

一种新型腹股沟止血带压迫止血的有效性分析

刘鹏飞^{1,2}, 孙灏^{2,3}, 豆梦杰^{3,4}, 刘亚华¹, 柴韶斌¹, 陈思羽⁵, 吕发勤³, 陈威^{1*}

¹解放军总医院第三医学中心急诊医学科, 北京 100039; ²解放军医学院, 北京 100853; ³解放军总医院第三医学中心超声科, 北京 100039; ⁴锦州医科大学解放军总医院第三医学中心研究生培养基地, 北京 100039; ⁵首都医科大学基础医学院, 北京 100069

[临床试验注册号] ChiCTR2500095251

[中图分类号] R605.972

[文献标志码] A

[DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.2018.2025.0401

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 刘鹏飞, 孙灏, 豆梦杰, 等. 一种新型腹股沟止血带压迫止血的有效性分析[J]. 解放军医学杂志, 2025, 50(6): 688-694.

[收稿日期] 2024-12-10

[录用日期] 2025-02-21

[上线日期] 2025-04-01

[摘要] **目的** 评估一种新型腹股沟止血带在健康人体应用的有效性, 分析腹股沟局部压迫与股动脉血流阻断的关系。**方法** 本研究为自身对照研究。自2024年11月9日—11月30日在解放军总医院第三医学中心招募11名志愿者, 通过手指按压、新型腹股沟止血带和SAM交界部位止血带(SJT)3种方式分别在受试者双侧腹股沟压迫股动脉直至远端血流信号消失, 每种压迫方式应用22人次, 每次操作间隔5 min。比较两侧腹股沟压迫止血效果的差异及不同方式压迫止血效果的差异。然后应用新型腹股沟止血带以加压装置内压强120 mmHg整数倍的形式逐级增压, 分析腘动脉血流速度的变化趋势。观察指标包括止血带加压装置内压强、腘动脉收缩期峰值流速(PSV)、腹股沟表面压强大小、腹股沟表面压强分布, 以及疼痛评分(采用单维度数字评分量表完成)。**结果** 阻断两侧腹股沟股动脉血流所需的最小压强差异无统计学意义($P>0.05$)。新型腹股沟止血带、SJT和手指按压在腹股沟阻断股动脉血流成功率均为100%, 新型腹股沟止血带疼痛评分最高, 为5~8分。在新型腹股沟止血带加压装置内压强达到360 mmHg和480 mmHg时腘动脉PSV明显减慢($P<0.05$), 在360~600 mmHg时止血有效率为95%。肢体活动后腘动脉血流是否恢复与腹股沟压强分布无明显关联($P>0.05$)。腘动脉PSV与腹股沟表面压迫区域内的平均压强负相关程度最强($r=-0.79$, $P<0.001$), 线性回归拟合线为 $y=69.69-0.13x$ ($P<0.001$, $R^2=0.58$)。**结论** 新型腹股沟止血带能够有效阻断股动脉血流, 其加压装置的止血压强范围为360~600 mmHg, 伴有中重度疼痛。新型腹股沟止血带主要通过增加压迫区域内的平均压强阻断腹股沟股动脉血流。

[关键词] 腹股沟; 止血带; 止血; 有效性研究; 压迫

Efficacy analysis of a novel inguinal tourniquet for compression hemostasis

Liu Peng-Fei^{1,2}, Sun Hao^{2,3}, Dou Meng-Jie^{3,4}, Liu Ya-Hua¹, Chai Shao-Bin¹, Chen Si-Yu⁵, Lyu Fa-Qin³, Chen Wei^{1*}¹Department of Emergency, ²Department of Ultrasound, the Third Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100039, China²Medical School of Chinese PLA, Beijing 100853, China⁴Postgraduate Training Base, the Third Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Jinzhou Medical University, Beijing 100039, China⁵School of Basic Medical Sciences, Capital Medical University, Beijing 100069, China

*Corresponding author, E-mail: drchenwei@vip.sina.com

This work was supported by the National Key Research and Development Program (2022YFC3006202)

[Abstract] **Objective** To assess the efficacy of a novel inguinal tourniquet in healthy individuals and to investigate the relationship between localized inguinal compression and femoral artery blood flow occlusion. **Methods** A self-controlled study was conducted. From November 9 to November 30, 2024, 11 volunteers were recruited at the Third Medical Center of Chinese PLA General Hospital. Three compression methods -- finger pressure, a novel groin tourniquet, and a SAM junction tourniquet (SJT)—were applied bilaterally to the inguinal region until distal blood flow signals disappeared. Each compression method was tested in 22

[基金项目] 国家重点研发计划(2022YFC3006202)

