DOI:10.16016/j.1000-5404.1983.04.002

阶梯式间断性缺氧复合运动锻炼的超声心动图观察

谢增柱 王俊元 薛树国

（病理生理学教研室）

提 要

对12名世居在1895米高原的男性自行车运动员，经过低压缺氧复合运动锻炼后作了超声心动图检查。在低压舱内运动员完成间断缺氧运动锻炼后，他们的右心室和右肺动脉内径随着高原高度和运动时间增加而增加。在摸拟高原4000米与平原相比，安静的心搏量和心输出量，左心室内径和左心室心肌量明显增加，室间隔和左室后壁的厚度也增厚。这些变化是在生理范围内，因此应属于对高原运动训练的适应变化。在摸拟4000米高原动运后心搏量和心输出量的增加比3000米明显，在缺氧运动训练中没有一个受试者发生急性高山病，这些结果表明阶梯式间断缺氧复合运动锻炼方法可能改善心脏功能和增加对缺氧的适应能力。

单纯阶梯适应（逐渐上升到高原）或阶梯适应结合体格锻炼，在减压舱内间断性阶梯适应都可提高机体对缺氧耐受力[1][2]，减轻高原反应。阶梯式间断缺氧复合运动锻炼对心脏结构和功能影响尚未见有报告。对此进行研究，将有助于了解适应锻炼过程中，心血管系统所起的作用，为部队从平原阶梯适应结合体格锻炼进驻高原，提供理论依据。

对 象 和 方 法

12名世居1895米高原(昆明市)男性青年，乘飞机到达重庆休息3天后，在减压舱内减压至2000米摸拟高原训练5天，3000和4000米各训练11天，每天减压3.5小时。在此时间内，受试者进行空蹬架骑行训练，运动强度使心率保持在150～170次／分。在训练期间有教练和医生观察运动员耐受情况并记录反应。

超声心动图是用武汉无线电研究所生产的XJ-3型心脏诊断仪，发射频率为2.5兆赫。工作条件垂直线（y轴）每格为20mm，水平线（X轴）每格为0.04秒。受试者平卧，以石腊油为偶合剂，按Feigenbaum[3]方法在心前区第3～5肋间探查。在胸骨上窝探查右肺动脉内径，并摄取照片，底片用olympus灯幻机投影放大进行分析。按Clark[4]方法计算右室后径，左室收缩和舒张末内径，室间隔和左室后壁厚度，以立方差方法计算左室每搏量和以下指标：心输出量、射血分数、左室小径缩短率和按Bennett[5]方法计算左室心肌重量。受试者先作平原对照检查，然后再在3000和4000米训练的最后的2天再作安静检查，最后让受试者在国产自行车功率计上运动3分钟，运动量为900kg-m/分，运动后立即、3、5、10分钟后重复检查，检查结果均经统计学处理。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.ne

结　　果

1．主动脉、右肺动脉和右室内径

训练前平原对照值和在低压舱训练后主动脉内径没有任何变化。右肺动脉和右室内径随着高原高度和训练日期增加而增加。但未超出正常范围，详见表1。部分受试者右室前壁增厚，收缩振幅增加。超声心动图变化见图1。

表1　不同高度的主动脉、右肺动脉、右室内径变化

	主动脉内径（mm）	右肺动脉内径（mm）	右室内径（mm）
平　原	24.2±2.2	16.4±2.1	11.5±2.3
3000米	24.6±3.3	*17.9±2.3	*13.4±2.3
4000米	25.5±3.9	△19.8±2.3	◎16.1±3.6

