doi:10.11659/jjssx.03E023070

·临床研究·

α-氰基丙烯酸正丁酯黏合剂预防经皮椎体后凸成形术中骨水泥渗漏的效果

蔡进奎,许海甲,李伟康,李潼凉,肖智勇 (武汉市第三医院骨科中心,湖北 武汉 430074)

[摘 要] **目的** 探讨α-氰基丙烯酸正丁酯(NBCA)黏合剂预防经皮椎体后凸成形术(PKP)中骨水泥渗漏的效果。**方法** 选用80枚离体猪胸腰椎,经脱钙、力学机压缩椎体制作骨质疏松性椎体压缩骨折模型,按照随机数表法分为常规PKP组和胶水组,每组40枚;再根据骨水泥注射量的不同细分为高剂量组和低剂量组,每组20枚。常规PKP组采用传统手术方法行PKP,胶水组在骨水泥注入前先用自行设计的椎体裂隙喷涂工具进行NBCA预处理封闭椎体内裂隙,再注入骨水泥。统计椎体内骨水泥分布形态、骨水泥渗漏率和椎体骨水泥渗漏数量。**结果** 胶水组和常规PKP组脱钙后骨密度在高剂量组和低剂量组组间及组内比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。胶水组和常规PKP组高剂量骨水泥注射弥散效果均优于低剂量骨水泥注射($P<0.05$),但是组间弥散效果等级比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。胶水低剂量组骨水泥渗漏率低于常规PKP低剂量组($P<0.05$),胶水高剂量组骨水泥渗漏率低于常规PKP高剂量组($P<0.05$)。**结论** NBCA黏合剂预处理椎体不影响骨水泥在椎体内的弥散分布,能有效降低PKP术中骨水泥渗漏率,高剂量骨水泥弥散效果更好,但其渗漏风险也高。

[关键词] 经皮椎体后凸成形术;椎体压缩骨折;骨质疏松;骨水泥渗漏;α-氰基丙烯酸正丁酯
[中图分类号] R683.2;R687.3 [文献标识码] A [收稿日期] 2023-03-13

Effect of N-butyl cyanoacrylate adhesive in preventing bone cement leakage during percutaneous kyphoplasty

CAI Jin-kui, XU Hai-jia, LI Wei-kang, LI Jin-liang, XIAO Zhi-yong (Department of Orthopedic Center, Wuhan Third Hospital, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: Objective To explore the effect of N-butyl cyanoacrylate (NBCA) adhesive in preventing bone cement leakage during

[基金项目] 武汉市卫健委项目(S201912020032)
[通信作者] 蔡进奎,E-mail:453369390@qq.com

[9] Liu T, Xiao B, Xiang F, et al. Ultrasmall copper-based nanoparticles for reactive oxygen species scavenging and alleviation of inflammation related diseases[J]. Nat Commun, 2020, 11(1): 2788. doi: 10.1038/s41467-020-16544-7.
[10] Singer AJ, Clark RA. Cutaneous wound healing[J]. N Engl J Med, 1999, 341(10): 738-746. doi: 10.1056/NEJM199909023411006.
[11] Powers JG, Higham C, Broussard K, et al. Wound healing and treating wounds: chronic wound care and management[J]. J Am Acad Dermatol, 2016, 74(4): 607-626. doi: 10.1016/j.jaad.2015.08.070.
[12] Thompson KB, Krispinsky LT, Stark RJ. Late immune consequences of combat trauma: a review of trauma-related immune dysfunction and potential therapies[J]. Mil Med Res, 2019, 6(1): 11. doi: 10.1186/s40779-019-0202-0.
[13] Hua Y, Bergers G. Tumors vs. chronic wounds: an immune cell's perspective [J]. Front Immunol, 2019, 10: 2178. doi: 10.3389/fimmu.2019.02178.
[14] Zarei F, Negahdari B, Eatemadi A. Diabetic ulcer regeneration: stem cells, biomaterials, growth factors[J]. Artif Cells Nanomed Biotechnol, 2018, 46(1): 26-32. doi: 10.1080/21691401.2017.1304407.
[15] Wilkinson HN, Hardman MJ. Wound healing: cellular mechanisms and pathological outcomes[J]. Open Biol, 2020, 10(9): 200223. doi: 10.1098/rsob.200223.
[16] Schäfer M, Werner S. Oxidative stress in normal and impaired wound repair[J]. Pharmacol Res, 2008, 58(2): 165-171. doi: 10.1016/j.phrs.2008.06.004.
[17] Xu R, Luo G, Xia H, et al. Novel bilayer wound dressing composed of silicone rubber with particular micropores enhanced wound re-epithelialization and contraction[J]. Biomaterials, 2015, 40: 1-11. doi: 10.1016/j.biomaterials.2014.10.077.
[18] Yang GN, Strudwick XL, Bonder C, et al. Effect of flightless Ⅰ expression on epidermal stem cell niche during wound repair [J]. Adv Wound Care (NewRochelle), 2020, 9(4): 161-173. doi: 10.1089/wound.2018.0884.
[19] Mendoza-Garcia J, Sebastian A, Alonso-Rasgado T, et al. Optimization of an ex vivo wound healing model in the adult human skin: functional evaluation using photodynamic therapy [J]. Wound Repair Regen, 2015, 23(5): 685-702. doi: 10.1111/wrr.12325.
[20] Zeng XL, Sun L, Zheng HQ, et al. Smooth muscle-specific TMEM16A expression protects against angiotensin II-induced cerebrovascular remodeling via suppressing extracellular matrix deposition[J]. J Mol Cell Cardiol, 2019, 134: 131-143. doi: 10.1016/j.yjmcc.2019.07.002.
[21] Yang L, Witten TM, Pidaparti RM. A biomechanical model of wound contraction and scar formation[J]. J Theor Biol, 2013, 332: 228-248. doi: 10.1016/j.jtbi.2013.03.013.