[作者简介] 刘鹏飞, 硕士研究生, 主要从事躯干交界部位止血方面的研究

[通信作者] 陈威, E-mail: drchenwei@vip.sina.com

trials with a 5-minute interval between operations. Differences in hemostatic efficacy between bilateral inguinal regions and across compression methods were compared. Subsequently, the novel tourniquet was incrementally pressurized in 120 mmHg multiples using an integrated pressure device to analyze trends in popliteal artery blood flow velocity. Observational indicators included the internal pressure of the tourniquet pressurization device, peak systolic velocity (PSV) of popliteal artery, inguinal surface pressure magnitude, inguinal surface pressure distribution, and pain scores (assessed using a single-dimensional numerical rating scale). **Results** No statistically significant difference was observed in the minimum pressure required to occlude femoral artery blood flow bilaterally ($P>0.05$). The success rates of femoral artery blood flow occlusion at the inguinal region were 100% for the novel inguinal tourniquet, SJT, and finger pressure. The novel inguinal tourniquet induced the highest pain scores, ranging from 5 to 8. A significant reduction in PSV of popliteal artery was noted when the intra-tourniquet pressure reached 360 mmHg and 480 mmHg ($P<0.05$), with a 95% hemostasis efficacy observed within the range of 360-600 mmHg. No significant association was observed between the recovery of popliteal artery blood flow after limb movement and inguinal pressure distribution ($P>0.05$). The PSV of popliteal artery exhibited the strongest negative correlation with the average pressure within the inguinal compression area ($r=-0.79$, $P<0.001$), with a linear regression fitting line of $y=69.69-0.13x$ ($P<0.001$, $R^2=0.58$). **Conclusions** The novel inguinal tourniquet effectively occludes femoral artery blood flow within a pressure range of 360-600 mmHg, accompanied by moderate-to-severe pain. Its hemostatic mechanism mainly relies on increasing the mean pressure within the inguinal compression area.

[Key words] inguinal; tourniquet; hemostasis; efficacy study; compression

外军对现代战争中伤亡情况的分析显示，战场上潜在的可预防性死亡原因中，出血占80%以上^[1]，且这一比例呈增高趋势^[2]。随着战争中简易爆炸装置使用的增加、个人防护装备的升级和四肢止血带的推广应用，躯干交界部位出血所占比例已超过四肢出血^[2]，为此国外专门研发了战伤止血钳(combat ready clamp, CRoC)、腹主动脉和交界部位止血带(abdominal aortic and junctional tourniquet, AAJT)、交界部位紧急救治装置(junctional emergency treatment tool, JETT)、SAM交界部位止血带(SAM junctional tourniquet, SJT)、iTclamp止血夹和Adonis交界部位止血带(adonis junctional tourniquet, AJT)等躯干交界部位体外止血装置(external hemorrhage control devices, EHCD)。美军最早在2013版战术战伤救治指南(Tactical Combat Casualty Care Guidelines, TCCC Guidelines)^[3]中推荐使用躯干交界部位止血带。国内目前没有躯干交界部位专用的体外止血装置^[4-5]，但是不同研究团队已经对腹股沟止血装置进行了有益探索^[6-7]。腹股沟出血是一种常见的躯干交界部位出血伤情，其内走行的股动脉位置浅表且直径较粗^[8]，损伤后可导致大出血而危及生命，死亡率高，难以应用四肢止血带和局部止血敷料有效止血^[9-10]。本研究对一种新型腹股沟止血带的有效性进行评估，通过压强分析技术和多普勒超声技术分析腹股沟区压强与动脉血流的关系，旨在为优化腹股沟止血带结构及改进止血策略提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究为自身对照试验(临床试验注册号为ChiCTR2500095251)。2024年11月9日—11月30日在解放军总医院第三医学中心招募志愿者。纳

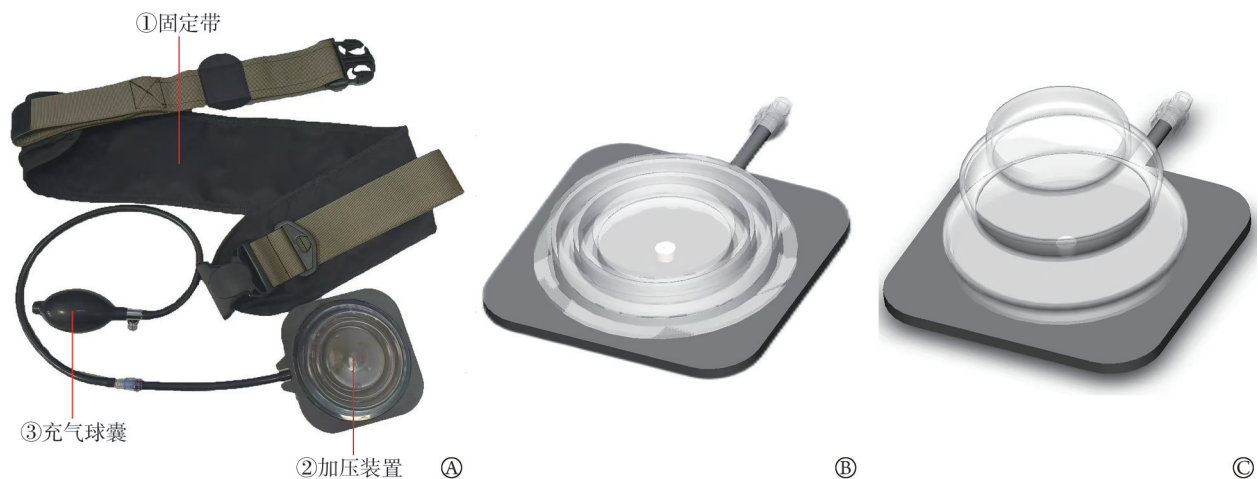
入标准：(1)年龄18~30岁；(2)既往体健；(3)自愿接受止血带应用。排除标准：无法承受应用止血带的不适，不能完成研究计划。本研究获解放军总医院第三医学中心医学伦理委员会审批[伦审科研第(KY2024-041)号]，研究过程符合《赫尔辛基宣言》，且试验前已获得所有受试者的书面知情同意。

