

三明治椎体骨水泥强化术后夹心椎再骨折危险因素的研究进展

杜启森, 孟通, 马勇胜*

哈尔滨医科大学附属第一医院骨科, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2023年3月9日; 录用日期: 2023年4月5日; 发布日期: 2023年4月14日

摘要

背景: 随着全球人口老龄化日渐严重, 骨质疏松性椎体骨折的发生日益增多, 三明治椎体骨折作为一种上下椎体压缩骨折而中间椎体完好的特殊类型椎体骨折, 相关研究报道其夹心椎体再骨折的发生率明显高于其它椎体。为降低夹心椎体较高的再骨折率, 国内外学者对骨水泥强化术后夹心椎体再骨折的危险因素进行了广泛深入的研究, 但目前依然存在许多不确定性和争议性。目的: 总结既往研究, 综述夹心椎体再骨折危险因素的研究进展, 并展望其预防和改进方向。方法: 检索各个数据库中关于三明治椎体夹心椎再骨折危险因素的相关文献, 选取具有价值的实验研究和临床病例。结果与结论: 1) 通过对当前关于三明治椎体夹心椎再骨折的相关研究总结分析, 发现其危险因素包括生物力学改变、骨质疏松、高龄、椎间隙骨水泥渗漏及其他因素等; 2) 通过避免上述危险因素, 希望能为临床降低夹心椎体再骨折率提供一定帮助, 并相信以后随着技术的不断改进, 尽可能减少病人二次骨折的痛苦。

关键词

椎体强化术, 三明治椎体, 夹心椎, 再骨折, 危险因素

Research Progress on Risk Factors of Sandwich Vertebrae Refracture after Sandwich Bone Cement Augmentation

Qisen Du, Tong Meng, Yongsheng Ma*

Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin Heilongjiang

Received: Mar. 9th, 2023; accepted: Apr. 5th, 2023; published: Apr. 14th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 杜启森, 孟通, 马勇胜. 三明治椎体骨水泥强化术后夹心椎再骨折危险因素的研究进展[J]. 临床医学进展, 2023, 13(4): 5380-5386. DOI: 10.12677/acm.2023.134762

Abstract

Background: With the aging of the global population, the occurrence of osteoporotic vertebral fractures is increasing. Sandwich vertebral fracture is a special type of vertebral fracture with the upper and lower vertebral compression fracture and the middle vertebral body intact. Relevant studies have reported that the incidence of sandwich vertebral refracture is significantly higher than that of other vertebral bodies. In order to reduce the high refracture rate of sandwich vertebrae, scholars at home and abroad have conducted extensive and in-depth studies on the risk factors of refracture of sandwich vertebrae after bone cement augmentation, but there are still many uncertainties and controversies. **Objective:** To summarize the previous studies, review the research progress on the risk factors of sandwich vertebral refracture, and look forward to its prevention and improvement. **Methods:** The relevant literatures on the risk factors of sandwich vertebral refracture were searched in various databases, and the valuable experimental studies and clinical cases were selected. **Results & Conclusions:** 1) The risk factors of sandwich vertebral refracture include biomechanical changes, osteoporosis, advanced age, intervertebral cement leakage and other factors. 2) By avoiding the above risk factors, we hope to provide some help for reducing the re-fracture rate of sandwich vertebrae in clinical practice, and believe that with the continuous improvement of technology in the future, the pain of second fracture of patients will be reduced as much as possible.

Keywords

Vertebral Augmentation, Sandwich Vertebral Body, Sandwich Vertebrae, Re-Fracture, Risk Factors

