DOI:10.16016/j.2097-0927.202209271

人工膝关节置换术后药物抗凝空窗期使用间歇充气加压装置的安全性及成本效果分析

杨昌凤[1],何永琴[1],周媛媛[1],黄 盈[2],赖淋雨[1],张玉梅[1] 400037 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)第二附属医院:骨科[1],超声科[2]

[摘要] **目的** 分析人工膝关节置换术(total knee arthroplasty,TKA)后药物抗凝空窗期使用间歇充气加压装置(intermittent pneumatic compression, IPC)的安全性及成本-效果。**方法** 纳入行 TKA 手术的患者 337 例,采用随机数字表法进行分组,其中试验组 168 例,对照组 169 例。试验组在药物抗凝空窗期间双下肢持续使用 IPC,对照组术后即刻至下床期间双下肢持续使用 IPC,比较两组患者术后 1 d 肌间静脉丛血栓(muscular calf vein thrombosis, MCVT)的预防有效率、D2 聚体水平、术后总失血量及成本-效果比的差异。**结果** 2 组患者术后 1 d MCVT 预防有效率、血红蛋白水平、总失血量、D2 聚体水平比较,差异均无统计学意义;试验组 IPC 使用时间[6.00(6.00, 6.00)h]较对照组[20.00(15.00, 24.25)h]短,两组比较差异有统计学意义($P<0.01$);试验组 IPC 使用总成本为 172.84(172.84, 172.84)元,与对照组[628.37(461.82, 758.49)元]比较差异具有统计学意义($P<0.01$);试验组的成本-效果比(2.23)小于对照组(7.75)。**结论** TKA 术后药物抗凝空窗期使用 IPC 安全性好,较术后持续使用 IPC 具有更佳的成本效果。

[关键词] 膝关节置换;肢体气压治疗;药物抗凝;药物空窗期;成本-效果
[中图法分类号] R197.38; R473.6; R687.4 [文献标志码] A

Safety and cost-effectiveness analysis of using intermittent inflation and compression device during drug anticoagulation window period after artificial knee arthroplasty

YANG Changfeng[1], HE Yongqin[1], ZHOU Yuanyuan[1], HUANG Ying[2], LAI Linyu[1], ZHANG Yumei[1] [1]Department of Orthopedics, [2]Department of Ultrasonography, Second Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400037, China

[**Abstract**] **Objective** To analyze the safety and cost-effectiveness of intermittent pneumatic compression (IPC) during the intermittent pneumatic interval after total knee arthroplasty (TKA). **Methods** A total of 337 patients who underwent TKA surgery were included and randomly divided into experimental group ($n=168$) and control group ($n=169$). The experimental group continued to use IPC for both lower limbs during the anticoagulant window period, while the control group continued to use IPC for both lower limbs immediately after surgery to the time of getting out of bed. Muscular calf vein thrombosis (MCVT) prevention rate, D2 polymer level, total postoperative blood loss, and cost-effectiveness ratio were compared between the 2 groups in 1 d after surgery. **Results** There were no statistical significances in MCVT prevention effective rate, hemoglobin level, total blood loss, and D2 polymer level between the 2 groups in 1 d after surgery. The IPC time was 6.00 (6.00, 6.00) h in the experimental group, significantly shorter than that in the control group [20.00 (15.00, 24.25) h, $P<0.01$]. The total cost of IPC was significantly lower in the experimental group than the control group [172.84 (172.84, 172.84) *vs* 628.37 (461.82,

[基金项目] 陆军军医大学第二附属医院临床科研项目(2018YLC09)
[通信作者] 张玉梅,E-mail:zhangyumei19693@sina.com

2097-0927/Copyright © 2023, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

758.49) Yuan, $P<0.01$]. The cost-effectiveness ratio of the experimental group (2.23) was lower than that of the control group (7.75). **Conclusion** The use of IPC during the anticoagulant window after TKA has good safety and better cost-effectiveness than the continuous use of IPC after surgery.

