

DOI: 10. 12138/j. issn. 1671-9638. 20221947

· 综述 ·

脊柱内固定术后耐甲氧西林金黄色葡萄球菌感染的研究进展

王 旭¹, 巩慧妍², 李沐风¹, 郑晟源¹, 朱宇航¹, 朱庆三¹

(1. 吉林大学中日联谊医院骨科, 吉林 长春 130000; 2. 吉林大学第二医院口腔科, 吉林 长春 130000)

[摘要] 脊柱内固定术常用于治疗椎管狭窄、脊柱侧弯以及椎体滑脱等各类脊柱疾病。随着脊柱外科手术技术的不断进步以及内固定材料的发展, 脊柱内固定术的手术量逐年增加。目前尽管手术无菌条件有了很大进步, 但脊柱术后感染仍是脊柱内固定术后影响患者治愈率和生存率的一个不可忽视的问题, 尤其是脊柱内固定术后耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)感染, 不仅增加了医疗费用及患者身心负担, 而且可能导致内固定术的失败, 甚至威胁患者生命。本文对脊柱内固定术后 MRSA 感染的治疗及预防措施等相关问题进行综述。

[关键词] 脊柱内固定术; 耐甲氧西林金黄色葡萄球菌; 手术部位感染

[中图分类号] R619⁺.3

Research progress of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infection after spinal internal fixation surgery

WANG Xu¹, GONG Hui-yan², LI Mu-feng¹, ZHENG Sheng-yuan¹, ZHU Yu-hang¹, ZHU Qing-san¹ (1. Department of Orthopedics, China-Japan Union Hospital of Jilin University, Changchun 130000, China; 2. Department of Stomatology, The Second Hospital of Jilin University, Changchun 130000, China)

[Abstract] Spinal internal fixation surgery is often used to treat spinal diseases such as spinal stenosis, scoliosis and spondylolisthesis. With the continuous progress of spinal surgery technology and evolution of internal fixation materials, the amount of spinal internal fixation surgery is increasing year by year. Although the current aseptic condition of surgery has made great progress, post-operative spinal infection is still a problem that can not be ignored, which affects the cure rate and survival rate of patients after spinal internal fixation surgery, especially methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) infection after spinal internal fixation surgery, which not only increases the medical cost as well as physical and mental burden of patients, but also may lead to the failure of internal fixation surgery and even threaten life. This paper reviews the treatment and prevention of MRSA infection after spinal internal fixation surgery.

[Key words] spinal internal fixation surgery; methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*; surgical site infection

金黄色葡萄球菌按耐药性目前主要分为两类: 甲氧西林敏感金黄色葡萄球菌(methicillin-sensitive *Staphylococcus aureus*, MSSA)和耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA), 后者也可称为苯唑西林耐药金黄色葡萄球菌。由于 MRSA 感染在全球各地均有报道, 现已成为全球性医学难题之一。MRSA 是临床

最多见的多重耐药菌之一, 其特点为致病性强、耐药性高以及流行传播速度快等, 引起的皮肤及软组织感染并发症、菌血症及脑膜炎等疾病给临床治疗带来巨大困难。因此, 本文针对脊柱内固定术后 MRSA 感染治疗和预防措施等相关问题的研究进展进行综述, 旨在为脊柱内固定术后 MRSA 感染的临床治疗及防控提供参考。

[收稿日期] 2021-09-28

[作者简介] 王旭(1995-), 男(汉族), 山东省烟台市人, 医师, 主要从事骨科研究。

[通信作者] 朱宇航 E-mail: zhuyh15@mails.jlu.edu.cn

1 MRSA 的相关研究

1.1 MRSA 的分类 目前,MRSA 主要分为医院获得性 MRSA(hospital-acquired MRSA, HA-MRSA)和社区获得性 MRSA(community-acquired MRSA, CA-MRSA)两种。按照 48 h 标准,患者门诊或入院后 2 d 内培养出 MRSA 菌群,且过去 1 年之内没有住院治疗、手术干预、护理中心长期理疗等经历以及血液透析、留置导管、假体植入等病史,则该感染视为 CA-MRSA 感染,有以上情况的其他感染视为 HA-MRSA 感染。与传统的 HA-MRSA 相比,CA-MRSA 具有更强的毒力以及适应性。对于脊柱内固定手术来说,其术后感染主要由 HA-MRSA 导致。但有研究^[1]发现,从流行病学和微生物学标准来看,与 CA-MRSA 相比,HA-MRSA 感染率在近年来有所下降,且该研究预测 CA-MRSA 在未来有可能取代传统 HA-MRSA。