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着中国人口老龄化趋势越来越严重,骨质疏松症是中老年人一个绕不过的坎,近一半的骨质疏松患者会出现不同程度的椎体压缩性骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF),OVCF病人往往因身体衰弱难以完全自愈、伴有持续性微骨折所致的骨痛,长期卧床不能下地则会带来一系列严重的并发症[1][2],极大的降低了中老年患者的生活质量[3][4]。目前最主流的治疗方法是由 Galibert 等[5]率先使用经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)以及 Garfin 等[6]改进后的经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP),能有效缓解患者疼痛、恢复椎体高度、改善脊柱畸形,微创固定骨折椎体,避免长期卧床[7]。三明治椎体骨折(sandwich vertebral fracture, SVC)作为一种上下椎体压缩骨折而中间椎体完好的特殊类型椎体骨折,相关研究报道其夹心椎体再骨折的发生率明显高于其它椎体[8]。Hierholzer 等通过大样本回顾性研究发现,PVP 治疗 OVCF 术后 1 年内其余椎体再骨折率按部位不同分别是:远隔椎 1.1%、相邻椎 4.7%、夹心椎为 11% [9]。Pitton 等在 2008 年对 11 例 SVC 患者进行随访观察,发现夹心椎体具有高达 55%的再骨折率[10]。面对居高不下的再骨折率及其对患者身心、经济造成的损失,一众学者对造成夹心椎体再次骨折的危险因素从生物力学到有限元研究再到临床病例的回顾分析等进行了广泛深入的研究,但是依然没有得到明确的定论和妥善解决问题的方法[8][11][12][13][14][15]。因此,本文总结既往相关研究,对夹心椎体再骨折的危险因素进行了系统全面的综述。

2. 生物力学改变

2.1. 椎体后凸角过大

三明治椎体后凸角过大往往会导致椎体重心前移,使得夹心椎体应力额外增大并向前方集中,夹心椎体因不能承受增加的应力而容易出现骨折。管华清等利用三明治椎体建立有限元模型,研究分析发现三明治骨折后夹心椎体所承受的应力较正常椎体明显升高,并且应力不均匀的集中于夹心椎终板上[8]。刘纪恩、王殷红等实验研究后认为三明治节段椎体后凸角越大,脊柱在运动时夹心椎体所承受的应力越大,越易出现夹心椎体再骨折[16][17]。

2.2. 骨水泥注入量过大

骨水泥注入量过多容易出现渗漏的风险,但过少又难以实现椎体正常力学功能,因此骨水泥注入量的控制一直是椎体强化术成败的关键[18]。Liebschner等通过有限元模拟椎体骨水泥灌注过程,当骨水泥灌注体积占骨折前椎体体积15%左右时,椎体就能达到骨折前的刚度[19]。Totoribe等通过有限元技术对压缩椎体的骨水泥注入量进行计算,当椎体灌注量为4 ml时,才能在保证椎体的刚度和强度的同时,将损伤椎体术后继发骨折的几率降到最低[20]。过量的骨水泥灌注既不利于其均匀弥散,又会因过高的硬度导致脊柱上下椎体间力学传导的不正常,从而增加夹心椎骨折的危险性。国内外也有研究发现骨水泥的注入量每增长1 mL,相邻椎体处术后继发骨折的几率将会提高至4.245倍[21]。Borensztein等人通过对比椎体强化术后有无继发椎体再骨折的患者认为,术中注入的骨水泥量占骨折椎体体积的百分比越高,则术后越容易发生夹心椎体的再骨折[22]。Rotter等在生物力学试验中证明,PVP术后相邻椎体再骨折的原因主要是骨水泥强化椎体硬度过高使得邻近椎体的受力状态负荷下降约30%,极大的增加了夹心椎的骨折风险[23]。

2.3. 骨水泥种类与强度

关于骨水泥的种类,目前主要有以下几种:聚甲基丙烯酸甲酯(polymethyl methacrylate, PMMA)、生物活性类陶瓷骨水泥、磷酸钙骨水泥、磷酸镁骨水泥以及抗生素骨水泥[24][25][26]。PMMA作为最早使用也最常用的骨水泥,具有简易实惠、高生物力学强度、较高的生物相容性以及产热止痛等优点[27],但也具有不利于骨折细胞再生和不能生物降解的缺点,并且在进入骨折椎体后有剧烈产热反应以及进入血管导致肺栓塞等风险存在,目前常用的骨水泥仍存在一些需要改进的不足之处[28]。Boger等人研究发现PMMA刚度过高,是骨质疏松症患者松质骨强度的7~10倍,使正常的应力分散系统失效,椎间盘无法在应力波动时发挥缓冲作用,使得绝大部分应力直接向下一椎体终板不均匀传递,成为诱发夹心椎体再骨折的危险因素[29]。

