



Adolesan idiyopatik skolyoz cerrahisinde yeni neler var?

What is new in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis?

Yunus Emre Akman¹, Seçkin Basılğan², Cem Sever³

¹Ortopedklinikten, Mälarsjukhuset- Region Sörmland, Eskilstuna, İsveç

²Serbest Hekim, İstanbul

³İstanbul Aydın Üniversitesi, VM Medikal Park Florya Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul

Adolesan idiyopatik skolyozun cerrahi tedavisi, segmental pedikül vida enstrümantasyonunun ortaya çıkışından sonra birkaç on yıl içinde hızla ilerlemiştir. Robotik yardımcı cerrahinin, modern navigasyon sistemlerinin ve büyümeyi modüle eden füzyonsuz cerrahi tekniklerin gelişimi bu ilerlemeyi son zamanlarda ivmelendirmiştir. Adolesan idiyopatik skolyozun cerrahi tedavisinde ortaya çıkan bu çeşitli teknikler ve teknolojiler, şimdiye kadar bildirilen verilerde umut verici sonuçlar göstermiştir. Bununla birlikte, güvenilirlikleri ve etkinliklerini daha iyi değerlendirmek için daha büyük sayıda hastayı içeren, daha uzun takipli prospektif çalışmalar gereklidir. Bu çalışmanın amacı, adolesan idiyopatik skolyozun cerrahi tedavisinde son yıllarda ortaya çıkan teknikler ve yenilikleri gözden geçirmektir.

Anahtar sözcükler: adolesan idiyopatik skolyoz; cerrahi; yenilik; teknoloji

Surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis has progressed rapidly in the few decades since the advent of segmental pedicle screw instrumentation. The development of robotic-assisted surgery, modern navigation systems, and growth-modulating non-fusion surgical techniques has recently accelerated this progress. These various techniques and technologies emerging in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis have shown promising results in the data reported so far. However, longer-term prospective studies with larger cohorts are needed to better evaluate their safety and efficacy. The aim of this study is to review the techniques and innovations that have emerged in the recent years in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis.

Key words: adolescent idiopathic scoliosis; surgery; new; technology

Skolyoz, omurganın koronal planda 10°'den fazla eğriliği olarak tanımlanır. Ancak koronal, sagittal ve aksiyel planda üç boyutlu (3D) bir deformite olarak tanımlamak daha doğrudur.^[1] İdiyopatik skolyoz, pediatrik popülasyonda sık görülen bir omurga deformitesidir. Adolesan idiyopatik skolyoz (AIS) en sık görülen skolyoz tipi olup, insidansı %2-4'tür.^[2,3] Çocuklarda ve adolesanlarda idiyopatik skolyozun doğal seyri ve ilerleme riski, iskelet olgunluğu dâhil olmak üzere cinsiyet, eğrilik tipi ve sunumdaki eğriliğin büyüklüğü gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Deformite ilerlemesini izlemek için adolesan büyümesi sırasında rutin görüntüleme çalışmaları gereklidir. Geleneksel referans, standart olan tam omurga ayakta radyografilerdir. Konservatif tedaviye rağmen skolyotik eğrilikler ilerlediğinde ve cerrahi müdahale endike olduğunda, cerrahi tedavide

hedefler deformiteyi düzeltmek, eğriliğin ilerlemesini önlemek, gövde simetrisini ve dengesini sağlamak, ağrı ve morbiditeyi en aza indirmek olmalıdır.^[4-6]

Adolesan idiyopatik skolyozun kompleks 3B bir omurga deformitesi olduğunun anlaşılmasından sonra son birkaç on yıl içinde cerrahi ekipman ve tekniklerin hızlı bir şekilde evrimleşmesi gerçekleşmiştir. 1960'lerdeki Harrington enstrümantasyonu ile basit tek düzlemlili distraksiyon, 1970'lerde Luque telleriyle biplanar segmental enstrümantasyona ve daha sonra 1980'lerde üç düzlemlili Cotrel-Dubousset enstrümantasyonuna ve çubuk rotasyon manevrasına dönüştü.^[7] Pediküler vida enstrümantasyonunun ortaya çıkışı, düzeltici manevraların daha kuvvetli şekilde yapılabilmesine, daha erken ameliyat sonrası hasta mobilizasyonuna ve daha başarılı füzyon oranlarına imkan sağladı.^[8]