1.2 MRSA 的毒力 MRSA 的毒力是由多种因素决定的,包括一系列毒素、黏附因子以及抗免疫应答等多种毒性决定因素,而这些毒性因素进一步促进了生物膜(biofilm)的形成以及细菌抗药性的产生和进展。针对脊柱内固定手术来说,MRSA 很容易在内固定器械或植入物表面繁殖,并分泌大量多聚基质如多糖蛋白、纤维蛋白等,并进一步形成膜样蛋白复合物即生物膜。生物膜除了能使细菌附着在生物或非生物表面外,还能有效地保护 MRSA 免受抗菌药物和宿主的防御。因此,生物膜有助于延长感染周期,稳定细菌定植,并进一步促进 MRSA 在医院和社区环境中的传播^[2-3]。此外,生物膜不仅可以使 MRSA 在体内存活并快速繁殖,还可以使细菌耐药性提高 100 倍,甚至使万古霉素的最低抑菌浓度(MIC)也显著增加^[4]。由于生物膜使 MRSA 的毒力和发生率显著增加,导致脊柱内固定术后 MRSA 感染的破坏性以及并发症愈发严重,因此,对于脊柱外科医生来说,在治疗脊柱内固定术后 MRSA 感染时,最重要的是面对内固定器械植入后 MRSA 所形成的生物膜的相关治疗。

1.3 MRSA 的流行病学特点 手术部位感染(surgical site infection, SSI)是脊柱内固定术后常见并发症之一,文献^[4-5]报道脊柱术后 SSI 发病率为 0.2%~16.1%,一项最新的 Meta 分析显示,脊柱内固定术后 SSI 发病率为 3.1%^[6]。自 1961 年英国 Jevons 发现第一株 MRSA 以来,MRSA 的检出

率逐年增高。MRSA 是脊柱内固定术后感染的主要致病菌之一,且 MRSA 对多种抗菌药物有较高的耐药性,比 MSSA 及凝固酶阴性葡萄球菌有着更严重的感染并发症及复发率^[7-8]。2013 年中国 CHINET 细菌耐药性检测数据表明,金黄色葡萄球菌的检出率为 9.61%,MRSA 的平均检出率为 45.2%,最高为 72%^[9];Koutsoumbelis 等^[10]报道 84 例后入路腰椎内固定术后感染的致病菌中,MRSA 所占比率为 34.5%;Abdul-Jabbar 等^[11]在针对脊柱术后感染的研究中发现,金黄色葡萄球菌阳性标本占送检标本总数的 45.2%,其中 15.5%为 MRSA;Zhou 等^[6]的脊柱手术后 SSI 发病率的相关研究显示,检出病原菌中 MRSA 占 23.1%。此类患者普遍感染症状严重,易形成手术-感染-治愈-复发-再治愈的恶性循环。不仅降低患者的生存质量,也增加相关并发症的出现以及患者的经济负担,因此,MRSA 已成为临床治疗脊柱内固定术后感染的关注重点之一。

1.4 MRSA 感染的危险因素 脊柱内固定术后 MRSA 感染相关危险因素主要可分为三类:术前、术中及术后危险因素。术前危险因素包括 MRSA 定植以及患者自身状态。与术中及术后临床干预相比,术前的宿主因素对 SSI 风险的影响更大^[12]。MRSA 与其他金黄色葡萄球菌类似,具有共生菌和致病菌的双重特点,人鼻前庭是其常见定植部位,其他部位还包括腋窝、腹股沟及胃肠道等,定植方式分为持续定植和间歇定植两种。术前 MRSA 鼻腔定植阳性与脊柱内固定术后 MRSA 感染具有相关性,Thakkar 等^[13]在对 519 例脊柱术后患者进行回顾性分析发现,术前 30 d 内的鼻腔 MRSA 定植筛查试验结果(阳性率 4.8%)表明,脊柱内固定术后感染合并 MRSA 与术前 MRSA 定植具有很强的相关性。一项关于金黄色葡萄球菌定植的研究^[14]发现,与感染高风险患者相比,骨科医生虽然在 MRSA 定植率上与其相近,但是骨科医生的 MSSA 定植率(35.7%)高于患者(18.0%)。可能与菌群一旦附着于内固定器械并产生生物膜后,将出现耐药性的改变进而出现 MRSA 感染有关。其他研究^[15]表明糖尿病是脊柱内固定术后感染的独立危险因素,且糖尿病患者的感染风险是非糖尿病患者的 1.9 倍,可能与糖尿病患者体内利于细菌繁殖的高血糖环境有关;肥胖也多次被报道为脊柱内固定术后感染的危险因素^[16],Campbell 等^[17]回顾分析 1 708 例脊柱和关节术后感染的患者,其中 MRSA 感染的患者中,肥胖是其独立危险因素。同时 Abdallah 等^[18]研究发现,