(编辑:龙小芬)

percutaneous kyphoplasty (PKP). **Methods** A total of 80 isolated porcine thoracolumbar vertebrae were selected to make the osteopolitic vertebral compression fracture model by decalcification and mechanical machine compression, and then divided into the conventional PKP group and the glue group according to random number table method, with 40 pieces in each group. Each group was further divided into the high-dose group and the low-dose group according to different injection doses of bone cement, with 20 pieces in each subgroup. The conventional PKP group performed PKP using traditional surgical methods, and the glue group was pretreated with NBCA pretreatment to close the intravertebral fissures with a self-designed vertebral fracture spraying tool before the cement injection, and then injected with bone cement. The distribution pattern of bone cement in vertebral body, the leakage rate of bone cement and the number of bone cement leakage in vertebral body were counted. **Results** There was no significant difference in bone mineral density of the glue group and the conventional PKP group after decalcification between or within the high-dose group and the low-dose group (P>0.05). The diffusion effect of high-dose cement injection was better than that of low-dose cement injection in the glue group and the conventional PKP group (P>0.05), but there was no statistically significant difference in the diffusion effect between the groups (P<0.05). The leakage rate of bone cement in the low-dose glue group was lower than that in the low-dose conventional PKP group (P<0.05), and the leakage rate of bone cement in the high-dose glue group was lower than that in the high-dose conventional PKP group (P<0.05). **Conclusion** The pretreatment of vertebra with NBCA adhesive does not affect the diffusion distribution of bone cement in vertebra, which can effectively reduce the leakage rate of bone cement in PKP operation, and the diffusion effect of high-dose bone cement is better, but the leakage risk is also high.

Keywords: percutaneous kyphoplasty;vertebral compression fracture;osteoporosis;bone cement leakage;N-butyl cyanoacrylate

随着我国人口老龄化社会的到来,老年性骨质疏松症病例越来越多。老年性骨质疏松症是导致椎体压缩骨折最常见的原因之一,其中以胸腰段的椎体压缩骨折最常见[1]。目前该疾病的微创治疗方法以经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty,PVP)和经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty,PKP)两种椎体强化手术最常见[2],因其微创性,对患者身体条件要求低,操作容易掌握,临床应用非常广泛。随着椎体强化手术的广泛使用,其相关并发症也越来越受到重视,而骨水泥渗漏是其常见且最危险的并发症之一[3]。骨水泥渗漏与骨水泥注射时的形态、注射压力、椎体完整性、操作者手术技巧等多种因素有关。既往研究已从改变骨水泥黏度,监测骨水泥注射时压力,改进骨水泥注射工具等方面进行了改进,一定程度上减少了骨水泥渗漏[4-5]。但是骨水泥渗漏的重要原因之一是压缩后的椎体完整性遭到破坏,椎体存在不同程度的裂隙,因而骨水泥容易从这些裂隙中渗漏[6]。如何封闭椎体内的裂隙从而减少骨水泥的渗漏,目前研究较少。α-氰基丙烯酸正丁酯(N-butyl cyanoacrylate,NBCA)黏合剂是近年来临床广泛使用的生物组织黏合剂,具有安全、廉价、粘合和抗渗漏等特点,临床常应用于组织的粘合、浅表或深部组织的创面止血、组织渗液补漏、血管栓塞等[7-10]。因此,我们推测NBCA黏合剂对于预防椎体强化手术中骨水泥渗漏也可能发挥作用。PKP相对于PVP而言,不仅骨水泥渗漏发生率更低,还能改善椎体后凸畸形等,临床应用更广泛,因此本研究在离体动物实验中探讨PKP中NBCA黏合剂封闭补漏的作用,以期为体内应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 主要材料、试剂及仪器