3. 骨质疏松

3.1. 骨质疏松自然进程

对于椎体成形术后夹心椎体再骨折的具体成因、发病机理目前尚没有具体的研究结论,虽然许多专家都指出夹心椎体再骨折是由骨质疏松的自然进展和椎体强化术等多原因联合造成的,但对于哪一个作用更明显还值得商榷。KIM等经过临床患者随访对比观察表明:术后再骨折组的BMD平均值为-3.52,而术后未骨折组的BMD平均值为-2.91,而且椎体的骨密度越低越容易再次出现骨折,认为骨质疏松是术后再骨折的主要风险原因[30]。蒋继乐等通过回顾性分析111例多节段椎体骨折患者后认为,在再次骨折的发病率和发病部位上,三明治椎体骨折较其它多节段椎体压缩骨折无统计学差异,因此更倾向于通过骨质疏松的自然进程诱发椎体的再骨折,而不是椎体强化术导致[31]。Liu等通过将骨质疏松性椎体骨折病人分为保守治疗组与PVP手术组,表明术后再骨折的概率并无统计学差异,更倾向于骨质疏松的自然病程所致[32]。

3.2. 抗骨质疏松药物的使用

许多相关研究已经证明,接受抗骨质疏松治疗可以显著降低非手术椎体继发骨折的发生率,关于骨密度与OVCF间是否存在密切联系,Kaufman等研究得出了著名的1:3理论,即每提高1%骨密度值,就会下降3%的OVCF发生率[33]。因此,钙剂、维生素D、抗骨质疏松药物等都是OVCF患者术后为预防夹心椎体再骨折而建议积极使用的治疗手段[34][35],鼓励患者长期、持续、联合用药的治疗骨质疏松,而不是仅仅依托于椎体强化手术这种单一的终极治疗方法[36][37]。

4. 高龄

在以往很多的研究中大部分学者都习惯性的认为高龄只是通过诱发骨质疏松的加重,从而间接导致夹心椎体再骨折的发生,而不是作为一项独立危险因素。如Komemushi等认为,椎体压缩性骨折是骨质疏松直接导致的结果,高龄只是加重骨质疏松的病程,而不能作为椎体再骨折的直接诱因[38]。但最近的一些研究则认为高龄应该作为一项具有独立机理的夹心椎体再骨折危险因素,因为随着年龄的不断增大,身体的雌激素水平及抗氧化能力都有明显下降,当机体遭受椎体骨折或者手术等打击后,骨细胞受氧化反应和激素调节而出现衰退,成骨能力下降,钙和维生素D的摄取能力下降,都会导致骨的脆性进一步增加,更易发生夹心椎体再骨折[39][40]。

5. 椎间隙骨水泥渗漏

PAZE、RENHL等研究表明,渗入椎间隙的骨水泥会破坏相邻椎体的终板、椎间盘等组织结构,骨水泥凝固产生的放热效应和化学毒性会对正常组织产生破坏,极大的加速了椎体的退变过程,同时渗漏在椎间隙的骨水泥硬化后会因极高的硬度产生明显的“墩柱”效应,使应力传导集中于一点[41][42]。蔡凯文、谢炜星等在术后新发椎体骨折的有限元研究中发现,渗漏入椎间盘的骨水泥硬化后会使脊柱直立、屈伸活动时周围椎体终板所受应力出现大幅增加,并且集中于漏出方向[43][44]。以上因素极大的减弱了椎间盘的缓冲作用,并且受力分布不均匀,进一步增加术后夹心椎体再骨折风险[45][46]。因此避免椎间隙骨水泥渗漏对降低椎体强化术后夹心椎再骨折十分有必要,目前相关研究报道有明胶海绵预填充注射、分层灌注、高粘度骨水泥等新兴技术可以进行预防[47][48][49][50]。

6. 其他因素

糖皮质激素,既可以降低体内雌激素水平,又能抑制成骨细胞,进而降低椎体的骨密度,增加夹心椎体再骨折的风险[1]。比如Sun等研究表明,长期使用激素患者的椎体再发骨折率为23.8%,是对照组再骨折率近4倍[51]。

椎体压缩程度,骨折椎体压缩越扁对正常的椎体结构如终板、皮质等包裹层的破坏程度就更严重,导致骨水泥注入后呈非均匀分布,并且就像漏洞的房子一样骨水泥渗漏的风险也直线上升,最终影响正常脊柱间的力学传导异常,夹心椎再骨折的风险进一步升高[52]。