身体质量指数 (BMI) 每增加 5%, 脊柱内固定术后感染的风险增加 21%。此外患者低蛋白血症及吸烟史也与脊柱内固定术后 MRSA 感染存在相关性。Deng 等^[19]在 2 252 例接受胸腰椎手术患者的队列研究中发现, 术后出现感染的患者最常见的病原菌为 MRSA, 且冠心病、糖尿病以及男性患者是 SSI 发病率增加的预测因子。

而针对脊柱内固定术后 MRSA 感染, 尤其值得注意的是术中手术相关因素导致的感染。脊柱手术时间相对较长, 且脊柱手术涉及内固定材料植入以及术中透视等辅助检查, 手术切口暴露时间较长, 增加了与病原菌接触的机会, 使得患者术后感染率增加, 研究^[20-22]报道手术时间 > 3 h 会导致手术风险显著增加; 其他手术相关因素还包括手术部位、手术入路等。从手术部位来看, 脊柱内固定术后 SSI 发病率由高至低依次为胸椎、腰椎、颈椎, 这可能与胸椎病变多合并截瘫以及手术时间长、出血量大、创伤大有关; 从手术入路来看, 后路手术相比前路手术的 SSI 发病率更高^[21]。此外, 有研究^[23]报道手术开始时间段为晚间也是脊柱内固定术后感染的独立危险因素, 该结论可能与晚间手术室人员流动过多, 空气流通导致扬尘和细菌扩散和积累, 以及晚间术者疲惫和精神因素有关。术后危险因素包括术后输血、引流管放置及长期卧床等。

因此, 脊柱内固定术后 MRSA 感染患者不仅有可能通过自身菌群定植而发生感染, 也有可能是在手术过程中发生手术相关性感染。患者自身危险因素与手术相关因素共同作用影响患者术后 MRSA 感染的发生, 在脊柱内固定术前及术后着重关注具有上述明显危险因素特征的患者, 以及在制定手术方案时, 对于需要进行长时间手术及复杂手术的患者进行早期预防, 对脊柱内固定术后 MRSA 感染的防控及早期治疗具有重要意义。

2 脊柱内固定术后 MRSA 感染的诊断

脊柱内固定术后 MRSA 感染的早期临床症状并不典型, 结合目前现有报道及临床经验, 脊柱内固定术后 MRSA 感染的患者可出现突发或反复高热, 体温可达 40℃ 甚至以上, 切口渗出以及深压痛, 因术后 MRSA 感染的临床表现与其他病原菌感染类似, 所以临床上需借助影像学及实验室检查综合分析。影像学检查中磁共振成像 (MRI) 可以较为准确地定位感染病灶及感染范围, 并且可以清楚地显示

神经受压情况, 是目前诊断脊柱内固定术后 MRSA 感染的最佳影像学检查之一。由于正常血肿与感染脓肿的术后影像不易区分, 在脊柱内固定术后 MRSA 感染的早期诊断中, 影像学的作用有限。此外, 常规实验室检测指标有血常规检测、C 反应蛋白、红细胞沉降率 (ESR) 以及降钙素原 (PCT) 等, 上述炎症指标若出现持续升高或下降后又反复升高, 应高度注意。并且在脊柱内固定术后 MRSA 感染的患者中, C 反应蛋白通常升高且特异性最好^[24], 可以相对有效的反映感染状态。但是, 由于 C 反应蛋白及 ESR 在脊柱内固定术后感染中通常是升高的, 因此针对脊柱内固定术后 MRSA 感染患者, 综合检测 C 反应蛋白、ESR 以及 PCT 比单纯检测某一炎症指标更加有效, 可以大大提高脊柱内固定术后 MRSA 感染的确诊率^[25]。目前认为血培养及药敏试验依旧为诊断脊柱内固定术后 MRSA 感染的“金标准”以及合理选择抗菌药物的主要依据, 但脊柱内固定术后感染患者的血培养结果在一定情况下可存在阴性。Blackmur 等^[26]报道在临床高度怀疑脊柱内固定术后感染的患者中, 培养阳性率仅为 65%, 可能与培养时间以及植入物表面形成的生物膜有关^[27-28]。此外, 患者手术部位的脓液、穿刺液以及分泌物均可同时进行病原菌培养, 提高术后感染确诊的准确性并进一步明确感染病原菌类型。

