

FRAKTUR ROD AFTER LUMBAR POSTERIOR STABILIZATION

Gigih Aditya Wardana¹, Yunus Kuntawi Aji², Fadhil²

¹Neurosurgery Resident, Medical Faculty Airlangga University, Surabaya/ National Brain Center Hospital, Jakarta

²Neurospine Division, Neurosurgery Department, National Brain Center Hospital, Jakarta

ABSTRACT

Introduction: One of the complications of implant placement after posterior stabilization is rod fracture. Incidence in studies ranged from 6.8% to 14.9%. Risk factors for Rod Fracture (RF) including age, body mass index (BMI), rod material, radiologic parameters, history of pedicle-subtraction osteotomy (PSO), and pseudoarthrosis. Currently, the literature regarding RF is still limited and under-reported because it can be asymptomatic. Implant revision is the treatment of choice

Case Report: We report a 63-year-old woman with complaints of low back pain, a patient with a history of posterior stabilization surgery in 2018. There was no neurological deficit in the patient. Plain radiographs 3 years postoperatively showed fracture of the rod, during surgery we found that the right side of the rod had a fracture, superior to the 4th lumbar pedicle screw. The replacement rod from cobalt chromium material was installed. Postoperatively, complaints of axial pain improved

Discussion: Factors as age, duration of installation, history of trauma and curvature of the rod are possible causes of fracture. Other factors such as radiologic parameters and rod material were not described due to limited information. The replacement rod was chosen using cobalt chromium to increase fusion rigidity and reduce the risk of fracture.

Conclusion: RF as a complication of posterior stabilization is often under-reported, a good understanding of a surgeon, education to the patient, good control and follow-up are the keys in the management of this case

Keywords: Rod Fracture, Lumbar, Posterior Stabilization

FRAKTUR ROD PASCA STABILISASI POSTERIOR LUMBAL

Gigih Aditya Wardana¹, Yunus Kuntawi Aji², Fadhil²

¹Neurosurgery Resident, Medical Faculty Airlangga University, Surabaya/ National Brain Center Hospital, Jakarta

²Neurospine Division, Neurosurgery Department, National Brain Center Hospital, Jakarta

ABSTRAK

Pendahuluan: Salah satu komplikasi pemasangan implan pasca operasi stabilisasi posterior adalah fraktur rod. Insidensi dalam study berkisar 6,8% hingga 14,9%. Faktor resiko terjadinya fraktur rod diantaranya usia, indeks massa tubuh (BMI), bahan rod, parameter radiologis, riwayat *pedicle-subtraction osteotomy* (PSO), dan pseudoartrosis. Saat ini literatur terkait fraktur rod masih terbatas dan under report karena dapat asimtomatis. Tindakan revisi implant merupakan pilihan tatalaksananya

Laporan kasus: Kami melaporkan perempuan usia 63 tahun dengan keluhan nyeri punggung bawah, pasien riwayat operasi stabilisasi posterior tahun 2018. Tidak didapatkan defisit neurologis pada pasien. Foto polos radiologis 3 tahun pasca operasi nampak fraktur pada rod, Durante operasi didapatkan rod sisi kanan mengalami fraktur superior dari pedicle screw lumbal 4, dilakukan pemasangan rod baru dengan material cobalt chromium. Post operasi didapatkan keluhan nyeri aksial membaik

Diskusi: Faktor usia, lama pemasangan, riwayat trauma dan kelengkungan rod menjadi kemungkinan penyebab fraktur. Faktor lain seperti parameter radiologis dan material rod tidak dideskripsikan karena keterbatasan informasi. Rod pengganti dipilih menggunakan cobalt chromium untuk meningkatkan rigiditas fusi dan menurunkan resiko terjadinya fraktur

Kesimpulan: Fraktur rod sebagai komplikasi stabilisasi posterior sering under report, pemahaman yang baik dari seorang ahli bedah, edukasi kepada pasien, kepatuhan kontrol dan follow up yang baik menjadi kunci dalam tatalaksana kasus ini

