

DOI:10.16781/j.0258-879x.2021.05.0553

• 海洋军事医学 •

快速上浮脱险训练对心率和心率变异性的影响

肖磊¹, 何静文¹, 徐静舟¹, 王浩¹, 苏彤¹, 徐淑雨¹, 方以群², 王楠², 许骥², 付国举³, 汪洁滢⁴, 唐云翔^{1*}

1. 海军军医大学(第二军医大学)心理系医学心理学教研室, 上海 200433
2. 海军军医大学(第二军医大学)海军特色医学中心潜水与高压医学研究室, 上海 200433
3. 海军军医大学(第二军医大学)海军特色医学中心援潜训练队, 上海 200433
4. 海军军医大学(第二军医大学)海军特色医学中心航空生理心理训练队, 上海 200433

[摘要] **目的** 探讨快速上浮脱险训练过程中参训人员心率及心率变异性的变化规律, 分析上浮脱险训练所致个体应激的特点, 为有效开展快速上浮脱险训练心理保障工作提供科学依据。**方法** 全程记录某部参加3、5、10 m快速上浮脱险训练128名官兵的心电数据, 比较不同训练阶段[训练前、训练中(进舱、关盖、注水、开盖、出舱)、训练后]和不同训练深度(3、5、10 m)参训人员心率及心率变异性时域指标(全程窦性心搏R-R间期的标准差)和频域指标[总功率(TP)、低频段(LF)、高频段(HF)、LF/HF]的差异。**结果** 3 m训练深度时参训人员的主观紧张程度高于5 m和10 m训练深度(P 均 <0.01), 注水阶段参训人员的主观紧张程度高于其他各训练阶段(P 均 <0.01), 出舱时参训人员的主观紧张程度低于其他各训练阶段(P 均 <0.05)。3 m训练深度时参训人员进舱阶段的心率高于5 m训练深度($P<0.05$); 随着训练深度的增加, 参训人员训练后心率逐渐升高($P<0.05$); 在各训练深度, 参训人员在注水、开盖、出舱3个阶段的心率差异无统计学意义($P>0.05$)。在各训练深度, 训练前、中、后参训人员的心率变异性指标均呈下降趋势(P 均 <0.001)。**结论** 心率和心率变异性能够较好地反映快速上浮脱险训练过程中参训人员的生理和心理状态, 为未来的应激干预提供了依据。

[关键词] 快速上浮脱险训练; 心率; 心率变异性; 生理学应激; 心理学应激

[中图分类号] R 847.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2021)05-0553-06

Influence of fast buoyancy ascent escape training on heart rate and heart rate variability

XIAO Lei¹, HE Jing-wen¹, XU Jing-zhou¹, WANG Hao¹, SU Tong¹, XU Shu-yu¹, FANG Yi-qun², WANG Nan², XU Ji², FU Guo-ju³, WANG Jie-ying⁴, TANG Yun-xiang^{1*}

1. Department of Medical Psychology, Faculty of Psychology, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China
2. Department of Diving and Hyperbaric Medical Research, Naval Special Medical Center, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China
3. Military Diving Rescue Training Team, Naval Special Medical Center, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China
4. Aviation Physiological and Psychological Training Team, Naval Special Medical Center, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To explore the changes of heart rate (HR) and heart rate variability (HRV) of trainees in the process of fast buoyancy ascent escape training, and to analyze the characteristics of individual stress caused by training, so as to provide scientific basis for effective psychological protection. **Methods** The electrocardiogram data of 128 officers and soldiers who participated in 3, 5 and 10 m fast buoyancy ascent escape training depths were recorded during the whole process, and the influences of different training phases (before training, during training [cabin entry, cover closing, water injection, cover opening, cabin exit] and after training) and different training depths (3, 5, 10 m) on time domain (standard deviation of normal to normal intervals [SDNN]) and frequency domain (total power [TP], low frequency [LF], high frequency [HF], LF/HF) indexes of HRV and HR were compared. **Results** The tension of the trainees in the 3 m

[收稿日期] 2020-07-29 **[接受日期]** 2020-09-27

[基金项目] 全军后勤重大项目(AWS16J033). Supported by Major Logistics Project of PLA (AWS16J033).

