

· 荟萃分析 ·

## 纳米羟基磷灰石与聚醚醚酮椎间融合器的比较<sup>△</sup>

杨汉立<sup>1</sup>, 钟远鸣<sup>2\*</sup>, 何启斌<sup>1</sup>, 韩富富<sup>1</sup>

(1. 广西中医药大学, 广西南宁 530001; 2. 广西中医药大学第一附属医院, 广西南宁 530023)

**摘要:** [目的] 系统评价纳米羟基磷灰石 (nano-hydroxyapatite, NHP) 与聚醚醚酮 (polyetheretherketone, PEEK) 两种不同材料融合器在脊柱融合术中应用效果。[方法] 计算机检索 2021 年 10 月以前收录入中国知网、万方、维普、EMBASE、PubMed、The Cochrane library 中国生物医学 (CBM) 数据库的文献, 搜集有关 NHP 与 PEEK 融合器在脊柱融合术中效果对比的临床研究, 采用 Stata/SE 12.0 软件对结局指标进行荟萃分析。[结果] 共纳入 6 个研究, 共包含 654 例患者, 其中 NHP 组 365 例, PEEK 组 289 例。荟萃分析结果显示: 与 PEEK 组相比, NHP 组在椎间隙高度 (WMD=-0.02, 95%CI: -0.21~0.17, P=0.843)、融合率 (RR=1.002, 95%CI: 0.96~1.05, P=0.911)、塌陷率 (RR=0.824, 95%CI: 0.47~1.44, P=0.494)、术后功能障碍指数 (WMD=0.13, 95%CI: -0.77~1.03, P=0.779)、术后视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS) (WMD=0.11, 95%CI: -0.40~0.62, P=0.675)、融合节段曲度 (WMD=-0.13, 95%CI: -0.63~0.36, P=0.598)、手术时间 (WMD=-2.26, 95%CI: -7.17~2.64, P=0.366) 和术中出血量 (WMD=1.08, 95%CI: -9.66~11.83, P=0.844) 方面能达到相似的临床效果, 并且差异均无统计学意义。[结论] 与 PEEK 组相比, NHP 组具有相似的安全性及临床效果, 是一种可代替 PEEK 融合器且较为理想的椎间支撑植骨材料。

**关键词:** 纳米羟基磷灰石, 聚醚醚酮, 椎间融合器, 脊柱融合术, 荟萃分析

**中图分类号:** R687      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-8478 (2022) 16-1473-05

**Nano hydroxyapatite versus polyetheretherketone cage for intervertebral fusion: a meta-analysis** // YANG Han-li<sup>1</sup>, ZHONG Yuan-ming<sup>2</sup>, HE Qi-bin<sup>1</sup>, HAN Fu-fu<sup>1</sup>. 1. Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530001, China; 2. First Affiliated Hospital, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530023, China

**Abstract:** [Objective] To systematically compare the clinical outcomes of nano-hydroxyapatite (NHP) versus polyetheretherketone (PEEK) cages used in spinal interbody fusion. [Methods] The clinical studies on the comparison of spinal fusion efficacy with NHP versus PEEK cages were collected from CNKI, Wanfang, VIP, EMBASE, PubMed and The Cochrane Library CBM databases before October 2021. Meta-analysis of outcome indicators was conducted using Stata/SE 12.0 software. [Results] A total of 6 studies were included into the study, involving 654 patients, including 365 patients in the NHP group and 289 patients in the PEEK group. As result of the meta-analysis, there were no significant differences between the two groups in terms of intervertebral height (WMD=-0.02, 95% CI: -0.21~0.17, P=0.843), fusion rate (RR=1.002, 95% CI: 0.96~1.05, P=0.911), collapse rate (RR=0.824, 95% CI: 0.47~1.44, P=0.494), postoperative ODI (WMD=0.13, 95% CI: -0.77~1.03, P=0.779), postoperative VAS score (WMD=0.11, 95% CI: -0.40~0.62, P=0.675), fusion level curvature (WMD=-0.13, 95% CI: -0.63~0.3, P=0.598), operative time (WMD=-2.26, 95% CI: -7.17~2.64, P=0.366), and intraoperative blood loss (WMD=1.08, 95% CI: -9.66~11.83, P=0.844). [Conclusion] The NHP cage proves similar safety and clinical outcomes with the PEEK cage, and the former is an ideal intervertebral fusion device to replace the latter.