İletişim / Contact: Doç. Dr. Yunus Emre Akman • **E-posta / E-mail:** yemreakman@gmail.com

ORCID ID: Yunus Emre Akman, 0000-0003-2939-0519 • Seçkin Basılğan, 0000-0002-3019-3259 • Cem Sever, 0000-0002-3119-1327

Geliş / Received: 30 Mayıs 2022 • **Revizyon / Revised:** 14 Eylül 2022, 3 Ekim 2022 • **Kabul / Accepted:** 6 Ekim 2022

Son on yılda, çeşitli yeni robotik destekli tekniklerin, navigasyon sistemlerinin, 3B destekli model ve kılavuzlarla büyüme düzenleyici ve füzyonsuz cerrahi tekniklerin ortaya çıkmasıyla, adolesan idiyopatik skolyozun cerrahi tedavisinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu çalışmanın amacı, adolesan idiyopatik skolyozun cerrahi tedavisinde son yıllarda ortaya çıkan yeni teknikleri, teknolojileri ve yenilikleri gözden geçirmektir. Büyüme düzenleyici ve füzyonsuz cerrahi teknikler derginin aynı sayısında başka bir çalışmanın konusu olduğundan bu tekniklere bu çalışmada yer verilmeyecektir.

ADOLESAN İDİYOPATİK SKOLYOZUN ROBOTİK YARDIMLI CERRAHİ TEDAVİSİ

Adolesan idiyopatik skolyozunda pedikül vidalarının kullanımıyla ilgili önemli bir sorun, yetişkin spinal deformitelere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek pedikül vidası yanlış yerleştirilme oranıdır. Bu durum, AIS'de hasta yaşının genç olması ve deformitenin torasik yerleşim ile ilişkili olarak pediküllerin çapının daha küçük olmasına bağlanmıştır.^[9,10] Yanlış yerleştirilmiş pedikül vidalarından kaynaklanan vasküler ve nörolojik yapılarla verilen hasar, pediküllerin dar ve displastik olması yanında omurliliğin pedikül duvarı ile doğrudan temas hâlinde olması nedeniyle, özellikle şiddetli torasik deformiteleri olan AIS'li hastalarda daha da tehlikeli olabilir.^[9] Pedikül vidasının yanlış yerleştirilmesinden kaynaklanan potansiyel nörovasküler komplikasyonlara karşın, vidanın daha iyi yerleştirilebilmesi için geliştirilen tekniklerden biri de robot yardımcı pedikül vidası yerleştirme teknolojisidir.

Omurga cerrahisinde robotik yardımcı uygulamalar, yaklaşık 15 yıl önce piyasaya sürülmesinden bu yana önemli ölçüde geliştirilmiştir. Amerikan Gıda ve İlaç Kurumu (*Food and Drug Administration*, FDA) onaylı ilk robotik omurga platformu 2004 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde piyasaya sürülen *SpineAssist* (Mazor Robotics LTD., Caesarea, İsrail) idi.^[11] Bu sistemin çalışma prensibi, robotik kolun önceden belirlenmiş bir vida yoluna göre otomatik olarak konumlandırılması sonrası vida yolunun cerrah tarafından manuel olarak açılması ve vidanın gönderilmesi idi. *SpineAssist*, 2011 yılında bir dizi yazılım ve teknik yükseltme içeren *Mazor Renaissance* sistemiyle geliştirildi. 2014 yılında Uluslararası İleri Omurga Teknikleri Toplantısı'nda (*International Meeting on Advanced Spine Techniques*, IMAST, 2014) görüntü kılavuzluğunda *Renaissance* kullanılarak robotik destekli adolesan idiyopatik skolyoz cerrahi tedavisi üzerine ilk çok merkezli çalışma sunuldu. Bu retrospektif çalışmada beş merkezden 223 hastada 3,274 vidanın %99 doğruluk ile gönderildiği bildirilmişti. Toplam robotik yardımcı cerrahi süresi, tekniğe bakılmaksızın cerrahlar arasında yalnızca 1,5 dakikalık tutarlı bir standart sapma ile vida başına ortalama 4,5 dakika olarak bulun-