[作者简介] 肖磊, 博士生. E-mail: xiaolei0237@163.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-81871684, E-mail: tangyun7633@sina.com

training depth was significantly higher than that in the 5 m and 10 m training depths (both $P<0.01$), the tension in the water injection phase was significantly higher than that in the other phases (all $P<0.01$), and the tension in the cabin exit phase was significantly lower than that in the other phases (all $P<0.05$). The HR of the trainees increased significantly in the cabin entry phase in the 3 m training depth compared with the 5 m training depth ($P<0.05$); the HR of the trainees increased gradually after training with the increase of the training depth ($P<0.05$); and the HR of the trainees in the 3 phases (water injection, cover opening or cabin exit) had no significant difference at each training depth ($P>0.05$). The indexes of the HRV showed a significant downward trend before, during and after training at each training depth (all $P<0.001$). **Conclusion** HR and HRV can reflect the physiological and psychological state of the trainees in the process of fast buoyancy ascent escape training, which provides the basis for stress intervention in the future.

[Key words] fast buoyancy ascent escape training; heart rate; heart rate variability; physiological stress; psychological stress

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2021, 42(5): 553-558]

潜艇失事是和平时期海军面临的重大风险之一,为了提高事故发生时潜艇官兵的自救能力,各国海军均将脱险训练列入常规军事训练科目。快速上浮脱险由于脱险速度快、深度大、易于掌握等优点已成为潜艇单人脱险的重要手段之一。但快速上浮脱险训练的过程较为复杂,要求参训人员必须牢记训练流程,一旦操作失误则可能对参训人员身心造成影响,甚至引发减压病。通过观察参训人员训练中的肺功能^[1]、心功能^[2]、肾动脉血流动力学^[3]、咽鼓管功能^[4]等生理指标变化,发现快速上浮脱险训练可明显提高参训人员的应激水平。

应激反应在生理上主要是自主神经功能的改变,人的自主神经系统主要由交感神经和副交感神经构成,心率(heart rate, HR)与自主神经密切相关且受其调节,交感神经对HR起促进作用,副交感神经对HR起抑制作用。仅记录HR这一指标无法对交感神经及副交感神经的相对活动进行考察,而心率变异性(heart rate variability, HRV)弥补了这一缺陷,它能够反映每次窦性心搏相邻R-R间期之间的差异变化,能无创地评价自主神经功能,且对生理和心理应激均有良好的反应性,已成为目前较为流行的应激指标^[5]。本研究旨在探讨快速上浮脱险训练过程中参训人员HR和HRV的变化规律及调控特征,分析训练所致个体应激的特点,为有效开展快速上浮脱险训练心理保障工作提供科学依据。

1 对象和方法

1.1 对象 调查对象为某部参加快速上浮脱险训练的130名官兵,其中2人因问卷基本信息填写不全而被剔除,最终纳入128人,均为男性;年龄19~44岁,平均(28.40±5.81)岁。<20岁4人(3.1%)、20~<30岁77人(60.2%)、

30~<40岁40人(31.2%)、≥40岁7人(5.5%);士兵10人(7.8%)、士官96人(75.0%)、干部22人(17.2%)。

1.2 测量指标与数据采集

1.2.1 主观紧张程度 采用视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)进行评估。该量表是一个有效的压力评估工具,由一段10 cm长的线段组成,线段左端为“0”,表示“一点都不紧张”;右端为“10”,表示“非常紧张”^[6]。要求参训人员自评其在快速上浮脱险训练6个不同阶段(训练前、进舱、关盖、注水、开盖、出舱)的紧张程度,并用笔在线段上做标记。

1.2.2 HR及HRV 采用动态心电图采集与分析系统(MIC-12H-3S型,北京世纪今科医疗器械有限公司)进行5 min短程HRV分析,经过人工校正提取各训练阶段的HR及HRV。HRV评估时选用时域指标全程窦性心搏R-R间期的标准差(standard deviation of normal to normal intervals, SDNN)和频域指标总功率(total power, TP)、低频段(low frequency, LF)、高频段(high frequency, HF)、LF/HF。SDNN反映总体HRV,用于评价心脏自主神经总的调控作用;LF反映迷走和交感神经的共同作用,但主要反映交感神经的作用;HF主要反映迷走神经的作用;LF/HF评价交感神经活动与迷走神经活动张力的平衡;TP反映总的HRV^[7-8]。