**Key words:** nano-hydroxyapatite, polyetheretherketone, interbody fusion cage, spinal fusion, meta-analysis

脊柱融合术是治疗一系列脊柱退变性疾病的常规手术, 目的是加速骨融合以达到减轻疼痛、重建脊柱稳定性和矫正畸形等临床效果<sup>[1]</sup>。随着人们工作压力

不断增加, 以疼痛、麻木为主要症状的脊柱退变性疾病严重影响着人们的工作和生活质量, 部分病情严重者通常需要手术干预。脊柱融合术是目前临床上广泛

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2022.16.07

**△基金项目:** 国家自然科学基金项目 (编号:81760874); 广西重点研发计划项目 (编号:桂科 AB20159018); 中医学广西一流学科项目 (编号:桂教科研 [2018]12 号)

**作者简介:** 杨汉立, 硕士研究生, 医师, 研究方向: 脊柱外科, (电话)13084912038, (电子信箱)2038992307@qq.com

\* **通信作者:** 钟远鸣, (电话)13507715643, (电子信箱)zym196395@sina.com

运用且行之有效的治疗方式,而椎间融合器的运用又对融合手术患者的融合率、椎间隙高度恢复和术后功能改善程度有着重要的影响<sup>[2,3]</sup>。有研究表明聚醚醚酮(polyetheretherketone, PEEK)融合器具有良好的生物相容性,能够有效减少融合器周边骨质压缩、骨质吸收、假关节形成等术后并发症,提高融合率<sup>[4,5]</sup>。但是,陈伟等<sup>[6]</sup>认为PEEK融合器作为一种无机惰性材料其植骨融合能力有限,且整体价格较为昂贵。此外,刘瑞端等<sup>[7]</sup>也认为PEEK融合器表面设计及材料化学特性对其融合率均有不利影响。近些年来,纳米羟基磷灰石(nano-hydroxyapatite, NHP)融合器作为一种新型骨修复和重建材料逐渐应用于临床并取得了较好的疗效。有相关文献指出,NHP融合器具备较好的组织相容性、弹性模量、力学稳定性、安全性,在植骨支撑方面具有较高的植骨融合率,植骨吸收、融合器下沉、移位等并发症少的特点,是一种良好的植骨支撑材料<sup>[8]</sup>。目前已有一些临床研究对NHP融合器与PEEK融合器在脊柱融合术的运用疗效进行了对比,但目前尚未有相关系统评价对其结论进行论证。因此,本文章收集了相关文献,拟采用荟萃分析的方法综合分析这两种融合器的有效性。

## 1 资料与方法

### 1.1 纳入与排除标准

纳入标准:(1)截止2021年10月31日在国内外公开发表的关于脊柱融合手术对NHP和PEEK融合器进行对比的临床研究;(2)确诊为脊柱退行性疾病且需要脊柱融合手术治疗的患者;(3)手术方式分别为采用NHP融合器或PEEK融合器治疗;(4)观察指标:包括融合率、塌陷率、椎间隙高度、融合节段曲度、手术时间、术中出血量、术后功能障碍指数和视觉模拟疼痛评分(visual analogue score, VAS)。

排除标准:(1)非NHP和PEEK融合器比较的临床研究;(2)综述文献、病例报告等;(3)数据无法获取、重复或者数据有误的研究;(4)生物力学和动物实验研究。

### 1.2 检索策略

检索中国知网、万方、维普、EMBASE、PubMed、CBM和The Cochrane library数据库。中文检索词包括聚氨基酸、纳米羟基磷灰石、硫酸钙、纳米骨、聚酰胺66、聚醚醚酮、PEEK、脊柱融合术、椎间融合器。英文检索词包括polyaminoacid、nano-hydroxyapatite、calcium sulfate、polyamide66 cage、polyetheretherke-

tone cage、PEEK、nano bone、spinal interbody fusion、cage。检索国内外NHP融合器对比PEEK融合器在脊柱融合术应用效果的文献,发表时间自建库起至2021年10月。

