



## Metode notranjega fiksiranja križnice na črevnico – Pregled literature in analiza serije primerov fiksiranja z iliakalnim vijakom

Methods of internal sacroiliac fixation – Literature review and case series analysis of iliac screw fixation

Janez Mohar

### Izvleček

Da bi dosegli zatrditev med gibljivo ledveno hrbtenico in negibljivo križnico, so se ob razvoju instrumentacijskih sistemov za notranje fiksiranje prsno-ledvene hrbtenice razvijale kirurške tehnike, ki omogočajo podaljšati take sisteme na kostne elemente medenice. Izraz sakroiliakalno (SI) fiksiranje zajema vse instrumentacijske sisteme in kirurške tehnike za notranjo učvrstitev ledveno-križničnega predela hrbtenice na črevnico. Preprečevanje psevdootroze kostne fuzije ledveno-križničnega prehoda, ki nastane na meji med dvema različnima strukturama (gibljivo ledveno hrbtenico in statičnim medeničnim obročem), je dandanes eden glavnih izzivov kirurškega zdravljenja deformacij ledvene hrbtenice pri odraslih. Ledveno-križnični prehod je biomehansko os vrtenja, ki v stranski ravnini poteka skozi posteriorni longitudinalni ligament v višini medvretenčne ploščice gibljivega segmenta L5-S1. Velikost ročice fleksijskega navora je odvisna od števila instrumentiranih ravni gibljive prsno-ledvene hrbtenice, za stabilnost sistema pa je potreben nasprotni navor, ki je zaradi kratke ročice odvisen predvsem od pričvrstitvene moči vsadka na kostne elemente medeničnega obroča. Sistemi SI-fiksiranja preprečujejo nastanek psevdootroze kostne fuzije ledveno-križničnega prehoda, njen pojav pa je ob odsotnosti bioloških vzrokov (npr. okužba) odvisen izključno od trdnosti instrumentacijskega sistema (lomljivost materiala) in kakovosti fiksiranja instrumentarija na medenični obroč (omajanje na stiku med vsadkom in kostjo).

Indikacije za SI-fiksiranje so ledveno-križnična kostna fuzija (zatrditev) več kot treh ledvenih vretenc, razširjene korektivne osteotomije ledvenih vretenc, zlomi križnice s spinopelvično (SP) disociacijo, delna ali popolna sakrektomija, ledveno-križnična kostna fuzija pri osteoporotični kosti, spondilolisteza, ki je večja od II. stopnje po Meyerdingovi klasifikaciji, korekcija kifotične ali skoliotične deformacije ledvene hrbtenice in nagib medenice v čelni ravnini pri živčnomišičnih deformacijah ledvene hrbtenice.

Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Ankaran, Slovenija

**Korespondenca / Correspondence:** Janez Mohar, e: [janez.mohar@ob-valdoltra.si](mailto:janez.mohar@ob-valdoltra.si)

**Ključne besede:** deformacija hrbtenice; psevdootroza; ledveno-križnični prehod; iliakalni vijak; S2-alarilni iliakalni

**Key words:** spine deformity; pseudoarthrosis; lumbosacral junction; iliac screw; S2-alar-iliac screw

**Prispelo / Received:** 26. 1. 2021 | **Sprejeto / Accepted:** 16. 4. 2021

**Citirajte kot/Cite as:** Mohar J. Metode notranjega fiksiranja križnice na črevnico – Pregled literature in analiza serije primerov fiksiranja z iliakalnim vijakom. Zdrav Vestn. 2022;91(9–10):382–92. **DOI:** <https://doi.org/10.6016/ZdravVestn.3222>



Avtorske pravice (c) 2022 Zdravniški Vestnik. To delo je licencirano pod Creative Commons Priznanje avtorstva-Nekomercialno 4.0 mednarodno licenco.

Pregledni članek opisuje biomehaniko SP prehoda, predstavi zgodovino razvoja vsadkov ter kirurških tehnik in prikaže sodobne metode SI-fiksiranja.

## Abstract

In order to achieve bone fusion between the mobile lumbar spine and the immobile sacrum, surgical techniques have been developed along with the development of instrumentation systems for internal fixation of the thoracolumbar spine that allows the extension and fixation of such systems to the structural elements of the pelvis. The term sacroiliac fixation encompasses all instrumentation systems and surgical techniques for fixation of the lumbosacral spine to the ilium. Nowadays, prevention of pseudoarthrosis of the bone fusion at the lumbosacral region, the border between two different structures (mobile lumbar spine and static pelvic ring), is one of the main challenges of surgical treatment of adult lumbar spine deformities. Biomechanically, the lumbosacral junction represents an axis of rotation extending in the lateral plane through the posterior longitudinal ligament at the height of the intervertebral disc of the moving segment L5-S1. The flexion torque arm's size depends on the number of instrumented movable spine segments. Counter-torque is required for system stability, which, due to the short lever arm, depends mainly on the implant's attachment strength to the pelvic ring's bony elements. Sacroiliac fixation systems prevent the formation of pseudoarthrosis of the bone fusion of the lumbosacral junction. Its occurrence, with the exclusion of biological causes (i.e., infection), depends solely on the strength of the instrumentation system (the brittleness of the material) and the quality of attachment of the instrumentation to the pelvic ring (loss of fixation at the bone-implant interface).

Indications for sacroiliac fixation are lumbosacral fusion above the third lumbar vertebra, osteotomies of the lumbar vertebra, fractures of the sacrum with spinopelvic dissociation, partial or complete sacrectomy, lumbosacral fusion in the face of osteoporotic bone, spondylolisthesis grade III or more of Meyerding classification, correction of kyphotic or scoliotic deformity of the lumbar spine and pelvic obliquity in the frontal plane in neuromuscular deformities of the lumbar spine.

This review article aims to describe the spinopelvic junction's biomechanics, present the developmental history of implants and surgical techniques, and describe the modern sacroiliac fixation methods.

## 1 Uvod

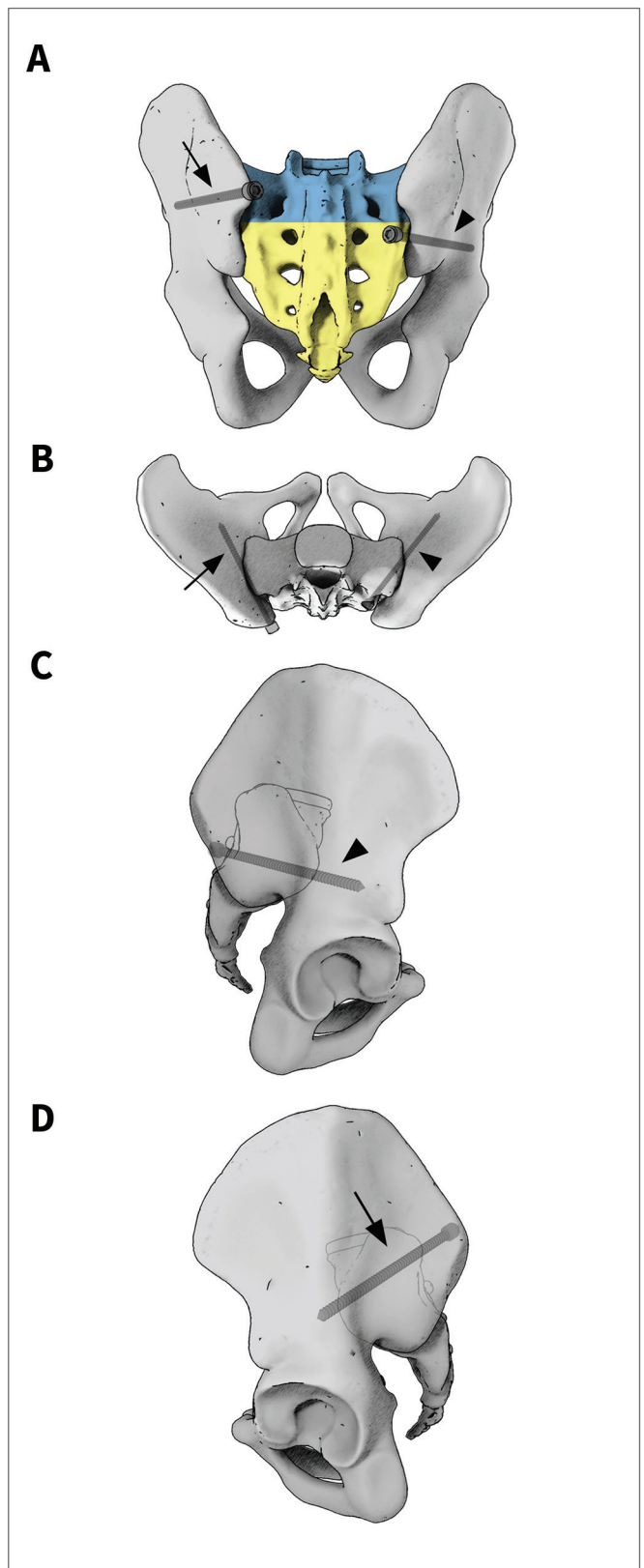
Kirurško zdravljenje kompleksne patologije prsno-ledvene hrbtenice temelji na notranji učvrstitvi v bolezenski proces zajetih kostnih struktur z namenom preprečiti napredovanje in hkrati stabilizirati korigirani položaj deformiranega hrbteničnega stebra. Tak "notranji fiksater" je pravzaprav večnivojski instrumentacijski konstrukt, sestavljen iz pedikularnih vijakov, pričvrščenih bilateralno v vretenca, in palic, ki povezujejo glave pedikularnih vijakov med seboj. Instrumentacijski konstrukt s tem spremeni gibljive segmente prsno-ledvene hrbtenice v negibljivo strukturo med seboj povezanih vretenc, kar je pogoj za zgodnjo mobiliziranje bolnika po operaciji. Instrumentacijski konstrukt s stabiliziranjem vretenc omogoča, da se na dekorticirane kostne strukture položeni kostni presadek s časom poveže v statično kostno fuzijo, ki za vse življenje zatrdi v konstrukt zajete gibljive segmente. Ledveno-križnični predel je biomehansko prehod med gibljivo ledveno hrbtenico in statičnim medeničnim obročem. Os vrtenja med tema dvema strukturama pa v stranski ravnini poteka skozi posteriorni longitudinalni ligament v višini medvretenčne ploščice gibljivega segmenta L5-S1. Ta anatomsko regija je torej predel, kjer se koncentrirajo tako statične kot