1.3 训练方法 快速上浮脱险训练逐次进行,脱险训练前每名参训人员自行穿好快速上浮脱险服,确认脱险装备安全后进入脱险训练舱,在指定位置站好。外部操控人员启动预设好的加压程序以模拟不同脱险深度,加压至指定值后参训人员上浮到外舱,随后外舱按照既定减压程序减至常压以模拟上浮过程,减至常压后打开上盖,参训人员出舱,完

成1次训练。快速上浮脱险训练设置了3、5、10、30 m共4个深度,从浅的训练深度开始逐级训练,每日仅安排1个深度的训练,防止参训人员过度疲劳。

参训人员在每次快速上浮脱险训练前均进行常规健康体检,在体检合格的情况下方可参加训练。参训人员在模拟快速上浮脱险训练前5 min佩戴动态心电监测仪,训练结束后5 min摘除,记录训练全过程中的HR及HRV数据。通过动态心电监测系统自动分析,提取训练前、训练中、训练后各5 min的HRV相关指标数据。所有数据经离线处理、手动校正编辑,提取训练前、训练后HR数据,同时解析出训练中5个阶段(进舱、关盖、注水、开盖、出舱)的HR数据。此外,要求参训人员对训练前及训练中5个阶段的主观紧张程度进行评估。30 m深度快速上浮脱险训练由参训人员自愿报名参加,因仅有40人参加,故实际分析时仅纳入3、5、10 m 3个深度的数据。

1.4 统计学处理 应用SPSS 24.0软件对所有数据进行统计学分析。计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,对主观紧张程度、HR、HRV 3个评估指标在训练过程中不同阶段的变化进行重复测量方差分析。首先进行Mauchly's球检验,若 $P > 0.05$ 满足球对称条件,采用一般线性模型下的重复测量数据单因素方差分析;若 $P < 0.05$ 不满足球对称条件,则采用Greenhouse-Geisser法对自由度进行校正。检验水

准(α)为0.05。

2 结果

2.1 不同深度训练过程中参训人员主观紧张程度变化 对参训人员的主观紧张程度进行3(训练深度:3、5、10 m)×6(训练阶段:训练前、进舱、关盖、注水、开盖、出舱)重复测量方差分析。结果显示,训练深度主效应($F_{校正}=4.529, P=0.016$)和训练阶段主效应($F_{校正}=12.279, P<0.001$)差异均有统计学意义,两者交互效应差异无统计学意义($F_{校正}=1.032, P=0.438$)。3 m训练深度参训人员主观紧张程度[(2.17±0.16)分]高于5 m [(1.86±0.11)分]和10 m [(1.81±0.11)分]训练深度,差异均有统计学意义(P 均<0.01),且随着训练深度的增加参训人员主观紧张程度逐渐下降。训练前参训人员的主观紧张程度高于进舱阶段[(1.91±0.15)分 vs (1.70±0.11)分, $P<0.05$];在训练过程中,参训人员主观紧张程度随进舱、关盖、注水3个阶段逐渐升高,注水阶段[(2.46±0.17)分]参训人员的主观紧张程度高于其他各训练阶段(P 均<0.01),开盖阶段[(2.14±0.16)分]主观紧张程度下降,出舱时[(1.49±0.10)分]参训人员主观紧张程度低于其他各训练阶段(P 均<0.01)。见表1。

表1 不同深度快速上浮脱险训练过程中参训人员的主观紧张程度(VAS评分)变化

训练阶段	$n=128, \bar{x} \pm s$			
	3 m	5 m	10 m	合计
训练前	2.18±1.44	1.80±0.95	1.77±0.98	1.91±0.15
训练中				
进舱	1.84±1.06	1.68±0.73	1.59±0.75	1.70±0.11 [△]
关盖	2.20±1.55	1.93±0.78	1.81±1.00	1.98±0.15
注水	2.91±1.68	2.23±1.11	2.23±1.09	2.46±0.17 ^{▲▲}
开盖	2.36±1.53	2.08±1.09	1.97±1.11	2.14±0.16
出舱	1.56±1.08	1.44±0.70	1.47±0.73	1.49±0.10 ^{▲▲}
合计	2.17±0.16	1.86±0.11 ^{**}	1.81±0.11 ^{**}	

