

· 临床研究 ·

最大吸气后屏气时间对皮肤交感性缩血管反应的影响

唐淑云 张杨 葛洪友 岳寿伟

【摘要】目的 定量分析最大吸气后静态屏气时间对前臂和小腿皮肤血流的影响。**方法** 选取健康志愿者 12 例,于最大吸气后进行不同时间长度的静态屏气(随机分为 10、20 和 40 s 以及尽可能最长时间屏气),采用激光多普勒血流仪连续测量前臂和小腿皮肤血流量,并分别于屏气前、中、后计算皮肤平均血流量,起始潜伏期和恢复潜伏期。**结果** 不同时间长度的静态屏气均可明显降低前臂和小腿皮肤血流量($P < 0.01$),而且屏气时间长度对血流量下降幅度、起始潜伏期和恢复潜伏期均无影响($P > 0.05$)。屏气时前臂处平均皮肤血流量和血流量最小值明显低于小腿处($P < 0.05$);然而前臂处起始潜伏期(4.41 ± 0.44)s 和恢复潜伏期(5.95 ± 0.59)s 均明显短于小腿处起始潜伏期(4.83 ± 0.70)s 和恢复潜伏期(7.33 ± 0.91)s,且差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 静态最大吸气后屏气可明显降低皮肤血流量,降低程度与屏气时间长度无关;由屏气激活的前臂处交感性缩血管神经活性高于小腿处。

【关键词】 静态屏气; 激光多普勒血流仪; 交感性缩血管; 皮肤血流量

Skin sympathetic vasoconstrictor response to static maximum inspiratory breath-holds: effects of breath-hold duration TANG Shu-yun*, ZHANG Yang, GE Hong-you, YUE Shou-wei. * Workers' Health Care Division, Qilu Hospital, Shandong University, Jinan 250012, China

Corresponding author: YUE Shou-wei, Email: shouwei@sdu.edu.cn

【Abstract】 Objective To quantify the temporal changes in the volume of blood flow to the skin of the forearm and lower leg during static maximum inspiratory breath-holding of different durations. **Methods** Blood flow to the skin of the forearm and lower leg were continuously measured with laser Doppler flowmetry in 12 healthy subjects. They were randomly selected to hold their breath for 10, 20 or 40 seconds, or as long as possible. The volume of skin blood flow, the onset latency and the recovery latency were measured before, during and after the breath holding. **Results** Blood flow decreased significantly during each breath-hold with any durations. The magnitude of the decrease and its latencies were similar with all the durations. The average volume of skin blood flow and its minimum value during each breath-hold were significantly lower in the forearms than in the lower legs. However, the average onset latency (4.41 ± 0.44 s) and the average recovery latency (5.95 ± 0.59 s) in the forearms were significantly shorter than in the lower legs (4.83 ± 0.70 s for onset and 7.33 ± 0.91 s for recovery). **Conclusion** The volume of skin blood flow decreases during a static maximum inspiratory breath-hold, and the magnitude of the increase is not related to the duration of the breath-hold. The generalized increase in skin sympathetic vasoconstrictor activity during a static breath-hold is greater in the forearm than in the lower leg.

【Key words】 Static breath holding; Laser doppler flowmetry; Sympathetic vasoconstriction; Skin; Blood flow

静态最大吸气后屏气(深吸气后关闭声门暂停呼吸)可激活交感性缩血管神经,降低皮肤血流量(skin blood flow, SBF)^[1-4]。目前的研究多观察手指和足趾(光滑皮肤)上 SBF 的改变。光滑皮肤富含动静脉吻合网,主要受交感性缩血管神经支配;相反,非光滑皮

肤(如前臂和小腿)动静脉吻合网较少,受交感性缩血管神经和交感性扩血管神经双重支配^[5-6]。即使非光滑皮肤交感性缩血管神经兴奋性较弱,其在对温度、体位和运动改变的反射性调节中也有重要作用。