dinamične obremenitvene sile. Kadar je v instrumentacijski konstrukt zajeta križnica in več vretenc ledvene hrbtenice, se iatrogeno ustvarijo biomehanski pogoji, ki zahtevajo, da se izenačijo navori proksimalno in distalno od osi vrtenja v ledveno-križničnem prehodu. Velikost fleksijskega navora proksimalno od osi vrtenja je odvisen od števila prsno-ledvenih vretenc, zajetih v instrumentacijski konstrukt. Navor distalno od osi vrtenja je odvisen od dolžine distalne navorne ročice in od pričvrstitvene moči vsadka na kostne elemente medeničnega obroča. Pogoj za fleksijsko-ekstenzijsko stabilnost pa je, da vsadki, ki so fiksirani na elemente medeničnega obroča, potekajo anteriorno od osi vrtenja. Izraz SP-fiksiranje širše gledano zajema vse instrumentacijske sisteme in kirurške tehnike fiksiranja ledvene hrbtenice na križnico, pri čemer je le-ta biomehansko del medeničnega obroča. SI-pričvrstitev pa vključuje vse instrumentacijske sisteme in kirurške tehnike fiksiranja ledveno-križničnega dela hrbtenice na črevnico. Preprečevanje psevdootroze kostne fuzije v ledveno-križnični regiji in s tem propad instrumentacijskega konstrukta je dandanes eden glavnih izzivov kirurškega zdravljenja deformacij ledvene hrbtenice (1,2).

Indikacije za SI-fiksiranje so ledveno-križnična kostna fuzija več kot treh ledvenih vretenc, razširjene korektivne osteotomije spodnjih prsnih ter ledvenih vretenc, zlomi križnice s SP-disociacijo, delna ali popolna sakrektomija, ledvenokrižnična kostna fuzija pri osteoporotični kosti, spondilolisteza III., IV. in V. stopnje, kifotična ali skoliotična deformacija ledvene hrbtenice in nestabilni sedeči položaj zaradi nagiba medenice pri živčnomišičnih deformacijah ledvene hrbtenice (3).

Metode SP-fiksiranja razdelimo glede na mesto fiksiranja na sakropelvični regiji, ki jo definirajo O'Brienove anatomske cone (Slika 1). Pričvrstitvena moč distalnega dela instrumentacijskega konstrukta pa narašča glede na število v konstrukt zajetih con (4-6). O'Brienova cona I je telo vretenca S1 s kranialnimi križničnimi krili (ala sacri), metode SP-fiksiranja v tej anatomske regiji pa so pedikularni vijak S1, transfasetni vijak L5-S1 in tehnika Dunn-McCarthy. Pri slednji se palici v obliki črke S zataknejo za križnični krili. Primerna pa je pri otrocih z živčnomišično skoliozo, če ne hodijo, pri katerih je medenica premajhna in črevnični kortikali pretanki za klasično iliakalno fiksiranje (7). O'Brienova cona II je telo vretenca S2, kaudalni križnični krili in trtica, metode SP-fiksiranja v tej anatomske regiji so pedikularni vijak S2, sakroalarni vijak, sakralne nevroforaminalne kljuke v obliki konstrukta čeljusti in Jacksonova intrasakralna palica (8). O'Brienova cona III je črevnica, metode SP-fiksiranja v tej anatomske regiji so Galvestonska tehnika, iliakalni vijak in Kostuikova transiliakalna palica. Da bi dosegli čim večjo fiksacijsko moč na medenični obroč, se te tehnike kombinirajo ali pa se uporabljajo vsadki, ki omogočajo fiksiranje hkrati preko dveh O'Brienovih con. Te so Chopinov blok, plošča Tacoma, iliosakralna plošča Colorado II, Warner-Facklerjeva tehnika, iliosakralni vijak in S2-alarni-iliakalni vijak (S2AI) (9).

Biomehanski stres na fiksacijski konstrukt se bistveno zmanjša ob dodatnem stabiliziranju z vstavitvijo medvretenčne kletke med telesa vretenc L4, L5 in S1 (gibljiva segmenta L4-L5 in L5-S1 v ledveno-križničnem prehodu). S tem se zmanjšajo mikropremiki anteriorno od osi vrtenja v ledveno-križničnem prehodu, os vrtenja se premakne proksimalno, medvretenčna kletka pa tako nudi oporo konstrukt in ga "varuje" pred propadom (gre za prelome ali omajanje vsadkov) (10). Biomehanske raziskave so dokazale, da SI-fiksiranje z iliakalnimi vijaki sicer bolj zmanjša obremenitve na instrumentacijski konstrukt kot medvretenčna kletka sama (10,11). Vsaditev medvretenčne kletke med telesa vretenc ledvenokrižničnega prehoda je zato predpogoj pri vseh instrumentiranih



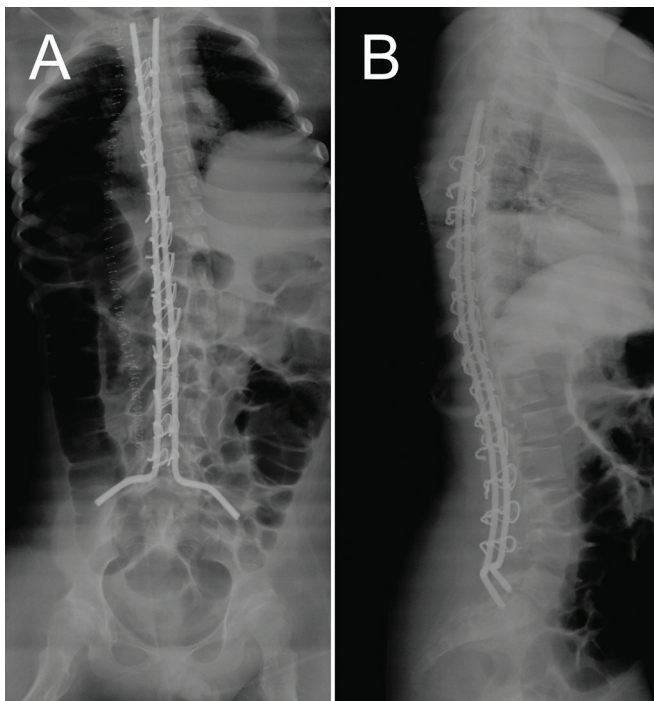
**Slika 1:** Posteriorni (A), superiorni (B) in lateralni (C in D) pogled na anatomsko shemo pelvičnega obroča z označenimi O'Brienovimi conami (cona I = modro, cona II = rumeno, cona III = sivo) in z vstavljenim iliakalnim (puščica) vijakom in vijakom S2AI (glava puščice).

kostnih zatrditvah ledvene hrbtenice na križnico. Pri dolgih prsno-ledveno-križničnih instrumentacijskih konstrukcijskih pa se mora vstavev medvretenčne kletke vedno kombinirati s SI- fiksiranjem.