^{**} $P<0.01$ 与3 m组比较;[△] $P<0.05$ 与训练前比较;^{▲▲} $P<0.01$ 与其他各训练阶段比较.VAS:视觉模拟量表。

2.2 不同深度训练过程中参训人员HR变化 对参训人员的HR进行3(训练深度:3、5、10 m)×7(训练阶段:训练前、进舱、关盖、注水、开盖、出舱、训练后)重复测量方差分析。结果显示,训练深度主效应($F=5.421, P<0.01$)和训练阶段主效应($F_{校正}=485.182, P<0.001$)差异均有统计学意义,两者交互效应差异也有统计

学意义($F_{校正}=5.040, P<0.001$)。进舱阶段,3 m训练深度参训人员的HR较5 m训练深度高($P<0.05$)。在开盖和出舱阶段,10 m训练深度参训人员的HR均高于3 m训练深度(P 均<0.05)。3个训练深度训练后参训人员的HR随着训练深度的增加逐渐升高($P<0.05$),注水、开盖、出舱3个阶段HR差异无统计学意义($P>0.05$)。见表2。

表2 不同深度快速上浮脱险训练过程中
参训人员的HR变化

训练阶段	min ⁻¹ , n=128, $\bar{x} \pm s$		
	3 m	5 m	10 m
训练前	75.98±0.99	78.08±1.01	78.14±0.99
训练中			
进舱	108.11±1.87	103.36±1.63*	107.59±2.01
关盖	109.98±2.26	109.06±1.78	111.59±1.96
注水	123.76±2.13	123.73±1.96	120.29±1.97
开盖	116.18±2.07	118.95±2.14	122.97±2.22*
出舱	117.40±2.04	121.04±2.01	123.98±2.14*
训练后	82.43±1.26	86.89±1.25*	95.03±2.21* [△]

*P<0.05与3m组比较;[△]P<0.05与5m组比较.HR:心率.

2.3 不同深度训练过程中参训人员HRV变化 对参训人员HRV指标SDNN、TP、HF、LF、LF/HF进行3(训练深度:3、5、10m)×3(训练阶段:训练前、训练中、训练后)重复测量方差分析。结果显示,训练

前、训练中、训练后参训人员的HRV各指标均呈现下降趋势(P均<0.001)。其中,3m训练深度参训人员的HF高于10m训练深度[(171.76±14.49)ms² vs (155.16±12.44)ms², P<0.01],训练后HF[(87.44±9.45)ms²]低于其他各训练阶段(P均<0.01)。5m训练深度参训人员的LF/HF高于10m(3.45±0.11 vs 3.24±0.11, P<0.01),训练后LF/HF(2.63±0.09)低于其他各训练阶段(P均<0.01)。此外,训练深度和训练阶段在SDNN、TP、LF的交互效应差异有统计学意义(P均<0.05),表现为训练中SDNN随着深度的增加而下降;3m训练深度中训练后参训人员的TP低于其他各训练阶段(P均<0.01),5m和10m训练深度训练前、训练中、训练后3个阶段参训人员的TP呈逐渐下降趋势(P均<0.01);10m训练深度训练后参训人员的LF低于3m和5m训练深度训练后(P均<0.01)。见表3。