1.2 研究人员 急诊科医师1名，负责止血带及指压止血全部操作；超声科主治医师1名，负责血管超声图像采集。

1.3 仪器设备 新研制的腹股沟止血带(军事科学院系统工程研究院)，简称腹股沟止血带(图1A)，由固定带、加压装置、充气球囊3部分组成。加压装置未充气状态下的外形尺寸为140 mm×140 mm×30 mm(图1B)，充气后展开的外形尺寸为140 mm×140 mm×100 mm(图1C)。加压装置以基座为底共有3层，未充气状态下的厚度为1层30 mm，充气后展开2层的厚度约65 mm，展开3层的厚度为100 mm。腹股沟止血带的作用机制是通过加压装置展开后机械压迫腹股沟区血管实现止血，固定带的作用是束紧固定加压装置，充气球囊的作用是向加压装置内充气使其展开。

其他仪器设备包括：SJT(美国陆军外科研究所)；压力分布采集分析系统(柔性织物式，上海逢友信息科技有限公司)，精密数字压力表(YB-80A，苏州轩胜仪表科技有限公司)，便携式彩色多普勒超声[Vivid-i，通用电气医疗系统贸易发展(上海)有限公司]。

1.4 研究方法 受试者平卧于诊断床上，测量血压、双侧腘动脉收缩期峰值血流速度(peak systolic velocity, PSV)及腘动脉横截面积的基础值。研究人员采用手指按压、腹股沟止血带和SJT 3种方式，在



A. 腹股沟止血带实物图; B. 加压装置未充气示意图; C. 加压装置充气展开示意图

图1 新型腹股沟止血带

Fig.1 A novel hemostatic tourniquet for inguinal region

受试者腹股沟处压迫股动脉，压迫位置为腹股沟韧带(髂前上棘与耻骨联合外缘连线)中点下方1~2 cm体表触诊股动脉搏动最明显处^[11]。受试者腹股沟表面使用柔性织物式压力分布采集分析系统，记录腹股沟表面的压强大小及分布；加压装置使用精密数字压力表记录加压装置内的压强大小。

超声测量腘动脉血流信号消失后，研究人员将受试者受压侧下肢在前后、内外方向各活动5次，活动角度约30°，模拟后送过程中伤员晃动，观察止血带是否松动、加压装置是否移位。超声再次测量腘动脉血流信号，观察活动后是否有血流恢复。压迫致血流信号阻断的时间控制在2 min内^[12]，由受试者对自身疼痛进行疼痛评分，采用单维度数字评价量表(numerical rating scale, NRS)进行评分，受试者用0~10分描述疼痛强度，分值越大代表疼痛程度越严重，其中，1~3分为轻度疼痛，4~6分为中度疼痛，7~10分为重度疼痛^[13]。每名受试者在两侧腹股沟分别接受3种方式6次压迫操作，同一名受试者每次操作间隔5 min，研究人员共进行66次操作。

以上操作结束后，研究人员再通过腹股沟止血带分级加压来研究腘动脉血流的变化趋势，即当加压装置内压强在0、120、240、360、480、600、720 mmHg(为收缩压120 mmHg的整数倍)时，用超声测量对应的腘动脉血流信号，直至血流信号消失提示腹股沟压迫止血成功并记录止血时的压强，随后对充气球囊进行放气减压，试验结束后观察受试者30 min，询问无不适主诉，确保安全后离开。

1.5 观察指标及分析 主要指标为止血带加压装置内压强、腘动脉PSV、腹股沟表面压强大小、腹股沟表面压强分布，次要指标为受试者疼痛评分。所有受试者均依次应用腹股沟止血带、SJT和手指按压

3种止血方式，比较3种止血方式下各项指标的差异。所有受试者均接受腹股沟止血带以120 mmHg整数倍分级加压，分析腘动脉PSV与加压装置内压强、腹股沟表面压强的相关性。