## 2 Razvoj vsadkov za fiksiranje v O'Brienovi coni III

Prvi primer vsadka v O'Brienovi coni III je bila transiliakalna palica, ki povezuje črevnični krili, na kateri se je pritržil ledveni instrumentacijski konstrukt. Ta koncept so prvič opisali že leta 1962 v obliki Harringtonove navojne križnične palice, modifikacijo le-te pa je kasneje nadgradil Kostuik s svojim vsadkom, primernim za modernejše in bolj toge instrumentacijske sisteme (12,13).

Luque je v 70. letih 20. stoletja pri fiksiranju svoje-ga multisegmentnega sistema palic in sublaminarnih žic na medenico distalna konca ukrivil lateralno in ju uvedel skozi posteriorni črevnični krili. Pri t.i. palici Luque L gre za šibko SI-fiksiranje, zato ni bila zmožna kljubovati fiziološkim fleksijskim in torzijskim silam (14,15).



**Slika 2:** SP-fiksiranje z Luque-Galvestonsko tehniko pri 13-letnem dečku s skoliozo v sklopu spinalne mišične atrofije; anteroposteriora (A) in lateralna (B) projekcija (vir: arhiv Ortopedske klinike Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana).

Leta 1982 sta Allen in Ferguson iz University of Texas Medical Branch v Galvestonu opisala tehniko fiksiranja Luquejeve segmentne instrumentacije na medenico z uvajanjem podaljšane leve in desne palice v obliki črke L v črevnico (16). Luque-Galvestonska tehnika stabiliziranja z intrailakalno palico (Slika 2) je postala prva biomehansko in klinično uspešna oblika fiksiranja dolgih instrumentacijskih konstruktorov v O'Brienovo cono III. Tehnika predvideva uvajanje instrumentacijske palice z vstopno točko na spini iliaki posterior superior, palica pa poteka med obema kortikalama črevnice. Opisana stopnja kostne zatrditve ledveno-križničnega prehoda pri tej tehniki je 88–90 % (17,18). Biomehansko pa Luque-Galvestonska tehnika ne omogoča dovolj upora proti aksialnemu vleku, kar predstavlja komponento sile med ledveno fleksijo, zato zaradi mikropremikov v sakroiliakalnem sklepu lahko pride do erozivnih sprememb na stiku med palico in kostjo (fenomen brisalcev), zaradi česar se izgubi fiksacijska funkcija vsadka. Erozivne spremembe ne vodijo vedno v klinično izraženo psevdartrozo kostne fuzije, čeprav je le-ta ob prisotnosti "fenomena brisalcev" pogostejša (18). Opisana stopnja psevdartroze lumbosakralnega prehoda ob uporabi Luque-Galvestonske tehnike pri odraslih deformacijah hrbtenice se giblje med 36 % in 41 % (19,20). Dodatna slabost tehnike je zahtevno, anatomiji prilagojeno krivljenje palic, ki se uvedejo v črevnico. Luque-Galvestonska tehnika je še dandanes relativna indikacija pri bolnikih z živčno-mišično skoliozo, ki ne hodijo, zaradi nizkega profila vsadka in cene v obliki komercialno že prej proksimalno ukrivljene palice v obliki črke U (t.i. unit rod). Koncept Luque-Galvestonske intrailakalne palice je kasneje vodil v razvoj SI- fiksiranja z iliakalnimi vijaki (21).

Tehniko fiksiranja ledvenega instrumentarija na iliosakralni vijak so prvič opisali leta 1973, kasneje pa se je v izboljšani verziji razvila v 80. letih kot možnost SI-fiksiranja s prvo generacijo hibridne segmentalne instrumentacije s t.i. sistemom Cotrel-Dubousset (22,23). Pri tej tehniki se uvede vijak z zunanje strani črevnice proti telesu vretenca S1. Vijak omogoča močan trikortikalni kostni oprijem (zunanji in notranji korteks črevnice in posteriorni korteks križnice). Iliosakralni vijak kot samostojen vsadek pomeni SI-fiksiranje. Preko veznega elementa se poveže na palice ledvenega instrumentacijskega konstrukta. Pri tej tehniki se pedikularna vijaka S1 zaradi možnega stika z iliosakralnima vijakoma znotraj telesa vretenca S1 ne uporabljata. Sama tehnika pa omogoča precejšnjo

modularnost glede na anatomske pogoje. Zaradi razširjenega prepariranja preko črevničnega roba in zaradi možnosti, da se poškoduje posteriorni iliosakralni ligament, ki sproži sakroiliakalno nestabilnost ter visoko incidenco nevroloških sprememb zaradi napačnega položaja vijaka, se dandanes uporaba te tehnike omejuje predvsem na revizijske primere (15,23).

### 3 Moderne metode SI-fiksiranja

#### 3.1 Iliakalni vijak

Določene pomanjkljivosti Luque-Galvestonske tehnike je premostila tehnika povezave iliakalnih vijakov na palici instrumentacijskega konstrukta z modularnimi povezavami (konektorji) (24). Na kadaverskem modelu trikrat močnejše fiksiranje iliakalnih vijakov v črevnico v primerjavi z Galvestonsko intrailiakalno palico omogočata prisotnost navojev ter večja debelina vsadka (25). Vstopno mesto iliakalnega vijaka je v višini spine iliake posterior superior ali tik pod njo, smer (trajektorija) uvajanja pa je bodisi proti superiorni strehi acetabula bodisi proti spini iliaki anterior inferior. Slednja smer omogoča vstavitve daljših vsadkov, je varnejša z vidika možnosti, da se predre acetabularno dno in lahko močnejše fiksira, saj se vijak uvede skozi večjo zožitev med kortikalama črevnice v svojem poteku nad ishiadično incizuro (26). Zaradi daljšega iliakalnega vijaka je večja možnost za potek zunaj varnostne trajektorije in s tem za več zapletov, po drugi strani pa daljši vijak omogoča močnejše fiksiranje v črevnico. Daljši iliakalni vijaki imajo dokazano večjo silo izvleka, med fiziološkimi torzijskimi in kompresijskimi obremenitvami pa naj ne bi bilo statistično značilnih razlik v mehanski stabilnosti SI-fiksiranje med krajšimi in daljšimi iliakalnimi vijaki, a ob predpogoju, da tudi krajši vijak poteka anterolateralno od ishiadične incizure (27). Zlati standard vstavitve iliakalnega vijaka je torej čim debelejši in čim daljši vsadek, ki poteka v smeri spine iliake anterior inferior, in sicer anterolateralno od ishiadične incizure.

SI-fiksacijski konstrukt z iliakalnimi vijaki propade na dva načina: bodisi z omajanjem, ki povzroči psevdartrozo, bodisi z zlomom vsadka. Do omajanja iliakalnega vijaka pride med cikličnimi mikropremiki na meji med kostjo in vsadkom. Pojav je pogost, vendar v večini primerov klinično nem, razen v primeru, ko omajanje vodi v psevdartrozo (2,28,29). Revizija omajanih iliakalnih vijakov je potrebna, če se razvije psevdartroza, in sicer z vstavitvijo daljših in

debelejših vsadkov, ojačanjem stika med vsadkom in kostjo s kostnim cementom ali s stabiliziranjem z dvojnimi iliakalnimi vijaki (30-33). Zadnja tehnika, t.i. DIS (Dual Iliac Screw), je prvenstveno primerna predvsem pri resekcijah in osteotomijah križnice ter določenih oblikah prelomov križnice s premikom odlomkov (34).

Zlom vijaka je redkejša oblika propada fiksacije z opisano stopnjo 5,3 %, ki pogosteje prizadane mlajšo populacijo z dobro kakovostjo kostnine in nezadostnim premerom vijaka (28). Indikacija in možnosti revizijskega posega so sicer enaki kot pri omajanju.

SI-instrumentacijski konstrukt v obliki kombinacije S1 pedikularnega vijaka in iliakalnega vijaka ima določene pomanjkljivosti:

- Uvajanje iliakalnega vijaka zahteva razširjeno lateralno prepariranje mehkih tkiv prek črevničnega roba in s tem ustvarjanje kirurškega "mrtvega prostora" (predpogoj za lokalno okužbo).
- Iliakalni vijak je povezan s palico konstrukta prek konektorja, kar dodatno slabi togost konstrukta in tako predstavlja dodatni *locus minoris resistentiae* za propad le-tega, pri tem pa ni biomehanskih razlik, če se konektor fiksira na palico nad ali pod S1 pedikularnim vijakom (35). Opisana stopnja psevdartroze lumbosakralnega prehoda ob uporabi instrumentacije z iliakalnimi vijaki pri odraslih deformacijah hrbtenice se giblje med 6,4 % in 14 % (19,36).
- Glava iliakalnega vijaka in konektor predstavljata precejšnje prominiranje vsadka, kar je sorazmerno pogosto vzrok lokalne bolečine in revizijskih eksplantacij (incidenca med 6 % in 22 %) (2,19,37). Rezultati nedavno objavljenih raziskav sicer prikazujejo bistveno nižjo stopnjo tovrstnega zapleta v primeru, da je vstopno mesto iliakalnega vijaka pod spino iliako posterior superior, ali v primeru, da se glava vijaka "potopi" globoko v črevnično kost (38-40). V ugodnih anatomske pogojih je pri tem, t.i. »anatomskem« ali »subkrestalnem« vstopnem mestu iliakalnega vijaka, možno fiksirati palico na glavo vijaka brez uporabe konektorjev (41).

