

## •综述•

## 股骨假体周围骨折研究进展

诸灵祺 赵少坚 谢黎 谢威 翟文亮

**摘要** 股骨假体周围骨折是全髋关节置换术的严重并发症，Vancouver 分型是指导股骨假体周围骨折临床治疗最常用的分型。股骨假体周围骨折的处理需要考虑骨折、假体、骨量、患者情况以及医师经验等。该文从股骨假体周围骨折的流行病学入手，分析导致骨折的危险因素，通过 Vancouver 分型探讨其治疗原则及常用方法，以期对股骨假体周围骨折的诊疗有所帮助。

**关键词** 股骨假体周围骨折；Vancouver 分型；治疗

**DOI:** 10.3969/j.issn.1673-7083.2023.05.001

全髋关节置换术是治疗终末期髋关节骨关节炎的有效方法。随着人口老龄化程度不断上升及人们对生活质量要求的不断提高，全髋关节置换术的手术量将进一步增长。髋关节假体周围骨折是髋关节翻修手术的常见原因之一，其中股骨假体周围骨折（PFF）约占翻修手术的 3.5%。PFF 增加了患者的医疗负担，且有较高的死亡率，了解其特点，对于临床诊疗具有重要意义。

## 1 PFF 的流行病学和危险因素

随着全髋关节置换术的适应症逐渐扩大，手术并发症也随之增加。全髋关节置换术假体周围骨折发生率在手术中为 1.7%，术后 1 年为 0.4%，术后 5 年为 0.8%<sup>[1-2]</sup>。而髋关节翻修术后发生 PFF 更为常见，发生率为 4%<sup>[3]</sup>。PFF 是全髋关节置换术的严重并发症<sup>[4-5]</sup>，其中髋臼侧假体周围骨折较股骨侧少见<sup>[6]</sup>，70% 的骨折发生前已存在假体松动<sup>[7]</sup>。

初次全髋关节置换手术中发生 PFF 的危险因素主要包括髋关节发育不良、小转子下方 10 cm 处股骨髓腔直径与股骨外径之间比值（CBR） $\geq 0.49$  和高龄患者<sup>[8]</sup>。大多数骨折的发生与假体植入过程直接相关<sup>[9]</sup>。与后路和侧路手术相比，前路手术的早期翻修、假体周围骨折和假体松动发生率更

高<sup>[10-11]</sup>。肥胖也是 PFF 发生的高危因素，当患者体质指数（BMI） $\geq 40 \text{ kg/m}^2$ ，手术死亡率和假体周围骨折发生的风险均较高<sup>[12]</sup>。术中 PFF 发生最重要的影响因素是使用生物型假体柄，其 PFF 发生率为 1.6%，而使用骨水泥型假体柄的 PFF 发生率为 0.7%<sup>[13]</sup>。此外，女性、年龄超过 80 岁，存在股骨头缺血性坏死、髋关节发育不良和同侧髋关节手术史等，术中 PFF 发生风险也会增加<sup>[13]</sup>。术后 PFF 通常由跌倒等低能量损伤引起，但假体柄松动、严重骨质溶解或假体周围压力增高也可能引起 PFF 发生<sup>[14]</sup>。

## 2 PFF 的分型

通过对 PFF 进行分型，能准确判断股骨假体的稳定性，为选择治疗方案提供依据。PFF 最常用的分型为 Vancouver 分型，其基于骨折部位、植入物稳定性和骨质进行分型<sup>[15]</sup>。Vancouver A 型指发生在股骨转子区域的骨折，其细分为 A<sub>G</sub> 型（大转子骨折）和 A<sub>L</sub> 型（小转子骨折）；Vancouver B 型是股骨假体柄周围的骨折，根据假体稳定性和骨量进一步分为 3 型：B1 型，假体固定牢固，无明显骨量丢失；B2 型，有假体松动，但无明显骨量丢失；B3 型，有假体松动，并有严重骨丢失。Vancouver C 型是发生于距假体尖端较远处的骨折。见下页图 1。