Kata Kunci: Fraktur Rod, Lumbal, Stabilisasi Posterior

1. Pendahuluan

Deformitas spinal / tulang belakang merupakan salah satu kelainan yang banyak ditemukan pada usia dewasa dan orang tua. Kelainan ini tidak hanya memberikan masalah yang signifikan dalam kualitas hidup pasien tetapi juga menjadi tantangan tersendiri bagi seorang ahli bedah dalam menentukan tatalaksananya. Seiring perkembangan jaman tatalaksana kelainan tulang belakang semakin berkembang dengan kemajuan teknik operasi, tatalaksana perioperatif hingga pilihan instrumentasi. Meskipun demikian, resiko komplikasi tetap berpotensi muncul dan perlu diwaspadai, baik saat durante maupun pasca pembedahan.

Pemahaman terhadap prosedur pembedahan dan komplikasi yang ditimbulkan pada pasien dengan kelainan deformitas tulang belakang merupakan hal yang penting bagi seorang ahli bedah, khususnya seorang ahli bedah tulang belakang. Meskipun dalam literatur dikatakan resiko mortalitas akibat prosedur operasi kelainan tulang belakang relatif rendah (berkisar 1 - 3,5%) (Patel *et al*, 2016), namun resiko kecacatan akibat komplikasi operasi tulang belakang juga perlu diperhatikan, disebutkan tingkat komplikasi yang berkaitan dengan operasi tulang belakang mencapai lebih dari 55% (Sciubba *et al*, 2015). Beberapa jenis komplikasi akibat operasi diantaranya defisit neurologis, kerusakan pembuluh darah, kifosis pada *proximal junction*, komplikasi akibat durotomy, pseudoarthrosis dan fraktur implant (rod), hal-hal ini

selain merugikan pasien juga menghabiskan pembiayaan yang mahal bagi penyedia layanan kesehatan.

Salah satu komplikasi terkait pemasangan implan yang dapat ditemukan pasca operasi instrumentasi posterior pada kasus deformitas spinal adalah fraktur rod. Insidensi kasus fraktur rod dalam salah satu study disebutkan berkisar 6,8% (Smith *et al*, 2012), dan dalam literatur lain disebutkan 9% pasien pasca operasi instrumentasi posterior berpotensi mengalami fraktur rod dalam rentang waktu 14,7 bulan pasca operasi (Smith *et al*, 2014). Seiring bertambahnya waktu follow up dikatakan pula resiko terjadinya fraktur rod ini juga semakin membesar, sebagaimana disebutkan dalam salah satu study bahwa laju terjadinya fraktur rod ini semakin meningkat dari 7,4% selama 1 tahun follow up menjadi 22,6% pada 4 tahun follow up (Cecchinato *et al*, 2020).

Kasus fraktur rod ini dapat memberikan konsekuensi pada pasien, diantaranya nyeri, hilangnya koreksi deformitas, dan perlunya dilakukan operasi revisi implan. Beberapa faktor resiko yang disebutkan dalam studi berpotensi menyebabkan fraktur rod diantaranya usia, indeks massa tubuh (BMI), single rod, bahan rod (stainless steel), diameter rod yang kecil, *baseline sagittal malalignment*, ketidakselarasan nilai *pelvic incidence* (PI) – Lordosis lumbal (LL), koreksi malalignment sagital yang besar pasca operasi, riwayat tindakan *pedicle-subtraction osteotomy* (PSO), pseudoartrosis, adanya konektor parallel dan/atau domino, serta konstruksi menyilang pada junction thoracolumbal dan lumbosacral. Meskipun faktor-faktor resiko kemungkinan penyebab fraktur rod telah banyak dipelajari, namun kasus rod fraktur masih terkesan under reported, hal ini dikarenakan fraktur rod dapat pula ditemukan pada pasien yang asimtomatis. Salah satu study menyebutkan bahwa hampir dua pertiga pasien dengan fraktur rod (63,6%) yang dilakukan tindakan revisi ternyata memiliki skor *Oswestry Disability Index* (ODI) yang rendah (Hamilton *et al*, 2017).