[**Key words**] total knee arthroplasty; intermittent pneumatic compression; drug anticoagulation; drug window period; cost-effectiveness

Supported by the Project of Clinical Scientific Research of Second Affiliated Hospital of Army Medical University (2018YLC09). Corresponding author: ZHANG Yumei, E-mail: zhangyumei19693@sina.com

全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)是治疗终末期膝骨关节炎(knee osteoarthritis,KOA)的主要手段。骨科大手术后 24 h 内是下肢深静脉血栓(deep venous thrombosis, DVT)形成的高峰期,小腿肌间静脉丛血栓(muscular calf vein thrombosis,MCVT)属于远端 DVT,发生率高达 97%,TKA 术后 MCVT 的发生率达 57%[1-2]。文献报道 MCVT 进展为 DVT 的发生率为 13.3%~20.0%,进展为肺栓塞的发生率为 3.9%~9.0%[3-7],严重影响患者康复进程。

目前,机械预防联合药物预防已将 TKA 术后症状性 DVT 的发生率大大降低,抗凝药物预防在 DVT 的预防中发挥了重要作用,但它会增加 TKA 术后患者伤口的出血量。因此,临床为了平衡出血和 DVT 的风险,抗凝药物的使用时间通常选择在术后 6~8 h[8-9],这就形成了一个时间上的药物抗凝空窗期,而术后 6 h 内确是 TKA 患者 DVT 形成的高峰段。间歇充气加压装置(intermittent pneumatic compression, IPC)被多部指南[8,10-11]推荐为确实有效的机械预防措施,它在降低 DVT 风险的同时又不增加出血风险[12],正好弥补了这一空窗期。但有关 IPC 开始使用时间、使用频次、持续使用时间等方面存在诸多争议,从而有可能带来医疗资源的无效应用和巨大浪费。因此,本研究拟从短期效果及成本效果角度,提出在 TKA 术后药物抗凝空窗期使用 IPC 并分析其应用价值,旨在探讨 IPC 的最佳使用时间,为临床制定 IPC 的科学使用策略提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取我院 2019 年 10 月至 2021 年 5 月因 KOA 行 TKA 的患者为研究对象。纳入标准:①年龄 55~80 岁;②经核磁共振或 X 线检查确诊为Ⅳ期 KOA 拟行 TKA;③美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists,ASA)分级评估≤2 级,无其他严重并发症;④1 周内无关节腔注射;⑤凝血功能正常;⑥自愿参与本研究并签署知情同意书。排除标准:①怀疑或被证实存在 DVT 的患者;②充血性心力衰竭的患者;③下肢血栓性静脉炎、动脉缺血性疾病的患者;④下肢皮肤异常:如严重下肢水肿、溃疡、皮炎、近期接受皮肤移植手术、开放性损伤等的患者;⑤下肢肢体严重畸形或残缺、对加压套严重过敏导致无法使用 IPC 加压套的患者。脱落标准:①不愿意继续进行临床研究,向研究者提出退出研究要求的受试者;②研究期间违反方案的受试者。剔除标准:①术后即刻发生下肢 DVT 形成、肺栓塞发生或血栓(性)静脉炎;②出现其他严重并发症者。

1.2 研究方法

共纳入 340 例患者,采用随机数字表法分为试验组和对照组,每组 170 例。试验组患者气压 IPC 时间为抗凝空窗期(即从手术结束到使用抗凝药期间)内持续使用,抗凝空窗期后不再使用;对照组患者 IPC 时间为术后即刻至下床期间持续使用,下床后不再使用。本研究经过我院伦理委员会的批准(2019-研第 101-01)。

1.3 手术方法

所有手术由同一名主任医师主刀,术中不使用止血带。选择膝关节正中纵切口,内侧髌旁入路,假体选择均为后稳定型膝关节假体(美国施乐辉公司),术中保留髌骨,放置引流管,屈膝位缝合伤口。术后无菌敷料覆盖切口,弹力绷带加压包扎。引流管夹闭 4 h 后开放引流,并于术后 12 h 内拔除。手术室温湿度调节适宜,加强保暖;静脉穿刺均选择上肢静脉。