一些学者对 PFF 分型进行了进一步探讨<sup>[17-19]</sup>。2014 年 Duncan 等<sup>[20]</sup>将 Vancouver 分型与 AO/OTA 分型相结合，制定出统一分型系统（UCS），UCS 分型对 Vancouver 分型进行了扩展，尽管评估参数增加，但仍然可靠有效。PFF 的 UCS 分型可以分为 A 型、B 型、C 型、D 型、E 型和 F 型<sup>[20]</sup>。A 型

基金项目：国家骨科与运动康复临床医学研究中心创新基金（2023-NCRC-CXJJ-ZC-01）、2022 年厦门大学附属东南医院自主科研项目基金（22ZD003）、福建省自然科学基金（2020J01135）

作者单位：361102，厦门大学医学院（诸灵祺）；363000 福建漳州，联勤保障部队第九〇九医院（厦门大学附属东南医院）骨科（全军骨科中心）（诸灵祺、赵少坚、谢黎、谢威、翟文亮）

通信作者：翟文亮 E-mail: wlzhai1971@xmu.edu.cn

为骨突型可分为 A1 型（大转子骨折）和 A2 型（小转子骨折）。B 型为假体骨床型，可分为 B1 型（假体固定良好）、B2 型（假体松动）和 B3 型（骨折周围骨质质量差）。C 型为未涉及假体骨床型，指骨折距离假体骨床有一定距离。D 型为分隔型，指

骨折远、近端均有人工关节。E 型为双骨型，指同一人工关节周围出现 2 处以上不同部位骨折。F 型骨折不常见，其特点是原关节置换手术中并未置换关节面，但手术后发生关节面骨折，且骨折可直接影响关节<sup>[20]</sup>。

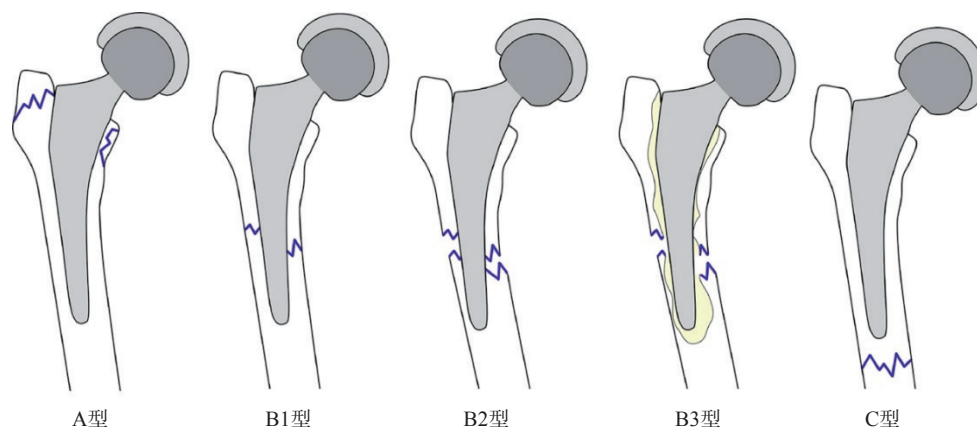


图 1 PFF Vancouver 分型示意图

（资料来源：参考文献16）

### 3 PFF 的治疗

PFF 是全髋关节置换手术后较难处理的并发症之一<sup>[21]</sup>，对其最佳治疗方法尚缺乏统一意见，但治疗原则是明确的，即对于移位明显的骨折可行切开复位内固定，假体松动的需行翻修手术，骨缺损明显的需植骨。