目前,许多研究认为,静态最大吸气后屏气可激活交感性血管收缩^[1-4,7],但不同屏气长度对 SBF 的作用并不明确,而且在不同部位,如前臂和小腿,皮肤血管收缩活性(如起始潜伏期和恢复潜伏期、血流量降低幅度)是否存在差异尚不清楚。明确这些问题有助于更好地理解和应用静态最大吸气后屏气来评价人体交感性缩血管活性。本研究旨在评价不同时间长度屏气

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2013.01.003

作者单位:250012 山东大学齐鲁医院职工保健科(唐淑云),康复科(张杨、岳寿伟);丹麦 Aalborg 大学运动与感觉相互作用研究中心(葛洪友)

通信作者:岳寿伟,Email: shouwei@sdu.edu.cn

对皮肤血流量的影响,定量分析屏气时前臂和小腿 SBF 的变化。

资料和方法

一、一般资料

选取健康志愿者 12 例,其中男 8 例,女 4 例;平均年龄(32.92 ± 1.61)岁;平均身高(170.83 ± 2.76)cm;平均体重(64.83 ± 4.10)kg。全部志愿者均无血管痉挛性疾病,无可影响交感神经功能的疾病(如颈椎病等)病史,近期前臂和小腿神经未曾受伤。实验前至少 12 h 禁止饮用咖啡、茶和酒精饮料。本研究的实施严格遵守赫尔辛基宣言,由山东大学齐鲁医院伦理委员会批准,受试者均签署书面知情同意书,实验在 22 ~ 23 °C 舒适、安静环境下进行。

二、实验设计

每例受试者均采用半仰卧位躺在实验床上,上身抬高 45°。前臂掌面朝下,下肢自然体位放置。实验前训练受试者如何进行最大吸气,然后关闭声门,屏住呼吸,保持胸廓最大容量不同时间(10、20 和 40 s 及尽可能最长时间屏气)。休息 20 min 后开始试验,先测量平静呼吸时血流量基础值,然后让受试者屏气不同时间长度(按照随机数字表法随机确定)。每次屏气后均平静呼吸 1 min 后再进行下次屏气。屏气前、中、后分别测量皮肤血流量。

三、测量 SBF

采用激光多普勒血流仪测量 SBF。将二极管激光器(直径为 7 mm)分别放在前臂近端 1/3 处和小腿近端 1/3 处皮肤(左、右侧按照随机数字表顺序随机确定),采用双面胶带固定于皮肤表面。激光多普勒血流仪测量原理同先前的报道^[8]。低强度的激光信号透射至皮肤下 1.0 ~ 1.5 mm,激光束被皮肤散射后有部分光被吸收。击中血细胞的激光波长发生了改变(即多普勒频移),而击中静止组织的激光波长没有改变。这些波长改变的强度和频率分布与监测体积内的血细胞数量和移动速度直接相关。测量波长为 780 nm,输出功率 1.6 mW。数据采集频率为 40 Hz,带宽 15 kHz,时间常数为 0.1 s。持续采集多普勒信号,数据存入计算机。采用的软件为 Mult 4 (Moor Instrument, England), SBF 单位为流量单位(arbitrary flux units, AU)。