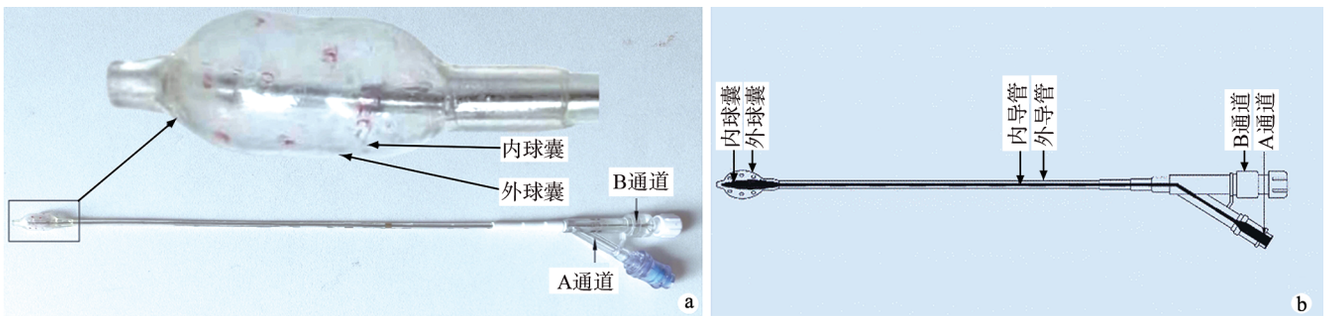
选取6~7月龄、体质量120 kg左右的成年猪,由湖北省武汉市蔡甸区屠宰场提供,宰杀时保留完整猪胸腰椎,最终选择符合要求的6具猪胸腰椎进行冷冻保存。仪器:移动式C型臂(OEC715)、双能X射线骨密度测试仪(Lunar iDXA)、生物力学试验机(Insight30)、经皮椎体球囊扩张系统(上海凯利泰公司)。试剂脱钙剂EDTA-Na_2(德国Sigma-Aldrich公司)、中性福尔马林固定液(北京普非生物科技公司)、NBCA医用黏合剂(上海凯利泰公司)。

1.2 椎体裂隙喷涂工具设计

椎体裂隙喷涂工具利用椎体扩张球囊进行改进设计,由内球囊、外球囊、内导管、外导管、Y型连接器构成。外球囊为疏水材质,套于内球囊上,表面设计多个喷涂孔,主要喷涂NBCA,其可随内球囊膨胀及回缩。内球囊主要通过扩张作用对压缩椎体进行复位及创造骨水泥容纳空间。Y型连接器分别与A、B通道相连。A通道与内导管、内球囊相连,为造影剂及内球囊扩张连接通道;B通道与外导管、外球囊相连,为NBCA注入通道;A、B通道互不相通,见图1。

1.3 模型建立

1.3.1 骨质疏松椎体模型制备 将猪胸腰椎解冻后,剔除非骨性组织,并分离成单个胸腰椎,采用10%中性福尔马林溶液固定24 h后冲洗干净。剔除外观明显畸形、异常偏大或偏小的椎体。根据预先摸索的最佳脱钙条件,使用18.3% EDTA-Na_2浸泡35 d,每2 d更换1次脱钙液。X射线及双能骨密度仪检测脱钙前

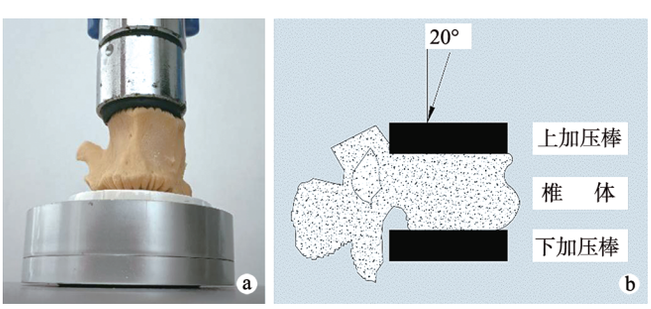


a:椎体内裂隙喷涂工具实物图;b:椎体内裂隙喷涂工具简易示意图

图1 椎体裂隙喷涂工具

后骨密度。猪椎体骨密度低于0.75 g/cm²为骨质疏松[11],剔除不符合标准的椎体,最终得到80枚椎体。

1.3.2 骨质疏松性椎体压缩骨折模型制备 将单个椎体固定于生物力学试验机上,模拟椎体压缩骨折模型,最常见类型为屈曲型,最常见累及椎体前中柱。将椎体上下终板卡于两加压棒之间,上加压棒使用倾斜20°金属模具,模拟骨质疏松椎体压缩骨折,最常见为椎体上缘压缩,以0.2 mm/s恒定速度进行加压,椎体出现肉眼可见的裂纹或椎体压缩度达1/3时停止加压(图2)。