表3 不同深度快速上浮脱险训练前、中、后参训人员HRV变化

HRV 指标	训练深度				n=128, $\bar{x} \pm s$					
					训练深度		训练阶段		深度×阶段	
	3 m	5 m	10 m	合计	F值	P值	F值	P值	F值	P值
SDNN/ms					5.362 ^a	0.005	86.695	<0.001	7.941	<0.001
T1	79.70±2.45	72.81±2.15	74.90±2.16	73.47±1.89						
T2	78.17±2.77	71.27±2.31	64.98±2.20 ^{**△△}	71.15±1.78						
T3	54.67±2.47 ^{▲▲△△}	58.59±2.05 ^{▲▲△△}	52.01±1.46 ^{▲▲△△}	55.09±1.53 ^{▽▽▽▽}						
合计	67.10±1.73	66.38±1.58	63.44±1.30 ^{▽▽▽▽}							
TP/ms ²					0.728 ^a	0.458	89.882	<0.001	4.380 ^a	0.002
T1	1 855.37±143.82	1 958.82±129.08	2 049.48±121.69	1 954.56±111.76						
T2	1 616.82±156.27	1 450.36±114.70 ^{△△}	1 249.34±104.70 ^{△△}	1 438.84±100.69						
T3	678.19±109.36 ^{▲▲△△}	944.51±122.59 ^{▲▲△△}	742.57±56.97 ^{▲▲△△}	788.43±71.29 ^{▽▽▽▽}						
合计	1 557.04±101.22	1 607.87±95.52	1 529.79±86.06							
LF/ms ²					2.387 ^a	0.108	117.700	<0.001	2.551 ^a	0.038
T1	498.54±36.27	507.49±27.19	506.74±30.22	502.26±25.78						
T2	365.48±38.18 ^{△△}	311.11±27.19 ^{△△}	282.89±29.82 ^{△△}	319.82±24.63						
T3	193.88±19.81 ^{▲▲△△}	206.11±27.19 ^{▲▲△△}	130.19±15.10 ^{**▲▲△△}	176.73±16.00 ^{▽▽▽▽}						
合计	444.39±24.51	434.59±24.64	409.87±22.74 ^{▽▽}							
HF/ms ²					2.842 ^a	0.064	19.778	<0.001	0.272	0.890
T1	157.15±14.32	157.03±15.18	145.54±10.83	153.24±11.25						
T2	138.94±17.95	122.79±13.37	109.42±10.79	123.39±11.52						
T3	101.85±19.02	84.88±11.28	75.58±8.50	87.44±9.45 ^{▽▽▽▽}						
合计	171.76±14.49	163.71±14.80	155.16±12.44 ^{▽▽}							
LF/HF					2.564 ^a	0.104	25.965	<0.001	0.289 ^a	0.686
T1	4.69±0.74	4.25±0.17	3.99±0.18	4.31±0.28						
T2	3.55±0.22	3.19±0.17	3.00±0.17	3.25±0.13						
T3	2.70±0.16	2.78±0.14	2.39±0.09	2.63±0.09 ^{▽▽▽▽}						
合计	3.63±0.21	3.45±0.11	3.24±0.11 ^{▽▽}							

^a:校正后.**P<0.01与3m组和5m组同训练阶段比较;^{△△}P<0.01与T1同训练深度比较;^{▲▲}P<0.01与T2同训练深度比较.^{▽▽}P<0.01与3m组或T1比较;^{▽▽▽▽}P<0.01与5m组或T2比较.HRV:心率变异性;SDNN:全程窦性心搏R-R间期的标准差;TP:总功率;LF:低频段;HF:高频段;T1:训练前;T2:训练中;T3:训练后.

3 讨论

快速上浮脱险训练效率高、速度快,但同时

具有一定的难度和风险性,导致参训人员产生不同程度的心理压力。个体在心理压力的影响下其生理也会发生一系列变化,主要反映在自主神经

功能的改变。人体通常在平静状态时副交感神经兴奋占优势,在紧张、兴奋状态时以交感神经兴奋为主。心理压力引起的自主神经功能改变会破坏体内的平衡状态^[9]。心理压力影响身体的主要途径是下丘脑-垂体-肾上腺轴和交感神经系统^[10],自主神经系统和下丘脑-垂体-肾上腺轴高度协调和互连。自主神经系统通过交感神经和副交感神经迅速促进个体生理变化,其中副交感神经通过抑制交感神经和下丘脑-垂体-肾上腺轴减轻个体的应激反应,当副交感神经不再充分满足个体的生理需求时就会出现压力^[11]。

HRV是一组评估自主神经系统活动性的非侵入性且易于获得的参数,反映了交感神经和迷走神经的活性及其平衡^[8]。研究表明,个体压力水平越高HRV波动性越小、HR越快^[12]。压力与HRV下降有关,特别是副交感神经激活降低,而另一方面交感神经的激活会增加HRV^[13]。不同于生理应激,心理应激引起的自主神经反应由前额叶等高级脑结构调节^[14],心理应激的产生过程中自主神经各支的反应彼此独立,交感神经和副交感神经之间并非一定是此消彼长的交互影响模式^[15]。

快速上浮脱险训练时间短且操作流程复杂,对参训人员心理应激水平的监控更强调采用简单、便携、易操作的测量手段。本研究选用HR及HRV时域指标SDNN和频域指标TP、HF、LF、LF/HF,并结合主观紧张程度,考察参训人员在快速上浮脱险训练过程中的心理应激变化。结果显示,训练各阶段中,注水阶段参训人员HR及VAS评分均高于其他训练各阶段,主客观指标结果一致,表明注水阶段参训人员紧张程度最高。随着训练的进行SDNN、TP逐渐下降,表明训练过程中参训人员HRV的复杂性降低,自主神经系统的调节能力减弱,机体对环境变化的适应能力减弱。同时,HF、LF、LF/HF均呈下降趋势,说明训练中迷走神经和交感神经均受到抑制。已有研究表明,训练结束后短期的HRV降低可作为判断应激存在的依据,如果短期内HRV恢复甚至升高提示预后良好,多判定为良性应激;而HRV较长时间的下降表明应激暂未消退或应激过大,多判断为不良应激^[16]。本研究结果显示,训练结束后5 min HRV仍处于下降趋势,表明参训人员训练应激状态在训练结束后5 min内未恢复,但该恢复时长暂无依据区分训练应激的强度,提醒我们可延长训练后的测量