椎体内裂隙样变(IVC),IVC是指指椎体内部存在空泡现象的一种特殊类型OVCF。Trout等将362例PVP术后患者纳入回顾性研究发现,伴有IVC的患者术后再骨折的发生率是无IVC组的2倍有余[53]。余伟波等人在IVC术后疗效的随访研究中发现IVC组更易出现骨水泥渗漏和椎体再次塌陷骨折[54]。

7. 小结与展望

椎体强化术后夹心椎再骨折的危险因素是多样的,对于二次骨折的预防不应是有病再治,而是从第一次发生OVCF后就应该全方面、系统的进行治疗、宣教。从患者基本特征、骨密度、术中骨水泥的操作、抗骨质疏松的宣教等多方面、立体化的治疗,降低不必要的椎体再骨折风险[55]。

李晓华提出将未骨折夹心椎在第一次椎体成形术中即进行小剂量骨水泥(约 2 mL)预强化处理, 从而避免夹心椎体再骨折的发生, 但是预强化未骨折椎体在医疗常规中具有不合理性且效果并不显著[56]。规范化使用抗骨质疏松药物, 老年患者特别是绝经后女性普及补钙常识及定期复查骨密度的意识。通过技术革新改进骨水泥的种类, 使其在恢复椎体刚度的同时尽可能贴近椎体本身的生物特性, 如 Tang S 提出的新型高粘度骨水泥[49]。通过手术操作的不断熟练和新技术如网袋撑开成形术等使骨水泥的分布和量更适宜, 并减少骨水泥渗漏的发生, 如 Li LH 用骨水泥多次调配和分段注射技术[48]、廖一峰等使用明胶海绵骨水泥复合体预填充椎体都显著的降低了渗漏的发生率[47]。尤瑞金等研究后认为, 经皮椎体成形术仍然是椎体强化术再骨折的主要方法, 其微创、止痛、恢复生理结构的优点依然存在[57]。以上是预防和治疗椎体强化术后夹心椎体再骨折的一些研究现状和未来展望。

参考文献

- [1] Compston, J.E., McClung, M.R. and Leslie, W.D. (2019) Osteoporosis. *The Lancet*, **393**, 364-376. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32112-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32112-3)
- [2] Rachner, T.D., Khosla, S. and Hofbauer, L.C. (2011) Osteoporosis: Now and the Future. *The Lancet*, **377**, 1276-1287. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)62349-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)62349-5)
- [3] 丁庆彬, 李艳双, 吴怀兰, 等. 骨质疏松性椎体压缩性骨折术后老年患者生活质量及其影响因素研究[J]. 护理管理杂志, 2018, 18(2): 77-80+101.
- [4] 淡国梁. 骨水泥椎体成型术对老年骨质疏松合并胸腰椎压缩骨折患者术后生活质量的影响[J]. 疾病监测与控制, 2021, 15(5): 359-361. [https://doi.org/10.19891/j.issn1673-9388.\(2021\)05-0359-03](https://doi.org/10.19891/j.issn1673-9388.(2021)05-0359-03)
- [5] Galibert, P., Deramond, H., Rosat, P. and Le Gars, D. (1987) Note préliminaire sur le traitement des angiomes vertébraux par vertébroplastie acrylique percutanée [Preliminary Note on the Treatment of Vertebral Angioma by Percutaneous Acrylic Vertebroplasty]. *Neurochirurgie*, **33**, 166-168.
- [6] Garfin, S.R., Yuan, H.A. and Reiley, M.A. (2001) New Technologies in Spine: Kyphoplasty and Vertebroplasty for the Treatment of Painful Osteoporotic Compression Fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*, **26**, 1511-1515. <https://doi.org/10.1097/00007632-200107150-00002>
- [7] Rho, Y.J., Choe, W.J. and Chun, Y.I. (2012) Risk Factors Predicting the New Symptomatic Vertebral Compression Fractures after Percutaneous Vertebroplasty or Kyphoplasty. *European Spine Journal*, **21**, 905-911. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-2099-5>
- [8] 管华清. PVP 和 PKP 治疗脊柱骨质疏松性三骨折的有限元及临床研究[D]: [博士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2016.
- [9] Hierholzer, J., Fuchs, H., Westphalen, K., et al. (2008) Incidence of Symptomatic Vertebral Fractures in Patients after Percutaneous Vertebroplasty. *CardioVascular and Interventional Radiology*, **31**, 1178-1183. <https://doi.org/10.1007/s00270-008-9376-7>
- [10] Pitton, M.B., Herber, S., Bletz, C., et al. (2008) CT-Guided Vertebroplasty in Osteoporotic Vertebral Fractures: Incidence of Secondary Fractures and Impact of Intradiscal Cement Leakages during Follow-Up. *European Radiology*, **18**, 43-50. <https://doi.org/10.1007/s00330-007-0694-y>
- [11] 王吉博. 有限元法评估经皮椎体成形和后凸成形治疗脊柱三骨折的生物力学变化[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(35): 5703-5708.
- [12] 李强. 跨节段椎体强化术后中间椎体生物力学变化的有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京协和医学院, 2014.
- [13] 刘进, 唐静, 陈果, 等. 夹心椎与普通邻椎再骨折风险比较及危险因素分析[J]. 中国修复重建外科杂志, 2021, 35(9): 1161-1166.
- [14] 杨家骥, 王星亮, 刘云鹏. 脊柱骨质疏松性三骨折椎体强化术后夹心椎再骨折的危险因素探讨[J]. 创伤外科杂志, 2020, 22(6): 433-437.
- [15] 韦金忠, 夏炳江. 三骨折型骨质疏松性椎体压缩骨折术后中心椎体再骨折危险因素分析[J]. 现代实用医学, 2020, 32(3): 334-336.
- [16] 刘纪恩, 曹璐, 勾瑞恩. 经皮椎体后凸成形术治疗老年骨质疏松性胸腰椎压缩骨折[J]. 中华创伤杂志, 2015, 31(5): 513-518.