#### 3.2 Vijak S2AI

Instrumentacijski konstrukt z vijakom S2AI je najnovejša tehnika SI-fiksiranja, ki omogoča stabilnost brez potrebne uporabe konektorjev, z manjšim prominiranjem glave vijaka ter z manjšo lateralno disekcijo mehkih tkiv (42-44). Pri tej tehniki se poliaksialni vijak uvede skozi vstopno mesto na križnici, ki je 2-4 mm

lateralno in 4–8 mm distalno od dorzalnega foramna S1 (lateralno od sredine črte, ki povezuje foramna S1 in S2), trajektorija pa poteka skozi križnico, sakroiliakalni sklep ter v črevnico v smeri proti spini iliaki anterior inferior (1,21,44). Fiksiranje z vijakom S2AI omogoča trikortikalni oprijem (posteriorna kortikala križnice in obe kortikali sakroiliakalnega sklepa) in je primerna tako za otroke kot za odrasle (45-48). Uvajanje vijaka S2AI skozi hrustančno tkivo sakroiliakalnega sklepa lahko poveča lokalne bolečine po operaciji in pospešene degenerativne spremembe na sklepu (49,50). Dodatna možna zapleta pa sta napačni položaj vijaka in redko, vendar možno prominiranje glave vijaka pri suhih osebah z bolečinami nad križnico. Napačni položaj vijaka S2AI s predrtjem posteriorne stene črevnice vodi v zmanjšan oprijem le-tega in s tem v zmanjšano stabilnost konstrukta, anteriorni ali inferiorni preboj

črevnice pa ogroža vitalne strukture v medenici in ishiadični incizuri (arterija glutealis superior in ishiadični živec) (3,44).

### 3.3 Primerjava med iliakalnim vijakom in vijakom S2AI

Raziskave biomehanskih primerljivostnih študij med iliakalnim vijakom in vijakom S2AI na kadaverskih modelih so pokazale statistično primerljivost v trdnosti obeh konstruktov pri različnih načinih obremenitve le-tega (51-53). Doslej objavljene metaanalize kliničnih primerjav med iliakalnim vijakom in vijakom S2AI so dokazale statistično značilno znižano stopnjo tveganja za revizijski poseg, okužbo rane ali prominiranje vsadka z lokalno bolečino po operaciji ob uporabi vijaka S2AI tako pri odraslih kot pri

**Tabela 1:** Značilnosti bolnikov v kohorti.

Številka bolnika	Spol	Starost (leta)	Indikacija za operacijo	Insumentirane ravni	Čas spremljanja po operaciji (mesece)
1	ženski	72	iatrogena deformacija	T11-ilium	66
2	moški	62	iatrogena deformacija	T11-ilium	59
3	ženski	43	idiopatska skolioza odraslih	T8-ilium	49
4	moški	54	iatrogena deformacija	T12-ilium	45
5	ženski	60	sagitalno neravnovesje	L2-ilium	44
6	ženski	48	iatrogena deformacija	L3-ilium	44
7	moški	64	sagitalno neravnovesje	T11-ilium	44
8	ženski	58	idiopatska skolioza odraslih	T10-ilium	42
9	ženski	64	idiopatska skolioza odraslih	T3-ilium	39
10	ženski	57	idiopatska skolioza odraslih	T10-ilium	38
11	ženski	52	idiopatska skolioza odraslih	T11-ilium	38
12	moški	61	degenerativna skolioza	T11-ilium	34
13	ženski	49	sagitalno neravnovesje	L2-ilium	26
14	ženski	39	kongenitalna deformacija	L3-ilium	25
15	ženski	46	sindromska skolioza	T6-ilium	24
16	ženski	58	idiopatska skolioza odraslih	T2-ilium	21
17	ženski	69	degenerativna skolioza	T11-ilium	16
18	moški	63	degenerativna skolioza	T12-ilium	16
19	moški	72	iatrogena deformacija	T11-ilium	11
20	ženski	50	idiopatska skolioza odraslih	T9-ilium	7

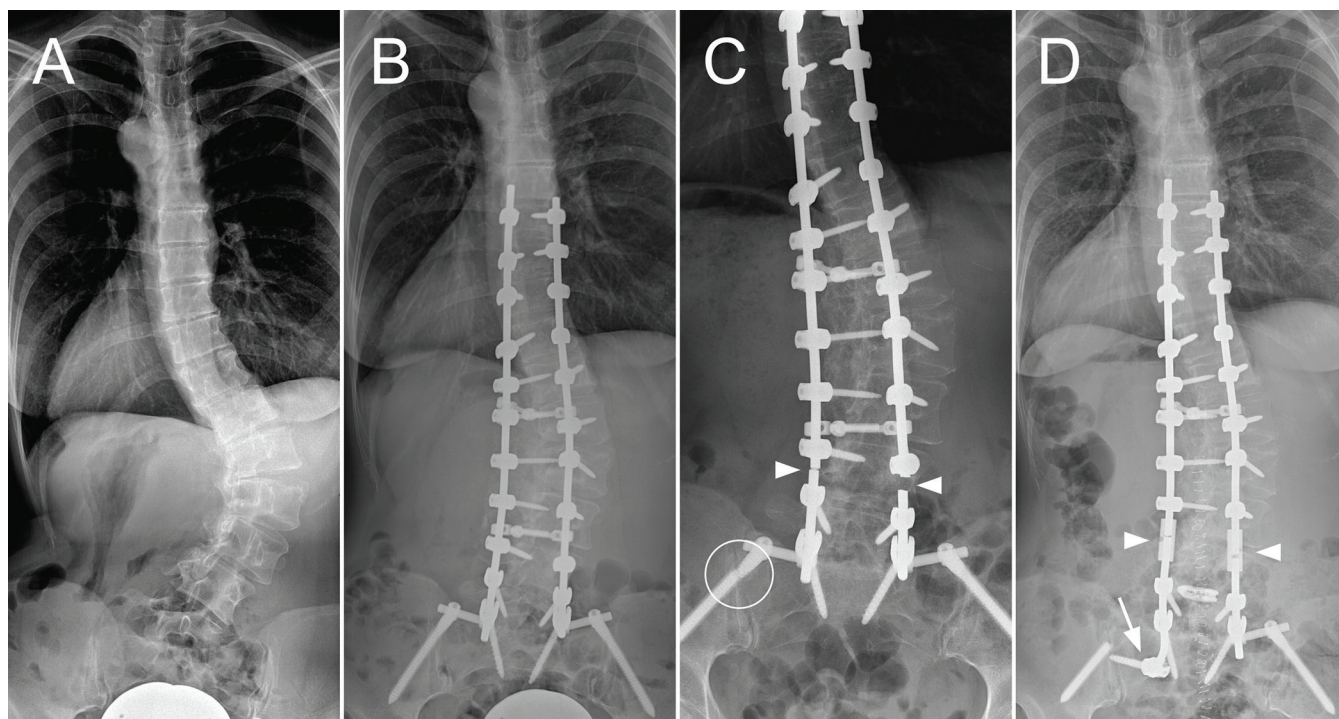
**Tabela 2:** Opisna statistika kohorte.