muştu. Vida revizyonu veya nörolojik komplikasyon bildirilmemişti.^[12] Adolesan idiyopatik skolyozun cerrahi olarak düzeltilmesinde *Renaissance* sisteminin kullanıldığı başka bir çalışmada 662 pedikül vidasında %92,8'lik bir doğruluk oranı göstermiştir.^[13] Adolesan idiyopatik skolyozlu 500'den fazla hastadan oluşan bir seride ilk 120 hastayı son 50 hastayla karşılaştırarak, verimlilik iyileştirmelerini değerlendirmek için *Renaissance* robotik destekli cerrahinin 10 yıllık bir incelemesi gerçekleştirildi.^[14] Buna göre robotik destekli cerrahiden serbest elle gönderilen vidaya dönme oranında önemli bir azalma gözlemlendi. Toplam robotla ameliyat süresi yarı yarıya azaldı ve toplam ameliyat süreleri ortalama 38 dakika kısaltıldı. Son olarak, robotik kılavuzluk altında toplam vida yerleştirme süreleri vida başına 4,7 dakikadan iki dakikanın altına düştü, robot kullanımı sırasında floroskopi süresi önemli ölçüde azaldı. Uzun dönem sonuçları henüz belli olmasa da geriye dönük çalışmalar her iki sistem için de pedikül vidası doğruluk oranlarının %85-100 arasında olduğunu göstermiştir.

Üçüncü nesil Mazor robotu olan *Mazor X*, planlama programlarının yanı sıra yeni nesil bir robotik kol da dâhil olmak üzere 2016'da yeni yazılımlarla daha da geliştirildi. Bu sistemde daha büyük ve daha geniş bir hareket alanına sahip bir robotik kol bulunmaktadır. Sistem pedikül vidası boyutu ve yolunun ameliyat öncesi şablonlanmasına izin verir. Bu şablon robotik kol kılavuzluğuyla kombine edilir ve bir cerrahi navigasyon platformu aracılığıyla gerçek zamanlı implant takibini ve doğrulamasını sağlar. Piyasaya çıkmasından sonra ilk iki yılı boyunca *Mazor X* yaygın olarak kullanılmadı. Sonrasında yaklaşık 100 ardışık adolesan idiyopatik skolyoz vakası *Mazor X* ile 1,608 pedikül vidası yerleştirilerek ameliyat edildi. Toplam robot kurulum süresi, sterilite, kayıt ve floroskopi yakalama için özel plastik örtünün uygulanmasını içeren her bir vakada *Renaissance'a* göre yaklaşık 35 dakika daha uzun olmasına rağmen sonraki her bir spinal seviyeye robot hareketi, *Mazor X* ile *Renaissance'tan* belirgin şekilde daha hızlıydı. Vida yerleştirme doğruluğu, klinik olarak kabul edilen bir derecelendirme sistemi kullanılarak intraoperatif floroskopi ve ameliyat sonrası radyograflarla belirlendiği üzere %98'in üzerinde bulundu. Komplikasyonlar arasında üç durotomi ve manuel yönlendirme gerektiren 14 yanlış vida yolu vardı; ancak hiçbir olumsuz nörolojik olay veya daha sonra vida revizyonu olmadı.^[15]

Mazor Robotics Medtronic (Medtronic, Memphis, TN, ABD) tarafından satın alındıktan kısa bir süre sonra Kasım 2018'de Mazor en yeni nesil robotik platform olan *Mazor X Stealth* için FDA izni aldı. *Mazor X Stealth*, "scan and plan" adı verilen yeni bir kayıt ve planlama yöntemini tanıttı. "Scan and plan" yöntemiyle ameliyat öncesi bilgisayarlı tomografi (BT) taraması gerekli değildir; ancak, omurganın 3B görüntüleri *O-arm* (Medtronic) tarafından ameliyat

sırasında elde edilmelidir. “Scan and plan” ile iş akışı, herhangi bir intraoperatif floroskopi veya ameliyat öncesi BT taraması ihtiyacını ortadan kaldırır ve ameliyathane dağınıklığını daha da azaltır.^[16] Ancak, tarama ve planlama süreci, implant boyutlandırma ve vidalama planlamasının ameliyat öncesi olarak değil ameliyat sırasında yapılmasını gerektirir.^[17]