平原与3000米相比 * $P<0.01$，◎ $P<0.05$

3000米与4000米相比 △ $P<0.01$，◎ $P<0.05$

2．室间隔和左室后壁厚度，左室心肌量及左室舒张末内径

平原的心室间隔和左室后壁厚度，左室心肌量及左室舒张末内径与3000米相比无明显差异。4000米与平原相比则明显增加，详见表2。

表2　不同高度对左心室结构影响

	室间隔厚度（mm）	左室后壁厚度（mm）	左室心肌量（g）	左室舒张末内径（mm）
平　原	7.2±0.9	7.5±0.7	105.0±17.8	39.8±3.4
3000米	7.8±0.9	7.8±1.0	116.0±12.2	39.7±4.1
4000米	*8.3±1.2	*9.1±1.2	△153.7±37.8	△43.8±3.2

平原与4000米 * $P<0.01$，△ $P<0.5$

3．左室功能

心率、心搏量和每分输出量的平原对照值与3000米相比无明显差异。4000米与平原值相比明显增加。左室射血分数在3000米有所降低，在4000米时恢复正常。左室小轴缩短率平原与高原无明显差异。详见表3。

表3　不同高度对心功能的影响

	心率(次/分)	心搏量(ml)	心每分输出量(升/分)	左室射血分数(%)	左室小轴缩短率(%)
平　原	55.7±9.2	51.4±6.8	3.879 ±0.667	75.6±5.3	36.4±4.5
3000米	56.9±6.3	47.9±4.9	2.745 ±0.250	△70.3±4.8	33.2±3
4000米	*60.8±8.2	*64.2±11.6	*4.0119±1.320	76.1±5.3	35.7±5.1

平原与4000m相比 * $P<0.01$

平原与3000米相比 △ $P<0.05$

高原运动后心功能变化

在3000和4000米运动后心率、每搏量、心输出量和射血分数均比安静时明显增加，10分

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.ne

钟后逐渐恢复详见表4、5。3000和4000米运动后心率、心搏量、心输出量相比较见图2，4000米的都明显高于3000米者，提示运动锻炼后心脏输送血液功能增加。在4000米运动后超声心动图表现见图3。

表4　3000米运动后心率、每搏量、心输出量和射血分数变化

	安静	运动后			
		立即	3分钟	5分钟	10分钟
心率（次/分）	57.1±6.2	*96.5±11.1	85.6±7.1	82.5±5	74.0±6
每搏量（ml）	47.4±5.3	*57.4±9.2	53.1±5.2	51.9±7	50.0±4.3
心输出量（升/分）	2.820±0.471	*6.2909±1.149	4.5314±0.633	4.2962±0.717	3.778±0.336
射血分数（%）	69.5±5.3	*81.1±6.4	76.8±3.6	75.4±3.2	76.0±5.8

安静与运动后立即相比 * $P<0.01$

表5　4000米运动后心率、每搏量、心输出量和射血分数变化

	安静	运动后			
		立即	3分钟	5分钟	10分钟
心率（次/分）	58.0±4.8	*92.0±4.7	81.0±7.3	78.0±6.0	76.0±8.3
每搏量（ml）	60.9±8.4	*74.1±7.1	66.7±7.3	64.8±8.3	64.8±7.8
心输出量（升/分）	3.7428±0.720	*6.8465±0.885	5.447±1.049	5.115±1.014	4.999±1.064
射血分数（%）	74.5±5.7	*80.1±6.4	75.3±2.5	76.0±4.8	74.2±6.3

安静与运动后立即相比 * $P<0.01$

讨　论

经间断性缺氧和运动锻炼后，右肺动脉内径增宽，右心室内径增大，部分受试者右室前壁增厚，活动增强。我们用超声心动图观察到高原人右肺动脉增宽，右室增大，部分人超出正常范围[6]，国外学者曾证明间断缺氧可引起大白鼠右心室肥大[7]，我们在1982年观察到猪在摸拟4000米高度，每天8小时，一个月后心导管检查肺动脉压明显增高。解剖证明右室肥大。Banchero[8]用右心室导管证明平原人以3000kg-m/分负荷，运动7分钟，肺动脉收缩压从22增加到36mmHg，在4500米同样负荷，肺动脉收缩压从41上升到71mmHg。因此本文所见到右肺动脉增宽，右室增大可能是肺动脉高压的结果，这些变化都未超出正常围范，属于生理适应。