Hingga saat ini literatur terkait fraktur rod masih cukup terbatas, berbagai penelitian banyak membahas komplikasi gangguan *proximal junction*, namun penelitian pada fraktur rod sendiri masih kurang. Salah satu study terbaru yang menjabarkan karakteristik dan faktor resiko fraktur rod menyampaikan pentingnya bagi seorang ahli bedah untuk memahami hal tersebut sebelum melakukan tindakan pembedahan (Noh *et al*, 2021). Mengingat jumlah kasusnya yang jarang dan seringkali under reported serta pentingnya pemahaman terkait karakteristik fraktur rod sebagaimana telah disebut dalam literatur sebelumnya, kami melaporkan kasus fraktur rod yang dilakukan tindakan revisi implan di Rumah Sakit Pusat Otak Nasional, Jakarta. dan menganalisa penyebab dari frakturnya.

2. Laporan kasus

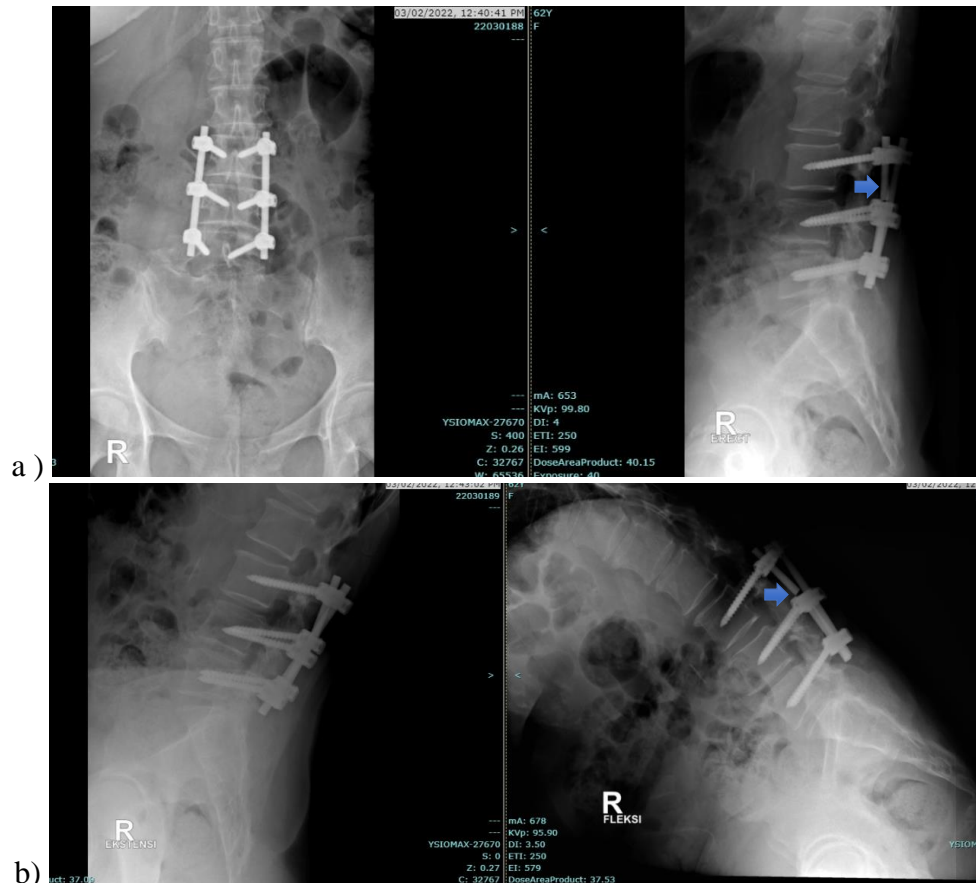
Seorang wanita, usia 63 tahun, seorang pensiunan polisi. Pasien datang dengan keluhan utama nyeri punggung bawah. Pasien mengeluh nyeri sejak 8 bulan terakhir, dirasakan hilang timbul, nyeri memberat saat berjalan jauh dan mereda saat istirahat, pasien tidak kuat berjalan lebih dari 200 meter. Nyeri tidak dirasakan menjalar, keluhan rasa seperti tersetrum listrik disangkal. Pasien tidak mengeluhkan kelemahan tungkat, gangguan BAB atau BAK.