Robotik yardımcı pedikül için öğrenme eğrisi AIS düzeltilmesi için bir çalışmayla özel olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, posterior spinal girişimler ile ilgili diğer çalışmalar, robotik yardımcı pedikül vidası yerleştirmede başarının ilk 30 prosedürden sonra arttığını ve buna eşlik eden robotikten manuel vida yerleştirmeye dönme sıklığında bir azalma olduğunu göstermiştir.^[10] Robotik yardımcı pedikül vidası yerleştirme, AIS cerrahisinde pedikül vidası malpozisyonunun insidansını azaltma potansiyeline sahiptir.

Robotik yardımcı pedikül vidası yerleştirmenin kendine özgü dezavantajları da vardır. Teknik, önceki sistemlerde pediatrik hastalar için kümülatif radyasyon dozunu artırma potansiyeline sahip bir ameliyat öncesi BT taraması gerektirir. Ek olarak, robot yardımcı pedikül vidası yerleştirmeye ameliyat süresi uzayabilir.^[18-20] Fakat ameliyat süresinin uzadığına dair net çalışmalar mevcut değildir. Bazı yazarlar ise ameliyat süresinin uzamadığını öne sürmektedir.^[21] Bu teknolojiyi kullanarak yüksek düzeyde vida doğruluğu sağlanabildiğini gösterilmiştir.^[22,23] Bu platform, giderek omurga anatomisi normal olmayan hastalarda daha karmaşık girişimlerin gerçekleştirilmesine izin verir hâle gelmektedir ve navigasyon sistemlerinin de eklenmesiyle girişimler daha güvenli bir şekilde uygulanabilmektedir. Bu kombine uygulanabilirlik özellikle AIS ve omurga deformitelerinin cerrahi tedavisinde umut vadetmektedir.

GÖRÜNTÜ KILAVUZLU PEDİKÜL VİDA YERLEŞİMİ

Pedikül vidasının yerleştirilmesinin doğruluğunu artırma çabası içinde, intraoperatif floroskopi ve BT görüntü kılavuzluğunda navigasyon kullanımı dâhil olmak üzere farklı görüntüleme kılavuzlu teknikler geliştirilmiştir.^[24-27] Bununla birlikte, bugüne kadarki çalışmalar farklı sonuçlar göstermiştir. Tek merkezli geniş bir çalışmada, üç boyutlu görüntü kılavuzlu navigasyon kullanımıyla vidaların %98,4’ü başarılı şekilde yerleştirilmişken serbest elle yerleştirme tekniğinde bu oran %94,9 olarak bulunmuştur.^[28] Ameliyathaneye büyük hacimli navigasyon cihazlarının entegrasyonu ile ilgili bir endişe, cerrahi sterilitenin tehlikeye girmesi nedeniyle artan enfeksiyon oranları olasılığıdır. Bununla birlikte, yapılan bir çalışmada enfeksiyon riskinin daha yüksek olduğunu saptanmamıştır.^[29]

