

- stroke and "learned non-use phenomenon". J Rehabil Med, 2004, 36:138-140.
- [7] 田仰华,魏敬能,汪凯,等. 单侧空间忽视的研究进展. 中华神经科杂志, 2006, 39:702-704.
- [8] Gillen R, Temmen H, Mckee T. Unilateral spatial neglect: relation to rehabilitation outcomes in patients with right hemisphere stroke. Arch Phys Med Rehabil, 2005, 86:763-767.
- [9] 陈颖. 脑卒中偏瘫患者发生单侧空间忽略的临床研究. 中华物理医学与康复杂志, 2004, 26:93-95.
- [10] 黄锦文. 作业疗法从寻找意义开始. 中华物理医学与康复杂志, 2005, 27:56-57.

(修回日期:2007-10-26)

(本文编辑:阮仕衡)

急性低氧训练前、后机体血氧饱和度变化与低氧适应间的关系

李交杰 张刚林 黄炜 潘郁萍 沈嘉平 李光 胡萌

【摘要】目的 通过观察低氧训练前、后受训飞行员血氧饱和度的变化,探讨机体经低氧训练产生间歇性低氧适应的过程以及低氧适应的量化指标。**方法** 以模拟 3.5 km 高空环境低氧吸入前 1 天为训练前,连续低氧吸入 15 d 次日为训练后,于低氧训练前、后分别记录受训者在模拟 7.5 km 高空环境下脉搏血氧饱和度(SpO_2) 随时间的变化情况。**结果** 对受训者经低氧训练前、后在模拟 7.5 km 高空环境下各个时段的 SpO_2 测定结果进行比较,发现除了第 1~5 个和第 10 个时间段的 SpO_2 差异无统计学意义外($P > 0.05$),其它各时间段差异均有统计学意义($P < 0.05$),表明受训者经低氧训练后其 SpO_2 下降趋势较低氧训练前平缓。**结论** 经模拟 3.5 km 高空环境急性低氧训练后,机体供氧和用氧能力均明显提高,从而产生间歇性低氧适应, SpO_2 可作为评定间歇性低氧适应的量化指标之一。

【关键词】 低氧训练; 间歇性低氧适应; 血氧饱和度

有研究发现,持续性低氧状态能造成机体不同程度损伤,但适当的间歇性低氧干预对缺氧机体却有很好的保护作用,亦被称之为间歇性低氧适应^[1]。当人类从平原环境进入高原环境后,机体在神经-体液调节作用下将发生一系列代偿适应性改变,以适应高原环境,这个过程称之为习服。预缺氧作为一种新的促习服手段正日益受到人们关注,但目前对预缺氧方式的选择还有待继续深入研究^[2]。为探讨科学的间歇性低氧适应方法以及评估低氧适应的量化指标,本课题拟以脉搏血氧饱和度(pulse oxygen saturation, SpO_2) 为观察指标,对健康人群经低氧训练前、后的低氧适应能力进行研究。现报道如下。

对象与方法

一、研究对象

共选取来我院疗养的歼击机飞行员共计 32 名,均为男性,所有受训者均无不适主诉,各科体检及辅助检查结果均无异常;年龄 23~25 岁;飞行时间 230~380 h;所飞机种为歼-7、歼-8;均无不良嗜好,无神经疾病史,无接触神经毒物职业史,无低氧习服及高原作业史。所有受训者在整个研究期间生活规律,每次训练前 4 h 不食用任何含咖啡因或其它刺激性物质的食品或饮料。

二、训练方法

训练器械采用中国人民解放军空军航空医学研究所研制的 Dy-84 型低氧混气仪,可分别模拟 3.5 km 高空环境(氧含量为 13.1%)和 7.5 km 高空环境(氧含量为 7.1%)。受训者在训练时给予面罩吸入氧气,通气量为 15 L/min。采用 Eagle

3000 型多功能监护仪于受训者左手无名指甲襞微循环部位经皮实时测定脉搏血氧饱和度。以低氧吸入训练前 1 天作为训练前,连续低氧吸入训练 15 d 后次日作为低氧吸入训练后。本研究共分 3 个阶段进行。第 1 阶段为低氧训练前 1 天(即训练前),受训者直接进入模拟 7.5 km 高空环境中,记录从开始到第 180 s 期间 SpO_2 的变化情况,每 10 s 作为一个时间段记录 1 次。第 2 阶段为低氧训练阶段,受训者每天上午于同一时间段进入模拟 3.5 km 高空环境中(每次持续低氧呼吸 25 min),共持续 15 d。第 3 阶段为低氧训练第 16 天(即训练后),受训者再次进入模拟 7.5 km 高空环境中,记录从开始至第 180 s 期间 SpO_2 的变化情况,每 10 s 作为一个时间段记录 1 次。本研究同时测定受训者训练前、后血液红细胞总数及血红蛋白含量的变化情况。