1.6 统计学处理 采用IBM SPSS 26.0软件(International Business Machines Corporation, USA)进行统计分析。本研究中的计量资料均符合正态分布，以 $\bar{x}\pm s$ 的形式表示，两侧腹股沟止血有效性的比较采用配对 t 检验；3种止血方式之间的比较采用单因素方差分析，进一步两两比较采用LSD- t 检验。计数资料以率(%)的形式表示，两止血带压强分布类型、稳定性差异比较采用 χ^2 检验。腘动脉PSV与腹股沟表面压强的相关性采用简单线性回归分析及Spearman相关分析；腘动脉PSV与加压装置内压强的相关程度、腹股沟表面压强与加压装置内压强的相关程度采用Spearman相关分析；不同等级加压装置内压强之间比较采用单因素方差分析，进一步两两比较采用Tukey检验，并采用GraphPad Prism10.1.2(GraphPad Software, USA)进行图形绘制。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般临床资料分析 最终纳入受试者11人，均为男性，年龄为(23.4±2.4)岁，收缩压为(126.09±8.75) mmHg，均完成试验，无中途退出者。两侧腘动脉PSV及两侧腘动脉横截面积差异无统计学意义($P>0.05$ ，附表1，<https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.2018.2025.0401FJ>)；阻断两侧腹股沟股动脉血流所需的最小压强差异无统计学意义($P>0.05$ ，附表2，<https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.2018.2025.0401FJ>)。

2.2 安全性分析 志愿者腹股沟解除压迫后腘动脉

血流立即恢复,无缺血再灌注风险,疼痛迅速消失,无不良事件发生。腹股沟止血带疼痛评分为(6.27±1.55)分,范围5~8分,属于中重度疼痛;SJT疼痛评分为(5.77±1.72)分,范围4~7分,属于中重度疼痛;手指按压疼痛评分为(5.00±1.66)分,范围3~7分,属于轻至重度疼痛。不同止血方式的疼痛评分差异有统计学意义($F=3.348, P=0.042$),且疼痛评分由高到低为:腹股沟止血带、SJT、手指按压。

2.3 有效性分析 11人共接受腹股沟止血带、SJT、手指按压在腹股沟分别压迫止血22人次,阻断股动脉血流成功率均为100%。手指按压阻断股动脉血流时,在腹股沟表面压强分布呈现由中心向周围放射状减小型的特点;腹股沟止血带和SJT阻断股动脉

血流时,加压装置在腹股沟表面压强分布主要为“单侧型”“两侧型”及“倒C型”3种情况(图2)。腹股沟止血带和SJT的加压装置在腹股沟表面的压迫面积比手指按压面积大,压强分布更不规则。进一步对比两种止血带加压装置在腹股沟的压强,发现两种止血带压强分布类型差异无统计学意义($P>0.05$,附表3, <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.2018.2025.0401FJ>)。为全面对比两种止血带产生压强的大小,分别选取加压装置内压强、腹股沟压迫区域内压强最大值(简称最大压强)和腹股沟压迫区域内压强平均值(简称平均压强)3个指标进行比较,结果显示两种止血带压强大小差异无统计学意义($P>0.05$,附表4, <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.2018.2025.0401FJ>)。



“白蓝青绿黄橙红”颜色代表压强值越来越大;数字显示的是该点压强值;压强数值间距为1 cm

图2 不同止血方式在腹股沟的压强分布

Fig.2 Pressure distribution in the groin region using various hemostasis methods

肢体活动后,志愿者应用腹股沟止血带时的腘动脉血流部分恢复12次,未恢复10次;应用SJT时的腘动脉血流部分恢复10次,未恢复12次,两者稳定性差异无统计学意义($\chi^2=0.364, P=0.546$)。不同压强分布类型的血流恢复概率差异无统计学意义($P>0.05$,附表5, <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.2018.2025.0401FJ>)。

2.4 腘动脉血流与腹股沟止血带压强的相关性分析 腹股沟止血带加压装置内压强以120 mmHg的1~6整数倍分级加压过程中,加压装置阻断股动脉血流即止血22次,展开第2层止血13次(13/22, 59%),展开第3层止血9次(9/22, 41%),在360~600 mmHg的止血次数为21次(21/22, 95%)(表1)。加压装置展开第2层的压强范围是240~480 mmHg,共展开22次,止血13次(13/22, 59%),在360~480 mmHg展开第2层的次数为21次(21/22, 95%);加压装置展开第3层的压强范围是600~720 mmHg,共展开9次,止血9次(9/9, 100%),在600 mmHg展开第3层的次数为8次(8/9, 89%)(表1)。

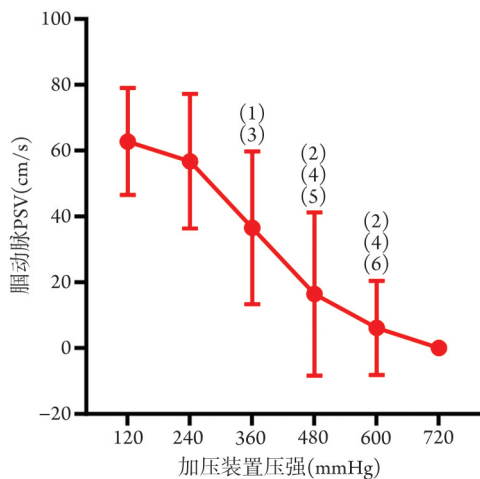
2.4.1 腘动脉血流与加压装置内压强的关系 腘动脉PSV与加压装置内压强呈负相关($r=-0.69, P<0.001$)。腘动脉PSV随着加压装置内压强逐级增大而明显降低($F=18.72, P<0.0001$),在加压装置内压强为240~