阶梯式间断缺氧和运动锻炼后，心室间隔和左心室后壁增厚，心腔增大，故左心室重量增加。有些人观察到静力运动为主的运动员（如举重、推铅球）主要表现为左心室壁增厚，左心室肌肉量增加，而以耐力运动为主的运动员表现为心室壁厚度正常或增厚，同时伴有心

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.ne

腔增大[9][10][11]。Demaria[12]1978年用超声心动图观察一个体育训练周期，70天耐力训练后左室后壁厚度增加1.1mm，左室舒张末内径增加2 mm，Ehsani[13]也观察到长距离游泳7周后，左室壁厚度增加和心腔增大，停止训练3周后恢复。本文作者观察到在缺氧条件下训练27天左室后壁增加1.6mm，左室舒张末内径增加4 mm，似乎说明缺氧和运动复合刺激更易促进左心增大。这些变化未超出正常范围，属于生理适应。

我们所用超声心动仪是经过水槽校正过垂直距离，同一个人在不同时间内测定都是在同一肋间探查：测量左室内径都是采用二尖瓣前后瓣水平，尽管如此，测得左室舒张末径和由此推算的心搏量比国内测定值偏低。我们认为同一个人在同样条件下对比还是可靠的。在3000米训练结束后心搏量稍低于平原值，由于心率增快，每分心输出量不变。在4000米训练结束时心搏量和每分输出量高于平原的对照值。一般认为初入高原的人心搏量不变，但是由于心率加快，所以每分输出量增加。关于较长期居留高原后心搏量变化有两种观点：一些人认为不变[14][15]，而另些人认为低于平原值[16][17]。

我们观察到间断性缺氧复合运动锻炼后，心腔增大，心室壁增厚，安静时心每搏量增加，这与许多作者公认经过体育训练后心血管适应包括心率减慢，心肌肥大和静息时心每搏量增加是一致的[18][19][20]。这是缺氧和运动复合作用的结果。在高原运动时心搏量和每分输出量增加都低于平原同等强度运动[21][22][23]，最大运动时，最大心输出量和最大氧耗量低于平原[22]。最大氧消耗与人作功能力密切相关。最大氧消耗取决于氧运输和组织摄取氧。由于在高原最大心输出量和最大氧消耗降低，所以作功能力降低。我们的结果表明，在3000和4000米进行同样负荷运动时，4000米运动后心每搏量和每分输出量比3000米增加更多。这不仅说明在更高的高原运动时，需要增加心输出量，而且也说明经过适应锻炼后的心脏在单位时间能输送更多的血液和氧气满足机体需要。PWC_{170}试验也发现在4000米作功的能力比3000米高[25]。

Vanini[24]在秘鲁观察到平原出生士兵运到3000～4000米高原，在4～8周内劳动力降低，大约10%人发生高山反应。相反国内有人用阶梯式适应复合体格锻炼方法进入高原，明显提高机体对缺氧耐受力，减轻高原反应[1]。

本次实验采取阶梯式间断缺氧复合运动训练，尽管运动强度很大，在每个高度受试者都能完成训练任务，除一人运动时感觉头痛外，没有任何人发生高山反应。

综上所述，可以认为阶梯式间断缺氧复合运动训练后心脏发生结构和功能适应变化，使心脏泵血功能增强，在单位时间内能运送更多的血液和氧气到组织，从而提高机体对缺氧的耐受力。