Pasien memiliki riwayat operasi stabilisasi posterior regio lumbal tahun 2018 di RS PON, sekitar 1 tahun setelah operasi tulang belakang, pasien mengatakan pernah jatuh terduduk 2 kali, namun saat itu tidak didapatkan keluhan nyeri punggung. Pasien rutin kontrol ke poli bedah saraf, 1 tahun lalu saat kontrol dilakukan evaluasi radiologis dan dikatakan salah satu implan patah, pasien selanjutnya direncanakan tindakan operasi.

Pemeriksaan fisik didapatkan pasien dalam keadaan umum baik dengan kesadaran kompos mentis. GCS E4V5M6. vital sign dalam kondisi stabil. Tidak didapatkan kelainan pada tubuh dan anggota gerak. Dari pemeriksaan motorik tidak didapatkan gangguan, kekuatan otot 5 pada keempat ekstremitas. Pada pemeriksaan sensorik didapatkan axial pain pada regio

lumbal, setinggi L3-4, tidak didapatkan radicular pain. Refleks fisiologis, patologis dan provokasi pasien dalam batas normal, test laseque tidak ditemukan kelainan.

Pemeriksaan radiologis foto polos lumbal menunjukkan gambaran implant yang patah, gambaran fraktur nampak pada proyeksi lateral dan semakin jelas saat dilakukan foto lumbal dinamik (gambar 1). Tidak dilakukan pemeriksaan MRI pada pasien.



(Gambar 1. Implan yang patah terproyeksi pada foro polos lumbosacral (panah biru) (a). Nampak lebih jelas saat dilakukan foto lumbal dinamik (b))

Pasien disiapkan tindakan operasi revisi implan. Prosedur operasi dilakukan dengan posisi prone dan insisi linier pada regio lumbal sesuai dengan proyeksi C-arm. Durante didapatkan rod yang patah merupakan rod yang terletak pada sisi kanan pasien, tepat berada di atas pedicle screw L4 kanan. Selanjutnya rod kanan dan kiri dilepas untuk diidentifikasi (gambar 2), terlihat kedua rod tidak dilakukan bending / dibengkokkan sesuai kurvatura lordosis lumbal, material rod tidak dapat diidentifikasi secara pasti. Rod yang baru dengan bahan cobal chromium (CC) kemudian dipasang pada kedua sisi setelah sebelumnya dilakukan bending sesuai kurvatura lumbal. Konfirmasi dengan C-arm didapatkan rod terpasang dengan baik dan luka operasi selanjutnya ditutup (gambar 3).



(Gambar 2. Rod sisi patah pada sisi kanan)



(Gambar 3. C-arm konfirmasi nampak rod yang baru terpasang setelah dilakukan bending sesuai kurvatura lumbal (a). Foto polos evaluasi post operasi nampak rod terpasang baik (b))

Post operasi didapatkan keluhan nyeri punggung pasien membaik, tidak didapatkan defisit neurologis baru. Dilakukan imaging evaluasi foto polos lumbal nampak rod yang baru terpasang baik sesuai kurvatura lumbal.