表1 新型腹股沟止血带加压装置展开层数与止血情况
Tab.1 Activation and hemostasis of pressure device of a novel hemostatic tourniquet

人次	展开第2层的压强(mmHg)			展开第3层的压强(mmHg)	
	240	360	480	600	720
展开次数	1	12	9	8	1
止血次数	0	3	10	8	1

480 mmHg时腘动脉PSV下降速度最快,腘动脉PSV在加压装置内压强360 mmHg时较240 mmHg时明显下降($P<0.05$),加压装置内压强480 mmHg时较360 mmHg时明显下降($P<0.05$),余加压装置相邻等级压强之间腘动脉PSV差异无统计学意义($P>0.05$)(图3)。

2.4.2 腘动脉血流与腹股沟表面压强的关系 腘动脉PSV与腹股沟表面最大压强呈负相关($r=-0.74, P<0.001$),线性回归拟合直线为 $y=71.49-0.05x$ ($P<0.001, R^2=0.59$);腘动脉PSV与腹股沟表面平均压强呈负相关($r=-0.79, P<0.001$),线性回归拟合直线为 $y=69.69-0.13x$ ($P<0.001, R^2=0.58$);其中,腘动脉PSV与腹股沟表面平均压强负相关程度更强。腹股沟表面平均压强与腹股沟表面最大压强呈强正相



与 120 mmHg 比较, (1) $P<0.001$, (2) $P<0.0001$; 与 240 mmHg 比较, (3) $P<0.05$, (4) $P<0.0001$; 与 360 mmHg 比较, (5) $P<0.05$, (6) $P<0.01$; 加压装置内压强=720 mmHg 时, 腘动脉 PSV 仅有 1 次结果, 未进行比较

图3 腘动脉收缩期峰值血流速度(PSV)与加压装置内压强的关系

Fig.3 Correlation of the popliteal artery peak systolic velocity (PSV) and compression device pressure

关($r=0.94$, $P<0.001$), 线性回归拟合直线为 $y=18.01+0.35x$ ($P<0.001$, $R^2=0.76$)。

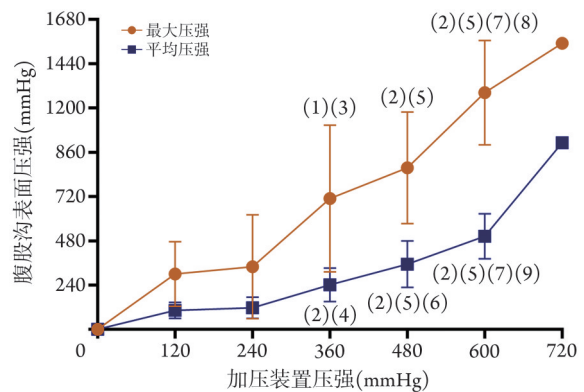
2.4.3 加压装置内压强与腹股沟表面压强的关系

加压装置内不同压强与腹股沟表面最大压强及平均压强均呈正相关(分别为 $r=0.72$, $r=0.84$, $P<0.001$)。最大压强及平均压强随着加压装置内压强逐级增大而增大(分别为 $F=22.87$, $F=57.89$, $P<0.0001$), 最大压强在加压装置内压强 120~240 mmHg 及 360~480 mmHg 时差异无统计学意义($P>0.05$), 余最大压强两两比较差异均有统计学意义($P<0.05$); 平均压强在加压装置内压强 120~240 mmHg 时差异无统计学意义($P>0.05$), 余平均压强两两比较差异均有统计学意义($P<0.01$)(图4)。由于加压装置内不同压强与腹股沟表面平均压强的相关性更强, 因此后续以腹股沟表面平均压强进一步分析。

2.4.4 加压装置内不同压强与腹股沟表面平均压强及腘动脉 PSV 的关系 加压装置内压强在 240~600 mmHg 范围内平均每增加 120 mmHg, 腹股沟表面平均压强增加 120~240 mmHg, 腘动脉 PSV 平均减少 20~30 cm/s(表2)。

3 讨论

荷兰创伤中心的一项回顾性研究表明, 广泛实施交界部位止血带等止血控制技术有助于降低初始创伤护理期间躯干交界部位出血患者的死亡发生率^[14]。美国一项研究提取其国防部创伤登记处 2007—2023 年伤员数据分析后发现, 战场环境下交



与 120 mmHg 比较, (1) $P<0.001$, (2) $P<0.0001$; 与 240 mmHg 比较, (3) $P<0.01$, (4) $P<0.001$, (5) $P<0.0001$; 与 360 mmHg 比较, (6) $P<0.01$, (7) $P<0.0001$; 与 480 mmHg 比较, (8) $P<0.05$, (9) $P<0.001$; 加压装置内压强=720 mmHg 时, 腹股沟表面平均压强和腘动脉 PSV 仅有 1 次结果, 未进行比较

