

BÖLÜM 13

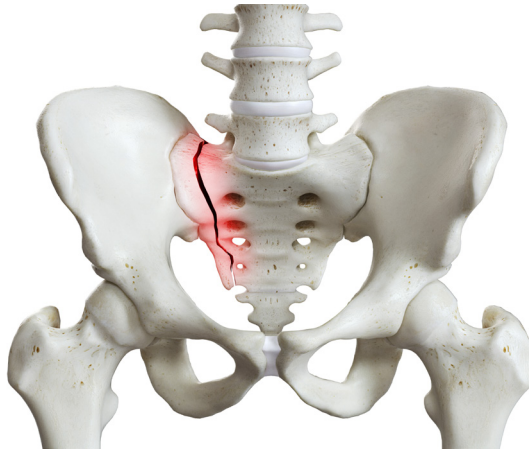
SAKRUM KIRIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE TEDAVİ YÖNTEMLERİ

Alper KURTOĞLU¹

GİRİŞ

Sakrum, üst vücut ağırlığını destekleyen ve yük taşıma sırasında pelvik halkaya stabilite kazandırmada temel bir rol oynayan, vertebral kolon ile pelvik halka arasındaki menteşedir (1). Sinirler, kan damarları, ürogenital ve diğer pelvik organlar gibi birçok kritik yapı ile temas halindedir. Sakrum kırıklarında ambulasyonda bozulma olabileceğinden ve bu kırıklarla beraber ilişkili yaralanmalar olabileceğinden dolayı bu kırıkların tanısı ve tedavisi önem taşımaktadır.

Sakral kırıklar, gençlerde trafik kazaları ve yüksekten düşme gibi yüksek enerjili yaralanmalar sonrasında oluşurken, yaşlılarda ise genellikle daha düşük enerjili yaralanmalar sonrasında oluşmaktadır (Şekil 1). Osteoporotik olmayan sakral kırıkların insidansı 100.000 kişide 2,1 vaka olarak rapor edilirken, risk altındaki yaşlı hastalarda osteoporotik kırıkların insidansının %1-5 arasında olduğu bildirilmiştir (2-4).



Şekil 1. Sakrum kırığını demonstre eden görüntü

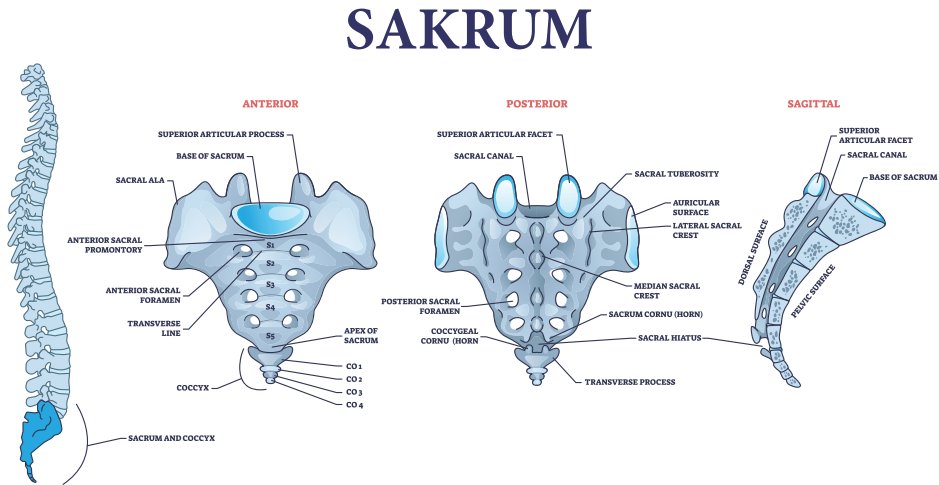
¹ Uzm. Dr., Sakarya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji AD., dralperkurtoglu@gmail.com