### 1.3 文献筛选和数据提取与评估

2名研究人员对文献进行筛选,然后将筛选后文献具体资料进行交叉核对,如果对筛选文献存在分歧,则通过第3位研究员进行评价决定。文献的筛选流程为:首先通过题目和摘要判断是否符合纳入标准,将明显不合格文献排除后,对文献进行全文阅读,根据纳入和排除标准再次筛选文献,最后拟定纳入文献。从文献中独立提取信息包括:第一作者、发表年份、年龄、干预方式、样本量、研究类型和结局指标等。

将纳入的随机对照试验(randomized controlled trials, RCT)采用Cochrane手册(Version 5.1.0)进行质量评价,评价方法为随机序列产生方式、盲法的实施、分配的隐藏、数据的完整性及其他偏倚等方面,对于完全满足以上标准的评为A级(低偏倚风险),部分满足者为B级(中等偏倚风险),如有任意标准完全不符合者则被评为C级(高偏倚风险)。队列研究使用纽卡斯尔-渥太华量表(NOS)进行质量评价,分别从选择、可比性、结果3个方面进行质量评价,满分为9分,其中>5分为高质量研究。

### 1.4 统计学方法

采用Cochrane协作网提供的RevMan 5.3软件制作风险偏倚评估图,同时使用Stata/SE 12.0软件进行数据荟萃分析。各研究之间异质性检验采用 $I^2$ 检验。当各研究间存在同质性时,采用固定效应模型进行荟萃分析;如各研究间存在异质性( $P<0.1$ ,  $I^2\geq 50\%$ ),排除显著临床异质性后,组间合并使用随机效应模型分析。不同研究类型进行亚组分析时,计量资料(椎间隙高度、融合节段曲度、术中出血量、手术时间、功能障碍指数和术后VAS评分等)采用加权均数差(weighted mean differences, WMD)或标准均数差(standard mean differences, SMD)及95% CI表示;二分类变量(融合率、塌陷率)采用RR值、95% CI表示,检验水准为 $P=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 检索结果

按照设定的检索策略查找到文献455篇,其中中文文献347篇,英文文献108篇,通过阅读题目、摘要和全文后,根据纳入和排除标准,最终纳入6篇研

究<sup>[6, 9-13]</sup>, 共654例患者, 其中NHP组365例, PEEK组289例, 文献筛选流程及结果见图1, 各研究的基线资料见表1。

## 2.2 文献质量评价结果

共纳入6个研究<sup>[6, 9-13]</sup>, 其中2个随机对照试验<sup>[6, 11]</sup>, 4个队列研究<sup>[9, 10, 12, 13]</sup>。2个随机对照试验均按随机原则进行病例分组, 但未具体描述随机方法、分配、评价和脱落情况, 文献等级评为B级; 4个队列研究经NOS量表评价, 2个队列研究为8分, 另外2个队列研究为7分, 4篇队列研究均为高质量, 见表1。