图4 加压装置内不同压强与腹股沟表面压强的关系

Fig.4 Correlation of different pressure of compression device and pressure of the inguinal surface

表2 加压装置内不同压强与腹股沟表面平均压强及腘动脉 PSV 的关系($\bar{x}\pm s$)

加压装置内压强(mmHg)	腹股沟表面平均压强(mmHg)	腘动脉 PSV(cm/s)
0	0	67.42±3.98
120	102.91±9.11	62.78±3.46
240	117.18±12.16	56.79±4.36
360	242.00±19.56 ⁽²⁾⁽⁴⁾	36.55±4.94 ⁽¹⁾⁽³⁾
480	353.58±29.03 ⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁷⁾	16.46±5.69 ⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾
600	504.67±40.47 ⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾	6.19±4.77 ⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁷⁾
720*	1012	0
F	57.89	18.72
P	<0.0001	<0.0001

PSV. 收缩期峰值血流速度; 与 120 mmHg 比较, (1) $P<0.001$, (2) $P<0.0001$; 与 240 mmHg 比较, (3) $P<0.05$, (4) $P<0.001$, (5) $P<0.0001$; 与 360 mmHg 比较, (6) $P<0.05$, (7) $P<0.01$, (8) $P<0.0001$; 与 480 mmHg 比较, (9) $P<0.001$; *加压装置内压强=720 mmHg 时, 腹股沟表面平均压强和腘动脉 PSV 仅有 1 次结果, 未进行比较

界部位止血带通常是在多发伤的情况下使用, 伤员存活率较高^[15]。本研究在健康人体对比了应用腹股沟止血带与 SJT 的有效性, 在腹股沟表面压迫模拟止血过程属于无创操作, 因此在每名受试者两侧腹股沟均进行了操作。结果显示, 受试者两侧腘动脉 PSV、横截面积的基线数值差异, 以及不同压迫止血方式在两侧腹股沟的止血压强差异均无统计学意义, 表明在腹股沟进行压迫止血操作的效果不受躯体不同侧的影响, 该结果与外军研究结果相同^[16]。

四肢止血带通过环绕肢体加压阻断出血，而腹股沟位于躯干和下肢交界处，无法应用四肢止血带有效止血^[9]。手指按压和加压装置压迫止血均属于“靶向压迫”或称“点式压迫”^[4,17]。这种压迫的优势是仅阻断股动脉血流，但能够保留下肢肌肉基础血液灌注的25%~35%^[18]，残余血液灌注来自于髂内动脉等发出的侧支循环^[19]，因此国外推荐交界部位止血带的应用时间为4 h以内^[20]。手指按压在腹股沟使用大拇指进行压迫，范围大致为直径2.0 cm的类圆形区域；加压装置依靠其顶端平面压迫，范围大致为直径5.5 cm(展开第3层)或7.5 cm(展开第2层)的类圆形区域。本研究3种压迫止血方式的有效性均为100%；手指按压压迫面积小，拇指掌侧面硬度较小，疼痛评分比止血带低；SJT加压装置又称“目标区域压迫装置”(target compression devices, TCD)，和腹股沟止血带加压装置一样硬度较大，尤其是后者可导致更强烈的疼痛。疼痛可增加焦虑不安的情绪，可导致创伤愈合延迟、免疫功能受损，急性疼痛转为慢性疼痛等不良影响^[13,21]。本研究还发现，腹股沟止血带与SJT的压强分布规律、压强大小及活动后稳定性均无明显差异，提示应降低腹股沟止血带加压装置材料的硬度，并在保证止血效果的前提下降低疼痛评分。在国外一项关于交界部位止血带临床试验的荟萃分析中，SJT在志愿者中的使用有效性为87%，搬运过程中的有效性为43%^[20]。本研究中SJT的有效性为100%，活动下肢模拟搬运过程的稳定性为55%；腹股沟止血带有效性为100%，活动下肢模拟搬运过程有效性为45%，与国外SJT相关研究的结果相似。

止血带在腹股沟表面压强分布与手指按压不同，考虑与腹股沟位置、结构和按压方向有关。腹股沟位于下腹部与下肢的交界处，外侧有大腿，内侧靠近外生殖器，上方为腹部，下方则是身体外部，因此当止血带加压装置垂直腹股沟表面压迫时，中间靠下方区域无骨骼肌肉等组织支撑，压强分布呈“倒C型”。当加压装置非垂直腹股沟表面压迫时，向下偏则压强主要分布在大腿内侧和耻骨外侧呈“两侧型”，向上、内或外偏时，压强主要集中于一侧呈“单侧型”。虽然腹股沟止血带在腹股沟区压强分布不规则，但肢体活动后血流是否恢复与压强分布情况没有明显相关性。考虑是因为加压装置压迫范围足以覆盖股动脉横径，除了直接将股动脉向下压迫到髂腰肌和耻骨肌上，还可以通过缝合肌、长收肌等周围肌肉的压迫间接挤压股动脉。因此腹股沟止血带加压装置是否垂直于腹股沟股动脉表面对止血稳定性可能无明显影响。