三、统计学分析

本研究所得数据以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 13.0 版统计学软件进行分析比较,受训者训练前、后数据比较采用 t 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、急性低氧训练期间血氧饱和度的变化

在整个实验期间,所有受训者均未出现任何由低氧引发的不良反应而中途退出试验。在模拟 3.5 km 高空低氧环境训练期间,受训者 SpO_2 水平随着时间的延长而逐渐下降,开始时 SpO_2 均值为(97.3 ± 0.9)%,处于正常范围内^[3],随后逐渐降低,到第 25 min 时降低至(81.0 ± 1.7)%。

二、低氧训练前、后血氧饱和度的变化

经模拟 3.5 km 高空环境低氧训练后,受训者在模拟 7.5 km 高空环境低氧吸入时,发现其 SpO_2 水平较低氧训练前

作者单位:310007 杭州,中国人民解放军杭州疗养院空勤疗养区(李交杰、张刚林、黄炜、潘郁萍、沈嘉平);浙江大学(李光、胡萌)

变化显著,具体情况详见表 1、图 1。表中数据显示,受训者 SpO₂ 水平在低氧训练前,训练后 0~50 s 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$),60~90 s 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),100 s 时差异又无统计学意义 ($P > 0.05$),在其后 110~180 s 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。从图 1 可以看出,在低氧训练前,模拟 7.5 km 高空环境低氧吸入时,受训者 SpO₂ 水平下降幅度较快,在第 180 s 时降低至 67%。经模拟 3.5 km 高空环境低氧训练后,受训者在模拟 7.5 km 高空环境低氧吸入时,其 SpO₂ 水平呈缓慢下降态势,在第 180 s 时降低至 73%。

三、急性低氧训练前后红细胞、血红蛋白的变化

受训者急性低氧训练前、后其红细胞计数分别是 $(5.11 \pm 0.41) \times 10^{12}/L$ 和 $(5.02 \pm 0.38) \times 10^{12}/L$,差异无统计学意义 ($P > 0.05$),血红蛋白含量分别是 $(149.90 \pm 8.88) g/dl$ 和 $(145.30 \pm 8.96) g/dl$,差异也无统计学意义 ($P > 0.05$),提示急性低氧训练对人体红细胞和血红蛋白含量无显著影响作用。

表 1 急性低氧训练前、后模拟 7.5 km 高空环境时受训者 SpO₂ 变化情况 (%) ($\bar{x} \pm s$)

检测时间	例数	脉搏血氧饱和度			
		0~50 s	60~90 s	100 s	110~180 s
训练前	32	96.8 ± 1.0	89.8 ± 0.9	82.0 ± 2.9	72.7 ± 2.0
训练后	32	97.0 ± 1.0 ^a	86.0 ± 1.1 ^b	81.0 ± 3.0 ^a	76.7 ± 1.9 ^b

注:与训练前比较,^a $P > 0.05$,^b $P < 0.05$

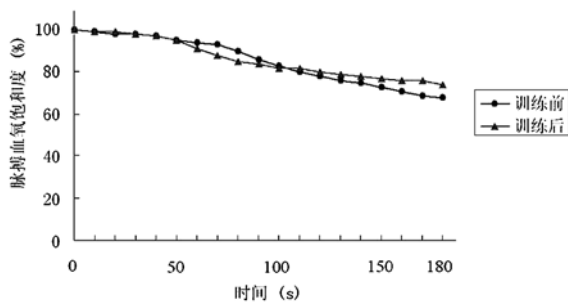


图 1 低氧训练前、后模拟 7.5 km 高空环境时受训者 SpO₂ 变化情况

讨 论

动脉血氧饱和度(arterial oxygen saturation, SaO₂)是指血氧含量与血氧容量的百分比,即 100 ml 血液中血红蛋白实际结合氧量与血红蛋白能结合氧量的百分比。本研究测定的是脉搏血氧饱和度(SpO₂),由于 SpO₂ 和 SaO₂ 间具有显著相关性($r = 0.90 \sim 0.98$),故通过检测 SpO₂ 水平可以真实地反映动脉血液中血氧饱和度的变化情况^[3,4]。