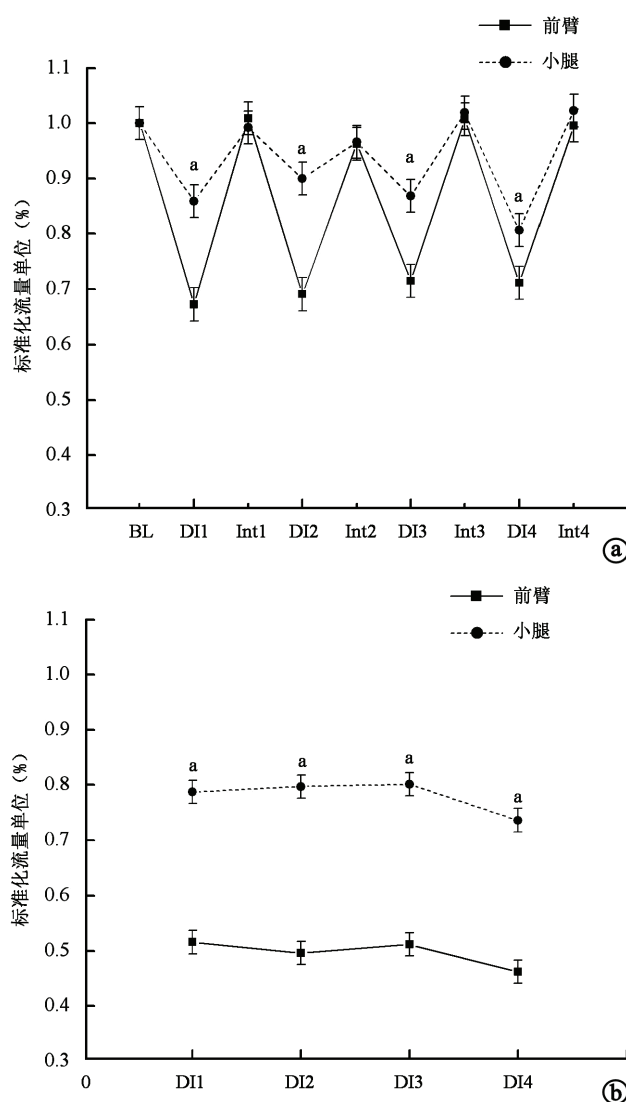
基础值和两次屏气间歇血流量采用 20 s 平均血流量值表示。屏气期间血流值为整个屏气期间血流的平均值。同时记录每次屏气期间 SBF 最小值。每次屏气后血流量值与基础值的比值作为 SBF 结果,进行统计分析。从开始屏气至血流量达到最小值的时间为起始潜伏期,从屏气结束到恢复基础值的时间为恢复潜伏期。

四、统计学分析

使用 SPSS 13.0 版软件进行统计学分析。采用双因素方差分析,比较前臂和小腿处不同时长屏气后 SBF、SBF 最小值、起始潜伏期和恢复潜伏期的差别。使用 Tukey 检验作为事后(post hoc)分析。所有数据以($\bar{x} \pm s$)表示。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

屏气可明显降低 SBF 值($F = 23.210, P < 0.01$),而且前臂处 SBF 值明显低于小腿处($F = 9.159, P < 0.05$),如图 1 显示。屏气时长和测量位置存在明显交互作用($F = 4.412, P < 0.01$)。事后分析显示,与基础值相比较,不同长时间的屏气均可降低 SBF 值($P < 0.05$)。无论前臂或小腿,屏气时间对 SBF 值降低幅度



注:a 为前臂和小腿处平均皮肤血流量,b 为血流量最小值。与前臂血流值相比较,^a $P < 0.05$ 。BL 为基础值;DI 为屏气;Int 为屏气间歇

图 1 静态最大吸气后屏气时平均皮肤血流量和血流量最小值

均无明显影响($P > 0.05$)。每次屏气间歇期血流值均可恢复至基本正常,不同长时的屏气后间歇期血流值无明显差别($P > 0.05$)。每次屏气导致的前臂 SBF 值降低幅度明显大于小腿($P < 0.05$)。代表性 SBF 变化曲线详见图 2。前臂 SBF 最小值明显低于小腿($F = 120.263, P < 0.01$)。无论前臂或小腿,不同长时的屏气对 SBF 最小值无明显影响($F = 1.964, P = 0.139$)。屏气时长和测量位置无明显交互作用($F = 0.181, P = 0.908$)。事后分析显示,每次屏气前臂 SBF 最小值明显低于小腿($P < 0.05$)。

前臂和小腿平均起始潜伏期分别为(4.412 ± 0.440)s 和(5.946 ± 0.588)s,平均恢复潜伏期分别为(4.833 ± 0.703)s 和(7.329 ± 0.913)s。无论前臂或小腿,屏气时间的长度对起始潜伏期和恢复潜伏期均无明显影响($F = 1.292, P = 0.266$)。屏气时长和测量位置无明显交互作用($F = 1.328, P = 0.249$)。不同长时的屏气起始潜伏期和恢复潜伏期见表 1。