Značilnosti vzorca	Število
Število bolnikov	20
Spol	6 moških / 14 žensk
Starost (leta)	57 ± 9 (39–72)
Število instrumentiranih ravni	9 (5–18)
Čas sledenja (mesece)	34 ± 16 (7–66)

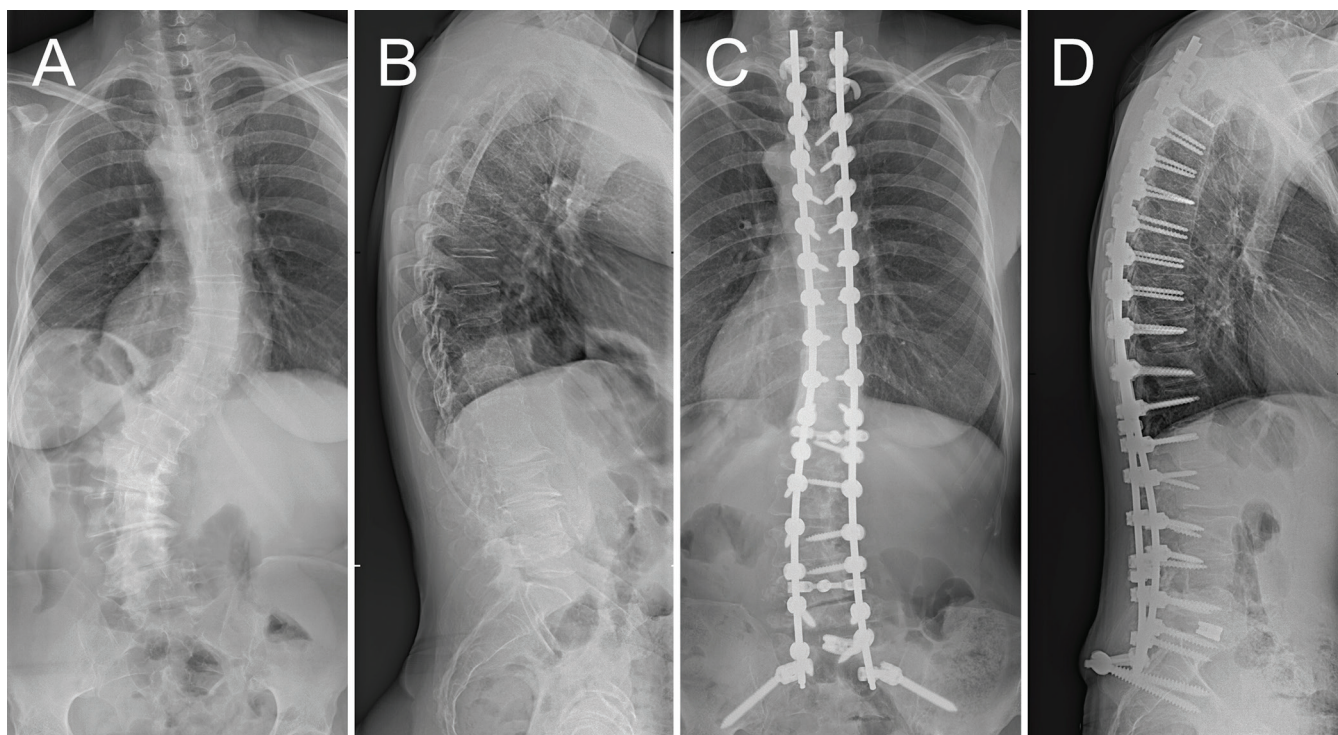
otročih, obenem pa se je z uporabo iliakalnega vijaka kar trikrat povečala stopnja tveganja za omajanje ali prelom fiksacijskega konstrukta (54–56). Kljub zahtevnejši tehniki pri uvajanju vijaka S2AI skozi križnico in medenico ter kljub pomislekom glede dolgoročnega vpliva na degeneracijo sakroiliakalnega sklepa, za katero zaenkrat še ni kliničnih dokazov, obstaja dandanes dovolj dokazov, da je SI-fiksiranje z vijakom S2AI glede varnostnega profila boljše od SI-fiksiranja z iliakalnim vijakom (57–65).

#### 4 Analiza serije primerov SI-fiksiranja z iliakalnim vijakom

Med julijem 2015 in junijem 2020 je bilo v Ortopedski bolnišnici Valdoltra opravljenih 20 bilateralnih SI-fiksiranj z iliakalnim vijakom, kar predstavlja avtorjevo začetno serijo zaporednih primerov s to tehniko (Tabela 1 in 2). Vsi iliakalni vijaki so bili vstavljeni s prostoročno tehniko in smo jim z rentgenskim ojačevalcem med operacijo preverili položaj. Trije posegi (bolniki 9, 15 in 16) so se zaradi pričakovane zahtevnosti po načrtu izvedli dvostopenjsko med isto hospitalizacijo (v prvi fazi postavitve vsadkov, v drugi fazi pa korekcija deformacije). Pri 15 primerih je šlo za primarno operacijo s predominantno idiopatsko etiologijo, pri 5 primerih pa za revizijski poseg v sklopu iatrogene deformacije, bodisi kifoze, bodisi kifoskolioze. Pri 2 bolnicah (številka 3 in 16) so bili opravljeni trije revizijski posegi zaradi indikacije v predelu SI-fiksiranja (zlom iliakalnega vijaka, lokalna okužba in prominiranje iliakalnega vijaka). Retrospektivno analizo serije primerov je odobrila



**Slika 3:** Revizijski primer št. 1: anteroposteriorni rentgenski posnetki bolničine hrbtenice pred – (A) in po operaciji (B). C – stanje po prelomu leve in desne fiksacijske palice (glave puščic) ter prelomu levega iliakalnega vijaka (obkroženo). D – povezava prelomljenih palic z veznim členom (glavi puščic), odstranitev proksimalnega dela iliakalnega vijaka in fiksiranje distalnega dela leve palice v križnico s sakro-alarim vijakom (puščica).



**Slika 4:** Revizijski primer št. 2: rentgenski posnetek bolničine hrbtenice pred operacijo anteroposteriorni (A) ter lateralni (B) in po operaciji anteroposteriorni (C) ter lateralni (D).

Etična komisija Ortopedske bolnišnice Valdoltra, št.1/2021, dne 20. 01. 2021. Avtor potrjuje, da je prejel pisno soglasje obeh bolnic za objavo anonimiziranih zdravstvenih podatkov in slikovnega gradiva.

#### 4.1 Revizijski primer št. 1

Pri 43-letni bolnici (št. 3, [Tabela 1](#)) z rigidno, desnostransko idiopatsko skoliotično krivino ledvene hrbtenice med T12 in L4 vretencem in vrhom na vretencu L2 se je opravila enostopenjska korekcija in posteriorna instrumentirana kostna zatrditev med vretencem T8 in križnico ter SI-fiksiranje ([Sliki 3A](#) in [3B](#)). Štiri mesece po operaciji je doživela prometno nesrečo z naletom drugega vozila od zadaj. Na osnovi slikovnih preiskav je bila takrat izključena poškodba skeleta ali sprememba položaja vsadkov, pojavila pa se je kronična bolečina v ledveno-križničnem predelu. Tri leta po operaciji je začutila zvočni fenomen poka v ledveno-križničnem prehodu s hujšo lokalno bolečino. Slikovne preiskave so pokazale propad instrumentacijskega konstrukta s prelomom fiksacijskih palic med vretencema L4 in L5 ter prelomom levega iliakalnega vijaka ([Slika 3C](#)). Med revizijskim

posegom je bil popravljen distalni del instrumentacije ter se je skozi foramen vstavila medvretenčna kletka, da bi omogočili dodatno interkorporalno kostno fuzijo ([Slika 3D](#)). Razloga propada instrumentacijskega konstrukta so ciklične obremenitve materiala in stresni zlom le-tega, katerega vzrok je psevdartroza posteriorne kostne fuzije med četrtem in petim ledvenim vretencem (ugotovitev med operacijo). Pojavu psevdartroze je najverjetneje botrovala nezadostna stabilizacija ledveno-križničnega prehoda med prvo operacijo, ker ni bila vstavljena medvretenčna kletka na segmentu L5-S1.

#### 4.2 Revizijski primer št. 2

Pri 58-letni bolnici (št. 16, [Tabela 1](#)) z dvojno idiopatsko skoliotično krivino odraslih je bila zaradi napredovanja deformacije in kljub konzervativnim ukrepom pri vztrajajoči bolečini narejena dvostopenjska korekcija in instrumentirana kostna zatrditev med vretencem T2 in križnico ter SI-fiksiranje ([Slika 4](#)). Po operaciji je bolnica načrtovano shujšala, zaradi zmanjšanja podkožnega maščevja v predelu spine iliake posterior superior pa je prišlo do prominiranja