- [17] 王殷红, 熊炎, 陈俊华. 经皮椎体后凸成形术治疗老年性骨质疏松性椎体压缩性骨折的近期疗效观察[J]. 中华全科医学, 2015, 13(2): 330-331.
- [18] 罗兴良, 吴坚, 单贤贞, 等. 不同剂量骨水泥经皮椎体后凸成形术治疗老年骨质疏松性椎体压缩骨折的效果研究[J]. 中国医刊, 2017, 52(4): 105-107.
- [19] Liebschner, M.A.K., Rosenberg, W.S. and Keaveny, T.M. (2001) Effects of Bone Cement Volume and Distribution on Vertebral Stiffness after Vertebroplasty. *Spine*, **26**, 1547-1554. <https://doi.org/10.1097/00007632-200107150-00009>
- [20] Totoribe, K., Tajima, N. and Chosa, E. (1999) A Biomechanical Study of Posterolateral Lumbar Fusion Using a Three-Dimensional Nonlinear Finite Element Method. *Journal of Orthopaedic Science: Official Journal of the Japanese Orthopaedic Association*, **4**, 115-126.
- [21] 陆奇峰, 唐根林, 张文捷, 等. 骨质疏松性椎体压缩骨折经皮椎体后凸成形术后伤椎相邻椎体骨折的影响因素[J]. 实用医学杂志, 2012, 28(18): 3116-3118.
- [22] Borensztein, M., Camino Willhuber, G.O., Posadas Martinez, M.L., et al. (2018) Analysis of Risk Factors for New Vertebral Fracture after Percutaneous Vertebroplasty. *Global Spine Journal*, **8**, 446-452. <https://doi.org/10.1177/2192568217732988>
- [23] Rotter, R., Pflugmacher, R., Kandziora, F., et al. (2007) Biomechanical *in Vitro* Testing of Human Osteoporotic Lumbar Vertebrae Following Prophylactic Kyphoplasty with Different Candidate Materials. *Spine*, **32**, 1400-1405. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318060a622>
- [24] 张磊, 唐晓菊, 黄有荣, 等. 聚甲基丙烯酸甲酯骨水泥及磷酸钙骨水泥的材料性能及改性的研究进展[J]. 广西医学, 2019, 41(16): 2114-2118+2122.
- [25] 陈铖, 丁晶鑫, 王会, 等. 掺钕介孔硼硅酸盐生物活性玻璃陶瓷骨水泥的制备与性能表征(英文) [J]. 无机材料学报, 2022, 37(11): 1245-1258.
- [26] 龚长天, 郭卫春. 磷酸镁骨水泥缓凝改性及其生物医学应用进展[J]. 医学综述, 2021, 27(11): 2124-2128.
- [27] 冯庆裕, 谢文伟, 王志坤, 等. 椎体成形术中骨填充物的研究进展[J]. 广东医学, 2019, 40(20): 2967-2969, 2973.
- [28] 杜闫圻, 毕郑刚. 椎体成形术及椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折研究进展[J]. 安徽医药, 2022, 26(8): 1490-1495.
- [29] Boger, A., Heini, P., Windolf, M., et al. (2007) Adjacent Vertebral Failure after Vertebroplasty: A Biomechanical Study of Low Modulus PMMA Cement. *European Spine Journal*, **16**, 2118-2125. <https://doi.org/10.1007/s00586-007-0473-0>