2018 年，Bates 等<sup>[22]</sup>对美国 and 加拿大的 96 位骨科医生进行问卷调查，回收的 89 份有效问卷结果显示，骨科医生对于 Vancouver B1 型骨折的治疗尚缺乏共识，有必要进行大型前瞻性随机对照试验以确定最佳处理方法。该调查也发现，对于 Vancouver A<sub>G</sub> 型骨折，选择保守治疗和手术治疗（包括切开复位内固定）的医生分别为 61.8% 和 36.0%；对于 Vancouver A<sub>L</sub> 型骨折，91.0% 的医生选择非手术治疗；对于 Vancouver B1 型骨折，大多数医生认为切开复位内固定是必要的，在内固定选择上，51.1% 的医生认同钢板内固定，45.5% 的医生赞同线缆联合或不联合异体骨板内固定；对于 Vancouver B2 型骨折，50.6% 的医生选择行翻修手术，39.3% 的医生选择翻修联合异体骨板手术；对于 Vancouver B3 型骨折，70.8% 的医生同意行翻修联合异体骨板手术；对于 Vancouver C 型骨折，75.3% 的医生支持行切开复位内固定手术。

#### 3.1 Vancouver A 型骨折

Vancouver A 型骨折为股骨转子区域骨折，可以进一步细分为 A<sub>G</sub> 型骨折和 A<sub>L</sub> 型骨折。

A<sub>G</sub> 型骨折为大转子骨折，骨折无明显移位时可行保守治疗<sup>[23-26]</sup>，包括限制负重、卧床休息、保持患髋外展姿势以减少外展肌牵拉；如果骨折移位明显，可行切开复位内固定手术，视骨折具体情况选择钢丝、螺钉或钩钢板等材料固定。

临床上，大多数 A<sub>G</sub> 型骨折患者无明显移位或稍移位，骨折一般由外展肌和股外侧肌牵拉引起，骨折通常是稳定的，可行非手术治疗。Misur 等<sup>[25]</sup>指出，对于骨折移位超过 1 cm 且疼痛不好转的患者，倾向于使用线缆板进行固定。然而，线缆板可能引起软组织刺激<sup>[26]</sup>。A<sub>G</sub> 型骨折是否需要手术治疗，取决于骨折移位情况、患者的临床症状和功能要求。

A<sub>L</sub> 型骨折为小转子骨折，对于此类骨折判断其是否累及股骨距很重要。未累及股骨距的患者可采用保守治疗，若骨折累及内侧支撑，涉及股骨距，可能导致假体柄松动，在这种情况下，需要对骨折进行环扎固定，甚至假体翻修。累及小转子的股骨近端假体周围骨折并不常见，由于此类骨折是髂腰肌附着的撕脱性骨折，不会破坏假体

柄的稳定性,所以可选择非手术治疗。相比之下,小转子存在所谓的“新 B2”型假体周围骨折,其中包括近端内侧股骨皮层的一部分。有学者指出,需要将这种骨折与 A<sub>L</sub> 型骨折区分开来,因为其假体柄松动有关,需要早期干预<sup>[27]</sup>。