对交界部位止血带各项参数指标的详细说明，

有利于指导交界部位止血带的高效使用^[14-15]。国内外关于交界部位止血带的实验研究通常仅局限于止血时躯体表面受到的压强^[22-23]或加压装置内压强^[24]，而本研究使用精密数字压力表显示加压装置内压强，同时使用压力分布采集分析系统显示腹股沟表面的压强大小及分布，进一步研究了加压装置内压强、腹股沟表面压强及血流之间的相互关系，分析了解腹股沟止血带的有效压强范围。需要说明的是，在腹股沟止血带加压装置分级加压过程中，加压装置展开第2层或第3层时并不总是发生在120 mmHg的整数倍，以压强从240 mmHg增加至360 mmHg为例，当展开第2层的压强在240~360 mmHg时按360 mmHg展开第2层统计。腹股沟止血带加压装置在压强达到360 mmHg时展开第2层的概率为59%，达到480 mmHg时展开第2层的概率为100%，达到600 mmHg时展开第3层的概率为89%，达到720 mmHg时展开第3层的概率为100%，在360~600 mmHg发生血流阻断的概率为95%。血流阻断发生在第2层的概率为59%，发生在第3层的概率为41%。加压装置内压强、腹股沟表面最大压强、腹股沟表面平均压强三者中，腹股沟表面平均压强与腘动脉PSV的相关性最强。加压装置内压强在240~600 mmHg范围内平均每增加120 mmHg，腹股沟表面平均压强增加120~240 mmHg，动脉收缩期PSV平均减少20~30 cm/s。根据血流速度与腹股沟表面压强的散点图拟合线($y=69.69-0.13x$)计算腹股沟表面止血压强约为536 mmHg，为人体正常收缩压120 mmHg的4.5倍左右。腹股沟止血带在腹股沟区平均止血压强为(483.68±163.19) mmHg，为人体正常收缩压的4倍左右，与拟合线结果相近。该结果提示人体腹股沟表面局部压强在达到收缩压的4倍左右时可阻断股动脉血流，对腹股沟EHCD的参数设定和操作使用有一定参考意义。在腹股沟股动脉大出血加压止血操作中，加压装置展开第3层即加压装置内压强达到600 mmHg时仍未阻断动脉血流，此时继续加压可能无法提高止血效果，反而会增加疼痛评分，因此，在这种情况下应尽快重新调整按压位置。

综上所述，新研发的腹股沟止血带能够有效阻断股动脉血流，伴有中重度疼痛。加压装置内压强在达到360 mmHg及480 mmHg时展开第2层，血流速度明显降低，发生血流阻断的概率为59%；在达到600 mmHg时展开第3层，发生血流阻断的概率为89%。腹股沟止血带稳定性与压强分布无明显相关性。腹股沟止血带加压装置止血压强范围主要在360~600 mmHg，主要通过增加压迫区域内的平均压强阻断腹股沟股动脉血流。

本研究尚存在以下不足：(1)以健康志愿者为受试者，不能代替在腹股沟致命性大出血情况下的应用结果^[25]。(2)未对应用止血带成功止血的时间进行分析，有研究显示，医疗专业基础不同、培训情况不同均会影响应用止血带成功止血的时间^[26-28]。(3)压力分布采集分析系统的优势在于能够实时准确反映压强的分布情况，但在精确度方面存在全量程 $\pm 10\%$ 的误差。压力分布采集分析系统的织物式压力感受器厚度约3 mm，放置在止血带与受试者腹股沟之间相当于增加了一层衬垫，比加压装置直接压迫在腹股沟皮肤表面所采集的压强值大^[29]。(4)股动脉血流阻断的压强不同可能与受试者体形等有关，但在本研究中未进行探究。因此，在后期研究中应进一步评估真实伤情下应用腹股沟止血带的效果，并完善对止血时间、止血压强影响因素的研究。