时间从而进一步判断参训人员的应激程度。在不同深度(3、5、10 m)的训练中,3 m训练深度参训人员的主观紧张程度高于5 m和10 m,且随着训练深度的增加主观紧张程度逐渐下降。尽管HR测试数据结果显示在进舱阶段,3 m训练深度HR高于其他2个深度,但是HR在3个深度训练中的总体趋势与VAS评分相反,即随着训练深度的增加HR逐渐增加,尤其在出舱阶段10 m训练深度参训人员的HR高于3 m和5 m。此外,在训练中SDNN随着训练深度的增加而下降,TP、LF、HF、LF/HF表现平稳,说明在对应激的敏感性方面训练深度差异并不明显。

以上结果存在2个方面不一致:(1)HRV指标敏感度不一致。通常情况下,HRV和HR作为评定个体应激程度的生理指标,表现为应激水平越高HRV越小、HR越快,本研究结果与此一致,参训人员在训练过程中HR升高、HRV下降表明应激反应的存在。但多数有关HRV的研究发现,应激引起HF降低,LF和LF/HF则呈现相反趋势,表明短期压力导致副交感神经活动减少、交感神经活动增加^[17-18],而本研究中交感神经和副交感神经活性均呈现降低趋势。这一方面可能因为HRV指标在不同的测试中敏感度有差异,另一方面可能与应激强度及训练负荷有关。通常HF在压力事件下降低、在低压力状态下升高,反之,LF在压力事件下升高、低压力状态下降低,当压力过大时LF与HF可能同时降低^[19]。

(2)主客观指标不一致。快速上浮脱险训练过程中,参训人员在注水阶段主观紧张程度高于其他各训练阶段,客观指标HR同样表现为注水阶段最高,但注水、开盖、出舱3个阶段HR差异无统计学意义。此外,不同训练深度的主观紧张程度与HR呈相反趋势,表明较高的应激体验可能引起低的生理反应,主观紧张程度与生理反应性之间是一种复杂的关系^[20-21]。此外,本次参训人员之前均无快速上浮脱险训练经验,因此对首次训练(3 m)表现出更高的主观焦虑,但表现与之相反的HR指标,这也表明训练深度的增加可能引起参训人员表现出更高的焦虑。这也提示训练保障工作应将参训人员主观感受与客观生理指标有效结合,一方面,认知理论提出人们对压力事件的评估会影响其应对压力事件的方式及压力事件的结果^[22],做好训前宣讲、增加参训人员的自信心对降低主观焦虑具有重要意义;另一方面,应做好训练过程中生理指标的监控工作,鉴别高

风险人员,以确保训练的顺利进行。

综上所述,快速上浮脱险训练可引起参训人员的应激反应,其中注水阶段应激最为明显。HRV作为无创、动态的测量参数,能够实时、客观、有效地监测快速上浮脱险训练过程中参训人员的生理状态及应激水平,为后期应激干预提供依据,以确保医学保障工作的顺利进行。

[参 考 文 献]