### 3.2 Vancouver B 型骨折

对于涉及股骨假体柄周围的 Vancouver B 型骨折,可以根据假体是否稳定及骨丢失程度选择不同的固定方式。

Vancouver B1 型骨折发生在股骨假体柄周围,且假体能保持良好固定,骨质未见明显缺失,此类骨折可以行骨折复位内固定,视情况选择锁定钢板、钢缆等不同内固定材料。然而其最佳治疗方法仍存在很多争议,尤其在同种异体骨板、钢缆和锁定螺钉的使用方面。2016 年,Moazen 等<sup>[28]</sup>发现,远皮质锁定螺钉在保持股骨侧假体周围骨折固定结构整体强度的同时,可以降低锁定钢板的有效刚度,增加骨折微动。Demos 等<sup>[29]</sup>测试了 4 种固定结构发现,锁定或非锁定螺钉是等效的,建议采用锁定或非锁定螺钉联合线缆固定治疗 Vancouver B1 型骨折。Lewis 等<sup>[30]</sup>对采用钢缆、单皮质锁定螺钉、双皮质锁定螺钉三种不同固定方式进行比较,发现与单皮质锁定螺钉和钢缆相比,使用双皮质锁定螺钉可提高近端固定的稳定性,而钢缆在抗轴向和扭转压力方面则略逊一筹。Sariyilmaz 等<sup>[31]</sup>对同种异体骨板的生物力学优势及其位置对 Vancouver B1 型骨折的影响进行评估,他们分别使用外侧钢板、外侧钢板和内侧骨板、外侧钢板和前侧骨板进行固定,发现外侧钢板和内侧骨板固定的表现最佳。Moore 等<sup>[32]</sup>的研究认为,使用或不使用同种异体骨板并不影响 Vancouver B1 型骨折的愈合率。Min 等<sup>[33]</sup>对 Vancouver B1 型骨折患者分别采用微创加压锁定钢板(21 例)和切开复位内固定(19 例)两种方法进行治疗,他们发现,两种治疗方法的术后影像学表现和治疗效果相当,而使用微创加压锁定钢板的患者,术中并发症更少。

也有学者对 Vancouver B1 型和 B2 型骨折患者应用非手术治疗的方法。Lee 等<sup>[34]</sup>采用保守治疗方法治疗 Vancouver B1 型和 B2 型骨折,结果显示 Vancouver B1 型骨折患者治疗的优良率为 100%,B2 型患者为 75%。据此,证实了少部分 Vancouver B1 型和 B2 型骨折也可通过非手术治疗获得成功。

Vancouver B2 型骨折患者出现股骨假体松动时需要行翻修手术,可供翻修的假体包括生物型多孔涂层圆柱形柄、锥形柄和骨水泥柄<sup>[35]</sup>。2017 年,Khan 等<sup>[36]</sup>回顾了 22 项涉及 Vancouver B2 型骨折的研究,他们发现,在 343 例患者中有 298 例(86.8%)实施了翻修手术,45 例(12.6%)实施了单纯内固定术,而需再次手术者在行翻修手术和单纯内固定术患者中分别占 12.4% 和 13.3%。

Vancouver B3 型骨折发生于股骨假体周围或远端,由于假体松动的同时伴有明显的骨量丢失,这些患者需要使用加长柄或翻修柄进行翻修,同时骨丢失需要植骨并固定。对于 Vancouver B3 型骨折,如果没有足够的近端骨量支撑,不适合采用近端固定假体治疗。Khan 等<sup>[36]</sup>治疗 167 例 Vancouver B3 型骨折,其中 160 例采用翻修术,8 例采用内固定术。结果显示,行翻修术的患者中 14.4% 需再次手术,行内固定治疗的患者中 28.6% 需再次手术。因此,对于 Vancouver B3 型骨折,采取内固定治疗有较高的失效风险。2018 年,Li 等<sup>[37]</sup>研究发现,采用髓腔内松质骨打压植骨联合髓腔外同种异体皮质骨支撑的方法治疗 Vancouver B3 型骨折能够获得理想的临床效果。

Vancouver B3 型骨折的治疗方案因患者年龄和活动水平而不同,对于大多数患者,翻修手术是必要的,使用非骨水泥型锥形柄可以提供最大的稳定性。Parry 等<sup>[38]</sup>使用非骨水泥型锥形柄治疗 61 例 Vancouver B2 型和 B3 型骨折,辅以钢丝、钢缆、钢板、骨板等固定方式,他们发现,约 13% 的患者股骨柄出现下沉(下沉范围 8~28 mm,均值为 18 mm),但即使出现下沉也无需翻修,5 年无假体翻修的生存率为 93%。Russell 等<sup>[39]</sup>采用有限元研究比较圆柱形柄和锥形柄假体的初始稳定性,对两种模型均采用紧密压配的最高接触压力。结果显示,减少压配时,圆柱形柄和锥形柄模型的接触压力分别降低 79.8% 和 78.5%;相比于锥形柄,圆柱形柄可以减少微动,从而获得更好的稳定性,而锥形柄会造成更高的界面接触压力,导致骨质流失增加。此外,他们认为一旦圆柱形柄出现下沉,失败的风险较高。同种异体骨板则适用于存在严重骨质流失且年轻患者中无法使用锥形柄的情况<sup>[40]</sup>。而对于年龄较大和活动较少的患者,近端股骨置换术也是一种选择,但很少被使用<sup>[41]</sup>。