1.4 围术期镇痛止血和康复方案

于术前 1 d 22:00 口服塞来昔布 200 mg;术中"鸡尾酒"关节周围注射(1%罗哌卡因 200 mg、吗啡 5 mg、肾上腺素 0.25 mL、氨甲环酸 100 mL);术后 6 h 帕瑞昔布注射液 40 mg 静脉推注。术前 30 min 和术后当天静脉滴注氨甲环酸各 1 g;静脉推注帕瑞昔布 40 mg/2 次,连续 3 d。入院后即由康复师指导患者进行功能锻炼。术后麻醉恢复后即进行股四头肌和腘绳肌收缩、踝泵练习、伸屈膝和直抬腿练习。术后第 1 天 X 线片提示假体位置好,即在康复师的指导下下地行走。

1.5 抗凝处理

2组患者均于术后6 h口服阿司匹林肠溶片50 mg,后每间隔12 h口服阿司匹林肠溶片100 mg预防DVT[13]。阿司匹林肠溶片口服后从肠道迅速吸收,半衰期不足15 min,为此本研究中药物抗凝空窗期为手术结束到术后6 h。

IPC采用韩国大星产业生产的IPC治疗仪(型号:DVI-2600),具体操作方法为:患者平卧,将其双侧下肢抬起,把IPC的腿套平铺在床上,将患者的下肢置于腿套上方,同时确保气囊位于小腿后部的中央位置且软管朝向足部,然后从上至下依次将搭扣粘贴好,松紧以能容纳一指为宜。保持双下肢抬高体位,连接并检查相关管路是否通畅且放置妥善,避免出现医疗器械相关性压力性损伤,确认无误后按开机键启动设备,设置足踝、小腿、大腿压力依次为45、35、30 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),选择双侧肢体模式开始运行。

1.6 彩色多普勒超声检查

所有患者术前及术后1 d下地前行双下肢静脉彩超检查,确定血栓形成情况。彩色多普勒超声检查使用Philips公司IE-33超声诊断仪,探头频率为3~11 MHz。检查时患者先行仰卧位,扫查下肢深静脉,再俯卧位,分别对小腿肌肉进行横切与纵切扫描,在患者有压痛部位仔细观察有无血栓及血栓所累积范围,观察静脉管腔的充盈情况,全方面进行扫查,避免漏诊。住院期间发生MCVT者予以密切观察,术后1个月随诊复查双下肢静脉彩超,期间发生DVT的患者进行相应治疗。

1.7 结局指标

前期对37例单侧行TKA术后患者观察发现,MCVT发生率为86.49%,所有患者MCVT发生在术后前3 d,其中约73.68%发生在术后第1天,术后第7天由于常规使用抗凝药物预防和患者下床行走,无新增血栓,与邹林汝等[2]报道TKR术后大部分血栓发生在术后第1天一致,说明术后第1天是血栓预防的关键,也提示血栓的形成受术中因素影响较大。因此,将临床疗效的主要指标设定为术后1 d MCVT预防有效率(即术后1 d未发生MCVT的患者人数占总人数的比率);次要指标为IPC使用时间、术前及术后1 d D2聚体、血红蛋白水平、术后总失血量(采用Nadler方程进行计算,即总失血量=血容量×HCT差值+红细胞输入量)、因IPC使用产生的不适感发生率(如出汗、发热、发痒等)。

经济学指标采用成本-效果比,是IPC实施成本除以MCVT预防有效率,用于评价单位效果所花费的成本,成本-效果比越低越佳。患者治疗成本包含直接成本、间接成本。直接成本为IPC实施成本及MCVT检查治疗成本,通过调查收费清单获得;间接成本[12]包括人力成本、设备折旧费、材料成本、作业费、行政管理费、培训费用的总和。

1.8 样本量计算

根据随机对照试验设计的方法进行样本量计算:前期预实验和文献调研发现患者术后即刻至下床期间使用IPC组MCVT预防有效率为83.5%,抗凝空窗期使用IPC组预防有效率为69.2%。使用PASS11.0.7软件进行样本量计算:W size=0.2150,显著性水平(α)为0.05,把握度(power=1-β)为0.9,计算样本量为270例,以样本最大脱落率为20%进行计算得出样本量至少为324例,本项目拟纳入340例。