小　结

世居于昆明市（1895米）的男性青年，在减压舱内经阶梯式间断性缺氧和运动锻炼后，右肺动脉和右室内径随着高原高度和运动锻炼日期增加而增加。在4000米（锻炼27天后）左心室壁的厚度增加，心腔增大，以致左心室心肌量增加。左和右心室的结构变化是在生理范围内，属于适应性变化。在4000米安静的心搏量和每分心输出量比平原高，运动时心搏量和每分输出量增加比3000米明显。结果表明，经过阶梯式间断性适应锻炼后，心贮备能力增加，左心室功能增强，在单位时间内能输出更多血液，运送更多氧到组织，提高机体对缺氧

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.ne

耐受力。

参 考 文 献

1. 西藏军区军事医学研究所：　内部资料　西藏军区后勤部卫生处
2. 吕永达：内部资料
3. Feigenbaum H:Echocardiography 2nd Lea and Febger 1976
4. Clark KD,et al:Case studies in echocardiography diagnostic work. WB Sauders Company Philadephia, 1977
5. Bennett DH,et al:Brit Heart J 36:981,1974
6. 谢增柱等：解放军医学杂志　7(1):19,1982
7. Widimsky J,et al: Chest 77:383,1980
8 Banchero N,et al:Circulation 33:249 1966
9. 陈尚荣等：中华物理医学杂志 3(1):1,1981
10. Morganroth J,et al:Ann Inter Med 82:521,1975
11. Keul J,et al:Circ Res 48:65,1981
12. Demaria AM,et al:Circulation 57:237,1978
13. Ehsani AA,et al:Amer J Cardiol 42:52,1978
14. Badeer HS:Aerospace Med 44:1173,1973
15. Heath D,et al:Man at high altitude Churchill—Livinstone Edingburch,1977
16. Balasusamaian V,et al:Circulation 57:1180,1978
17. Hortly H:JAMA 215:214,1971
18. Williams JGP,et al:Sports Medicin, 2nd Edword Arnold Publishers LTD Fronse,1976
19. Mccardl WD, et al:Exercise Physiology, Lea and Febiger Philadephia,1981
20. Smith JJ,et al:Circulation Physiology, Williams and Wilking Company,1980
21. Vogel JA, et al:J Appl Physiol 36:169,1974
22. Sime F, et al:1 bid 36:561,1974
23. Alexander JK,et al:1 bid 23:849,1967
24. Vanini：国外军事医学资料　(4) 143,1981
26. 万加珍等：内部资料

Combined Effect of Stepwise Intermittent Hypoxia and Physical Training on Ultrasonic Cardiography

Xie Zengzhu, Wang Junyuan, Xue shuguo

(Department of Pathophysiology, The Third Military Medical College)

The combined effect of stepwise intermittent hypoxia and physical training was investigated with ultrasonic cardiography on 12 bikers who were permanent inhabitants at 1895 meters above sea level and were subjecting to physical training under hypoxic condition in a hypobaric chamber.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.ne

It was found that the internal diameters of the right ventricle and right pulmonary artery of the bikers increased proportionally with the increase of both the altitude and the duration of the physical training. At a simulated altitude of 4000 meters, the cardiac stroke volume and cardiac output, the internal diameter of the left ventricle and the left ventricular mass increased markedly as compared with those at sea level. The thickness of the interventricular septum and the posterior wall of the left ventricle also increased. The stroke volume and cardiac output of the bikers increased more significantly at the simulated altitude of 4000m., that at the altitude of 3000m. All these change are still within the physiologic ranges and can be considered as adaptation changes to highaltitude training. No case of acute mountain sickness occurred in any of the trained bikers.