3 脊柱内固定术后 MRSA 感染的治疗

脊柱内固定术后 MRSA 感染的早期治疗有两个主要目标: 清除感染和保留内固定。综合目前文献报道及临床经验, 脊柱内固定术后感染的常规外科处理方法为: 在确诊 SSI 后, 建议在行抗菌药物治疗前进行微生物学检验, 手术清创, 去除坏死及感染组织, 术中以过氧化氢、碘伏、生理盐水等反复冲洗切口。术后及时给予有效抗菌药物治疗, 建议每隔 2~3 d 行引流液培养^[29-30]。由于 MRSA 可产生一系列毒素并对多种抗菌药物耐药, 在确诊 MRSA 感染后, 除上述外科常规干预措施, 以万古霉素为主的糖肽类抗生素已成为治疗脊柱内固定术后 MRSA 感染的金标准, 但随着 MRSA 感染的增多以及万古霉素在临床上的长期应用, 万古霉素的最低抑菌浓度逐年上升^[31], 目前尚未出现耐万古霉素的 MRSA, 但 MRSA 的耐药问题仍需高度重视。根据美国感染病学会 (IDSA) 发布的成人和儿童 MRSA 感染的临床实践指南, 对于早发性脊柱植入物感染 (术

后 < 30 d), 建议行抗菌药物治疗至脊柱融合完成, 对于迟发性感染 (术后 30 d), 建议取出内固定装置^[32-33]。Agarwal 等^[34] 的一项涵盖 49 篇文献的研究强调了内固定物移除对于避免脊柱内固定术后感染复发的重要性, 同时该研究中也表明感染最常见的细菌为 MRSA。

4 脊柱内固定术后 MRSA 感染的预防

4.1 MRSA 术前筛查及去定植 针对脊柱内固定术后 MRSA 感染的治疗, 术前筛查和清除 MRSA 定植格外重要, 可起到一定预防作用。在术前 30 d 进行 MRSA 筛查, 并外用莫匹罗星进行鼻腔携带者去定植治疗, 脊柱手术后 MRSA 的 SSI 发病率可有所降低^[13, 35]; 在一项关于脊柱外科 SSI 危险因素及预防的共识会议上有学者提出脊柱手术前是否应进行 MRSA 常规筛查, 最终认为在脊柱手术后金黄色葡萄球菌及 MRSA SSI 感染高发率的医院, MRSA 筛查可能是有用的^[36]。此外, 也有学者探讨患者术前使用葡萄糖酸氯己定 (CHG) 沐浴, 研究最终证实术前 CHG 沐浴可降低 SSI 发病率^[19, 37]。但也有研究^[38] 指出 MRSA 携带者不一定与脊柱内固定术后 MRSA 感染相关, 但与引流管尖端细菌培养阳性相关, 同时该研究指出, 对于是否存在 MRSA 定植的患者, 术后 SSI 发病率的比较差异有统计学意义, 因此目前很难证明单独使用莫匹罗星去定植后可有效降低脊柱内固定术后 MRSA 感染发病率, 但由于 MRSA 携带者很大可能发生内源性感染, 因此, 术前筛查以及鼻腔定植的清除依旧十分重要。