表 1 不同时长屏气前臂和小腿 SBF 变化的起始潜伏期和恢复潜伏期变化(s, $\bar{x} \pm s$)

部位	10 s	20 s	40 s	最长时屏气
前臂				
起始潜伏期	2.892 $\pm$ 0.297	4.567 $\pm$ 0.656	5.600 $\pm$ 1.158	4.592 $\pm$ 1.053
恢复潜伏期	6.383 $\pm$ 1.901	4.758 $\pm$ 1.366	3.592 $\pm$ 0.954	4.600 $\pm$ 1.296
小腿				
起始潜伏期	4.183 $\pm$ 0.438	5.633 $\pm$ 0.897	5.817 $\pm$ 0.588	8.150 $\pm$ 1.958
恢复潜伏期	7.708 $\pm$ 1.820	4.933 $\pm$ 1.205	9.075 $\pm$ 2.190	7.600 $\pm$ 1.963

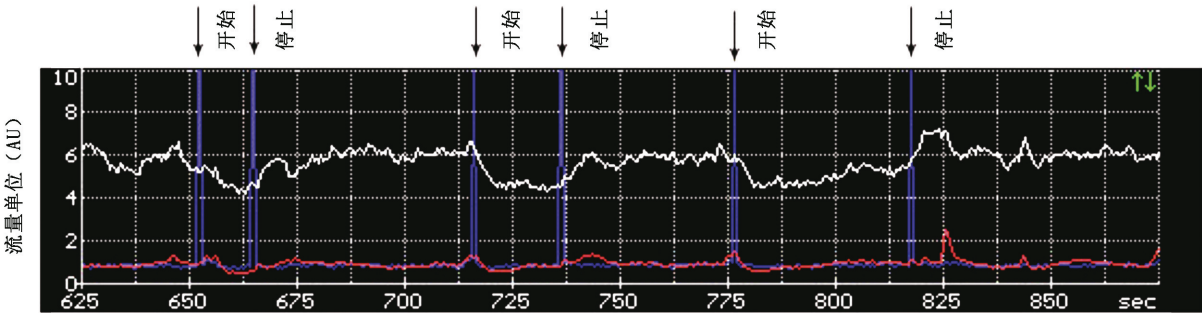
讨 论

本研究显示静态最大吸气后屏气可降低非光滑皮肤的 SBF。前臂 SBF 降低较小腿更快、幅度更大。不同时长屏气后 SBF 均可恢复至基础值。不同时长屏气对 SBF 降低的幅度、起始和恢复潜伏期无明显影响。本研究结果证实静态最大吸气可有效激活皮肤交感性缩血管反应,在屏气过程中,交感性缩血管神经保持较

高活性。而且,前臂交感性缩血管神经活性高于小腿处。

人体皮肤血流循环由交感性缩血管和交感性舒血管神经两种类型交感神经支配。正常体温下,交感性缩血管神经兴奋性高,产生皮肤血管收缩。当体温升高时,交感性舒血管神经被激活^[5,9]。Bolton 等^[1]首先报道了静态最大吸气后屏气可产生指尖血管收缩。后续有多项研究证实,静态最大吸气后屏气可激活皮肤交感神经,产生皮肤血管收缩^[2-3,10-12]。缩血管反应与直接从交感神经内记录到的皮肤交感神经兴奋性有明确的相关性。与其它方法,如默算、等长运动、皮肤降温相比较,静态最大吸气后屏气被认为是最有效的引起皮肤血管收缩的方法^[6,13]。但对于非光滑皮肤,不同实验室的结果不尽相同。有些研究发现,静态最大吸气后屏气不能引起前臂的血管收缩反应^[6,14]。而有些研究得到相反的结果,正常体温下,静态最大吸气后屏气 5s 可重复性引起前臂非光滑皮肤交感性缩血管反应^[13]。与 Stanton 的结果相同,本研究发现静态屏气均可明显增强前臂和小腿皮肤交感性缩血管反应。先前的研究中,受试者屏气时并不关闭声门,或屏气时长低于 2 s^[6,14]。本研究发现,屏气后前臂和小腿 SBF 的降幅分别为(30.25 ± 0.97)% 和(14.12 ± 1.95)%,远低于手指和脚趾的 SBF 的降幅(接近于 50% ~ 90%)^[15-16]。光滑皮肤富含动静脉吻合网,主要受交感性缩血管神经支配^[17]。相反,非光滑皮肤动静脉吻合网较少,受交感性缩血管神经和交感性扩血管神经双重支配^[5-6]。解剖结构上的差别决定了屏气后 SBF 改变的差异。