机体对缺氧适应的主要变化包括:尽可能保持组织的高度氧合作用,最大限度地利用氧产生尽可能多的能量,充分利用有限能量来维持生命活动。机体对缺氧适应大体可分为两个方面:第一个方面包括从吸入气体到细胞氧之间运输机制的改变;第二个方面是指细胞内线粒体及其它部位对氧利用的生化化学过程的改变^[5]。

本研究结果显示,受训者经模拟 3.5 km 高空环境急性低氧训练前、后,其红细胞、血红蛋白含量均无明显变化,表明机体没有产生类似慢性低氧环境所诱发的代偿性血液变化。当受训者经低氧训练后进入模拟 7.5 km 高空低氧环境时,其

SpO₂ 水平与低氧训练前比较,发现第 1~5 个时间段差异无统计学意义 ($P > 0.05$),推测这是吸入的低浓度氧经小循环到大循环所测部位的时程;第 6~9 个时段差异有统计学意义 ($P < 0.05$),可能与低氧训练前、后血氧含量变化受心率和呼吸频率的影响有关;第 10 个时间段(即 90~100 s 时段)差异无统计学意义 ($P > 0.05$),这可能是机体吸入的低浓度氧到细胞之前的暂时稳定状态;随后 SpO₂ 水平在第 11~18 个时间段差异显著 ($P < 0.05$),可能是细胞内线粒体及其它部位对氧利用的生化化学过程改变的结果。本研究推测,受训者在模拟 7.5 km 高空环境低氧吸入时,前 100 s 以心肺血液循环代偿为主,100 s 之后则以组织细胞代偿为主。在低氧训练前,受训者进入模拟 7.5 km 高空环境低氧吸入时,其机体 SpO₂ 总体水平下降速度较快,至 180 s 时下降至 67%。经低氧训练后,机体在同样环境中其 SpO₂ 呈缓慢下降趋势,至第 180 s 时 SpO₂ 下降至 73%,表明受训者经低氧训练后,其 SpO₂ 下降速率明显慢于低氧训练前。提示经急性低氧训练后,机体对低氧环境产生一定程度的抵抗力和自身保护能力(即低氧适应),其相关机制除了提高心肺功能外^[6],还可能包括缺氧刺激后机体己糖激酶、磷酸果糖激酶及甘油激酶活性升高、Na⁺-K⁺-ATP 酶、枸橼酸合成酶、细胞色素 C 氧化酶活性降低,促使氧化能量代谢率降低;与细胞特定结合的醛缩酶和 3-磷酸甘油醛脱氢酶活性增强,有利于机体将 ATP 的产生与利用过程偶联,从而提高能量利用率^[7],这样就抑制了机体对氧分子的消耗,表现为机体在低氧环境中,其血氧饱和度下降速度相对较缓慢,从而实现间歇性低氧适应。

综上所述,模拟 3.5 km 高空环境急性低氧训练可促使机体产生间歇性低氧适应,这对高空作业人群(如飞行员和登山员等)、脑力运动员及进驻高原人员在适应性训练时的健康保护具有重要现实意义;另外在模拟 7.5 km 高空环境时机体 SpO₂ 水平的变化可作为评价低氧训练适应的生理定量指标。由于本研究单位条件和设备所限,未能对受训者进行不同时间多指标测定,还有待今后更进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] 陈铭,周兆年. 间歇性低氧对心肌保护作用. 生命科学,1996,8:38-39.
- [2] 高钰琪,黄庆愿,刘福玉. 促进高原习服措施的研究进展. 解放军预防医学杂志,2002,20:306-309.
- [3] 马汉祥,刘红. 脉搏血氧饱和度的临床监测进展. 宁夏医学杂志,2003,25:125-127.
- [4] 任荣,张虹英. 经皮和动脉血氧饱和度关系的研究. 护士进修杂志,1999,14:6-7.
- [5] Boutellier U, Howald H, Prampero PE, et al. Human muscle adaptations to chronic hypoxia. Prog Clin Biol Res,1983,136:273-285.
- [6] 孙星炯. 常压低浓度氧间歇吸入疗法. 国外医学物理医学与康复学分册,1999,19:55-74.
- [7] Xia Y, Jiang C, Haddad GG. Oxidative and glycolytic pathways in rat (newborn and adult) and turtle brain: role during anoxia. Am J Physiol,1992,262:595-603.

(修回日期:2007-10-12)

(本文编辑:易 浩)