3. Diskusi

Fraktur pada rod merupakan salah satu komplikasi terkait pemasangan implant pada stabilisasi posterior tulang belakang. Insidensinya sering under report karena dapat muncul tanpa disertai keluhan / asimtomatis, Beberapa study menyebutkan insidensi fraktur rod berkisar 6,8% (Patel *et al*, 2016) hingga 14,9% (Hamilton *et al*, 2017). Beberapa faktor resiko dalam studi yang disebutkan berpotensi menyebabkan fraktur rod adalah usia, indeks massa tubuh (BMI), single rod, bahan rod (stainless steel), dan diameter rod yang kecil.

Usia dikatakan sebagai salah satu faktor resiko timbulnya fraktur rod. Salah satu study oleh Smith et al didapatkan kelompok dengan fraktur rod apabila dibandingkan dengan kelompok pasien yang tidak mengalami fraktur rod memiliki rerata usia yang lebih tua (62.3 vs 54.1 tahun) (Smith *et al*, 2014). Dalam literatur lain oleh juga disebutkan bahwa fraktur rod lebih banyak ditemukan pada usia 60-69 tahun (Daniels *et al*, 2018). Data ini sesuai dengan yang kami temukan pada pasien dimana pasien berusia 63 tahun saat diidentifikasi mengalami fraktur pada rod yang dipasang di tulang belakangnya. Mekanisme hubungan langsung antara faktor komorbid pasien seperti usia dan BMI dengan kejadian fraktur rod masih belum sepenuhnya dipahami. Daniels et al mengaitkan variable komorbid pasien dengan kejadian fraktur rod oleh karena level aktivitasnya, pasien dengan komorbid rendah cenderung lebih sehat dan lebih aktif, timbulnya fraktur rod pada pasien yang telah mengalami fusi pasca operasi lebih dikaitkan dengan level aktivitas dibanding kejadian pasudoatrosisnya (Daniels *et al*, 2018). Literatur lain juga mengaitkan faktor usia dan hubungan terjadinya fraktur rod, didapatkan data bahwa setiap peningkatan usia 1 tahun meningkatkan resiko terjadinya fraktur sebanyak 1,03 kali (Mikhaylovskiy *et al*, 2020)

Lama pemasangan rod menjadi salah satu pertimbangan penyebab terjadinya fraktur rod. Salah satu study menyebutkan fraktur rod muncul setelah dalam 4-46 bulan pasca operasi (Yang *et al*, 2011), sementara dalam literatur lain oleh Zho et al menyebutkan fraktur rod terdeteksi dalam rentang 6-73 bulan pasca operasi fusi tulang belakang (Zhao *et al*, 2019). Temuan ini konsisten dengan yang kami temukan pada pasien dimana fraktur rod ditemukan 3 tahun (36 bulan) setelah pasien dilakukan operasi stabilisasi posterior di RS PON. Smith et al menyebutkan bahwa terjadinya fraktur rod merupakan refleksi dari kombinasi antara kegagalan instrumentasi mekanik dan pseudoarthrosis (Smith *et al*, 2014). Fraktur rod yang terjadi awal / *early* (<12 bulan) dikaitkan dengan kegagalan instrumentasi primer dan dapat menyebabkan *union* yang tertunda, sementara fraktur yang *late* (>12 bulan) kemungkinan dikaitkan oleh kondisi pseudoarthrosis (Smith *et al*, 2012). Kemungkinan adanya aktivitas pasien memberikan suatu gaya mekanik yang berlangsung terus menerus sehingga memberikan suatu stress pada rod yang berpotensi memicu timbulnya fraktur rod, hal ini ditambahkan smith et al bahwa komponen mekanik memiliki peranan terjadinya fraktur rod, pada rentang observasi yang lebih lama dapat memungkinkan munculnya fraktur rod tambahan (Smith *et al*, 2012), namun demikian hal ini memerlukan penelitian lebih jauh.