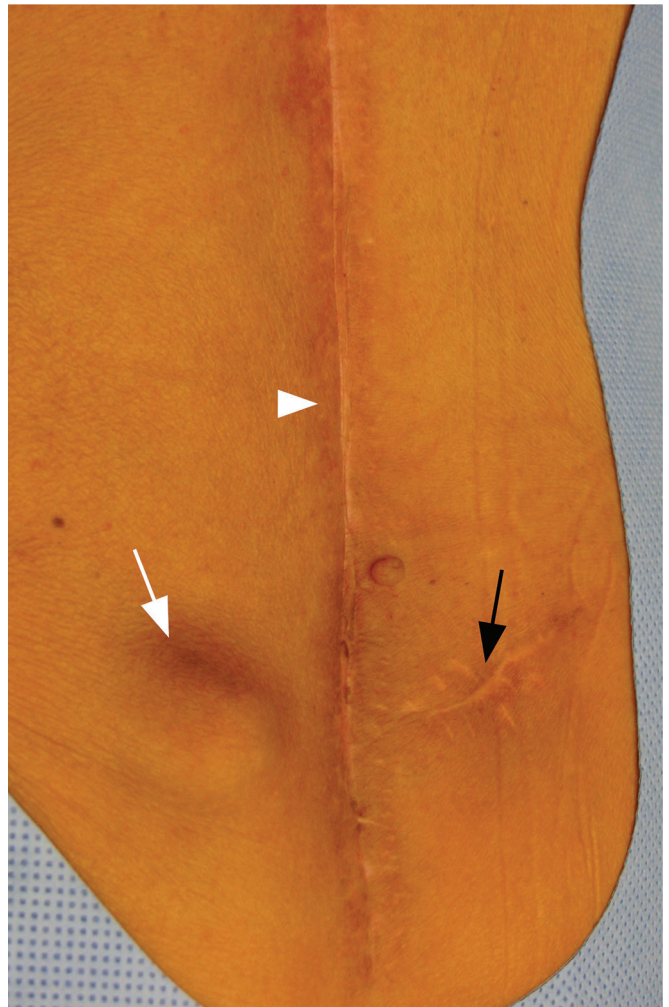
glav iliakalnih vijakov ter obeh konektorjev, kar je bolnico lokalno dražilo z bolečino. 5 mesecev po posegu je prišlo do predrnja kožnega pokrova in fistulacije z gnojnim iztokom nad desnim prominiranjem ob sistemskih in laboratorijskih znakih vnetja. Bolnica je bila urgentno operirana z ekscizijo fistule, eksplantacijo desnega iliakalnega vijaka ter distalnega dela palice s konektorjem, nekrektomijo, lavažo in dreniranjem ter primarnim šivom rane. Iz kužnin so osamili *Staphylococcus Aureus Spp*, vnetje pa se je pozdravilo po večtedenski dvotirni antibiotični terapiji. 9 mesecev po primarnem posegu je bil elektivno odstranjen še levi iliakalni vijak zaradi izrazitih lokalnih bolečin ob podpisu bolnice, da je seznanjena z morebitnimi kasnejšimi zapleti v zvezi z izgubo trdnosti ledveno-križničnega instrumentacijskega konstrukta (Slika 5).

## 5 Zaključek

Moderni tehniki SI-fiksiranja, kot sta notranja učvrstitev z iliakalnim vijakom in vijakom S2AI, izboljšujeta stopnjo kostnega zaraščanja po transplataciji prostega kostnega presadka v ledveno-križnični regiji. S tem so ustvarjeni predpogoji za trajnostno klinično in zdravstveno-ekonomsko upravičenost korekcijskih posegov deformacij prsno-ledvene hrbtenice pri odraslih bolnikih. Zaradi staranja populacije, zahtev po boljši kakovosti življenja ter vse večji telesni dejavnosti starejšega prebivalstva se število tovrstnih operacij v razvitem svetu povečuje.

## Izjava o navzkrižju interesov

Avtor nima navzkrižja interesov.



**Slika 5:** Revizijski primer št. 2: fotografija bolnice pred odstranitvijo drugega iliakalnega vijaka. Vidna je brazgotina po posteriornem pristopu na hrbtenico (glava puščice), brazgotina po izrezu gnojne fistule ter odstranitvi desnega iliakalnega vijaka (črna puščica) in prominiranje glave levega iliakalnega vijaka (bela puščica).

## Literatura

1. Koller H, Zenner J, Hempfing A, Ferraris L, Meier O. Reinforcement of lumbosacral instrumentation using S1-pedicle screws combined with S2-alar screws. *Oper Orthop Traumatol.* 2013;25(3):294-314. DOI: [10.1007/s00064-012-0160-0](https://doi.org/10.1007/s00064-012-0160-0) PMID: 23519295
2. Tsuchiya K, Bridwell KH, Kuklo TR, Lenke LG, Baldus C. Minimum 5-year analysis of L5-S1 fusion using sacropelvic fixation (bilateral S1 and iliac screws) for spinal deformity. *Spine.* 2006;31(3):303-8. DOI: [10.1097/01.brs.0000197193.81296.f1](https://doi.org/10.1097/01.brs.0000197193.81296.f1) PMID: 16449903
3. Jain A, Hassanzadeh H, Strike SA, Menga EN, Sponseller PD, Kebaish KM. Pelvic Fixation in Adult and Pediatric Spine Surgery: Historical Perspective, Indications, and Techniques: AAOS Exhibit Selection. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(18):1521-8. DOI: [10.2106/JBJS.O.00576](https://doi.org/10.2106/JBJS.O.00576) PMID: 26378268
4. O'Brien MF. Sacropelvic fixation in spinal deformity. In: DeWald RL, ed. *Spinal deformities: the comprehensive text.* New York: Thieme; 2003. pp. 601-14.
5. McCord DH, Cunningham BW, Shono Y, Myers JJ, McAfee PC. Biomechanical analysis of lumbosacral fixation. *Spine.* 1992;17(8):S235-43. DOI: [10.1097/00007632-199208001-00004](https://doi.org/10.1097/00007632-199208001-00004) PMID: 1523506
6. Lebowitz NH, Cunningham BW, Dmitriev A, Shimamoto N, Gooch L, Devlin V, et al. Biomechanical comparison of lumbosacral fixation techniques in a calf spine model. *Spine.* 2002;27(21):2312-20. DOI: [10.1097/00007632-200211010-00003](https://doi.org/10.1097/00007632-200211010-00003) PMID: 12438978