a:椎体压缩模型实物图;b:椎体压缩模型示意图

图2 椎体压缩模型制备

1.4 分组

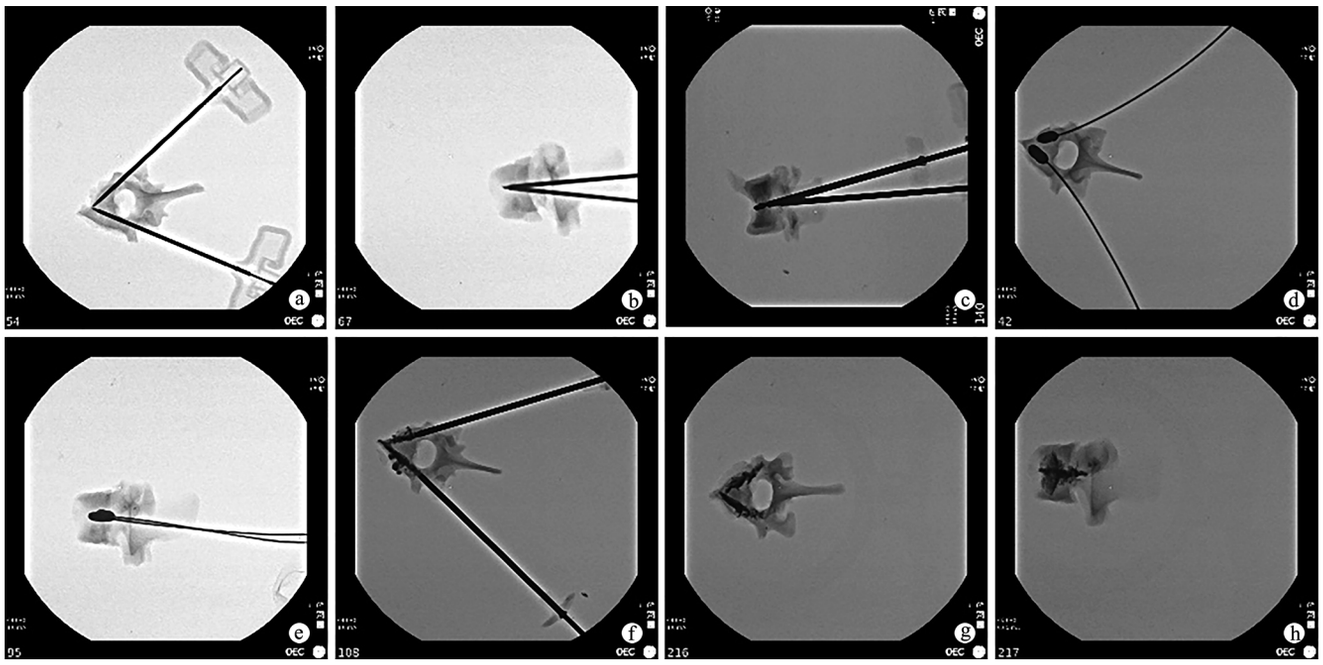
将80枚椎体按照完全随机设计法分为胶水组和常规PKP组,每组40枚,参考文献[12],根据骨水泥注射量不同(低剂量3 mL,高剂量6 mL),再分为胶水低剂量组、胶水高剂量组、常规PKP低剂量组、常规PKP高剂量组。胶水组采用自行设计的椎体裂隙喷涂工具进行NBCA喷涂及骨水泥注射,常规PKP组采用传统椎体球囊扩张系统进行PKP。