Her iki kırık grubunda da insidansın arttığı bildirilmektedir: 2002 ile 2011 arasındaki on yılda osteoporotik olmayanlar üçe katlandı ve osteoporotik kırıkların insidansı da nüfusun yaşlanması nedeniyle artıyor ve gelecek yıllarda daha da artacağı bekleniyor (1,2,5). Bununla birlikte, rapor edilen artış aynı zamanda daha yüksek tanı oranına izin veren bilgisayarlı tomografi (BT) taramasının daha yaygın kullanımına bağlıdır (6). Sakral kırıklardaki deneyim eksikliği, yanlış tanı ve yetersiz tedavi ile sonuçlanmaktadır (7). Bu nedenle, hem basit hem de karmaşık kırıklarla etkin bir şekilde başa çıkabilmek için bu kırıkların özellikleri hakkında iyi bilgi sahibi olmak çok önemlidir.

Bu yazı, bu zorlu kırıklardaki tanı ve tedavideki son gelişmeleri vurgulamayı amaçlamaktadır.

ANATOMİ

Yetişkinde füzyon sağlanmış olan 5 omurga kemiğinden meydana gelen bir yapıdır. Posterior tarafı konveks yapıdayken, anterior tarafı kankav yapıdadır. Sakralar ala ile ilium arasında 2 adet, beşinci sakral vertebra ile koksisk arasında 1 adet ve S1 ile L5 arasında 1 adet olmak üzere toplam 4 adet eklemi mevcuttur. Lumbalizasyon ve sakralizasyon nedeni ile sakrumu oluşturan kemik sayısı azalabilir veya artabilir. Sakral kanal, sakral cisimlerin arkasında yer alır ve S4 vertebra hizasında posteriora açılarak sonlanır. Anteriyorda 4 çift ve posteriorda 4 çift foramina bulunur ve bu foraminalardan sinir kökleri çıkar (Şekil 2) (6).



Şekil 2. Sakrumun anatomik yapısı

İki pelvik kemiğin posteriorda sakrum ile birleşmesi sonrasında pelvik halka yapısı oluşur. Biyomekanik olarak sakrumun görevi, omurgadan gelen yükleri pelvise aktarmak ve böylece alt ekstremitelere ve pelvise hem stabilite hemde güç sağlamaktır. Omurgadan gelen yüklerin sakroiliak eklemler ile pelvise ve alt ekstremitelere aktarımı için ikinci sakral omur seviyesinin altının görevi yoktur (6). Ligamentöz yapılar sakrum ve çevre dokulara yapısal destek sağlarlar (6)

Omurgadaki aksel kuvvet, sakroiliak eklem anterioruna yönlendirilmiş bir kuvvet vektörüne sahiptir. Bu kuvvet vektörü, S2'de merkezileşmiş olan sakrumun üzerine anteriora doğru yönlendirilmiş bir dönüş kuvveti oluşturur. Sakrumun alt kısmına bağlanan sakrospinöz ve sakrotubeöz ligamentler sakral rotasyonun aşırılığını engeller (8).

SINIFLANDIRMA

Sakral kırıkları tanımlamak için birçok sınıflandırma önerilmekle birlikte, heterojen bir yaralanma grubu olduğundan, bunların hiçbirisi sakral kırığı karakterize edebilecek tüm olası değişkenleri gerçekten hesaba katamaz (9). Mevcut sınıflandırma sistemleri şu şekilde sunulabilir:

a) Maruz kalınan travmanın enerjisi: Yüksek enerjili (genç hastalar) veya düşük enerjili kırıklar (yaşlılar) (7), yetmezlik kırıkları (kırılabilirlik veya radyasyona sekonder) (10), stres kırıkları (genç sporcular) (11).