4.2 内植物抗菌改良 脊柱内固定术后 MRSA 感染的发生与内植物表面的生物膜密切相关, 因此, 从控制生物膜的形成角度来预防感染发生可以对脊柱内固定术后 MRSA 感染的控制起到积极作用。Chen 等^[39] 采用水热法在钛表面制备了锌和锆纳米涂层用于内植物, 由于涂层中锌和锆的结合, 钛的材料性能、早期成骨效果和抗菌能力都得到了提高; Dong 等^[40] 利用多酚层 (聚单宁酸) 作为中间体, 将细胞膜与内植物表面结合, 在宏观水平上制备可控制的生物活性细胞膜基涂层, 用于骨科/牙科内植物, 表现出良好的生物相容性和巨噬细胞免疫调节能力, 并可能降低内植物感染尤其是金黄色葡萄球菌感染的风险; Elliott 等^[41] 利用碱性水热处理 (AHT) 在纳米水平上仿生钛合金表面, 研究结果表明, 在钛表面生成的纳米结构具有显著的杀菌性能; Wang 等^[42]

使用聚多巴胺 (PDA)、ZnO 纳米粒子 (nZnO) 和壳聚糖 (CS)/纳米羟基磷灰石 (nHA), 在钛植入物上制备了层次杂交生物涂层, 显著抑制金黄色葡萄球菌和大肠埃希菌的生长。此外, 抗菌药物浸泡内植物可用于预防感染, 研究^[43-44] 表明, 术前采用万古霉素浸泡内植物与等量万古霉素喷洒切口比较, 浸泡组患者感染率为 0.2%, 而喷洒组感染率为 2.6%, 且术后证实并无感染并发症的出现。

5 小结与展望

脊柱内固定术后 MRSA 感染已不能作为一个单独的临床问题来考虑, MRSA 感染发病率逐年上升, 尤其是在脊柱内固定术后, MRSA 在脊柱手术的感染中占独特地位, MRSA 在内固定物上形成的生物膜使治疗非常困难。对于控制脊柱内固定术后 MRSA 感染发病率, 目前临床医务人员的关注重点应为如何有效筛查及预防术后 MRSA SSI, 由于大部分内源性 MRSA 均可导致术后 SSI, 因此, 下一步在处理存在 MRSA 定植患者时, 需考虑应用合适的治疗及去定植方案在术前清除 MRSA。

有效控制 MRSA SSI 可降低手术后感染对脊柱内固定手术效果的损害。目前现有方法对于清除 MRSA 定植以及预防脊柱内固定术后 MRSA SSI 的有效性还有待进一步研究, 目前 MRSA 的鼻腔定植与 SSI 的相关性, 可进一步证明 MRSA 去定植可有效降低脊柱内固定术后 SSI 发病率, 甚至降低 MRSA SSI 发病率, 因此, 在脊柱内固定术前对存在相关风险人群进行筛查和去定植十分重要。临床上可以采用改良内植物表面性状及抗菌药物浸泡内植物来预防感染发生, 尽管上述方法并未在临床广泛应用, 内植物表面性状的改变及浸泡后是否会影响成骨效果以及对机体产生不良反应, 还需要大量临床病例来验证其稳定性和有效性, 但上述方法为脊柱内固定术后 MRSA 感染的预防提供了广阔思路。

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突。

[参考文献]

- [1] David MZ, Cadilla A, Boyle-Vavra S, et al. Replacement of HA-MRSA by CA-MRSA infections at an academic medical center in the midwestern United States, 2004 - 5 to 2008[J]. PLoS One, 2014, 9(4): e92760.
- [2] Jensen JD, Christensen T, Olsen JV, et al. Costs and benefits