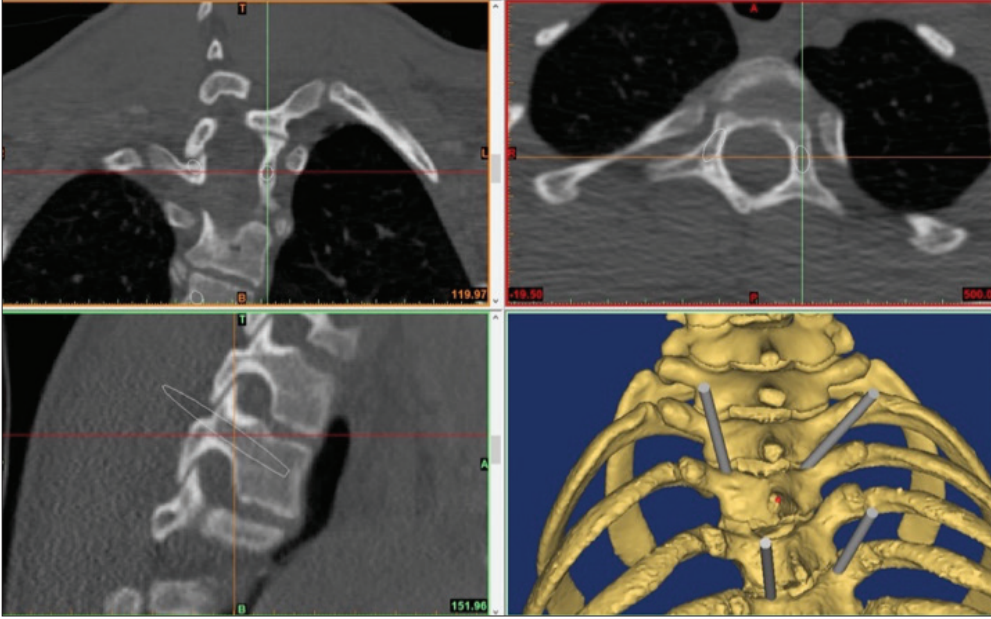
Bilgisayarlı tomografi kılavuzluğunda navigasyonda, ameliyat bölgesinin ameliyat öncesi BT taraması kullanılır. Görüntü daha sonra yazılım tarafından işlenir ve ameliyat esnasında ideal vida konumu belirlenir. Stereotaktik navigasyon kullanılarak, cerrahlar ameliyat sırasında pedikül vidasının yolu açılırken ellerinin ideal pozisyonu konusunda yönlendirilebilir. Ayrıca BT kılavuzluğunda navigasyon, minimal invaziv omurga cerrahisi uygulamalarına da izin vermektedir. Bununla birlikte, uygulamanın doğrulukta ve sonuçlarda gerçekten herhangi bir klinik farklılığa yol açıp açmadığına ilişkin veriler hâlâ çelişkilidir.^[30-32] Ayrıca bu teknikte öğrenme eğrisi uzun olabilir.^[33] Bununla birlikte bu tekniğin geliştirilmesi sırasında, fazla miktarda radyasyon maruziyetinin olası etkilerine karşın endişeler bulunmakta idi. Helikal BT taramalarının ortaya çıkmasıyla birlikte radyasyon maruziyetinin aslında geleneksel floroskopiden önemli ölçüde daha az olabileceğine dair bilimsel kanıt bulunmaktadır.^[34] Henüz yaygın olarak kullanılmamasına rağmen, BT kılavuzlu navigasyon, AIS cerrahi tedavisinde önemli avantajlar sunabilir.

SERBEST EL PEDİKÜL VİDA YERLEŞTİRME İÇİN ÜÇ BOYUTLU BASKILI OMURGA MODELİ VE KILAVUZLAR

Üç boyutlu baskı, cerrahi planlamada giderek yaygınlaşan ve kullanılan nispeten yeni bir teknolojidir. Omurga cerrahisindeki uygulaması yakın zamanda incelenmiştir.^[35-37] Süreç, 3B rekonstrüksiyonlu omurga BT taramasından verilerin elde edilmesiyle başlar. Bu veriler daha sonra kullanılabilir koda dönüştürülerek omurlar 3B yazdırılır. Omurga, her bir pedikül vidasının yerleşimini planlamak amacıyla cerrahın fiziksel olarak görebileceği, hissedebileceği ve manipüle edebileceği bir biçimde oluşturulur.

Bu 3B baskılı modeller tipik olarak ciddi deformiteler için kullanılır. Son çalışmalar, bu modellerin incelenmesinden sonra kabul edilebilir serbest vida konumlarının yüzdesinin, daha az deforme olmuş omurgalarda serbest vida yerleştirme konusundaki geçmiş verilere eşdeğer olduğunu ileri sürdü. Veriler ayrıca cerrahların 3B çalışmasından sonra aslında daha doğru olabileceğini öne sürdü. Model ve bu çalışma süresi azaltılabilir.^[38]