7. McCarthy RE, Dunn H, McCullough FL. Luque fixation to the sacral ala using the Dunn-McCarthy modification. *Spine*. 1989;14(3):281-3. DOI: [10.1097/00007632-198903000-00007](https://doi.org/10.1097/00007632-198903000-00007) PMID: 2711243
8. Jackson RP, McManus AC. The iliac buttress. A computed tomographic study of sacral anatomy. *Spine*. 1993;18(10):1318-28. DOI: [10.1097/00007632-199308000-00011](https://doi.org/10.1097/00007632-199308000-00011) PMID: 8211364
9. Warner WC, Fackler CD. Comparison of two instrumentation techniques in treatment of lumbar kyphosis in myelodysplasia. *J Pediatr Orthop*. 1993;13(6):704-8. DOI: [10.1097/01241398-199311000-00002](https://doi.org/10.1097/01241398-199311000-00002) PMID: 8245191
10. Alegre GM, Gupta MC, Bay BK, Smith TS, Laubach JE. S1 screw bending moment with posterior spinal instrumentation across the lumbosacral junction after unilateral iliac crest harvest. *Spine*. 2001;26(18):1950-5. DOI: [10.1097/00007632-200109150-00003](https://doi.org/10.1097/00007632-200109150-00003) PMID: 11547192
11. Cunningham BW, Lewis SJ, Long J, Dmitriev AE, Linville DA, Bridwell KH. Biomechanical evaluation of lumbosacral reconstruction techniques for spondylolisthesis: an in vitro porcine model. *Spine*. 2002;27(21):2321-7. DOI: [10.1097/00007632-200211010-00004](https://doi.org/10.1097/00007632-200211010-00004) PMID: 12438979
12. Harrington PR. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J Bone Joint Surg Am*. 1962;44-A(4):591-610. DOI: [10.2106/00004623-196244040-00001](https://doi.org/10.2106/00004623-196244040-00001) PMID: 14036052
13. Kostuik JP, Musha Y. Extension to the sacrum of previous adolescent scoliosis fusions in adult life. *Clin Orthop Relat Res*. 1999;364:53-60. DOI: [10.1097/00003086-199907000-00008](https://doi.org/10.1097/00003086-199907000-00008) PMID: 10416392
14. Moshirfar A, Rand FF, Sponseller PD, Parazin SJ, Khanna AJ, Kebaish KM, et al. Pelvic fixation in spine surgery. Historical overview, indications, biomechanical relevance, and current techniques. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87:89-106. DOI: [10.2106/00004623-200511002-00011](https://doi.org/10.2106/00004623-200511002-00011) PMID: 16326728
15. Santos ER, Rosner MK, Perra JH, Polly DW. Spinopelvic fixation in deformity: a review. *Neurosurg Clin N Am*. 2007;18(2):373-84. DOI: [10.1016/j.nec.2007.02.009](https://doi.org/10.1016/j.nec.2007.02.009) PMID: 17556140
16. Allen BL, Ferguson RL. The Galveston technique for L rod instrumentation of the scoliotic spine. *Spine*. 1982;7(3):276-84. DOI: [10.1097/00007632-198205000-00014](https://doi.org/10.1097/00007632-198205000-00014) PMID: 7112242
17. Saer EH, Winter RB, Lonstein JE. Long scoliosis fusion to the sacrum in adults with nonparalytic scoliosis. An improved method. *Spine*. 1990;15(7):650-3. DOI: [10.1097/00007632-199007000-00007](https://doi.org/10.1097/00007632-199007000-00007) PMID: 2218710
18. Gau YL, Lonstein JE, Winter RB, Koop S, Denis F. Luque-Galveston procedure for correction and stabilization of neuromuscular scoliosis and pelvic obliquity: a review of 68 patients. *J Spinal Disord*. 1991;4(4):399-410. DOI: [10.1097/00002517-199112000-00001](https://doi.org/10.1097/00002517-199112000-00001) PMID: 1810562
19. Emami A, Deviren V, Berven S, Smith JA, Hu SS, Bradford DS. Outcome and complications of long fusions to the sacrum in adult spine deformity: luque-galveston, combined iliac and sacral screws, and sacral fixation. *Spine*. 2002;27(7):776-86. DOI: [10.1097/00007632-200204010-00017](https://doi.org/10.1097/00007632-200204010-00017) PMID: 11923673
20. Boachie-Adjei O, Dendrinos GK, Ogilvie JW, Bradford DS. Management of adult spinal deformity with combined anterior-posterior arthrodesis and Luque-Galveston instrumentation. *J Spinal Disord*. 1991;4(2):131-41. DOI: [10.1097/00002517-199106000-00002](https://doi.org/10.1097/00002517-199106000-00002) PMID: 1806077
21. Shillingford JN, Laratta JL, Tan LA, Sarpong NO, Lin JD, Fischer CR, et al. The Free-Hand Technique for S2-Alar-Iliac Screw Placement: A Safe and Effective Method for Sacropelvic Fixation in Adult Spinal Deformity. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(4):334-42. DOI: [10.2106/JBJS.17.00052](https://doi.org/10.2106/JBJS.17.00052) PMID: 29462037
22. Vidal J, Allieu Y, Fassio B, Adrey J, Goalard C. Spondylolisthesis: reduction with Harrington's rods. *Rev Chir Orthop Repar Appar Mot*. 1973;59(1):21-41. PMID: 4268646
23. Farcy JP, Rawlins BA, Glassman SD. Technique and results of fixation to the sacrum with iliosacral screws. *Spine*. 1992;17(6):S190-5. DOI: [10.1097/00007632-199206001-00022](https://doi.org/10.1097/00007632-199206001-00022) PMID: 1631717
24. Peelle MW, Lenke LG, Bridwell KH, Sides B. Comparison of pelvic fixation techniques in neuromuscular spinal deformity correction: galveston rod versus iliac and lumbosacral screws. *Spine*. 2006;31(20):2392-8. DOI: [10.1097/01.brs.0000238973.13294.16](https://doi.org/10.1097/01.brs.0000238973.13294.16) PMID: 16985470
25. Schwend RM, Sluyters R, Najdzionek J. The pylon concept of pelvic anchorage for spinal instrumentation in the human cadaver. *Spine*. 2003;28(6):542-7. DOI: [10.1097/01.BRS.0000049925.58996.66](https://doi.org/10.1097/01.BRS.0000049925.58996.66) PMID: 12642759
26. Berry JL, Stahurski T, Asher MA. Morphometry of the supra sciatic notch intrailiac implant anchor passage. *Spine*. 2001;26(7):E143-8. DOI: [10.1097/00007632-200104010-00002](https://doi.org/10.1097/00007632-200104010-00002) PMID: 11295914
27. Zheng ZM, Yu BS, Chen H, Aladin DM, Zhang KB, Zhang JF, et al. Effect of iliac screw insertion depth on the stability and strength of lumbo-iliac fixation constructs: an anatomical and biomechanical study. *Spine*. 2009;34(16):E565-72. DOI: [10.1097/BRS.0b013e3181ac8fc4](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181ac8fc4) PMID: 19770599
28. Kuklo TR, Bridwell KH, Lewis SJ, Baldus C, Blanke K, Iffrig TM, et al. Minimum 2-year analysis of sacropelvic fixation and L5-S1 fusion using S1 and iliac screws. *Spine*. 2001;26(18):1976-83. DOI: [10.1097/00007632-200109150-00007](https://doi.org/10.1097/00007632-200109150-00007) PMID: 11547195
29. Phillips JH, Gutheil JP, Knapp DR. Iliac screw fixation in neuromuscular scoliosis. *Spine*. 2007;32(14):1566-70. DOI: [10.1097/BRS.0b013e318067dcff](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318067dcff) PMID: 17572629
30. Akesen B, Wu C, Mehbod AA, Sokolowski M, Transfeldt EE. Revision of loosened iliac screws: a biomechanical study of longer and bigger screws. *Spine*. 2008;33(13):1423-8. DOI: [10.1097/BRS.0b013e3181753c04](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181753c04) PMID: 18520937
31. Zheng ZM, Zhang KB, Zhang JF, Yu BS, Liu H, Zhuang XM. The effect of screw length and bone cement augmentation on the fixation strength of iliac screws: a biomechanical study. *J Spinal Disord Tech*. 2009;22(8):545-50. DOI: [10.1097/BSD.0b013e3181929e0c](https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e3181929e0c) PMID: 19956027
32. Decker S, Meyer M, Müller CW, Krettek C, Ferle M. Cement augmentation as revision strategy for loosened thick-diameter non-fenestrated iliac screws - A biomechanical analysis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2019;65:41-4. DOI: [10.1016/j.clinbiomech.2019.04.001](https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.04.001) PMID: 30959349
33. Yu BS, Zhuang XM, Zheng ZM, Li ZM, Wang TP, Lu WW. Biomechanical advantages of dual over single iliac screws in lumbo-iliac fixation construct. *Eur Spine J*. 2010;19(7):1121-8. DOI: [10.1007/s00586-010-1343-8](https://doi.org/10.1007/s00586-010-1343-8) PMID: 20195650
34. Bourghli A, Boissiere L, Obeid I. Dual iliac screws in spinopelvic fixation: a systematic review. *Eur Spine J*. 2019;28(9):2053-9. DOI: [10.1007/s00586-019-06065-3](https://doi.org/10.1007/s00586-019-06065-3) PMID: 31300882
35. Tis JE, Helgeson M, Lehman RA, Dmitriev AE. A biomechanical comparison of different types of lumbo-pelvic fixation. *Spine*. 2009;34(24):E866-72. DOI: [10.1097/BRS.0b013e3181bf94f0](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181bf94f0) PMID: 19910754
36. Kasten MD, Rao LA, Priest B. Long-term results of iliac wing fixation below extensive fusions in ambulatory adult patients with spinal disorders. *J Spinal Disord Tech*. 2010;23(7):e37-42. DOI: [10.1097/BSD.0b013e3181cc8e7f](https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e3181cc8e7f) PMID: 20124910
37. O'Shaughnessy BA, Lenke LG, Bridwell KH, Cho W, Zebala LP, Chang MS, et al. Should symptomatic iliac screws be electively removed in adult spinal deformity patients fused to the sacrum? *Spine*. 2012;37(13):1175-81. DOI: [10.1097/BRS.0b013e3182426970](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3182426970) PMID: 22146291
38. Harrop JS, Jeyamohan SB, Sharan A, Ratliff J, Vaccaro AR. Iliac bolt fixation: an anatomic approach. *J Spinal Disord Tech*. 2009;22(8):541-4. DOI: [10.1097/BSD.0b013e31818da3e2](https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e31818da3e2) PMID: 19956026
39. Ramchandran S, George S, Asghar J, Shuffelbarger H. Anatomic Trajectory for Iliac Screw Placement in Pediatric Scoliosis and Spondylolisthesis: An Alternative to S2-Alar Iliac Portal. *Spine Deform*. 2019;7(2):286-92. DOI: [10.1016/j.jspd.2018.08.003](https://doi.org/10.1016/j.jspd.2018.08.003) PMID: 30660223
40. Nguyen JH, Buell TJ, Wang TR, Mullin JP, Mazur MD, Garces J, et al. Low rates of complications after spinopelvic fixation with iliac screws in 260 adult patients with a minimum 2-year follow-up. *J Neurosurg Spine*. 2019;30(5):1-9. DOI: [10.3171/2018.9.SPINE.18239](https://doi.org/10.3171/2018.9.SPINE.18239) PMID: 30717036