1.9 统计学分析

应用SPSS 19.0统计软件处理数据。符合正态分布的计量资料用$\bar{x}\pm s$表示,组间比较采用两独立样本t检验;不符合正态分布的计量资料用$M(P_{25},P_{75})$表示,组间比较采用Wilcoxon秩和检验。计数资料采用构成比或百分比,组间比较采用χ^2检验。$P<0.05$为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 2组患者基线资料比较

共纳入患者340例,每组170例。脱落3例,其中试验组因术中发生大出血而终止研究1例,因IPC噪音干扰无法入睡主动退出研究1例,对照组因下肢深静脉血栓形成延缓下地而终止研究1例,最终试验组168例,男性45例,女性123例,年龄(70.83±7.49)岁;对照组169例,男性35例,女性134例,年龄(71.14±6.68)岁。2组患者基线资料比较差异无统计学意义,具有可比性,见表1。

2.2 2组患者干预效果比较

2组患者入院时血红蛋白、D2聚体水平比较差异无统计学意义;2组术后1 d MCVT预防有效率、血红蛋白、D2聚体水平及总失血量比较差异无统计学意义。2组均无病例蔓延形成DVT,见表2。

2.3 2组患者IPC使用体验、时间、成本及成本-效果比较

试验组患者出现使用IPC不适感共22例(13.1%),对照组46例(27.2%),2组比较差异有统计学意义($P<0.05$);2组IPC使用时间比较,差异有统计学意义[6.00(6.00, 6.00)h *vs* 20.00(15.0, 24.25)h,$P<0.01$]。试验组IPC使用总成本为172.84(172.84, 172.84)元,对照组为628.37(461.82, 758.49)元,2组比较差异有统计学意义($P<0.01$);试验组的成本-效果比(2.23)小于对照组(7.75),见表3。

表 1 2 组患者基线资料比较[n(%), $\bar{x}\pm s$]

基线资料	试验组(n=168)	对照组(n=169)	t/χ^2	P
年龄/岁	70.83±7.49	71.14±6.68	0.407[a]	0.684
性别			1.718[b]	0.202
男	45(26.8)	35(20.7)		
女	123(73.2)	134(79.3)		
BMI/kg·m^{-2}	25.39±2.52	25.56±3.12	0.566[a]	0.572
空腹血糖/mmol·L^{-1}	6.18±0.63	6.18±0.61	0.078[a]	0.938
总胆固醇/mmol·L^{-1}	4.40±0.52	4.31±0.62	1.537[a]	0.125
甘油三酯/mmol·L^{-1}	1.33±0.34	1.34±0.29	0.319[a]	0.750
手术时间/min	107.95±38.19	109.48±37.13	0.374[a]	0.709
术中出血量/mL	128.81±71.82	129.31±69.47	0.065[a]	0.948
麻醉方式			2.770[b]	0.096
全麻	106(63.1)	121(71.6)		
腰麻	62(36.9)	48(28.4)		

a:两独立样本 t 检验,b:χ^2 检验

表 2 2 组患者干预效果比较[n(%), $\bar{x}\pm s$]

组别	例数	术后 1 d MCVT 预防有效率	血红蛋白水平/g·L^{-1}		术后 1 d 总失血量/mL	D2 聚体水平/μg·mL^{-1}	
			入院时	术后 1 d		入院时	术后 1 d
试验组	168	130(77.4)	118.70±18.88	110.93±15.89	270.27±67.05	0.26±0.41	1.71±1.76
对照组	169	137(81.1)	118.76±17.68	111.00±16.61	260.24±65.48	0.26±0.31	1.86±1.82
t/χ^2		0.695	0.028	0.037	1.389	0.061	0.805
P		0.405	0.978	0.971	0.166	0.952	0.421

表 3 2 组患者 IPC 使用时间及成本效果比较[$M(P_{25},P_{75})$]