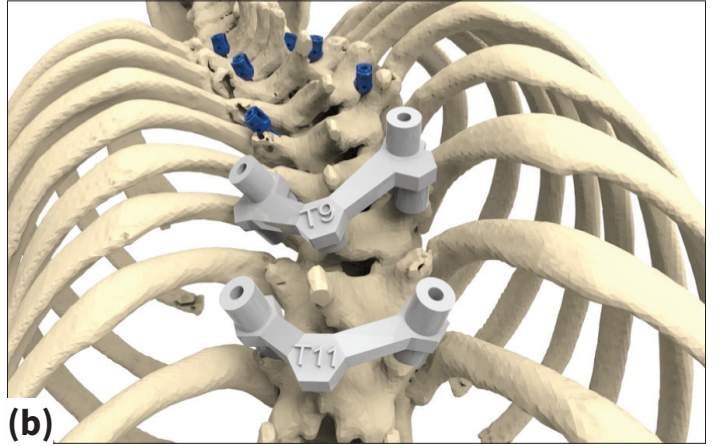
Üç boyutlu baskının gelecek vadeden bir başka uygulaması, intraoperatif olarak pedikül vidasının yerleştirilmesine yardımcı olacak fiziksel kılavuzlar oluşturmaktır.^[37-39] Ülkemizden de bu alanda geliştirilerek patenti alınmış bulunan ‘Smartguide’ isimli bir 3B yazdırılmış omurga kılavuz aparatı bulunmaktadır.^[40] Bu kılavuzlar BT görüntülerinin işlenmesi ile planlanarak (Şekil 1) sanal uygulaması yapılır (Şekil 2) ve 3B yazıcılarda yazdırılır, delme yörüngesine yardımcı olmak için her bir düzeyde doğruluğu potansiyel olarak geliştirmek amacıyla ameliyat esnasında kullanılır (Şekil 3). Bu kılavuzlar oldukça maliyet etkindir ve güvenilirliği gösterilmiştir.^[37]



Şekil 1. Üç boyutlu olarak basılmış kılavuzlarının (*Smartguide*) üretilmesi için BT görüntülerinin işlenmesi (Prof. Dr. Alpaslan Şenköylü'nün arşivinden izniyle alınmıştır).



(a)



(b)

Şekil 2.a-b. *Smartguide* 3B basılmış kılavuzların ameliyat öncesi sanal uygulaması (Prof. Dr. Alpaslan Şenköylü'nün arşivinden izniyle alınmıştır).

ÇIKARIMLAR

Modern omurga cerrahisinin gelişiminin ilk yıllarında ilerleme daha çok teknikler ve cerrahların kişisel yetenekleri temelinde olurken günümüzde bu ilerlemenin daha çok yeni teknolojiler güdümünde izlendiği görülmektedir. Robotik, bilgisayar destekli ve insansız teknolojilerle yapay zekanın sadece tıp değil birçok başka alanda yenilikçi yaklaşımların temelinde yer alıyor olması AIS'nin cerrahi tedavisinde önümüzdeki on yılın ameliyathanesinde ne gibi farklılıklarla karşılaşacağımız konusunda bize ipuçları vermektedir. Bu yazıda incelenen yeni teknolojilerin umut verici gelişimi on yıldan kısa sürede olmuştur. Bu ivmenin artarak sürmesi beklenebilir.



Şekil 3. *Smartguide* kılavuzlarının uygulanması (Prof. Dr. Alpaslan Şenköylü'nün arşivinde izniyle alınmıştır).