- [30] Kim, M.H., Lee, A.S., Min, S.H., et al. (2011) Risk Factors of New Compression Fractures in Adjacent Vertebrae after Percutaneous Vertebroplasty. *Asian Spine Journal*, **5**, 180-187. <https://doi.org/10.4184/asj.2011.5.3.180>
- [31] 蒋继乐, 肖斌, 茅剑平, 等. 骨水泥强化治疗“三明治”型骨质疏松性椎体压缩骨折对邻近椎体再次骨折的影响[J]. 骨科临床与研究杂志, 2017, 2(4): 236-240+245. <https://doi.org/10.19548/j.2096-269x.2017.04.009>
- [32] Liu, W.G., He, S.C., Deng, G., et al. (2012) Risk Factors for New Vertebral Fractures after Percutaneous Vertebroplasty in Patients with Osteoporosis: A Prospective Study. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, **23**, 1143-1149. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2012.06.019>
- [33] Kaufman, J.M., Palacios, S., Silverman, S., et al. (2013) An Evaluation of the Fracture Risk Assessment Tool (FRAX) as an Indicator of Treatment Efficacy: The Effects of Bazedoxifene and Raloxifene on Vertebral, Nonvertebral, and All Clinical Fractures as a Function of Baseline Fracture Risk Assessed by FRAX. *Osteoporosis International*, **24**, 2561-2569. <https://doi.org/10.1007/s00198-013-2341-6>
- [34] 印平, 马远征, 马迅, 等. 骨质疏松性椎体压缩性骨折的治疗指南[J]. 中国骨质疏松杂志, 2015, 21(6): 643-648.
- [35] 邢丹, 马信龙, 马剑雄, 等. 维生素 D 受体基因 Bsm I、Aoa I、Taq I、Fok I 和 Cdx-2 位点多态性与骨质疏松性椎体骨折相关性的 Meta 分析[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2013, 6(2): 165-173.
- [36] 夏维波, 章振林, 林华, 等. 原发性骨质疏松症诊疗指南(2017) [J]. 中国骨质疏松杂志, 2019, 25(3): 281-309.
- [37] 马远征, 王以朋, 刘强, 等. 中国老年骨质疏松诊疗指南(2018) [J]. 中国老年学杂志, 2019, 39(11): 2557-2575.
- [38] Komemushi, A., Tanigawa, N., Kariya, S., et al. (2006) Percutaneous Vertebroplasty for Osteoporotic Compression Fracture: Multivariate Study of Predictors of New Vertebral Body Fracture. *Cardiovascular and Interventional Radiology*, **29**, 580-585. <https://doi.org/10.1007/s00270-005-0138-5>
- [39] 汤亮, 轩安武, 朱振标. 经皮椎体成形术/经皮椎体后凸成形术后邻椎再骨折危险因素的 Meta 分析[J]. 局解手术学杂志, 2021, 30(10): 881-890.