组别	例数	使用时间/h	直接成本/元	间接成本/元	总成本/元	成本-效果比
试验组	168	6.00(6.00, 6.00)	169.32(169.32, 169.32)	3.52(3.52, 3.52)	172.84(172.84, 172.84)	2.23
对照组	169	20.00(15.00, 24.25)	619.98(456.93, 722.67)	3.52(3.52, 7.06)	628.37(461.82, 758.49)	7.75
Z		17.051	15.537	3.770	14.105	
P		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	

3 讨论

3.1 TKA 患者使用 IPC 具有良好的效益

TKA 患者术后 DVT 的发生率高达 40%~80%[11],不仅严重影响预后,还大大增加了患者的经济负担。经统计,近 10 年我国 VTE 患者住院率由 3.2/10 万人上升至 17.5/10 万人,疾病负担重[14]。为此,DVT 的预防十分必要。TKA 作为凝血、出血高风险人群,较药物预防,IPC 可有效促进血液回流,不增加出血风险,安全性高。同时,IPC 具有良好的经济效果。一项应用 IPC 预防普外科患者 DVT 的成本-效果分析发现[15],使用 IPC 预防可为每位患者节约 113 美元。SAUNDERS 等[16]的研究也表明,IPC 预防骨科手术后发生 DVT 的成本-效果较好。

3.2 药物抗凝空窗期内使用 IPC 具有良好的安全性

高龄、非甾体抗炎药的使用、手术干预促使 TKA 患者血小板及凝血因子活化,凝血系统被激活[17-18],TKA 患者处于 DVT 形成的高风险之中,尤其是术后当日新发 DVT 比例最高,为此有学者指出应从手术当天开始使用 IPC。然而研究结果表明,术中应用 IPC 会不同程度地影响患者体位的摆放、器械放置、无菌要求及外科医师的操作,且并不能降低术后 DVT 的发生率[19]。基于此,本研究选择在 TKA 术后即刻开始使用 IPC,研究结果显示,2 组患者术后 1 d MCVT 预防有效率、D2 聚体水平及总失血量比较差异无统计学意义。表明缩短 IPC 使用时间至药物抗凝空窗期(术后 6 h)并不会增加术后相关不良并发症的发生率,具有一定的安全性。考虑原因在于 TKA 术后 6 h 机体创

伤反应达到高峰;麻醉和疼痛造成患者自主活动缺乏,下肢维持静脉血液循环的"静脉泵"作用丧失;加之抗凝药物未启用,下肢静脉血栓发生的风险处于高峰期[20]。而在此期间利用 IPC 对肢体末端至近端循环地压迫和松弛,深度按摩肌肉组织,促进下肢静脉血液和淋巴的回流,正是模拟"静脉泵"促进血液自远心端向近心端的回流,有效缓解血液淤滞状态,从而预防凝血因子的聚集及对血管内膜的黏附[21];同时还能激活纤溶酶原激活剂功能增加纤溶活性,诱导下肢被挤压和未被挤压骨骼肌的血管源性一氧化氮合成酶异构重整[22],在预防血栓形成的同时不影响血小板凝血功能,不增加出血风险。而药物抗凝空窗期(术后 6 h)后,抗凝药物开始使用,有效阻碍血小板聚集,诱导血管舒张;加之患者麻醉消退,小腿肌肉功能恢复,患者下肢"静脉泵"启动,下肢静脉血液淤积得以缓解[16];两者作用叠加,患者下肢静脉血栓形成的风险大大降低。为此,我们认为 TKA 术后药物抗凝空窗期内使用 IPC 具有良好的安全性。

3.3 药物抗凝空窗期内使用 IPC 的成本-效果比更优

临床上往往由于 IPC 设备配备不足、患者自觉不适等原因,患者 IPC 的依从性仅为 47%[23],这不仅增加了患者负担,也造成了医疗资源的浪费。本研究中,2 组均无病例蔓延形成 DVT,试验组 MCVT 预防有效率(77.4%)低于对照组(81.1%);药物抗凝空窗期内使用 IPC 的时间(6.0 h)明显短于持续使用至下地活动(20.0 h),抗凝空窗期内使用 IPC 的总成本比持续使用 IPC 低 455.53 元,成本-效果比更佳(2.23,7.75)。同时,研究中试验组患者出现使用 IPC 不适感共 22 例(13.1%),对照组 46 例(27.2%),2 组比较差异具有统计学意义($P<0.05$)。提示药物抗凝空窗期内使用 IPC 在保障患者安全的前提下,促进临床人力资源的合理分配,节约人力成本;同时能有效提升患者舒适度,降低疾病负担,具有良好的社会及经济效益,值得推广。