Riwayat trauma berpotensi menjadi penyebab lain dari terjadinya fraktur rod. Kami belum menemukan literatur yang menjelaskan mekanisme fraktur rod pasien yang mengalami benturan pada instrumentasinya. Dari anamnesa kami dapatkan pasien memiliki riwayat jatuh terduduk sebanyak dua kali setelah 1 tahun operasi. Menurut Teles et al implan (rod) berfungsi sebagai pelindung kolom spinalis dari suatu traumatic loading (Teles *et al*, 2018), adanya suatu mekanisme trauma seperti jatuh terduduk dapat memberikan gaya loading pada tulang belakang dan rod yang berpotensi menyebabkan fraktur.

Faktor kelengkungan atau proses bending kami curigai turut menjadi salah satu faktor penyebab fraktur rod pada pasien kami. Durante operasi setelah implan rod diangkat kami identifikasi nampak rod yang terpasang tidak dilakukan bending. Hal ini didukung oleh study Kokabu et al yang mengungkapkan bahwa proses konturing rod intaoperatif dapat mengoptimalkan hubungan anatomis dengan tulang belakang sehingga mengurangi resiko terjadinya fraktur (Kokabu *et al*, 2018). Mikhaylovskiy et al menambahkan bahwa pada titik kontak antara rod dengan hook atau screw dapat menimbulkan defek mikro yang menyebabkan instabilitas *fatigue* pada rod (sensitivitas notch), hal ini berpotensi menjadi titik inisial stress yang berpotensi menimbulkan fraktur (Mikhaylovskiy *et al*, 2020). Literatur ini konsisten dengan radiologis dan pendapatan durante operasi dimana titik fraktur berada dekat lokasi kontak rod dengan pedicle screw L4 kanan.

Prediktor lain seperti nilai *baseline sagittal malalignment*, ketidakselarasan nilai *pelvic incidence* (PI) – Lordosis lumbal (LL), koreksi malalignment sagital yang besar pasca operasi yang disebutkan oleh literatur juga dapat dipertimbangkan sebagai penyebab, namun karena keterbatasan data radiografis awal tidak dapat kami deskripsikan lebih jauh. Pengaruh material rod juga memungkinkan sebagai faktor resiko, dalam studinya Smith et al memperoleh data laju fraktur rod berkaitan secara signifikan dengan tipe materialnya dimana cobalt chromium (CC) memiliki laju fraktur 14,2% bila dibandingkan dengan stainless steel (SS) dan titanium alloy (TA) sebanyak 3,8% dan 2,4% secara berurutan (Smith et al, 2014), namun hal tersebut berkebalikan dengan data yang diperoleh dari study Mao et al yang menyebutkan bahwa hubungan antara fraktur rod dengan tipe material tidaklah signifikan (Mao et al, 2021). Oleh karena keterbatasan informasi pada pasien kami, jenis material rod yang mengalami fraktur tidak dapat kami pastikan. Untuk mencegah terjadinya fraktur rod ulang kami gunakan rod baru yang berasal dari material cobalt chromium, hal ini mengacu pada study oleh Lee et al yang menyebutkan bahwa penggunaan material cobalt chromium dapat meningkatkan rigiditas pada fusi multilevel dan menurunkan resiko terjadinya fraktur rod (Lee et al, 2021).

Secara umum banyak faktor yang menjadi resiko terjadinya fraktur rod pasca stabilisasi posterior. Faktor tersebut dapat berasal dari pasien seperti komorbid, atau tindakan intraoperatif ahli bedah sendiri. Rod yang mengalami fraktur dapat menimbulkan gejala atau asimtomatis saja, pada pasien kami terjadinya fraktur rod meski tidak menimbulkan defisit neurologis namun menyebabkan nyeri aksial yang mengganggu sehingga tindakan revisi perlu dilakukan. Waktu terjadinya fraktur rod pasien tidak dapat kami ketahui dengan pasti, ada kemungkinan keluhan nyeri dan parameter radiografis mengalami perubahan antara waktu terjadinya fraktur dan diagnosis, terdeteksinya fraktur rod pada pasien terbantu oleh karena compliance pasien yang baik, relatif rutin kontrol ke poliklinik bedah saraf. Oleh karena itu, terlepas adanya fraktur rod atau tidak, pasien pasca operasi stabilisasi posterior yang mengalami keluhan nyeri punggung tidak dapat diabaikan, perlu edukasi terkait ketaatan kontrol dan follow up radiologis yang baik.