试验已经证明,吸气幅度越深,皮肤血管收缩程度越大^[1,7],但不同屏气时间长度对 SBF 的影响并不明确。本研究显示,不同屏气时间对 SBF 的降低幅度、血流量最小值无明显影响($P > 0.05$),而且每次屏气后均间歇 1 min,10 s 内血流量值均可恢复至正常水平,提示最大吸气后屏气可重复性引起皮肤血管收缩反应,间歇 1 min 对肢体 SBF 的降低无影响。其机制可



注:静态最大吸气后屏气时前臂(白线)和小腿(红线)皮肤血流明显降低,每次屏气间歇血流值均可恢复至基本正常

图 2 激光多普勒血流仪连续记录前臂和小腿皮肤血流曲线图

能是由于交感神经是被胸内压升高^[1,18]或肺膨胀^[19]所激活。一项阶梯性吸气试验显示,只有当吸气深度明显高于正常呼吸时才会出现指尖血管收缩,而且呼吸深度越深,血管收缩越强^[20],与屏气持续时间没有明显关联性。

值得注意的是与小腿处相比较,前臂处 SBF 的降低幅度更大,起始和恢复潜伏期更短。有研究显示屏气导致前臂体积变化的时间比腿部快 2~3 s^[1],证明上肢和下肢的皮肤交感性缩血管神经活性不同。这种差异是由于不同区域皮肤交感性缩血管神经密度不同^[21],但确切的机制需要进一步研究。

大量研究已充分肯定自主神经活动异常与多种疾病有关。吉兰-巴雷综合征^[22]和糖尿病患者^[23]交感皮肤反应起始潜伏期延长,治疗后自主神经功能逐渐恢复,测量交感皮肤反应能更早发现周围神经损害。脑卒中伴发高血压患者自主神经功能存在明显的损害,在疾病初期就可出现自主神经功能紊乱,可提示临床及早进行相关干预治疗^[24]。吸气后屏气激活交感性缩血管神经是一种简单、无创的方法,可有效检测交感神经活性。明确不同时长最大吸气后屏气对交感性缩血管反应的影响,有助于多种疾病的早期诊断。