### 3.3 Vancouver C 型骨折

由于 Vancouver C 型骨折发生在距假体尖端较远的部位, 切开复位内固定是首选治疗。当骨折不影响假体稳定性时, 可以考虑行记忆合金环抱器、锁定钢板等固定。对于距离股骨假体柄尖端超过 6 cm 的股骨远端骨折, 使用逆行股骨钉也是很好的治疗方案。如果骨折部位靠近远端或累及股骨假体, 以及不适合采用髓内固定时, 则可使用髌钢板固定或微创固定系统 (LISS) 钢板等固定。对于股骨假体远端骨折, 仍需要判断股骨假体是否出现松动, 否则单纯内固定可能效果欠佳。与传统钢板相比, 使用锁定钢板治疗 Vancouver C 型骨折的再手术率更低<sup>[42]</sup>。

### 4 结语

对于 PFF, 临床医生需要根据骨折类型、骨量、患者自身情况进行充分的术前准备, 制定个体化治疗方案。任何骨折分型都不是绝对的, 需要综合考虑各种因素, 尤其要结合患者全身情况选择治疗方法。多数 Vancouver B 型骨折需要手术治疗, 而关于 B1 型骨折是否需要手术以及 B2 型骨折是否需要翻修, 尚未形成共识。对于 B2 型和 B3 型骨折, 应用广泛涂层生物型加长柄假体进行翻修手术可能成为未来的趋势。PFF 治疗的研究重点在 Vancouver B 型骨折的手术治疗上, 并向微创、生物固定的方向发展。