These findings suggest that this intermittent stepwise hypoxic physical training can improve the cardiac function and increase its adaptibility towards hypoxic conditions.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.ne

大白鼠实验性高原肺水肿（正文见257页）

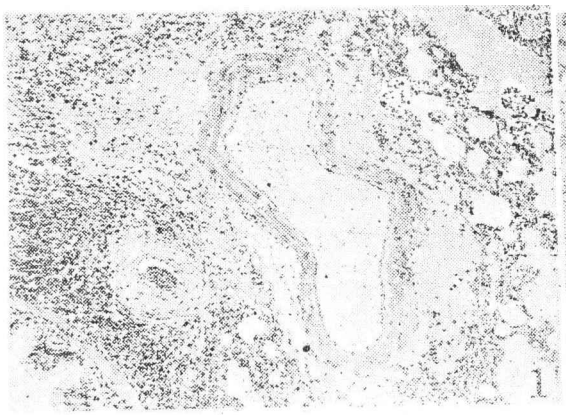


图1　缺氧48小时，支气管旁肺动脉周围水肿“袖套”（86倍）。

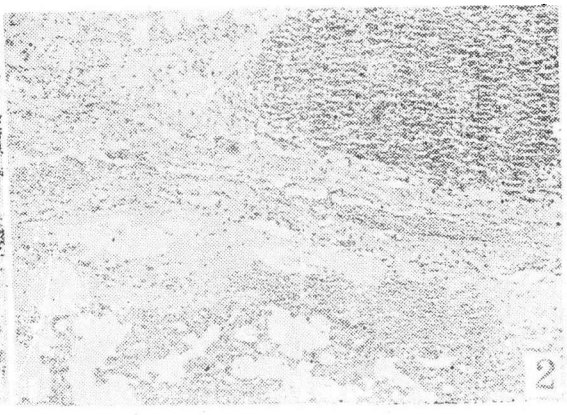


图2　缺氧48小时，支气管旁肺动脉的纵形切面的水肿“袖套”，其中有小血点（86倍）。

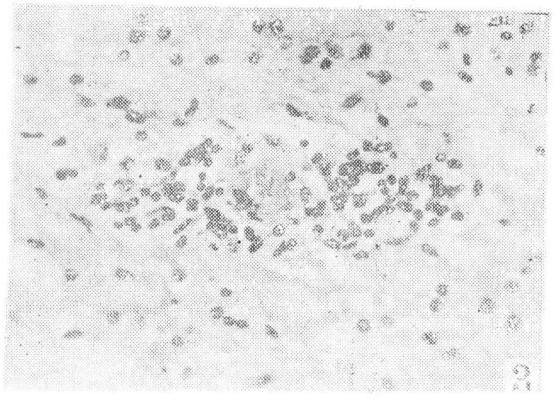


图3　缺氧24小时，支气管与肺动脉之间形成的水肿“袖套”（86倍）。

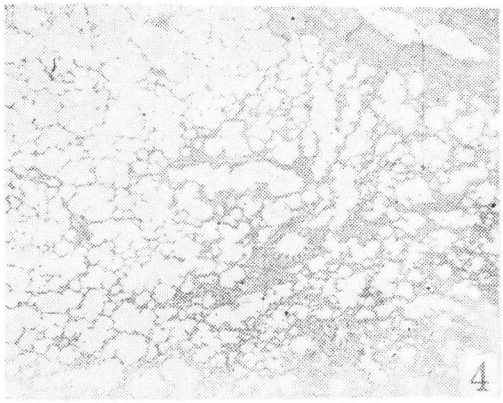


图4　缺氧48小时，斑块状间质水肿区与代偿性肺气肿区形成鲜明对比（29倍）。

阶梯式间断性缺氧复合运动锻炼的超声心动图观察（正文见263页）

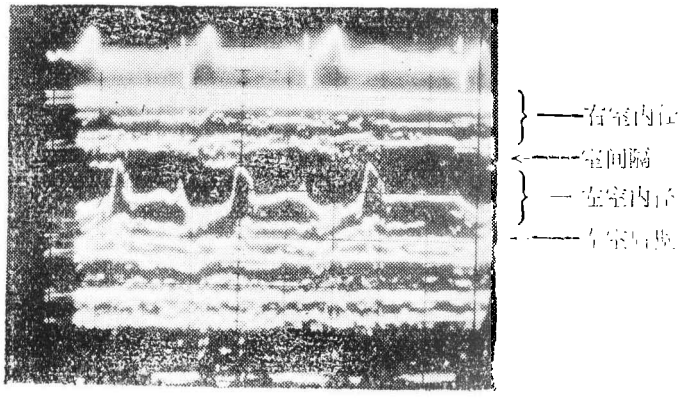