KAYNAKLAR

1. Hresko MT. Idiopathic scoliosis in adolescents. *N Engl J Med* 2013;368:834-41. [Crossref](#)
2. Smith JR, Sciubba DM, Samdani AF. Scoliosis: A straightforward approach to diagnosis and management. *JAAPA* 2008;21:40-5. [Crossref](#)
3. Roach JW. Adolescent idiopathic scoliosis. *Orthop Clin North Am* 1999;30:353-65. [Crossref](#)
4. Bettany-Saltikov J, Weiss H-R, Chockalingam N, Taranu R, Srinivas S, Hogg J, et al. Surgical versus non-surgical interventions in people with adolescent idiopathic scoliosis. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;4:CD010663. [Crossref](#)
5. Negrini S, Aulisa AG, Aulisa L, Circo AB, de Mauroy JC, Durmala J, et al. 2011 SOSORT guidelines: Orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis*. 2012;7(1):3. [Crossref](#)
6. Lonstein JE. Scoliosis: Surgical versus nonsurgical treatment. *Clin Orthop Relat Res* 2006;443:248-59. [Crossref](#)
7. Labelle H, Aubin CE, Jackson R, Lenke L, Newton P, Parent S. Seeing the spine in 3D. *J Pediatr Orthop* 2011;31(suppl1):37-45. [Crossref](#)
8. Gaines RW Jr. The use of pedicle screw internal fixation for the operative treatment of spinal disorders. *J Bone Joint Surg Am* 2000;82(10):1458-76. [Crossref](#)
9. Hicks JM, Singla A, Shen FH, Arlet V. Complications of pedicle screw fixation in scoliosis surgery: A systematic review. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010;35(10):E465-70. [Crossref](#)
10. Hu X, Ohnmeiss DD, Lieberman IH. Robotic-assisted pedicle screw placement: Lessons learned from the first 102 patients. *Eur Spine J* 2013;22(3):661-6. [Crossref](#)
11. Staub BN, Sadrameli SS. The use of robotics in minimally invasive spine surgery. *J Spine Surg* 2019;5(suppl1):S31-40. [Crossref](#)
12. Devito DP, Hegde SK, Woo R, Lieberman IH, Bederman SS. Retrospective analysis of feasibility and performance of robotic guidance for placement of pedicle screws in 223 adolescents with idiopathic scoliosis. Paper presented at: 21st International Meeting on Advanced Spine Techniques; 2014; Valencia, Spain.
13. Macke JJ, Woo R, Varich L. Accuracy of robot-assisted pedicle screw placement for adolescent idiopathic scoliosis in the pediatric population. *J Robot Surg* 2016;10(2):145-150. [Crossref](#)
14. Devito DP, Fernandez M, Blizzard DJ. Longitudinal assessment of robotic-assisted spine surgery: Accuracy and improvements in efficiency. *J Spine Surg* 2016;16(10):S369.
15. Devito DP, Woo R. History and evolution of spinal robotics in pediatric spinal deformity. *Int J Spine Surg* 2021;15(s2):S65-73. [Crossref](#)
16. O'Connor TE, O'Hehir MM, Khan, A, Mao JZ, Levy LC, Mullin JP, et al. Mazor X Stealth robotic technology: A technical note. *World Neurosurg* 2021;145:435-42. [Crossref](#)
17. Lieberman IH, Kisinde S, Hesselbacher S. Robotic-assisted pedicle screw placement during spine surgery. *JBJS Essen Surg Tech* 2020;10(2):e0020. [Crossref](#)
18. Ghasem A, Sharma A, Greif DN, Alam M, Maaieh MA. The arrival of robotics in spine surgery: A review of the literature. *Spine (Phila Pa 1976)* 2018;43(23):1670-7. [Crossref](#)
19. Gao S, Lv Z, Fang H. Robot-assisted and conventional freehand pedicle screw placement: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur Spine J* 2018;27(4):921-30. [Crossref](#)
20. Meng XT, Guan XF, Zhang HL, He SS. Computer navigation versus fluoroscopy-guided navigation for thoracic pedicle screw placement: A meta-analysis. *Neurosurg Rev* 2016;39(3):385-91. [Crossref](#)
21. Menger RP, Savardekar AR, Farokhi F, Sin A. A cost-effectiveness analysis of the integration of robotic spine technology in spine surgery. *Neuro-spine* 2018;15(3):216-24. [Crossref](#)
22. Benech CA, Perez R, Benech F, Greeley SL, Crawford N, Ledonio C. Navigated robotic assistance results in improved screw accuracy and positive clinical outcomes: An evaluation of the first 54 cases. *J Robot Surg* 2019;14(3):431-7. [Crossref](#)
23. Vardiman AB, Wallace DJ, Crawford NR, Riggelman JR, Ahrendtsen LA, Ledonio CG. Pedicle screw accuracy in clinical utilization of minimally invasive navigated robot-assisted spine surgery. *J Robotic Surg* 2019;14(3):409-13. [Crossref](#)
24. Malham GM, Parker RM. Early experience of placing image-guided minimally invasive pedicle screws without K-wires or bone-anchored trackers. *J Neurosurg Spine* 2018;28(4):357-63. [Crossref](#)
25. Staartjes VE, Klukowska AM, Schroder ML. Pedicle screw revision in robot-guided, navigated, and freehand thoracolumbar instrumentation: A systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg* 2018;116:433-43.e438. [Crossref](#)
26. Ledonio CG, Polly DW Jr, Vitale MG, Wang Q, Richards BS. Pediatric pedicle screws: Comparative effectiveness and safety: A systematic literature review from the Scoliosis Research Society and the Pediatric Orthopaedic Society of North America task force. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93(13):1227-34. [Crossref](#)
27. Chan A, Parent E, Narvacan K, San C, Lou E. Intraoperative image guidance compared with free-hand methods in adolescent idiopathic scoliosis posterior spinal surgery: A systematic review on screw-related complications and breach rates. *Spine J* 2017;17(9):1215-29. [Crossref](#)
28. Vissarionov S, Schroeder JE, Novikov SN, Kokyshin D, Belanchikov S, Kaplan L. The utility of 3-dimensional navigation in the surgical treatment of children with idiopathic scoliosis. *Spine Deform* 2014;2(4):270-5. [Crossref](#)
29. Baky FJ, Milbrandt T, Echternacht S, Stans AA, Shaughnessy WJ, Larson AN. Intraoperative computed tomography-guided navigation for pediatric spine patients reduced return to operating room for screw malposition compared with freehand/fluoroscopic techniques. *Spine Deform* 2019;7(4):577-81. [Crossref](#)
30. Urbanski W, Jurasz W, Wolanczyk M, Kulej M, Morasiewicz P, Dragan SL, et al. Increased radiation but no benefits in pedicle screw accuracy with navigation versus a freehand technique in scoliosis surgery. *Clin Orthop Relat Res* 2018;476(5):1020-7. [Crossref](#)