综上所述,我们认为在药物抗凝空窗期内使用 IPC 是一种安全、经济的 DVT 预防方案,可供临床参考。但本研究观察时间窗较短,该结论还需要延长观察时间来进一步验证远期效果。

参考文献:

[1] ZENG C, BENNELL K, YANG Z D, *et al*. Risk of venous thromboembolism in knee, hip and hand osteoarthritis: a general population-based cohort study[J]. Ann Rheum Dis, 2020, 79(12): 1616-1624. DOI: 10.1136/annrheumdis-2020-217782.

[2] 邹林汝, 谭开彬, 高云华, 等. 静脉瘀滞指数对关节置换术后下肢深静脉血栓风险的评估[J]. 中国超声医学杂志, 2015, 31(11): 1032-1034.
ZOU L R, TAN K B, GAO Y H, *et al*. Using stasis index of vein to assess the risk of deep vein thrombosis after total knee or hip replacement[J]. Chin J Ultrasound Med, 2015, 31(11): 1032-1034.

[3] MACDONALD P S, KAHN S R, MILLER N, *et al*. Short-term natural history of isolated gastrocnemius and soleal vein thrombosis[J]. J Vasc Surg, 2003, 37(3): 523-527. DOI: 10.1067/mva.2003.149.

[4] GILLET J L, PERRIN M R, ALLAERT F A. Short-term and mid-term outcome of isolated symptomatic muscular calf vein thrombosis[J]. J Vasc Surg, 2007, 46(3): 513-519. DOI: 10.1016/j.jvs.2007.04.040.

[5] BOSQUE J R, COLEMAN S I, DI CESARE P. Relationship between deep vein thrombosis and pulmonary embolism following tha and TKA[J]. Orthopedics, 2012, 35(3): 228-233; quiz 234-235. DOI: 10.3928/01477447-20120222-12.

[6] KRET M R, LIEM T K, MITCHELL E L, *et al*. Isolated calf muscular vein thrombosis is associated with pulmonary embolism and a high incidence of additional ipsilateral and contralateral deep venous thrombosis[J]. J Vasc Surg Venous Lymphatic Disord, 2013, 1(1): 33-38. DOI: 10.1016/j.jvsv.2012.04.001.

[7] LAUTZ T B, ABBAS F, WALSH S J, *et al*. Isolated gastrocnemius and soleal vein thrombosis: should these patients receive therapeutic anticoagulation? [J]. Ann Surg, 2010, 251(4): 735-742. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3181c1ae95.

[8] AMARASE C, TANAVALEE A, LARBPAIBOONPONG V, *et al*. Asia-pacific venous thromboembolism consensus in knee and hip arthroplasty and hip fracture surgery: part 2. mechanical venous thromboembolism prophylaxis[J]. Knee Surg Relat Res, 2021, 33(1): 20. DOI: 10.1186/s43019-021-00101-7.

[9] NGARMUKOS S, KIM K I, WONGSAK S, *et al*. Asia-pacific venous thromboembolism consensus in knee and hip arthroplasty and hip fracture surgery: part 1. diagnosis and risk factors[J]. Knee Surg Relat Res, 2021, 33(1): 18. DOI: 10.1186/s43019-021-00099-y.

[10] KEARON C, AKL E A, ORNELAS J, *et al*. Antithrombotic therapy for vte disease: chest guideline and expert panel report[J]. Chest, 2016, 149(2): 315-352. DOI: 10.1016/j.chest.2015.11.026.

[11] 中华医学会骨科学分会. 中国骨科大手术静脉血栓栓塞

症预防指南[J]. 中华骨科杂志, 2016(2): 65-71. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2016.02.001.
Orthopedic Branch of Chinese Medical Association. Prevention guide of venous thromboembolism in major orthopedic surgery in China[J]. Chin J Orthop, 2016(2): 65-71. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2016.02.001.