图1（A）为××平原静息时的超声心动图

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.ne

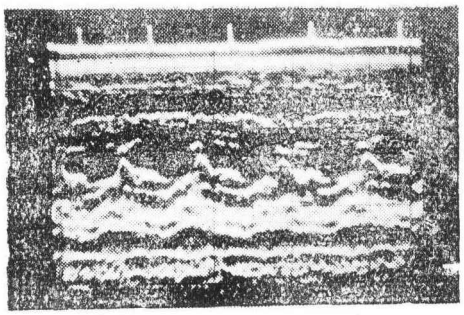


图1（B）马××经过适应锻炼后在4000米静息时的超声心动图 右室内径增大，右室前壁活动增强，左室内径增大，室间隔和左室后壁增厚

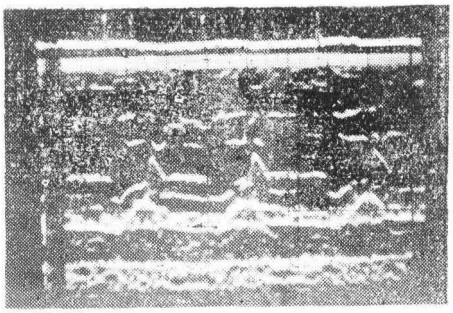


图2（A）赵××在4000m静息超声心动图

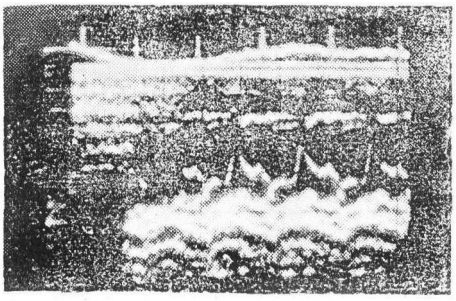


图2（B）赵××在 4000m 运动后立即超声心动图 运动后心率加快，左室舒张内径增大，室间隔和左室后壁运动振幅增加

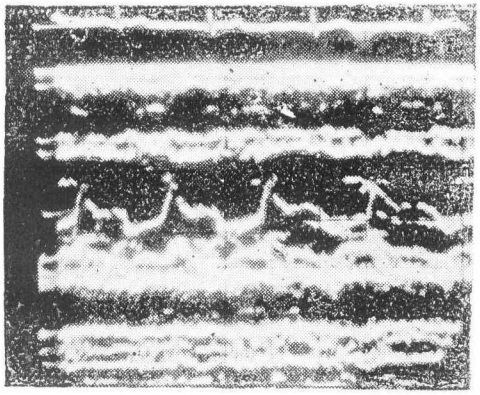


图2（C）赵××运动后10分钟的超声心动图

二维超声检查在风湿性二尖瓣疾病术前的应用（50例分析）（正文见293页）

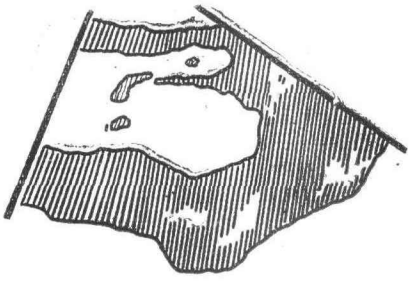


图1 二尖瓣狭窄时二尖瓣前叶呈圆顶样改变（即A型运动），瓣体凸向室间隔，瓣尖二度增厚



图2 二尖瓣狭窄合并关闭不全，胸骨旁短轴切面见瓣缘明显增厚，瓣口在收缩期不能完全闭合（Ⅰ型关瓣）

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.ne