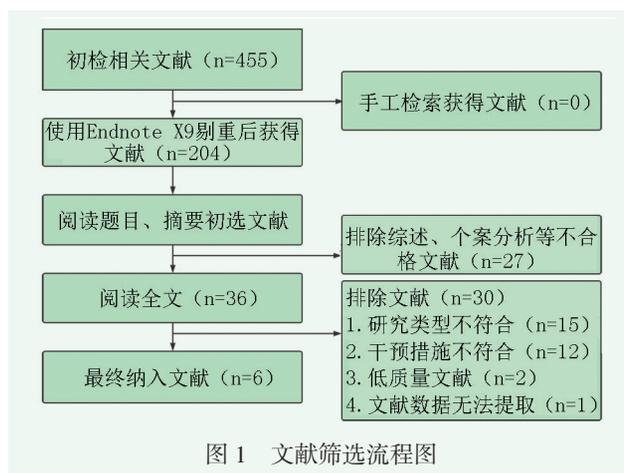


图1 文献筛选流程图

表1 纳入文献基本特征

作者/发表年份	研究类型	NHP组 (n)	PEEK组 (n)	随访时间 (月)	结局指标	NOS评分
陈伟 2020 <sup>[6]</sup>	随机对照试验	19	10	36	①③④⑤⑥⑦	B级
马龙冰 2016 <sup>[11]</sup>	随机对照试验	20	10	12	①④⑤⑥⑦	B级
Deng 2016 <sup>[12]</sup>	队列研究	124	142	24	①②③④⑤⑥⑦	8
刘宏宏 2012 <sup>[10]</sup>	队列研究	31	26	20	①②③④⑥	7
梁洁欣 2018 <sup>[9]</sup>	队列研究	124	50	52	①②③④⑤⑥⑦⑧	8
Hu 2019 <sup>[13]</sup>	队列研究	47	51	96.4	①②③④⑤⑥⑧	7

注: 结局指标, ①融合率; ②塌陷率; ③椎间隙高度; ④融合节段曲度; ⑤术中出血量; ⑥手术时间; ⑦功能障碍指数; ⑧VAS评分; “-”表示未提及

## 2.3 荟萃分析结果

### 2.3.1 椎间隙高度

纳入的5篇研究中<sup>[6, 9, 10, 12, 13]</sup>均比较了两组的椎间隙高度, 各研究间无显著异质性 ( $P=0.65$ ,  $I^2=0\%$ ), 采用固定效应模型进行荟萃分析, 两组比较结果显示: NHP组与PEEK组术后椎间隙高度的差异无统计学意义 ( $WMD=-0.02$ ,  $95\%CI: -0.21\sim 0.17$ ,  $P=0.843$ )。

### 2.3.2 融合率

纳入的6个研究中均比较了两组的融合率<sup>[6, 9-13]</sup>, 各研究间无显著异质性 ( $P=0.919$ ,  $I^2=0\%$ ), 采用固定效应模型进行荟萃分析, 两组比较结果显示: NHP组与PEEK组融合率的差异无统计学意义 ( $RR=1.0$ ,  $95\%CI: 0.96\sim 1.05$ ,  $P=0.911$ )。根据融合部位的不同进行亚组分析, 固定效应荟萃分析结果显示: 在腰椎融合节段中, NHP组与PEEK组相比, 差异无统计学意义 ( $RR=1.01$ ,  $95\%CI: 0.95\sim 1.07$ ,  $P=0.77$ )。在颈椎融合节段中, NHP组与PEEK组相比, 差异无统计学意义 ( $RR=0.99$ ,  $95\%CI: 0.95\sim 1.03$ ,  $P=0.65$ )。

### 2.3.3 塌陷率

纳入的4个研究中比较了两组的塌陷率<sup>[9, 10, 12, 13]</sup>, 各研究间无显著异质性 ( $P=0.53$ ,  $I^2=$

$0\%$ ), 采用固定效应模型进行荟萃分析, 两组比较结果显示: NHP组与PEEK组塌陷率的差异无统计学意义 ( $RR=0.82$ ,  $95\%CI: 0.47\sim 1.44$ ,  $P=0.494$ )。

### 2.3.4 术后功能障碍指数

纳入的4个研究中比较了两组的术后功能障碍指数<sup>[6, 9, 11, 12]</sup>, 各研究间无显著异质性 ( $P=0.992$ ,  $I^2=0\%$ ), 采用固定效应模型进行荟萃分析, 两组比较结果显示: NHP组与PEEK组术后功能障碍指数的差异无统计学意义 ( $WMD=0.13$ ,  $95\%CI: -0.77\sim 1.03$ ,  $P=0.779$ )。