4. Kesimpulan

Insiden fraktur rod sebagai komplikasi stabilisasi posterior dilaporkan dalam literatur sekitar 6,8% hingga 14,9% dan seringkali under report karena dapat asimtomatis / tidak menimbulkan gejala. Faktor-faktor yang dikaitkan dengan terjadinya fraktur rod diantaranya usia, indeks massa tubuh (BMI), bahan rod (stainless steel), parameter radiologis, riwayat tindakan *pedicle-subtraction osteotomy* (PSO), pseudoartrosis, adanya konektor parallel dan/atau domino, serta konstruksi menyilang pada junction thoracolumbal dan lumbosacral. Faktor lain yang ditemukan pada pasien kami sebagai kemungkinan penyebab fraktur rod adalah lama pemasangan, riwayat trauma dan kelengkungan rod. Keterbatasan informasi terkait data radiologis awal dan jenis material yang mengalami fraktur menjadi salah satu keterbatasan dalam laporan kami. Oleh karena terjadinya fraktur rod sering tidak teridentifikasi, pemahaman yang baik dari seorang ahli bedah, edukasi kepada pasien, kepatuhan kontrol dan follow up yang baik menjadi kunci dalam tatalaksana kasus fraktur rod ini.

Daftar Pustaka

- Barton, C., Noshchenko, A., Patel, V., Cain, C., Kleck, C., & Burger, E. 2015. "Risk factors for rod fracture after posterior correction of adult spinal deformity with osteotomy: A retrospective case-series". *Scoliosis*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13013-015-0056-5>
- Cecchinato, R., Bourghli, A., & Obeid, I. 2020. "Revision surgery of spinal dynamic implants: A literature review and algorithm proposal". *European Spine Journal*, 29(S1), 57–65. <https://doi.org/10.1007/s00586-019-06282-w>
- Daniels, A. H., DePasse, J. M., Durand, W., Hamilton, D. K., Passias, P., Kim, H. J., Protopsaltis, T., Reid, D. B. C., LaFage, V., Smith, J. S., Shaffrey, C., Gupta, M., Klineberg, E., Schwab, F., Burton, D., Bess, S., Ames, C., & Hart, R. A. 2018. "Rod fracture after apparently solid radiographic fusion in adult spinal deformity patients". *World Neurosurgery*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.06.071>
- Hamilton, D. K., Buza, J. A., Passias, P., Jalai, C., Kim, H. J., Ailon, T., Gupta, M., Sciubba, D., Jain, A., Ames, C. P., Deviren, V., Daniels, A., Lafage, V., Bess, S., Klineberg, E., Shaffrey, C. I., Smith, J. S., Hart, R., Passias, P. G., ... Smith, J. S. 2017. "The fate of patients with adult spinal deformity incurring rod fracture after Thoracolumbar fusion". *World Neurosurgery*, 106, 905–911. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.07.061>
- Kokabu, T., Kanai, S., Abe, Y., Iwasaki, N., & Sudo, H. 2018. "Identification of optimized rod shapes to guide anatomical spinal reconstruction for adolescent thoracic idiopathic scoliosis". *Journal of Orthopaedic Research®*, 36(12), 3219–3224. <https://doi.org/10.1002/jor.24118>
- Lee, K. Y., Lee, J.-H., Kang, K.-C., Im, S.-K., Lim, H. S., & Choi, S. W. 2021. "Strategies for prevention of Rod Fracture in adult spinal deformity: Cobalt chrome rod, accessory rod technique, and lateral lumbar interbody fusion". *Journal of Neurosurgery: Spine*, 34(5), 706–715. <https://doi.org/10.3171/2020.8.spine201037>
- Mao, J. Z., Fritz, A. G., Lucas, J.-M. P., Khan, A., Popoola, D. O., Becker, A. B., Adetunji, A., Levy, B. R., Agyei, J. O., O'Connor, T. E., Pollina, J., & Mullin, J. P. 2021. "Assessment of rod material types in spine surgery outcomes: A systematic review". *World Neurosurgery*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.09.075>
- Mikhaylovskiy, M. V., Vasujra, A. S., & Lukinov, V. L. 2020. "Broken rods in spinal deformity surgery: An Analysis of Clinical Experience and a literature review". *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*, 7(4), 15–26. <https://doi.org/10.17816/ptors7415-26>
- Noh, S. H., Kim, K. H., Park, J. Y., Kuh, S. U., Kim, K. S., Cho, Y. E., & Chin, D. K. 2021. "Characteristics and risk factors of rod fracture following adult spinal deformity surgery: A systematic review and meta-analysis". *Neurospine*, 18(3), 447–454. <https://doi.org/10.14245/ns.2040832.416>
- Patel, S. A., McDonald, C. L., Reid, D. B. C., DiSilvestro, K. J., Daniels, A. H., & Rihn, J. A. 2020. "Complications of Thoracolumbar adult spinal deformity surgery". *JBJS Reviews*, 8(5). <https://doi.org/10.2106/jbjs.rvw.19.00214>
- Sciubba, D. M., Yurter, A., Smith, J. S., Kelly, M. P., Scheer, J. K., Goodwin, C. R., Lafage, V., Hart, R. A., Bess, S., Kebaish, K., Schwab, F., Shaffrey, C. I., & Ames, C. P. 2015. "A comprehensive review of complication rates after surgery for adult deformity: A reference for informed consent". *Spine Deformity*, 3(6), 575–594. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2015.04.005>
- Smith, J. S., Shaffrey, C. I., Ames, C. P., Demakakos, J., Fu, K.-M. G., Keshavarzi, S., Y. Li, C. M., Deviren, V., Schwab, F. J., Lafage, V., & Bess, S. 2012. "Assessment of symptomatic rod fracture after posterior instrumented fusion for adult spinal

