. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20240054.

- [20] GALLOU-GUYOT M, MANDIGOUT S, COMBOURIEU-DONNEZAN L, et al. Cognitive and physical impact of cognitive-motor dual-task training in cognitively impaired older adults: an overview[J]. Clin Neurophysiol, 2020, 50(6): 441-453. DOI: 10.1016/j.neucli.2020.10.010.
- [21] LEE T L, DING Z, CHAN A S. Can transcranial photobiomodulation improve cognitive function? A systematic review of human studies[J]. Ageing Res Rev, 2023, 83: 101786. DOI: 10.1016/j.arr.2022.101786.
- [22] FALKENRECK J M, KUNKLER M C, OPHEY A, et al. Effects of the multicomponent cognitive training program BrainProtect in cognitively healthy adults: a randomized controlled trial[J]. J Alzheimers Dis, 2023, 94(3): 1013-1034. DOI: 10.3233/JAD-220619.
- [23] 中国医师协会神经内科医师分会, 认知训练中国指南写作组. 认知训练中国指南(2022年版)[J]. 中华医学杂志, 2022, 102(37): 2918-2925. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20220606-01256.
- [24] 中华医学会神经病学分会痴呆与认知障碍学组, 认知数字疗法中国专家共识写作组. 认知数字疗法中国专家共识(2023)[J]. 中华医学杂志, 2023, 103(9): 640-647. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20221121-02441.
- [25] TAL D, GONEN A, WIENER G, et al. Artificial horizon effects on motion sickness and performance[J]. Otol Neurotol, 2012, 33(5): 878-885. DOI: 10.1097/MAO.0b013e318255ddab.
- [26] 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.
- [27] TORTORA C, CROSTA A D, MALVA P L, et al. Virtual reality and cognitive rehabilitation for older adults with mild cognitive impairment: a systematic review[J]. Ageing Res Rev, 2024, 93: 102146. DOI: 10.1016/j.arr.2023.102146.
- [28] LIU Q, SONG H, YAN M, et al. Virtual reality technology in the detection of mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. Ageing Res Rev, 2023, 87: 101889. DOI: 10.1016/j.arr.2023.101889.
- [29] YAN M, ZHAO Y, MENG Q, et al. Effects of virtual reality combined cognitive and physical interventions on cognitive function in older adults with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. Ageing Res Rev, 2022, 81: 101708. DOI: 10.1016/j.arr.2022.101708.

[本文编辑] 杨亚红