- of alternative strategies to control the spread of livestock-acquired methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from pig production[J]. Value Health, 2020, 23(1): 89–95.
- [3] Otto M. MRSA virulence and spread[J]. Cell Microbiol, 2012, 14(10): 1513–1521.
- [4] Patel A, Calfee RP, Plante M, et al. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in orthopaedic surgery[J]. J Bone Joint Surg Br, 2008, 90(11): 1401–1406.
- [5] Iwakiri K, Kobayashi A, Seki M, et al. Waterless hand rub versus traditional hand scrub methods for preventing the surgical site infection in orthopedic surgery[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2017, 42(22): 1675–1679.
- [6] Zhou JM, Wang R, Huo XY, et al. Incidence of surgical site infection after spine surgery: a systematic review and Meta-analysis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2020, 45(3): 208–216.
- [7] Klevens RM, Morrison MA, Nadle J, et al. Invasive methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections in the United States[J]. JAMA, 2007, 298(15): 1763–1771.
- [8] Teterycz D, Ferry T, Lew D, et al. Outcome of orthopedic implant infections due to different staphylococci[J]. Int J Infect Dis, 2010, 14(10): e913–e918.
- [9] 胡付品, 朱德妹, 汪复, 等. 2013 年中国 CHINET 细菌耐药性监测[J]. 中国感染与化疗杂志, 2014, 14(5): 365–374. Hu FP, Zhu DM, Wang F, et al. CHINET 2013 surveillance of bacterial resistance in China[J]. Chinese Journal of Infection and Chemotherapy, 2014, 14(5): 365–374.
- [10] Koutsoumbelis S, Hughes AP, Girardi FP, et al. Risk factors for postoperative infection following posterior lumbar instrumented arthrodesis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2011, 93(17): 1627–1633.
- [11] Abdul-Jabbar A, Berven SH, Hu SS, et al. Surgical site infections in spine surgery: identification of microbiologic and surgical characteristics in 239 cases[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(22): E1425–E1431.
- [12] Xiong GX, Greene NE, Hershman SH, et al. Nasal screening for methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* does not reduce surgical site infection after primary lumbar fusion[J]. Spine J, 2022, 22(1): 113–125.
- [13] Thakkar V, Ghobrial GM, Maulucci CM, et al. Nasal MRSA colonization: impact on surgical site infection following spine surgery[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2014, 125: 94–97.
- [14] Schwarzkopf R, Takemoto RC, Immerman I, et al. Prevalence of *Staphylococcus aureus* colonization in orthopaedic surgeons and their patients: a prospective cohort controlled study [J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(9): 1815–1819.
- [15] Golinvaux NS, Varthi AG, Bohl DD, et al. Complication rates following elective lumbar fusion in patients with diabetes: insulin dependence makes the difference[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39(21): 1809–1816.
- [16] Blood AG, Sandoval MF, Burger E, et al. Risk and protective factors associated with surgical infections among spine patients [J]. Surg Infect (Larchmt), 2017, 18(3): 234–249.
- [17] Campbell KA, Cunningham C, Hasan S, et al. Risk factors for developing *Staphylococcus aureus* nasal colonization in spine and arthroplasty surgery[J]. Bull Hosp Jt Dis (2013), 2015, 73(4): 276–281.
- [18] Abdallah DY, Jadaan MM, McCabe JP. Body mass index and risk of surgical site infection following spine surgery: a Meta-analysis[J]. Eur Spine J, 2013, 22(12): 2800–2809.
- [19] Deng HS, Chan A, Ammanuel S, et al. Risk factors for deep surgical site infection following thoracolumbar spinal surgery [J]. J Neurosurg Spine, 2019, 32(2): 292–301.
- [20] Pesenti S, Pannu T, Andres-Bergos J, et al. What are the risk factors for surgical site infection after spinal fusion? A Meta-analysis[J]. Eur Spine J, 2018, 27(10): 2469–2480.
- [21] Fei Q, Li JJ, Lin JS, et al. Risk factors for surgical site infection after spinal surgery: a Meta-analysis[J]. World Neurosurg, 2016, 95: 507–515.
- [22] Peng XQ, Sun CG, Fei ZG, et al. Risk factors for surgical site infection after spinal surgery: a systematic review and Meta-analysis based on twenty-seven studies[J]. World Neurosurg, 2019, 123: e318–e329.
- [23] Gruskay J, Kepler C, Smith J, et al. Is surgical case order associated with increased infection rate after spine surgery? [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(13): 1170–1174.
- [24] Gemmel F, Rijk PC, Collins JMP, et al. Expanding role of 18F-fluoro-D-deoxyglucose PET and PET/CT in spinal infections[J]. Eur Spine J, 2010, 19(4): 540–551.
- [25] Ip D, Yam SK, Chen CK. Implications of the changing pattern of bacterial infections following total joint replacements[J]. J Orthop Surg (Hong Kong), 2005, 13(2): 125–130.
- [26] Blackmur JP, Tang EYH, Dave J, et al. Use of broth cultures peri-operatively to optimise the microbiological diagnosis of musculoskeletal implant infections[J]. Bone Joint J, 2014, 96-B(11): 1566–1570.
- [27] Li YD, Chi JE, Chiu PY, et al. The comparison between anterior and posterior approaches for removal of infected lumbar interbody cages and a proposal regarding the use of endoscope-assisted technique[J]. J Orthop Surg Res, 2021, 16(1): 386.
- [28] Mirovsky Y, Floman Y, Smorgick Y, et al. Management of deep wound infection after posterior lumbar interbody fusion with cages[J]. J Spinal Disord Tech, 2007, 20(2): 127–131.
- [29] Kobayashi K, Imagama S, Ando K, et al. Trends in reoperation for surgical site infection after spinal surgery with instrumentation in a multicenter study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2020, 45(20): 1459–1466.
- [30] 刘少强, 齐强, 刘宁, 等. 脊柱术后耐甲氧西林金黄色葡萄球菌感染的治疗——附 8 例报告[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(2): 164–167. Liu SQ, Qi Q, Liu N, et al. Treatment of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) infection after spine surgery: 8 cases report[J]. Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2014, 24(2): 164–167.