- deformity". *Neurosurgery*, 71(4), 862–868.
<https://doi.org/10.1227/neu.0b013e3182672aab>
- Smith, J. S., Shaffrey, E., Klineberg, E., Shaffrey, C. I., Lafage, V., Schwab, F. J., Protopsaltis, T., Scheer, J. K., Mundis, G. M., Fu, K.-M. G., Gupta, M. C., Hostin, R., Deviren, V., Kebaish, K., Hart, R., Burton, D. C., Line, B., Bess, S., Ames, C. P., & __. 2014. "Prospective multicenter assessment of risk factors for rod fracture following surgery for adult spinal deformity". *Journal of Neurosurgery: Spine*, 21(6), 994–1003.
<https://doi.org/10.3171/2014.9.spine131176>
- Teles, A. R., Yavin, D., Zafeiris, C. P., Thomas, K. C., Lewkonia, P., Nicholls, F. H., Swamy, G., & Jacobs, W. B. 2018. "Fractures after removal of spinal instrumentation: Revisiting the stress-shielding effect of instrumentation in spine fusion". *World Neurosurgery*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.05.187>
- Yang, J. S., Sponseller, P. D., Thompson, G. H., Akbarnia, B. A., Emans, J. B., Yazici, M., Skaggs, D. L., Shah, S. A., Salari, P., & Poe-Kochert, C. 2011. "Growing Rod fractures". *Spine*, 36(20), 1639–1644. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e31822a982f>
- Zhao, J., Li, B., Chen, Z., Yang, C., & Li, M. 2019. "Rod fracture after long construct fusion in adult spinal deformity surgery: A retrospective case-control study". *Journal of Orthopaedic Science*, 24(4), 607–611. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2018.12.010>