本研究结果证实,最大吸气后静态屏气可明显激活非光滑皮肤交感性缩血管反应,血流量降低程度与屏气时间无关;前臂交感性缩血管神经活性高于小腿处。

参 考 文 献

- [1] Bolton B, Carmichael EA, Sturup G. Vaso-constriction following deep inspiration. *J Physiol*, 1936,86:83-94.
- [2] Gilliat RW. Vaso-constriction in the finger after deep inspiration. *J Physiol*, 1948,107:76-88.
- [3] Wallin BG, Fagius J. Peripheral sympathetic neural activity in conscious humans. *Annu Rev Physiol*, 1988,50:565-576.
- [4] Schuman SH. Patterns of urban heat-wave deaths and implications for prevention: data from New York and St. Louis during July. *Environ Res*, 1966,5:59-75.
- [5] Charkoudian N. Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why. *Mayo Clin Proc*, 2003,78:603-612.
- [6] Young TM, Asahina M, Nicotra A, et al. Skin vasomotor reflex responses in two contrasting groups of autonomic failure: multiple system atrophy and pure autonomic failure. *J Neurol*, 2006,253:846-850.
- [7] Wilder-Smith E, Liu L, Thein Ma Ma K, et al. Relationship of inspiratory flow rate and volume on digit tip skin and ulnar artery vasoconstrictor responses in healthy adults. *Microvasc Res*, 2005,69:95-100.
- [8] Oberg PA, Tenland T, Nilsson GE. Laser-Doppler flowmetry: a non-invasive and continuous method for blood flow evaluation in microvascular studies. *Acta Med Scand*, 1984, 687:17-24.
- [9] Kellogg DL, Johnson JM, Kosiba WA. Selective abolition of adrenergic vasoconstrictor responses in skin by local iontophoresis of bretylium. *Am J Physiol*, 1989,257:H1599-1606.
- [10] Allen J, Frame JR, Murray A. Microvascular blood flow and skin temperature changes in the fingers following a deep inspiratory gasp. *Physiol Meas*, 2002, 23:365-373.
- [11] Mueck-Weymann M, Rauh R. Do preceding vasoconstrictions influence the "inspiratory gasp test"? *Clin Physiol Funct Imaging*, 2002,22:206-209.
- [12] Rauh R, Posfay A, Mueck-Weymann M. Quantification of inspiratory-induced vasoconstrictive episodes: a comparison of laser Doppler fluxmetry and photoplethysmography. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2003,23:344-348.
- [13] Stanton AW, Levick JR, Mortimer PS. Assessment of noninvasive tests of cutaneous vascular control in the forearm using a laser Doppler meter and a Finapres blood pressure monitor. *Clin Auton Res*, 1995,5:37-47.
- [14] Mueck-Weymann ME, Albrecht HP, Hager D, et al. Respiratory-dependent laser-Doppler flux motion in different skin areas and its meaning to autonomic nervous control of the vessels of the skin. *Microvasc Res*, 1996,52:69-78.
- [15] Aso Y, Inukai T, Takemura Y. Evaluation of skin vasomotor reflexes in response to deep inspiration in diabetic patients by laser Doppler flowmetry. A new approach to the diagnosis of diabetic peripheral autonomic neuropathy. *Diabetes Care*, 1997, 20:1324-1328.
- [16] Eicke BM, Milke K, Schlereth T, et al. Comparison of continuous wave Doppler ultrasound of the radial artery and laser Doppler flowmetry of the fingertips with sympathetic stimulation. *J Neurol*, 2004,251:958-962.
- [17] Lossius K, Eriksen M, Walloe L. Fluctuations in blood flow to acral skin in humans: connection with heart rate and blood pressure variability. *J Physiol*, 1993,460:641-655.
- [18] Macefield VG. Sustained activation of muscle sympathetic outflow during static lung inflation depends on a high intrathoracic pressure. *J Auton Nerv Syst*, 1998,68:135-139.
- [19] Seitz MJ, Brown R, Macefield VG. Inhibition of augmented muscle vasoconstrictor drive following asphyxial apnoea in awake human subjects is not affected by relief of chemical drive. *Exp Physiol*. 2012 [Epub ahead of print].
- [20] Lawrence GP, Home PD, Murray A. Repeatability of measurements and sources of variability in tests of cardiovascular autonomic function. *Br Heart J* 1992, 68:205-211.
- [21] Vissing SF, Scherrer U, Victor RG. Stimulation of skin sympathetic nerve discharge by central command. Differential control of sympathetic outflow to skin and skeletal muscle during static exercise. *Circ Res*, 1991,69:228-238.
- [22] 吴钢,潘丽雅. 交感皮肤反应检查对吉兰-巴雷综合征自主神经损害的诊断价值. *重庆医学*, 2011,40:519-520.
- [23] 吕高萍,陆慧慧,苏涵. 神经传导速度和皮肤交感反射对糖尿病周围神经病变的早期诊断价值. *医学综述*, 2012,18:1784-1785.
- [24] 张卫红,平丽,于欣. 立交感神经皮肤反应在脑卒中伴发高血压患者中的诊断价值. *吉林医药学院学报*, 2011,32:260-261.

(修回日期:2012-11-25)

(本文编辑:阮仕衡)