- [31] Lentino JR. Prosthetic joint infections: bane of orthopedists, challenge for infectious disease specialists[J]. Clin Infect Dis, 2003, 36(9): 1157 - 1161.
- [32] McDonald LC, Gerding DN, Johnson S, et al. Clinical practice guidelines for *Clostridium difficile* infection in adults and children; 2017 update by the Infectious Diseases Society of America (IDSA) and Society for Healthcare Epidemiology of America (SHEA) [J]. Clin Infect Dis, 2018, 66(7): e1 - e48.
- [33] Liu C, Bayer A, Cosgrove SE, et al. Clinical practice guidelines by the Infectious Diseases Society of America for the treatment of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections in adults and children[J]. Clin Infect Dis, 2011, 52(3): e18 - e55.
- [34] Agarwal A, Kelkar A, Agarwal AG, et al. Implant retention or removal for management of surgical site infection after spinal surgery[J]. Global Spine J, 2020, 10(5): 640 - 646.
- [35] Nasser R, Kosty JA, Shah S, et al. Risk factors and prevention of surgical site infections following spinal procedures[J]. Global Spine J, 2018, 8(4 Suppl): 44S - 48S.
- [36] Galetta MS, Kepler CK, Divi SN, et al. Consensus on risk factors and prevention in SSI in spine surgery[J]. Clin Spine Surg, 2020, 33(5): E213 - E225.
- [37] Epstein NE. Preoperative measures to prevent/minimize risk of surgical site infection in spinal surgery[J]. Surg Neurol Int, 2018, 9: 251.
- [38] Kobayashi K, Ando K, Ito K, et al. Prediction of surgical site infection in spine surgery from tests of nasal MRSA colonization and drain tip culture[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2018, 28(6): 1053 - 1057.
- [39] Chen YQ, Zhou C, Xie YW, et al. Zinc - and strontium - co-incorporated nanorods on titanium surfaces with favorable material property, osteogenesis, and enhanced antibacterial activity[J]. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2021, 109(11): 1754 - 1767.
- [40] Dong ZY, Ke X, Tang SX, et al. A stable cell membrane-based coating with antibiofouling and macrophage immunoregulatory properties for implants at the macroscopic level[J]. Chem Mater, 2021, 33(20): 7994 - 8006.
- [41] Elliott DT, Wiggins RJ, Dua R. Bioinspired antibacterial surface for orthopedic and dental implants[J]. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2021, 109(7): 973 - 981.
- [42] Wang Z, Mei L, Liu XQ, et al. Hierarchically hybrid biocoatings on Ti implants for enhanced antibacterial activity and osteogenesis[J]. Colloids Surf B Biointerfaces, 2021, 204: 111802.
- [43] Sweet FA, Roh M, Sliva C. Intrawound application of vancomycin for prophylaxis in instrumented thoracolumbar fusions: efficacy, drug levels, and patient outcomes[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2011, 36(24): 2084 - 2088.
- [44] Ghobrial GM, Thakkar V, Andrews E, et al. Intraoperative vancomycin use in spinal surgery: single institution experience and microbial trends[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39(7): 550 - 555.

(本文编辑:陈玉华)

本文引用格式:王旭, 巩慧妍, 李沐风, 等. 脊柱内固定术后耐甲氧西林金黄色葡萄球菌感染的研究进展[J]. 中国感染控制杂志, 2022, 21(5): 505 - 510. DOI: 10. 12138/j. issn. 1671 - 9638. 20221947.

Cite this article as: WANG Xu, GONG Hui-yan, LI Mu-feng, et al. Research progress of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infection after spinal internal fixation surgery[J]. Chin J Infect Control, 2022, 21(5): 505 - 510. DOI: 10. 12138/j. issn. 1671 - 9638. 20221947.