31. Dinesh SK, Tiruchelvarayan R, Ng I. A prospective study on the use of intraoperative computed tomography (iCT) for image-guided placement of thoracic pedicle screws. *Br J Neurosurg* 2012;26: 838-44. [Crossref](#)
32. Silbermann J, Riese F, Allam Y, Reichert T, Koeppert H, Gutberlet M. Computer tomography assessment of pedicle screw placement in lumbar and sacral spine: comparison between free-hand and O-arm based navigation techniques. *Eur Spine J* 2011;20(6):875-81. [Crossref](#)
33. Wood MJ, McMillen J. The surgical learning curve and accuracy of minimally invasive lumbar pedicle screw placement using CT based computer- assisted navigation plus continuous electromyography monitoring- a retrospective review of 627 screws in 150 patients. *Int J Spine Surg* 2014;8:27. [Crossref](#)
34. Abul-Kasim K, Overgaard A, Maly P, Ohlin A, Gunnarsson M, Sundgren PC. Low-dose helical computed tomography (CT) in the perioperative workup of adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Radiol* 2009;19(3):610-8. [Crossref](#)
35. Xu W, Zhang X, Ke T, Cai H, Gao X. 3D printing- assisted pre-operative plan of pedicle screw placement for middle-upper thoracic trauma: A cohort study. *BMC Musculoskelet Disord* 2017;18(1):348. [Crossref](#)
36. Park HJ, Wang C, Choi KH, Kim HN. Use of a life- size three-dimensional-printed spine model for pedicle screw instrumentation training. *J Orthop Surg Res* 2018;13(1):86. [Crossref](#)
37. Şenköylü A, Çetinkaya M, Daldal I, Necefov E, Eren A, Samartzis D. Personalized three-dimensional printing pedicle screw guide innovation for the surgical management of patients with adolescent idiopathic scoliosis. *World Neurosurg* 2020;144:e513-e522. [Crossref](#)
38. Guo F, Dai J, Zhang J, Ma Y, Zhu G, Shen J, et al. Individualized 3D printing navigation template for pedicle screw fixation in upper cervical spine. *PLoS One* 2017;12(2):e0171509. [Crossref](#)
39. Liu K, Zhang Q, Li X, Changsong Z, Quan X, Zhao R, et al. Preliminary application of a multi-level 3D printing drill guide template for pedicle screw placement in severe and rigid scoliosis. *Eur Spine J* 2017;26(6):1684-9. [Crossref](#)
40. Şenköylü A. Türk Patent ve Marka Kurumu, İncelemesiz patent No:TR 2015 08928 B. Buluş Başlığı: Omurilik Kılavuz Aparatı. Btech Sağlık Hizmetleri Araştırma ve Geliştirme San. ve Tic. A.Ş.