### 2.3.5 术后VAS评分

纳入的2个研究中比较了两组的术后VAS评分<sup>[9, 13]</sup>, 各研究间无显著异质性 ( $P=0.778$ ,  $I^2=0\%$ ), 采用固定效应模型进行荟萃分析, 两组比较结果显示: NHP组与PEEK组术后VAS评分的差异无统计学意义 ( $WMD=0.11$ ,  $95\%CI: -0.40\sim 0.62$ ,  $P=0.675$ )。

### 2.3.6 融合节段曲度

纳入的6个研究中比较了两组的融合节段曲度<sup>[6, 9-13]</sup>, 各研究间无显著异质性 ( $P=0.619$ ,  $I^2=0\%$ ), 采用固定效应模型进行荟萃分析, 两组比较结果显示: NHP组与PEEK组融合节段曲度的差异无统计学意义 ( $WMD=-0.13$ ,  $95\%CI: -0.63\sim 0.36$ ,

$P=0.598$ )。根据融合部位的不同进行亚组分析,固定效应模型荟萃分析结果显示:在腰椎融合节段中,NHP组与PEEK组相比差异无统计学意义( $WMD=0.05$ ,  $95\%CI: -0.92\sim 1.02$ ,  $P=0.924$ )。在颈椎融合节段中,NHP组与PEEK组相比差异无统计学意义( $WMD=-0.20$ ,  $95\%CI: -0.77\sim 0.38$ ,  $P=0.504$ )。

### 2.3.7 手术时间

纳入的6个研究中比较了两组具体手术时间<sup>[6, 9-13]</sup>,各研究间无显著异质性( $P=0.604$ ,  $I^2=0\%$ ),采用固定效应模型进行荟萃分析,两组比较结果显示:NHP组与PEEK组手术时间的差异无统计学意义( $WMD=-2.26$ ,  $95\%CI: -7.17\sim 2.64$ ,  $P=0.366$ )。

### 2.3.8 术中出血量

纳入的5个研究中比较了两组具体术中出血量<sup>[6, 9, 11-13]</sup>,各研究间无显著异质性( $P=0.293$ ,  $I^2=19.1\%$ ),采用固定效应模型进行荟萃分析,两组比较结果显示:NHP组与PEEK组术中出血量的差异无统计学意义( $WMD=1.08$ ,  $95\%CI: -9.66\sim 11.83$ ,  $P=0.844$ )。

## 3 讨论

目前,脊柱融合术作为治疗脊柱退行性疾病较为常见的手术方法<sup>[14]</sup>,其借助椎间融合器可促进脊柱生理曲度的恢复以及维持脊柱的稳定性<sup>[15]</sup>。PEEK融合器是脊柱外科常用的置入材料,在促进骨性融合方面具有一定优越性和安全性<sup>[16, 17]</sup>,但制作工艺复杂、价格比较昂贵<sup>[6, 9]</sup>。有研究表明,在置入PEEK融合器时需要填充自体骨或同种异体骨,当植骨量不足时可能导致融合器与上下终板的骨组织不能紧密结合,从而诱发融合器微动、下沉等并发症<sup>[18, 19]</sup>。NHP融合器是一种新型的椎间融合器材料,由于其良好的生物活性、生物相容性、骨诱导性等特性,且制备工艺简单、价格低廉,现已逐渐被运用于脊柱外科手术中<sup>[20, 21]</sup>。目前,关于上述两种融合器在脊柱融合术中使用的优劣情况尚不明确,本文通过收集相关文献对它们的临床疗效进行对比,以期能为脊柱外科医师选择最佳的融合器提供循证医学依据。

手术时间和手术出血量均是脊柱融合手术的安全性评判指标,缩短手术时间和减少术中出血量能有效降低围手术期风险与并发症,尤其有利于促进术后康复<sup>[22]</sup>。本荟萃分析结果表明两组手术时间和术中出血量等方面均无明显差异。这表明两种融合