- [40] 于龙, 王亮. 老年骨质疏松症现状及进展[J]. 中国临床保健杂志, 2022, 25(1): 6-11.
- [41] Paz, E., Ballesteros, Y., Abenojar, J., *et al.* (2021) Advanced G-MPS-PMMA Bone Cements: Influence of Graphene Silanisation on Fatigue Performance, Thermal Properties and Biocompatibility. *Nanomaterials (Basel)*, **11**, 139. <https://doi.org/10.3390/nano11010139>
- [42] Ren, H.L., Jiang, J.M., Chen, J.T., *et al.* (2015) Risk Factors of New Symptomatic Vertebral Compression Fracture in Osteoporotic Patients Undergone Percutaneous Vertebroplasty. *European Spine Journal*, **24**, 750-758. <https://doi.org/10.1007/s00586-015-3786-4>
- [43] 蔡凯文. 骨水泥椎间隙渗漏新分型及其对邻椎终板应力的影响[D]: [硕士学位论文]. 宁波: 宁波大学, 2020. <https://doi.org/10.27256/d.cnki.gnbou.2020.000037>
- [44] 谢炜星. 椎体强化术后新发椎体骨折的危险因素分析及对相邻节段力学影响的有限元研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 广州中医药大学, 2019. <https://doi.org/10.27044/d.cnki.ggzou.2019.001054>
- [45] 杨惠林, 刘强, 唐海. 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.
- [46] 杜亚雷, 何保, 滕涛. 骨玉质疏松性椎体压缩骨折 PVP 或 PKP 术后邻近椎体再骨折的危险因素研究进展[J]. 实用医学杂志, 2016, 32(9): 1379-1381.
- [47] 徐林飞, 胡侦明, 江维, 等. 明胶海绵预注射在椎体成形术中预防骨水泥渗漏的体外研究[J]. 重庆医科大学学报, 2015, 40(2): 207-211.
- [48] 廖一峰, 周呈强, 李华, 等. 骨水泥明胶海绵复合体椎内预填充技术在椎体成形术中预防骨水泥渗漏的临床观察[J]. 实用骨科杂志, 2023, 29(2): 153-156. <https://doi.org/10.13795/j.cnki.sgkz.2023.02.010>
- [49] Li, L.H., Sun, T.S., Liu, Z., *et al.* (2013) Comparison of Unipedicular and Bipedicular Percutaneous Kyphoplasty for Treating Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: A Meta-Analysis. *Chinese Medical Journal (English)*, **126**, 3956-3961.
- [50] Tang, S., Fu, W., Zhang, H., *et al.* (2019) Efficacy and Safety of High-Viscosity Bone Cement Vertebroplasty in Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures with Intravertebral Cleft. *World Neurosurgery*, **132**, e739-e745.
- [51] Sun, H.L., Li, C.D., Zhu, J.L., *et al.* (2015) Clinical Research of Percutaneous Vertebroplasty or Percutaneous Kyphoplasty for Treating Osteoporotic Vertebral Compression Fractures Induced by Glucocorticosteroid. *Journal of Peking University (Health Science)*, **47**, 242-247.
- [52] Price, C., Zhou, X., Li, W., *et al.* (2011) Real-Time Measurement of Solute Transport within the Lacunar-Canalicular System of Mechanically Loaded Bone: Direct Evidence for Load-Induced Fluid Flow. *Journal of Bone and Mineral Research*, **26**, 277-285. <https://doi.org/10.1002/jbmr.211>
- [53] Trout, A.T., Kallmes, D.F., Lane, J.I., *et al.* (2006) Subsequent Vertebral Fractures after Vertebroplasty: Association with Intraosseous Clefts. *American Journal of Neuroradiology*, **27**, 1586-1591.
- [54] 余伟波, 梁德, 江晓兵, 等. 椎体内裂隙及其位置对骨质疏松椎体压缩骨折疗效影响[J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25(8): 690-694.
- [55] Dai, C., Liang, G., Zhang, Y., Dong, Y. and Zhou, X. (2022) Risk Factors of Vertebral Refracture after PVP or PKP for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures, Especially in Eastern Asia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **17**, 161. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03038-z>
- [56] 李晓华, 余丽君, 范金鹏, 等. 夹心椎体小剂量骨水泥预防性强化治疗“三明治”型骨质疏松性椎体压缩骨折的临床分析[J]. 蚌埠医学院学报, 2021, 46(10): 1435-1439. <https://doi.org/10.13898/j.cnki.issn.1000-2200.2021.10.028>
- [57] 尤瑞金, 杨德育, 吕宏升, 等. 椎体强化术后邻近椎体再骨折的治疗[J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24(14): 1274-1277.