1.5 手术方法

胶水组:将单个椎体固定于可透视实验台上,使椎体的下终板平面与实验台垂直,棘突位于椎体正位像正中。采用双侧穿刺法,从椎体的上关节突外侧缘人字嵴顶点进针,正位透视通过椎弓根长轴中点进入椎体(图3a),侧位透视进针点位于椎弓根矢状位中线位置(图3b)。穿刺过程中微调进针角度,当穿刺针达椎体后缘约0.5 mm处,插入导针,更换骨钻,沿导针逐步向椎体前侧内侧钻入,正位透视进针深度接近椎体中线,侧位透视达椎体前1/3,用骨推杆将骨道内骨残渣推向前侧以免刺破球囊,建立球囊进入通道(图3c)。自行设计的椎体裂隙喷涂工具外球囊表面涂抹凡士林,沿骨道插入,先通过A通道注入造影剂碘海醇扩张球囊,透视观察椎体复位情况。正位透视球囊扩张接近椎体皮质边缘(图3d),侧位透视球囊接近椎体前1/3(图3e),透视见椎体高度恢复,停止注入造影剂。通过阀门关闭A通道,打开B通道接口,注入1 mL NBCA封闭椎体内裂隙,5 s内回抽碘海醇退出球囊。制备骨水泥,然后通过骨水泥推杆经上述制备骨道由椎体前侧向后侧推注近拉丝期骨水泥(图3f),低剂量组注入3 mL骨水泥,高剂量组注入6 mL骨水泥。骨水泥完全凝固后透视记录骨水泥分布形态及渗漏情况。正位透视两侧骨水泥相连(图3g),侧位透视骨水泥分布超过椎体矢状径2/3以上视为骨水泥分布理想(图3h)。常规PKP组采用传统PKP工具,依次进行定位、穿刺、建立骨道、球囊扩张,骨水泥推杆经骨道注入拉丝期骨水泥,低剂量组注入3 mL骨水泥,高剂量组注入6 mL骨水泥。

1.6 观察指标

X射线观察大体标本。脱钙前后采用X射线观察椎体结构形态,计算椎体骨密度。术后通过X射线记录骨水泥分布形态,正位透视椎体冠状面骨水泥相连接,同时侧位透视骨水泥弥散超过椎体矢状平面2/3为优;骨水泥在椎体内冠状面骨水泥相连,或矢状面弥散超过椎体2/3为良;骨水泥冠状面、矢状面均达不到上述要求为差。记录骨水泥渗漏情况,骨水泥突破椎体圆柱体向任何方向渗漏为渗漏,视为无效;骨水泥未向椎体外渗漏为有效。记录椎体骨水泥渗漏数量。



a:穿刺针进入椎体正位像;b:穿刺针进入椎体侧位像;c:骨钻及骨推杆进入骨通道;d:球囊扩张正位像;e:球囊扩张侧位像;f:封闭椎体内裂隙注入骨水泥;g:骨水泥分布正位像;h:骨水泥分布侧位像

图3　胶水组操作透视图

1.7　统计学分析

数据采用SPSS 20.0软件进行处理。计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用两独立样本t检验,组内比较采用单因素方差分析;定性等级资料采用行×列表χ^2检验,样本总体≥40,理论频数<5则行*Fisher's*确切概率法。P<0.05为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　大体标本结果

单个猪胸腰椎体结构与人相似,包括关节突关节、横突、椎弓根、椎板等,见图4。脱钙前X射线片显示:椎体骨小梁排列整齐、致密。脱钙后棘突、横突变软;椎体及附件骨密度接近,骨量均减少,且附件骨量减少更明显;骨小梁排列稀疏,附件显影模糊;骨密度检测符合骨质疏松特点。胶水组和常规PKP组脱钙后骨密度在高、低剂量组间及组内比较,差异均无统计学意义(P>0.05),见表1。说明椎体骨密度基线资料具有可比性。

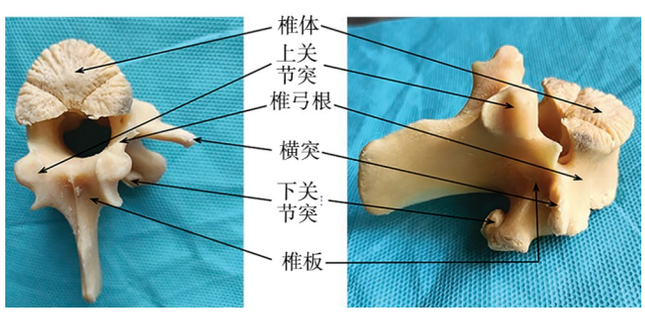


图4　猪椎体正侧位图

表1　各组椎体骨密度基线数据比较($\bar{x}\pm s$,n=40,g/cm²)

组别	低剂量	高剂量	t	P
胶水组	0.577±0.082	0.598±0.060	−0.921	0.364
常规PKP组	0.579±0.070	0.588±0.474	−0.504	0.617
t	−0.062	0.584		
P	0.951	0.563		