器具有相似的安全性。

研究表明,在脊柱融合手术中不同材料的融合器会直接影响植骨融合率、椎间隙高度、融合节段曲度的恢复<sup>[23]</sup>。临床上对于融合器的选择常需要考虑其骨传导性、生物相容性、价格等因素。PEEK融合器是一种具备耐腐蚀、高强度、高刚度、抗水解等机械性能的热塑性聚合物,但其表面疏水性严重影响了表面成骨效能<sup>[24]</sup>。为了获得更加理想的融合器材料,由此我国自主研发和设计了NHP融合器。邓乾兴等<sup>[25]</sup>报道使用NHP融合器在颈椎病前路椎间盘切除减压融合术中,获得了良好的植骨融合率、恢复融合节段曲度,并维持了椎间隙高度。本荟萃分析结果显示:根据NHP与PEEK融合器置入的部位不同进行亚组分析,结果显示两种不同材质的融合器表现出相似的融合率与塌陷率,这可能是由于这两种材料的融合器均具有相似的弹性模量,并且均通过增加融合器与终板之间的摩擦力和分散融合器表面的压力防止融合器迁移和下沉,有助于维持术后融合节段椎间隙高度和融合节段曲度,实现融合节段的稳定性,由此可推测两者之间均具有良好的生物力学属性。此外,相邻椎体软骨终板的处理差异也是影响椎体融合率和塌陷率的重要因素,虽然完整的保留终板可以为融合器提供最大强度的支撑力和降低塌陷率,但终板下的松质骨血运丰富具有较好的骨诱导性,较多的保留终板不利于促进椎间融合<sup>[26]</sup>。鉴于本次纳入的文献中均未具体描述软骨终板的处理情况,因此默认此次纳入的研究中在术中软骨终板的处理程度一致。本荟萃结果也显示有关VAS评分及功能障碍指数等方面在随访各个时间点上两者均无明显差异。这说明NHP融合器具有与PEEK融合器相似的临床疗效。

综上所述,NHP融合器与PEEK融合器具有相似的临床效果及安全性,也是一种比较理想的椎间支撑植骨替代材料。但是,由于本文纳入的临床研究仍然较少,仍需要开展更多大样本以及多中心的高质量临床试验,以便进行更深层次的分析与研究。

### 参考文献

- [1] 李春旭,田静静,雷鹏飞,等. 脊柱椎间融合可降解植骨材料增材制造及临床试验流程专家共识[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2021, 14(7): 584-591.
- [2] Alkalay RN, Adamson R, Groff MW. The effect of interbody fusion cage design on the stability of the instrumented spine in response to cyclic loading: an experimental study [J]. Spine J, 2018, 18(10): 1867-1876.