【参考文献】

- Eastridge BJ, Hardin M, Cantrell J, et al. Died of wounds on the battlefield: causation and implications for improving combat casualty care[J]. *J Trauma*, 2011, 71(1 Suppl): S4-S8.
- Eastridge BJ, Mabry RL, Seguin P, et al. Death on the battlefield (2001-2011): implications for the future of combat casualty care[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 73(6 Suppl 5): S431-S437.
- Kotwal RS, Butler FK Jr, Gross K, et al. Management of junctional hemorrhage in tactical combat casualty care: TCCC Guidelines? Proposed change 13-03[J]. *J Spec Oper Med*, 2013, 13(4): 85-93.
- 李阳, 张岫竹, 张连阳. 战伤战术阶段救治技术的创新策略[J]. *实用医药杂志*, 2017, 34(1): 1-3.
- 杨磊, 赵丹阳, 杨志远, 等. 新型推注式压缩纤维素止血装置在小型猪深部组织大出血急救中的止血效果及安全性研究[J]. *解放军医学杂志*, 2023, 48(8): 913-920.
- 张浩. 基于张力带原理的战创伤腹股沟大出血体外压迫止血技术的应用基础研究[D]. 大连: 大连医科大学, 2019.
- 杨为锦, 周友翔, 宋俊川, 等. 链式止血装置在猪腹股沟区贯通伤合并股动脉出血模型中的应用[J]. *解放军医学杂志*, 2019, 44(12): 1007-1012.
- Zhang HY, Guo Y, Liu H, et al. Imaging anatomy and surface localization of external control device-targeted arteries for noncompressible torso hemorrhage[J]. *Mil Med*, 2022, 187(3/4): e343-e350.
- Kragh JF Jr, Murphy C, Dubick MA, et al. New tourniquet device concepts for battlefield hemorrhage control[J]. *US Army Med Dep J*, 2011: 38-48.
- 王玉卿, 卢文静, 孙国栋, 等. 战现场局部急救止血敷料的系统评价[J]. *医疗卫生装备*, 2022, 43(12): 55-61, 80.
- 张涛, 于嘉, 方伟, 等. 中国神经介入穿刺建立专家共识[J]. *中国脑血管病杂志*, 2023, 20(9): 637-649.
- Gaspary MJ, Zarow GJ, Barry MJ, et al. Comparison of three junctional tourniquets using a randomized trial design[J]. *Prehosp Emerg Care*, 2019, 23(2): 187-194.
- 急诊创伤疼痛管理共识专家组. 急诊创伤疼痛管理专家共识[J]. *中华急诊医学杂志*, 2022, 31(4): 436-441.
- Vrancken SM, de Vroome M, van Vledder MG, et al. Non-compressible truncal and junctional hemorrhage: a retrospective analysis quantifying potential indications for advanced bleeding control in Dutch trauma centers[J]. *Injury*, 2024, 55(1): 111-118.
- Reneau HB, Long BJ, Rizzo JA, et al. An analysis of junctional tourniquet use within the department of defense trauma registry[J]. *J Spec Oper Med*, 2024: NDC5-J2LU.
- Kragh JF Jr, Parsons DL, Kotwal RS, et al. Testing of junctional tourniquets by military medics to control simulated groin hemorrhage[J]. *J Spec Oper Med*, 2014, 14(3): 58-63.
- 李阳, 张连阳. 直面挑战 躯干战伤出血的紧急控制[J]. *解放军医学杂志*, 2017, 42(1): 1-5.
- Davidson BP, Todd Belcik J, Mott BH, et al. Quantification of residual limb skeletal muscle perfusion with contrast-enhanced ultrasound during application of a focal junctional tourniquet[J]. *J Vasc Surg*, 2016, 63(1): 148-153.
- Hu ZJ, Wang SM, Li XX, et al. Tolerable hemodynamic changes after femoral artery ligation for the treatment of infected femoral artery pseudoaneurysm[J]. *Ann Vasc Surg*, 2010, 24(2): 212-218.
- Smith S, White J, Wanis KN, et al. The effectiveness of junctional tourniquets: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2019, 86(3): 532-539.
- 鲁开智, 张利东. 战创伤疼痛管理专家共识[J]. *临床麻醉学杂志*, 2020, 36(2): 181-186.
- Zhao DC, Zhang HY, Guo Y, et al. Effect of SAM junctional tourniquet on respiration when applied in the axilla: a swine model[J]. *Chin J Traumatol*, 2023, 26(3): 131-138.
- Nachman D, Dulce D, Wagnert-Avraham L, et al. Assessment of the efficacy and safety of a novel, low-cost, junctional tourniquet in a porcine model of hemorrhagic shock[J]. *Mil Med*, 2020, 185(Suppl 1): 96-102.
- Schechtman DW, Kauvar DS, de Guzman R, et al. Abdominal aortic and junctional tourniquet versus zone III resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in a swine junctional hemorrhage model[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2020, 88(2): 292-297.
- Singletary EM, Zideman DA, Bendall JC, et al. 2020 international consensus on first aid science with treatment recommendations[J]. *Circulation*, 2020, 142(16_suppl_1): S284-S334.
- Gaspary M, Walchak AC, Conley S, et al. 268 the comparative effectiveness of three junctional tourniquet devices in human volunteers[J]. *Ann Emerg Med*, 2016, 68(4): S104-S105.
- Kragh JF, Kotwal RS, Cap AP, et al. Performance of junctional tourniquets in normal human volunteers[J]. *Prehosp Emerg Care*, 2015, 19(3): 391-398.
- Theodoridis CA, Kafka KE, Perez AM, et al. Evaluation and testing of junctional tourniquets by special operation forces personnel: a comparison of the combat ready clamp and the junctional emergency treatment tool[J]. *J Spec Oper Med*, 2016, 16(1): 44-50.
- Kheirabadi BS, Terrazas IB, Miranda N, et al. Long-term effects of Combat Ready Clamp application to control junctional hemorrhage in swine[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2014, 77(3 Suppl 2): S101-S108.

(责任编辑: 张小利)