[12] PAVON J M, ADAM S S, RAZOUKI Z A, *et al*. Effectiveness of intermittent pneumatic compression devices for venous thromboembolism prophylaxis in high-risk surgical patients: a systematic review[J]. J Arthroplasty, 2016, 31(2): 524-532. DOI: 10.1016/j.arth.2015.09.043.

[13] 《中国血栓性疾病防治指南》专家委员会. 中国血栓性疾病防治指南[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(36): 2861-2888.
Expert Committee of *Chinese Guidelines for Prevention and Treatment of Thrombotic Diseases*. Chinese guidelines for prevention and treatment of thrombotic diseases[J]. Natl Med J China, 2018, 98(36): 2861-2888.

[14] ZHANG Z, LEI J P, SHAO X, *et al*. Trends in hospitalization and in-hospital mortality from vte, 2007 to 2016, in China[J]. Chest, 2019, 155(2): 342-353. DOI: 10.1016/j.chest.2018.10.040.

[15] NICOLAIDES A, GOLDHABER S Z, MAXWELL G L, *et al*. Cost benefit of intermittent pneumatic compression for venous thromboembolism prophylaxis in general surgery[J]. Int Angiol, 2008, 27(6): 500-506.

[16] SAUNDERS R, COMEROTA A J, OZOLS A, *et al*. Intermittent pneumatic compression is a cost-effective method of orthopedic postsurgical venous thromboembolism prophylaxis[J]. Clinicoecon Outcomes Res, 2018, 10:231-241. DOI:10.2147/CEOR.S157306.

[17] NIEMI T T, PITKÄNEN M, SYRJÄLÄ M, *et al*. Comparison of hypotensive epidural anaesthesia and spinal anaesthesia on blood loss and coagulation during and after total hip arthroplasty[J]. Acta Anaesthesiol Scand, 2000, 44(4): 457-464. DOI: 10.1034/j.1399-6576.2000.440418.x.

[18] CHENG K, GIEBALY D, CAMPBELL A, *et al*. Systemic effects of polymethylmethycrylate in total knee replacement: a prospective case-control study[J]. Bone Joint Res, 2014, 3(4): 108-116. DOI: 10.1302/2046-3758.34.2000230.

[19] TYAGI V, TOMASZEWSKI P, LUKASIEWICZ A, *et al*. The role of intraoperative intermittent pneumatic compression devices in venous thromboembolism prophylaxis in total hip and total knee arthroplasty[J]. Orthopedics, 2018, 41(1): e98-e103. DOI: 10.3928/01477447-20171114-06.

[20] 刘旭, 姚尧, 戎朕, 等. 全膝关节置换术后下肢深静脉血栓发生的时间分布[J]. 中国矫形外科杂志, 2015, 23(11): 991-995. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2015.11.07.
LIU X, YAO Y, RONG Z, *et al*. Time course of lower extremity deep venous thrombosis after total knee arthroplasty[J]. Orthop J China, 2015, 23(11): 991-995. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2015.11.07.

[21] NAKANISHI K, TAKAHIRA N, SAKAMOTO M, *et al*. Effects of intermittent pneumatic compression of the thigh on blood flow velocity in the femoral and popliteal veins: developing a new physical prophylaxis for deep vein thrombosis in patients with plaster-cast immobilization of the leg[J]. J Thromb Thrombolysis, 2016, 42(4): 579-584. DOI: 10.1007/s11239-016-1403-y.

[22] HE X, ZHAO M, BI X Y, *et al*. Delayed preconditioning prevents ischemia/reperfusion-induced endothelial injury in rats: role of ros and enos[J]. Lab Invest, 2013, 93(2): 168-180. DOI: 10.1038/labinvest.2012.160.

[23] OBI A T, ALVAREZ R, REAMES B N, *et al*. A prospective evaluation of standard versus battery-powered sequential compression devices in postsurgical patients[J]. Am J Surg, 2015, 209(4): 675-681. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2014.06.017.

(**收稿**:2022-09-28;**修回**:2022-11-28)
(编辑 张 维)