### 参考文献

- [1] Della Rocca GJ, Leung KS, Pape HC. Periprosthetic fractures: epidemiology and future projections[J]. J Orthop Trauma, 2011, 25(Suppl 2): S66-S70.
- [2] Abdel MP, Watts CD, Houdek MT, et al. Epidemiology of periprosthetic fracture of the femur in 32 644 primary total hip arthroplasties: a 40-year experience[J]. Bone Joint J, 2016, 98B(4): 461-467.
- [3] Lindahl H. Epidemiology of periprosthetic femur fracture around a total hip arthroplasty[J]. Injury, 2007, 38(6): 651-654.
- [4] Zheng H, Gu H, Shao H, et al. Treatment and outcomes of Vancouver type B periprosthetic femoral fractures[J]. Bone Joint J, 2020, 102B(3): 293-300.
- [5] Fenelon C, Murphy EP, Kearns SR, et al. A growing challenge: the rise of femoral periprosthetic fractures: an 11-year observational study[J]. Surgeon, 2020, 18(1): 19-23.
- [6] Springer BD, Berry DJ, Lewallen DG. Treatment of periprosthetic femoral fractures following total hip arthroplasty with femoral component revision[J]. J Bone Joint Surg Am, 2003, 85(11): 2156-2162.
- [7] Lindahl H, Malchau H, Herberts P, et al. Periprosthetic femoral fractures classification and demographics of 1049 periprosthetic femoral fractures from the Swedish National Hip Arthroplasty Register[J]. J Arthroplasty, 2005, 20(7): 857-865.
- [8] Zhang Z, Zhuo Q, Chai W, et al. Clinical characteristics and risk factors of periprosthetic femoral fractures associated with hip arthroplasty: a retrospective study[J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(35): e4751.
- [9] Konow T, Baetz J, Melsheimer O, et al. Factors influencing periprosthetic femoral fracture risk[J]. Bone Joint J, 2021, 103B(4): 650-658.
- [10] Hoskins W, Bingham R, Lorimer M, et al. Early rate of revision of total hip arthroplasty related to surgical approach: an analysis of 122,345 primary total hip arthroplasties[J]. J Bone Joint Surg Am, 2020, 102(21): 1874-1882.
- [11] Hoskins W, Rainbird S, Peng Y, et al. The effect of surgical approach and femoral prosthesis type on revision rates following total hip arthroplasty: an analysis of the most commonly utilized cementless stems[J]. J Bone Joint Surg Am, 2022, 104(1): 24-32.
- [12] Jeschke E, Citak M, Günster C, et al. Obesity increases the risk of postoperative complications and revision rates following primary total hip arthroplasty: an analysis of 131,576 total hip arthroplasty cases[J]. J Arthroplasty, 2018, 33(7): 2287-2292.e1.
- [13] Brüggemann H, Dalen I, Bache-Mathiesen LK, et al. Incidence and risk factors of intraoperative periprosthetic femoral fractures during primary total hip arthroplasty: 218,423 cases reported to the Norwegian Arthroplasty Register between 1987 and 2020[J]. Acta Orthop, 2022, 93: 405-412.
- [14] Ramavath A, Lamb JN, Palan J, et al. Postoperative periprosthetic femoral fracture around total hip replacements: current concepts and clinical outcomes[J]. EFORT Open Rev, 2020, 5(9): 558-567.
- [15] Brady OH, Garbuz DS, Masri BA, et al. The reliability and validity of the Vancouver classification of femoral fractures after hip replacement[J]. J Arthroplasty, 2000, 15(1): 59-62.
- [16] Yi PH, Della Valle CJ, Fishman EK, et al. Imaging of periprosthetic fractures of the hip and knee[J]. Semin Roentgenol, 2021, 56(1): 90-105.
- [17] Parrish TF, Jones JR. Fracture of the femur following prosthetic arthroplasty of the hip. Report of nine cases[J]. J Bone Joint Surg Am, 1964, 46: 241-248.
- [18] Johansson JE, McBroom R, Barrington TW, et al. Fracture of the ipsilateral femur in patients with total hip replacement[J]. J Bone Joint Surg Am, 1981, 63(9): 1435-1442.
- [19] Bethea JS 3rd, DeAndrade JR, Fleming LL, et al. Proximal femoral fractures following total hip arthroplasty[J]. Clin Orthop Relat Res, 1982, 170: 95-106.
- [20] Duncan CP, Haddad FS. The Unified Classification System (UCS): improving our understanding of periprosthetic fractures[J]. Bone Joint J, 2014, 96B(6): 713-716.
- [21] Rayan F, Dodd M, Haddad FS. European validation of the Vancouver classification of periprosthetic proximal femoral fractures[J]. J Bone Joint Surg Br, 2008, 90(12): 1576-1579.
- [22] Bates BD, Walmsley DW, Vicente MR, et al. An international, cross-sectional survey of the management of Vancouver type B1