- [1] 李慈,王文波,方以群,于峰涛,张和翔. 模拟153 m深度快速上浮脱险潜艇艇员肺功能的改变[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志,2004,11:137-139.
- [2] 刘庆华,方以群,袁恒荣,王海涛,马骏,许骥,等. 快速上浮脱险艇员心功能变化的超声心动图评价[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志,2008,15:362-363.
- [3] 刘庆华,方以群,袁恒荣,许骥,王海涛,王辉,等. 模拟3~30 m快速上浮脱险潜艇艇员肾动脉血流动力学的变化[J]. 第二军医大学学报,2009,30:106-107.
LIU Q H, FANG Y Q, YUAN H R, XU J, WANG H T, WANG H, et al. Changes of renal artery hemodynamics in submariners after 3-30 m simulated air-breathing fast buoyancy ascent escape[J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2009, 30: 106-107.
- [4] 刘平小,方以群,姜峰. 实验室模拟30 m快速上浮脱险训练对潜艇艇员咽鼓管功能的影响[J]. 海军医学杂志,2007,28:97-99.
- [5] LISCHKE A, JACKSTEIT R, MAU-MOELLER A, PAHNKE R, HAMM A O, WEIPPERT M. Heart rate variability is associated with psychosocial stress in distinct social domains[J]. J Psychosom Res, 2018, 106: 56-61.
- [6] LESAGE F X, BERJOT S, DESCHAMPS F. Clinical stress assessment using a visual analogue scale[J]. Occup Med (Lond), 2012, 62: 600-605.
- [7] ERNST G. Heart-rate variability—more than heart beats?[J/OL]. Front Public Health, 2017, 5: 240. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00240.
- [8] SHAFFER F, GINSBERG J P. An overview of heart rate variability metrics and norms[J/OL]. Front Public Health, 2017, 5: 258. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258.
- [9] PORGES S W. Cardiac vagal tone: a physiological index of stress[J]. Neurosci Biobehav Rev, 1995, 19: 225-233.
- [10] WOLF O T. Memories of and influenced by the trier social stress test[J]. Psychoneuroendocrinology, 2019, 105: 98-104.
- [11] KIM H G, CHEON E J, BAI D S, LEE Y H, KOO B H. Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature[J]. Psychiatry Investig, 2018, 15: 235-245.
- [12] SCHIWECK C, PIETTE D, BERCKMANS D, CLAES S, VRIEZE E. Heart rate and high frequency heart rate variability during stress as biomarker for clinical depression. A systematic review[J]. Psychol Med, 2019, 49: 200-211.
- [13] JÄRVELIN-PASANEN S, SINKALLIO S, TARVAINEN M P. Heart rate variability and occupational stress—systematic review[J]. Ind Health, 2018, 56: 500-511.
- [14] CARNEVALI L, PATTINI E, SGOIFO A, OTTAVIANI C. Effects of prefrontal transcranial direct current stimulation on autonomic and neuroendocrine responses to psychosocial stress in healthy humans[J]. Stress, 2020, 23: 26-36.
- [15] BUSTAMANTE-SÁNCHEZ Á, TORNERO-AGUILERA J F, FERNÁNDEZ-ELÍAS V E, HORMEÑO-HOLGADO A J, DALAMITROS A A, CLEMENTE-SUÁREZ V J. Effect of stress on autonomic and cardiovascular systems in military population: a systematic review[J/OL]. Cardiol Res Pract, 2020, 2020: 7986249. DOI: 10.1155/2020/7986249.
- [16] 刘凌,李森,朱晓梅,曹佩江,顾庆. 心率变异性和应激激素基础水平在评价运动致应激中的价值[J]. 临床心血管病杂志,2011,27:940-944.
- [17] 汪东军,王军,李洁,薛霞,孙荣丽,王丽萍,等. 心理应激训练在高性能战斗机飞行员中的应用分析[J]. 空军医学杂志,2019,35:97-99,103.
- [18] SCHNEIDER M, SCHWERDTFEGER A. Autonomic dysfunction in posttraumatic stress disorder indexed by heart rate variability: a meta-analysis[J]. Psychol Med, 2020, 50: 1937-1948.
- [19] VON ROSENBERG W, CHANWIMALUEANG T, ADJEI T, JAFFER U, GOVERDOVSKY V, MANDIC D P. Resolving ambiguities in the LF/HF ratio: LF-HF scatter plots for the categorization of mental and physical stress from HRV[J/OL]. Front Physiol, 2017, 8: 360. DOI: 10.3389/fphys.2017.00360.
- [20] 张文彩,阎克乐,路运青,张娣,洪捷,袁立壮,等. 不同心理刺激诱发的交感和副交感神经活动的比较[J]. 心理学报,2007,39:285-291.
- [21] PAPOUSEK I, SCHULTER G, PREMSBERGER E. Dissociated autonomic regulation during stress and physical complaints[J]. J Psychosom Res, 2002, 52: 257-266.
- [22] VONROSENBERG J. Cognitive appraisal and stress performance: the threat/challenge matrix and its implications on performance[J]. Air Med J, 2019, 38: 331-333.

[本文编辑] 尹 茶