2.2　骨水泥弥散等级结果

胶水组和常规PKP组在骨水泥低剂量注射条件下或高剂量注射条件下,组间弥散等级比较差异均无统计学意义(P>0.05);胶水高剂量组骨水泥弥散优良率为90.0%,胶水低剂量组骨水泥弥散优良率为75.0%,组间比较差异有统计学意义(P<0.05);常规PKP高剂量组骨水泥弥散优良率为90.0%,常规PKP低剂量组骨水泥弥散优良率为80.0%,组间比较差异有统计学意义(P<0.05),见表2。

表2　骨水泥弥散效果[n=20,枚(%)]

骨水泥弥散等级	胶水低剂量组	常规PKP低剂量组	χ^2	P	胶水高剂量组	常规PKP高剂量组	χ^2	P
优	11(55.0)	10(50.0)	−0.089	0.929	13(65.0)	14(70.0)	−0.295	0.768
良	4(20.0)	6(30.0)			5(25.0)	4(20.0)		
差	5(25.0)	4(20.0)			2(10.0)	2(10.0)		

2.3 骨水泥渗漏情况

胶水低剂量组无骨水泥渗漏发生，常规PKP低剂量组有4枚(20.0%)椎体发生骨水泥渗漏(其中1枚椎体骨水泥向后方椎管内渗漏，3枚椎体骨水泥向椎体前方渗漏)，组间骨水泥渗漏率比较，差异有统计学意义(P<0.05)。胶水高剂量组有3枚(15.0%)椎体发生骨水泥渗漏(均向椎体前方渗漏)，常规PKP高剂量组有6枚(30.0%)椎体发生骨水泥渗漏(其中3枚椎体向椎体前方渗漏，2枚椎体向椎管内渗漏，1枚椎体向椎体上缘渗漏)，组间骨水泥渗漏率比较，差异有统计学意义(P<0.05)。相同手术方式前提下，不同骨水泥注射剂量椎体骨水泥渗漏组内比较，胶水低剂量组与胶水高剂量组比较，常规PKP低剂量组与常规PKP高剂量组比较，差异均有统计学意义(P<0.05)。胶水高剂量组骨水泥渗漏率(15%)高于胶水低剂量组(0)，常规PKP高剂量组骨水泥渗漏率(30%)高于常规PKP低剂量组(20%)，差异均有统计学意义(P<0.05)。

3 讨论

骨质疏松症是一种与年龄密切相关的多因素疾病，主要表现为骨密度降低、骨组织脆性增加，易导致骨折。椎体压缩骨折是老年骨质疏松症患者最常见的骨折之一[13]。自1987年法国Deramond团队首次采用PVP治疗脊柱血管瘤以来[14]，临床迅速将其用于骨质疏松性椎体压缩骨折、椎体肿瘤等多个领域的微创治疗。随着PVP的广泛使用，临床发现其难以恢复压缩椎体高度，容易引起骨水泥渗漏等缺点。于是在最初PVP的理论基础上，国外于1994年在椎体内置入1个可扩张球囊，通过球囊扩张作用既恢复了压缩椎体的高度，同时又人工创造一个容纳骨水泥的空间，一定程度上减少了PVP需高压注射引起的骨水泥渗漏，于2001年批准用于临床，并逐步发展为经典的PKP[13]。近年来，基于PKP延伸出多种改进工具，包括Sky骨扩张器系统、椎体内钛网支架系统、脊柱工形支架、Vessel-X可膨胀性骨材料填充系统等[15]。这些工具的改进一定程度上减少了骨水泥渗漏的发生，但均未从源头上解决骨水泥渗漏的问题。杨惠林等[16]提出骨水泥温度梯度灌注技术及分次调制灌注技术，通过推注小剂量团块期骨水泥来封堵椎体周壁破裂区或缺损区，但此技术操作繁琐且难度大，临床应用具有一定限制。也有学者在骨水泥注入前先注入明胶海绵碎屑阻止骨水泥渗漏，有一定的临床效果[17]。但是该方法仅对椎体前方骨皮质不完整的患者效果显著，对椎体后方骨皮质不完整的患者效果有限，而椎体后方渗漏是骨水泥渗漏的最危险类型，且明胶海绵不具有黏合性，仅能通过机械填塞阻止骨水泥渗漏。NBCA是一种组织黏合剂，具有瞬间凝固作用，已经广泛应用于临床上各种组织渗漏治疗。外科手术中对于肝胆胰表面出血、食管胃底静脉曲张破裂出血、心脏小血管破裂出血、乳糜漏等难以通过缝合或烧灼止血的情况，可通过喷涂NBCA于靶点区域迅速止血[18-19]；此外，根据NBCA的快速形成膜性特征，其可用于支气管胸膜瘘、肺泡组织小范围破裂修复术及食管、肠管吻合口漏的修补[20-21]。在强化缝合效果方面，NBCA能够避免组织缝合后液体的渗漏，Asan等[22]报道128例患者行硬脑膜切开相关手术缝合后再用NBCA进一步强化缝合效果，仅有7例发生术后脑脊液漏。NBCA在骨组织中也有一定的应用，其可粘连固定无太多负重的颅骨组织[23]。