- [3] 王晨, 顾一飞, 袁文, 等. 可吸收脊柱椎间融合器研究进展 [J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21 (5): 486-489.
- [4] Arregui R, Aso J, Martínez Quiñones JV, et al. Follow-up of a new titanium-coated polyetheretherketone cage for the cervical spine [J]. *Orthop Rev (Pavia)*, 2020, 12 (1): 8359.
- [5] Jain A, Marrache M, Harris A, et al. Structural allograft versus PEEK implants in anterior cervical discectomy and fusion: a systematic review [J]. *Global Spine J*, 2020, 10 (6): 775-783.
- [6] 陈伟, 杨曦, 宋跃明, 等. 聚氨基酸/纳米羟基磷灰石/硫酸钙椎间融合器植骨融合治疗下腰椎退行性疾病的临床随访 [J]. 中华骨与关节外科杂志, 2020, 13 (1): 22-27.
- [7] 刘瑞端, 肖荣驰, 唐志宏, 等. 钛质与聚醚醚酮融合器用于腰椎后路减压椎间植骨融合内固定的效果比较 [J]. 中国组织工程研究, 2015, 19 (43): 6953-6957.
- [8] 欧云生, 李开庭, 蒋电明, 等. 后路椎间植骨融合联合椎弓根钉内固定选择性治疗合并椎间盘损伤的胸腰椎骨折脱位 [J]. 重庆医科大学学报, 2013, 38 (11): 1255-1259.
- [9] 梁欣洁, 钟伟洋, 权正学, 等. 纳米羟基磷灰石/聚酰胺 66 融合器在颈椎前路脊柱融合术中的应用的中期效果 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28 (4): 297-302.
- [10] 刘显宏, 欧云生, 蒋电明, 等. n-HA/PA66 与 PEEK cage 在颈前路椎间盘切除减压术后椎间隙重建的比较研究 [J]. 中国临床解剖学杂志, 2012, 30 (6): 687-692.
- [11] 马龙冰, 贾云兵, 宋跃明, 等. 聚氨基酸/纳米羟基磷灰石/硫酸钙椎间融合器在腰椎融合术中的初步应用 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2016, 30 (3): 328-335.
- [12] Deng QX, Ou YS, Zhu Y, et al. Clinical outcomes of two types of cages used in transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of degenerative lumbar diseases: n-HA/PA66 cages versus PEEK cages [J]. *J Mater Sci Mater Med*, 2016, 27 (6): 102.
- [13] Hu B, Yang X, Hu Y, et al. The n-HA/PA66 cage versus the PEEK cage in anterior cervical fusion with single-level discectomy during 7 years of follow-up [J]. *World Neurosurg*, 2019, 123: e678-e684.
- [14] 袁振灿, 郑燕平, 刘新宇, 等. 不同植骨材料椎间融合效果的实验研究 [J]. 山东大学学报 (医学版), 2008, 46 (3): 276-279, 283.
- [15] 朱领军, 刘佳, 鲍小刚, 等. 可降解脊柱椎间融合器的研究进展 [J]. 局解手术学杂志, 2019, 28 (1): 71-75.
- [16] 陈宇, 陈德玉, 杨立利, 等. 聚醚醚酮颈椎椎间融合器的临床应用及疗效评价 [J]. 中国矫形外科杂志, 2006, 14 (23): 1763-1765.
- [17] Manabe H, Sakai T, Morimoto M, et al. Radiological outcomes of posterior lumbar interbody fusion using a titanium-coated PEEK cage [J]. *J Med Invest*, 2019, 66 (1-2): 119-122.
- [18] Schimmel JJ, Poeschmann MS, Horsting PP, et al. PEEK cages in lumbar fusion: mid-term clinical outcome and radiologic fusion [J]. *Clin Spine Surg*, 2016, 29 (5): E252-E258.
- [19] Kurtz SM, Devine JN. PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants [J]. *Biomaterials*, 2007, 28 (32): 4845-4869.
- [20] 桑裴铭, 张明, 陈斌辉, 等. 纳米羟基磷灰石/聚酰胺 66 复合材料融合器行经椎间孔腰椎椎体间融合术的影像学研究 [J]. 中国骨伤, 2014, 27 (8): 654-657.
- [21] 徐文华, 谭明生, 杨峰, 等. 纳米羟基磷灰石椎间融合器与钛钢板固定在颈椎前路手术中的应用 [J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24 (13): 1170-1174.
- [22] 朱彦奇, 王红霞, 曹锐, 等. 零切迹椎间融合器与钛板椎间融合器治疗多节段颈椎病的 Meta 分析 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2019, 29 (9): 805-814.
- [23] Gao Y, Li J, Cui H, et al. Comparison of intervertebral fusion rates of different bone graft materials in extreme lateral interbody fusion [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98 (44): e17685.
- [24] 金贺荣, 崔敬斌, 邵苍. 椎间融合器材料: 临床应用的优势与关注热点 [J]. 中国组织工程研究, 2022, 26 (22): 3592-3597.
- [25] 邓乾兴, 欧云生, 蒋电明, 等. n-HA/PA66 椎间融合器在颈椎前路椎间盘切除减压融合术的中期临床疗效 [J]. 重庆医科大学学报, 2016, 41 (5): 489-494.
- [26] 田建平, 张凯, 孙晓江, 等. 腰椎术后融合器沉降危险因素的研究进展 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25 (12): 1100-1103.

(收稿:2022-03-01 修回:2022-07-15)

(同行评议专家: 崔志明 李宏宇 刘汝专)

(本文编辑: 宁 桦)