41. Liu G, Hasan MY, Wong HK. Subcrestal Iliac-Screw: A Technical Note Describing a Free Hand, In-line, Low Profile Iliac Screw Insertion Technique to Avoid Side-connector Use and Reduce Implant Complications. *Spine*. 2018;43(2):E68-74. DOI: [10.1097/BRS.0000000000002239](https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002239) PMID: 28520623
42. Chang TL, Sponseller PD, Kebaish KM, Fishman EK. Low profile pelvic fixation: anatomic parameters for sacral alar-iliac fixation versus traditional iliac fixation. *Spine*. 2009;34(5):436-40. DOI: [10.1097/BRS.0b013e318194128c](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318194128c) PMID: 19247163
43. Ishida W, Elder BD, Holmes C, Goodwin CR, Lo SF, Kosztowski TA, et al. S2-Alar-Iliac Screws are Associated with Lower Rate of Symptomatic Screw Prominence than Iliac Screws: Radiographic Analysis of Minimal Distance from Screw Head to Skin. *World Neurosurg*. 2016;93:253-60. DOI: [10.1016/j.wneu.2016.06.042](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.06.042) PMID: 27319308
44. Kebaish KM. Sacropelvic fixation: techniques and complications. *Spine*. 2010;35(25):2245-51. DOI: [10.1097/BRS.0b013e3181f5cfae](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181f5cfae) PMID: 21102300
45. Sponseller PD, Zimmerman RM, Ko PS, Pull Ter Gunne AF, Mohamed AS, Chang TL, et al. Low profile pelvic fixation with the sacral alar iliac technique in the pediatric population improves results at two-year minimum follow-up. *Spine*. 2010;35(20):1887-92. DOI: [10.1097/BRS.0b013e3181e03881](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181e03881) PMID: 20802390
46. Jain A, Kebaish KM, Sponseller PD. Sacral-Alar-Iliac Fixation in Pediatric Deformity: Radiographic Outcomes and Complications. *Spine Deform*. 2016;4(3):225-9. DOI: [10.1016/j.jspd.2015.11.005](https://doi.org/10.1016/j.jspd.2015.11.005) PMID: 27927507
47. Mazur MD, Mahan MA, Shah LM, Dailey AT. Fate of S2-Alar-Iliac Screws After 12-Month Minimum Radiographic Follow-up: preliminary Results. *Neurosurgery*. 2017;80(1):67-72. DOI: [10.1227/NEU.0000000000001322](https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000001322) PMID: 27341341
48. Smith EJ, Kyhos J, Dolitsky R, Yu W, O'Brien J. S2 Alar Iliac Fixation in Long Segment Constructs, a Two- to Five-Year Follow-up. *Spine Deform*. 2018;6(1):72-8. DOI: [10.1016/j.jspd.2017.05.004](https://doi.org/10.1016/j.jspd.2017.05.004) PMID: 29287821
49. O'Brien JR, Yu WD, Bhatnagar R, Sponseller P, Kebaish KM. An anatomic study of the S2 iliac technique for lumbopelvic screw placement. *Spine*. 2009;34(12):E439-42. DOI: [10.1097/BRS.0b013e3181a4e3e4](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181a4e3e4) PMID: 19454996
50. Ha AS, Hong DY, Luzzi AJ, Coury JR, Cerpa M, Sardar Z, et al. Minimum 2-Year Analysis of S2-Alar-Iliac Screw Fixation for Adult Spinal Deformity. *Global Spine J*. 2021;2192568220984478. DOI: [10.1177/2192568220984478](https://doi.org/10.1177/2192568220984478) PMID: 33406895
51. O'Brien JR, Yu W, Kaufman BE, Bucklen B, Salloum K, Khalil S, et al. Biomechanical evaluation of S2 alar-iliac screws: effect of length and quad-cortical purchase as compared with iliac fixation. *Spine*. 2013;38(20):E1250-5. DOI: [10.1097/BRS.0b013e31829e17ff](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31829e17ff) PMID: 23759811
52. Burns CB, Dua K, Trasolini NA, Komatsu DE, Barsi JM. Biomechanical Comparison of Spinopelvic Fixation Constructs: Iliac Screw Versus S2-Alar-Iliac Screw. *Spine Deform*. 2016;4(1):10-5. DOI: [10.1016/j.jspd.2015.07.008](https://doi.org/10.1016/j.jspd.2015.07.008) PMID: 27852493
53. Hoernschemeyer DG, Pashuck TD, Pfeiffer FM. Analysis of the s2 alar-iliac screw as compared with the traditional iliac screw: does it increase stability with sacroiliac fixation of the spine? *Spine J*. 2017;17(6):875-9. DOI: [10.1016/j.spinee.2017.02.001](https://doi.org/10.1016/j.spinee.2017.02.001) PMID: 28185981
54. De la Garza Ramos R, Nakhla J, Sciubba DM, Yassari R. Iliac screw versus S2 alar-iliac screw fixation in adults: a meta-analysis. *J Neurosurg Spine*. 2018;30(2):253-8. DOI: [10.3171/2018.7.SPINE18710](https://doi.org/10.3171/2018.7.SPINE18710) PMID: 30497149
55. Hasan MY, Liu G, Wong HK, Tan JH. Postoperative complications of S2AI versus iliac screw in spinopelvic fixation: a meta-analysis and recent trends review. *Spine J*. 2020;20(6):964-72. DOI: [10.1016/j.spinee.2019.11.014](https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.11.014) PMID: 31830594
56. Keorochana G, Arirachakaran A, Setrakising K, Kongtharvonskul J. Comparison of Complications and Revisions After Sacral 2 Alar Iliac Screw and Iliac Screw Fixation for Sacropelvic Fixation in Pediatric and Adult Populations: Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurg*. 2019;132:408-420.e1. DOI: [10.1016/j.wneu.2019.08.104](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.08.104) PMID: 31465853
57. Guler UO, Cetin E, Yaman O, Pellise F, Casademut AV, Sabat MD, et al.; European Spine Study Group. Sacropelvic fixation in adult spinal deformity (ASD); a very high rate of mechanical failure. *Eur Spine J*. 2015;24(5):1085-91. DOI: [10.1007/s00586-014-3615-1](https://doi.org/10.1007/s00586-014-3615-1) PMID: 25323138
58. Ilyas H, Place H, Puryear A. A Comparison of Early Clinical and Radiographic Complications of Iliac Screw Fixation Versus S2 Alar Iliac (S2AI) Fixation in the Adult and Pediatric Populations. *J Spinal Disord Tech*. 2015;28(4):E199-205. DOI: [10.1097/BSD.0000000000000222](https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000222) PMID: 25627809
59. Mazur MD, Ravindra VM, Schmidt MH, Brodke DS, Lawrence BD, Riva-Cambrin J, et al. Unplanned reoperation after lumbopelvic fixation with S-2 alar-iliac screws or iliac bolts. *J Neurosurg Spine*. 2015;23(1):67-76. DOI: [10.3171/2014.10.SPINE14541](https://doi.org/10.3171/2014.10.SPINE14541) PMID: 25840042
60. Shabtai L, Andras LM, Portman M, Harris LR, Choi PD, Tolo VT, et al. Sacral Alar Iliac (SAI) Screws Fail 75% Less Frequently Than Iliac Screws in Neuromuscular Scoliosis. *J Pediatr Orthop*. 2017;37(8):e470-5. DOI: [10.1097/BPO.0000000000000720](https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000720) PMID: 26756987
61. Elder BD, Ishida W, Lo SL, Holmes C, Goodwin CR, Kosztowski TA, et al. Use of S2-Alar-iliac Screws Associated With Less Complications Than Iliac Screws in Adult Lumbosacro-pelvic Fixation. *Spine*. 2017;42(3):E142-9. DOI: [10.1097/BRS.0000000000001722](https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001722) PMID: 27254657
62. Ishida W, Elder BD, Holmes C, Lo SL, Goodwin CR, Kosztowski TA, et al. Comparison Between S2-Alar-Iliac Screw Fixation and Iliac Screw Fixation in Adult Deformity Surgery: Reoperation Rates and Spinopelvic Parameters. *Global Spine J*. 2017;7(7):672-80. DOI: [10.1177/2192568217700111](https://doi.org/10.1177/2192568217700111) PMID: 28989847
63. Lee MC, Jarvis C, Solomito MJ, Thomson JD. Comparison of S2-Alar and traditional iliac screw pelvic fixation for pediatric neuromuscular deformity. *Spine J*. 2018;18(4):648-54. DOI: [10.1016/j.spinee.2017.08.253](https://doi.org/10.1016/j.spinee.2017.08.253) PMID: 28870838
64. Abousamra O, Sullivan BT, Samdani AF, Yaszay B, Cahill PJ, Newton PO, et al. Three Methods of Pelvic Fixation for Scoliosis in Children With Cerebral Palsy: differences at 5-year Follow-Up. *Spine*. 2019;44(1):E19-25. DOI: [10.1097/BRS.0000000000002761](https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002761) PMID: 29939974
65. Cottrill E, Margalit A, Brucker C, Sponseller PD. Comparison of Sacral-Alar-Iliac and Iliac-Only Methods of Pelvic Fixation in Early-Onset Scoliosis at 5.8 Years' Mean Follow-up. *Spine Deform*. 2019;7(2):364-70. DOI: [10.1016/j.jspd.2018.08.007](https://doi.org/10.1016/j.jspd.2018.08.007) PMID: 30660234