鉴于NBCA在多个学科、多个组织中的应用，具有流动性好，瞬间固化，容易成膜性结构的特性，我们将其应用于预防PKP术中骨水泥渗漏，并通过特殊工具喷涂封闭椎体内的潜在裂隙，发挥机械堵塞、组织粘合作用，阻止PKP术中骨水泥渗漏。本研究结果显示：无论注射低剂量还是高剂量骨水泥，胶水组骨水泥渗漏率明显低于同期常规PKP组。低剂量骨水泥注射条件下，胶水组骨水泥渗漏率为0，高剂量骨水泥注射条件下，胶水组骨水泥渗漏率为15%，与文献报道的PKP骨水泥渗漏率(7%～14%)基本一致[24]，且远低于常规PKP组。同时通过注射相同剂量的骨水泥观察骨水泥椎体内弥散情况发现，NBCA封闭椎体内裂隙并不影响骨水泥在椎体内的弥散分布。注射相同剂量的骨水泥，胶水组和常规PKP组的弥散效果相当，高剂量组骨水泥弥散优良率高于低剂量组，同时骨水泥渗漏发生率也相对较高，这说明PKP中随着骨水泥注射量的增加，椎体内骨水泥弥散效果更好，但同时骨水泥渗漏风险也相应增加[25-26]。

综上，本研究初步证实了NBCA能够通过封闭椎体内的裂隙，从而减少PKP术中骨水泥渗漏，高剂量骨水泥弥散效果更好，但其渗漏风险也更高。本实验也有不足之处：为了保持数据的可比性，采用了固定的骨水泥注入量，但在临床实际中，一旦发现骨水泥向椎体外渗漏，会立刻停止骨水泥灌注操作，这也是本实验整体骨水泥渗漏较高的原因之一；同时，本实验为离体实验，暂时无法证实NBCA预防椎体强化手术中骨水泥经椎基底静脉及椎旁静脉途径渗漏的作用。

[参考文献]

[1] Cheng X, Zhao K, Zha X, et al. Opportunistic screening using low-dose CT and the prevalence of osteoporosis in China: a nationwide, multicenter study[J]. J Bone Miner Res, 2021, 36(3): 427-435. doi: 10.1002/jbmr.4187.

[2] 中国康复医学会骨质疏松预防与康复专业委员会. 骨质疏松性椎体压缩骨折诊治专家共识(2021版)[J]. 中华医学杂志, 2021, (41): 3371-3379. doi: 10.3760/cma.j.cn112137-20210625-01436.

[3] Zhan Y, Jiang J, Liao H, et al. Risk factors for cement leakage after vertebroplasty or kyphoplasty: a meta-analysis of published evidence[J]. World Neurosurg, 2017, 101: 633-642. doi: 10.1016/j.wneu.2017.01.124.

[4] Noguchi T, Yamashita K, Kamei R, et al. Current status and challenges of percutaneous vertebroplasty (PVP)[J]. Jpn J Radiol, 2023, 41(1): 1-13. doi: 10.1007/s11604-022-01322-w.

[5] Schleicher P, Wengert A, Neuhoff J, et al. Cement augmentation in spinal surgery[J]. Unfallchirurgie (Heidelb), 2022, 125(6): 460-466. doi: 10.1007/s00113-022-01188-7.

[6] Lv N, Feng X, Liu H, et al. Study on the influence of balloon dilation mode on the intravertebral cleft of osteoporotic fracture[J]. BMC Surg, 2022, 22(1): 351-356. doi: 10.1186/s12893-022-01750-5.

[7] Vizzuso A, Barbieri S, Petrella E, et al. Prostatic artery embolization using n-butyl cyanoacrylate glue in patients with indwelling catheter[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2023, 46(2): 295-298. doi: 10.1007/s00270-022-03315-8.

[8] Higashino N, Sonomura T, Fukuda K, et al. Feasibility and safety of n-butyl cyanoacrylate-lipiodol-iopamidol as an alternative liquid embolic material[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2021, 44(3): 482-488. doi: 10.1007/s00270-020-02681-5.

[9] Picel AC, Koo SJ, Roberts AC. Transcatheter arterial embolization with n-butyl cyanoacrylate for the treatment of acquired uterine vascular malformations[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2016, 39(8): 1170-1176. doi: 10.1007/s00270-016-1328-z.