- periprosthetic femoral fractures around total hip arthroplasties[J]. Injury, 2018, 49(2): 364-369.
- [23] Pritchett JW. Fracture of the greater trochanter after hip replacement[J]. Clin Orthop Relat Res, 2001, 390: 221-226.
- [24] 刘海昌, 刘刚. 髋关节置换术后大转子骨折的治疗[J]. 中华医学杂志, 2012, 92(19): 1349-1351.
- [25] Misur PN, Duncan CP, Masri BA. The treatment of periprosthetic femoral fractures after total hip arthroplasty: a critical analysis review[J]. JBJS Rev, 2014, 2(8): e3.
- [26] Zarin JS, Zurakowski D, Burke DW. Claw plate fixation of the greater trochanter in revision total hip arthroplasty[J]. J Arthroplasty, 2009, 24(2): 272-280.
- [27] van Houwelingen AP, Duncan CP. The pseudo A(LT) periprosthetic fracture: it's really a B2[J]. Orthopedics, 2011, 34(9): e479-e481.
- [28] Moazen M, Leonidou A, Pagkalos J, et al. Application of far cortical locking technology in periprosthetic femoral fracture fixation: a biomechanical study[J]. J Arthroplasty, 2016, 31(8): 1849-1856.
- [29] Demos HA, Briones MS, White PH, et al. A biomechanical comparison of periprosthetic femoral fracture fixation in normal and osteoporotic cadaveric bone[J]. J Arthroplasty, 2012, 27(5): 783-788.
- [30] Lewis GS, Caroom CT, Wee H, et al. Tangential bicortical locked fixation improves stability in vancouver B1 periprosthetic femur fractures: a biomechanical study[J]. J Orthop Trauma, 2015, 29(10): e364-e370.
- [31] Sariyilmaz K, Dikici F, Dikmen G, et al. The effect of strut allograft and its position on Vancouver type B1 periprosthetic femoral fractures: a biomechanical study[J]. J Arthroplasty, 2014, 29(7): 1485-1490.
- [32] Moore RE, Baldwin K, Austin MS, et al. A systematic review of open reduction and internal fixation of periprosthetic femur fractures with or without allograft strut, cerclage, and locked plates[J]. J Arthroplasty, 2014, 29(5): 872-876.
- [33] Min BW, Cho CH, Son ES, et al. Minimally invasive plate osteosynthesis with locking compression plate in patients with Vancouver type B1 periprosthetic femoral fractures[J]. Injury, 2018, 49(7): 1336-1340.
- [34] Lee YK, Kim JT, Kim KC, et al. Conservative treatment for minimally displaced type B periprosthetic femoral fractures[J]. J Arthroplasty, 2017, 32(11): 3529-3532.
- [35] Tsiridis E, Haddad FS, Gie GA. The management of periprosthetic femoral fractures around hip replacements[J]. Injury, 2003, 34(2): 95-105.
- [36] Khan T, Grindlay D, Ollivere BJ, et al. A systematic review of Vancouver B2 and B3 periprosthetic femoral fractures[J]. Bone Joint J, 2017, 99B(Suppl 4): S17-S25.
- [37] Li D, Hu Q, Kang P, et al. Reconstructed the bone stock after femoral bone loss in Vancouver B3 periprosthetic femoral fractures using cortical strut allograft and impacted cancellous allograft[J]. Int Orthop, 2018, 42(12): 2787-2795.
- [38] Parry JA, Hernandez NM, Berry DJ, et al. Risk factors for subsidence of modular fluted tapered stems used during revision total hip arthroplasty for periprosthetic hip fractures[J]. J Arthroplasty, 2018, 33(9): 2967-2970.
- [39] Russell RD, Huo MH, Rodrigues DC, et al. Stem geometry changes initial femoral fixation stability of a revised press-fit hip prosthesis: a finite element study[J]. Technol Health Care, 2016, 24(6): 865-872.
- [40] Parvizi J, Vegari DN. Periprosthetic proximal femur fractures: current concepts[J]. J Orthop Trauma, 2011, 25(Suppl 2): S77-S81.
- [41] Viste A, Perry KI, Taunton MJ, et al. Proximal femoral replacement in contemporary revision total hip arthroplasty for severe femoral bone loss: a review of outcomes[J]. Bone Joint J, 2017, 99B(3): 325-329.
- [42] Chatziagorou G, Lindahl H, Kärrholm J. Lower reoperation rate with locking plates compared with conventional plates in Vancouver type C periprosthetic femoral fractures: a register study of 639 cases in Sweden[J]. Injury, 2019, 50(12): 2292-2300.

( 收稿时间 : 2023-04-07 )

( 本文编辑 : 杨晓娟 )