[10] Martino C, Salzano F, Martino D, et al. A prospective randomized trial of n-butyl-cyanoacrylate + metacryloxysulfolane adhesive versus suture alone for grafting in rhinoplasty: 9 year follow-up[J]. Ann Otol Rhinol Laryngol, 2021, 130(5): 483-489. doi: 10.1177/0003489420943910.

[11] 李志鲲. 改良交叉穿刺椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的生物力学分析及临床应用研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2020. doi: 10.27351/d.cnki.gszhu.2020.003409.

[12] 何保玉, 刘宝戈, 李学民, 等. 骨水泥弥散容积率在骨质疏松性椎体压缩骨折PKP术后疗效评价中的应用[J]. 中国骨与关节杂志, 2016, 5(1): 68-73. doi: 10.3969/j.issn.2095-252X.2016.01.015.

[13] 中华医学会骨科学分会. 骨质疏松性骨折诊疗指南(2022年版)[J]. 中华骨科杂志, 2022, 42(22): 1473-1491. doi: 10.3760/cma.j.cn121113-20220704-00377

[14] Galibert P, Deramond H, Rosat P, et al. Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty[J]. Neurochirurgie, 1987, 33(2): 166-168.

[15] Sebaaly A, Rizkallah M, Bachour F, et al. Percutaneous cement augmentation for osteoporotic vertebral fractures[J]. EFORT Open Rev, 2017, 2(6): 293-299. doi: 10.1302/2058-5241.2.160057.

[16] 杨惠林, 刘 强, 唐 海, 等. 经皮椎体后凸成形术的规范化操作及相关问题的专家共识[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(11): 808-812. doi: 10.3760/cma.j.issn.2095-7041.2015.05.001.

[17] 崔 伟, 熊小明, 万 夏, 等. 经皮椎体后凸成形术中使用明胶海绵减少骨水泥渗漏的可行性及临床疗效[J]. 中华创伤杂志, 2020, 36(10): 899-904. doi: 10.3760/cma.j.cn501098-20200603-00403.

[18] Sasaki K, Okada T, Yamaguchi M, et al. Major and minor complications of the pancreas after transcatheter arterial embolization using n-butyl-2-cyanoacrylate for acute bleeding from pancreatic arteries[J]. Jpn J Radiol, 2022, 40(3): 308-317. doi: 10.1007/s11604-021-01203-8.

[19] Elsebaey MA, Tawfik MA, Ezzat S, et al. Endoscopic injection sclerotherapy versus n-butyl-2 cyanoacrylate injection in the management of actively bleeding esophageal varices: a randomized controlled trial[J]. BMC Gastroenterol, 2019, 19(1): 23-29. doi: 10.1186/s12876-019-0940-1.

[20] Powell DK, Baum S. Bronchopleural fistula treated with n-butyl cyanoacrylate glue after ablation[J]. J Vasc Interv Radiol, 2018, 29(12): 1692-1693. doi: 10.1016/j.jvir.2018.06.008.

[21] Moreno BM, Isaksson B, Nyman R, et al. Portal vein embolization with n-butyl-cyanoacrylate before hepatectomy: a single-center retrospective analysis of 46 consecutive patients[J]. Acta Radiol, 2021, 62(9): 1170-1177. doi: 10.1177/0284185120953802.

[22] Asan Z, Kilitci A. Use of cyanoacrylate to prevent cerebrospinal fluid fistulas after cranial surgery[J]. Br J Neurosurg, 2018, 32(5): 544-547. doi: 10.1080/02688697.2018.1494265.

[23] Sultan A, Mohamed A. Efficacy and safety of using n-butyl cyanoacrylate in cranial fixation following trauma and other pathologies[J]. Turk Neurosurg, 2018, 28(3): 416-420. doi: 10.5137/1019-5149.JTN.20117-17.1.

[24] 杨惠林, 李 茂, 王根林, 等. 经皮椎体后凸成形术骨水泥渗漏相关问题[J]. 中华解剖与临床杂志, 2015(5): 377-378. doi: 10.3760/cma.j.issn.2095-7041.2015.05.001.

[25] Chen C, Fan P, Xie X, et al. Risk factors for cement leakage and adjacent vertebral fractures in kyphoplasty for osteoporotic vertebral fractures[J]. Clin Spine Surg, 2020, 33(6): 251-255. doi: 10.1097/BSD.0000000000000928.

[26] Chen W, Xie W, Xiao Z, et al. Incidence of cement leakage between unilateral and bilateral percutaneous vertebral augmentation for osteoporotic vertebral compression fractures: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. World Neurosurg, 2019, 122: 342-348. doi: 10.1016/j.wneu.2018.10.143.

(编辑: 龙小芬)