b) Pelvik halka yaralanmaları ile birliktelik: İzole sakral kırıklar %10-13 kısmını oluştururken (12,13), %80-90 oranında pelvik yaralanmalarla birlikte bulunur (14). Yüksek enerjili yaralanmalarda, pelvik halka yaralanmalarında kullanılan Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen/Orthopaedic Trauma Association (AO/OTA) modifiye Tile (AO/OTA) sınıflandırması (14) ve Young-Burgess (YB) sınıflandırması (15) kullanılırken, düşük enerjili kırıklar için Fragility Fracture of Pelvic ring (FFP) sınıflandırması kullanılmaktadır (16). AO/OTA sınıflandırması kırığı pelvik halkanın stabilitesine göre sınıflandırırken, YB farklı yer değiştirme vektörlerinden kaynaklanan kırığı hesaba katar: anterior-posterior kompresyon (APC), lateral kompresyon (LC), vertikal shear (VS). FFP sınıflandırması, kırıkların morfoloji ve instabiliteye göre ayırır.

c) Morfoloji: Kırık hatlarının sakral kemiğe göre oryantasyonunu tanımlar (longitudinal, transvers veya kombine H-, U-, lambda- veya T-şekilli). Longitudinal kırıklar en yaygın olanıdır (%90) (12), transvers kırıklar sadece %3-5'lik kısmı temsil eder (yüksek veya düşük olarak ayrılır) (17), U-, H-, lambda- veya T-şekilli gibi kombine kırıklar %3-6'lık kısmı oluştururlar (18,19) ve bu kombine kırıklar

spinopelvik disosiasyon olarak bilinen ve bilateral longitudinal kırık vakalarında da tanımlanan spesifik bir durumu karakterize ederler (20). Normalde transvers kırık hattı yüksektir ve longitudinal kırık hattı ise transforaminal veya foramina medialindedir (19,21). Bazen kırıklar düşük enerjili travmalardan kaynaklanabilir ve intrinsik instabilite ile birlikte olan U veya H şeklinde olan yetmezlik kırıklarına neden olabilirler (22). Son zamanlarda, sakroplasti sırasında çimento sızıntısı riskini tahmin etmek için, kırıkları morfolojiye göre ayıran, sakrum yetmezlik kırıkları için yeni bir sınıflandırma önerilmiştir (23).

d) Kırığın yeri: Denis sınıflaması, sakrumu üç bölgeye ayırır (24). Zon I, foramenlerin lateralindeki sakral alayı, zon II foramenleri ve zon III nöral foramenlerin medialindeki sakral kanalı içeren kırıklardır. Zon I kırıklar (düşük enerjili kırıklar için en yaygın yerleşim yeri) %6 oranında nörolojik hasar (L5 radikülopati) riskine sahiptir (25). Zon II kırıklar (lateral ve medial sakral arterlerdeki hasar nedeniyle hemodinamik olarak instabil olabilir) %28 oranında nörolojik yaralanma riskine sahiptir (26). Zon III kırıklar %56 oranında nörolojik hasar (kauda ekuina sendromu) riskine sahiptir (24). Modifiye Roy-Camille sınıflandırması, S4'ün üzerindeki üst sakrumun transvers kırıklarını tanımlar ve bunları deplasmanına göre ayırır. Bu kırıkların tipik olarak Zon III'ü etkilediği kabul edilmiştir (17). Modifiye Roy-Camille, farklı nörolojik lezyon riskleri olan dört farklı kırık tipini içerir, tip I ve II en yaygın (%93), tip III ve IV daha az yaygın (%7) (28). İşler ayrıca sakral kırıkları, özellikle lumbosakral posterior ligamentler ve sakroiliak eklemlerle birlikte spondilopelvik stabiliteyi belirleyen L5-S1 fasetine göre, konum bazlı bir sınıflama yapmıştır (29). Longitudinal transforaminal kırıkları tanımladı ve bunları üç tipe ayırdı: faset lateralindeki stabil kırıklar tip I, faset seviyesindeki instabil kırıklar tip II ve bir tür spinopelvik disosiasyon oluşturan faset medialindeki oldukça instabil kırıklar tip III (30).

TEŞHİS

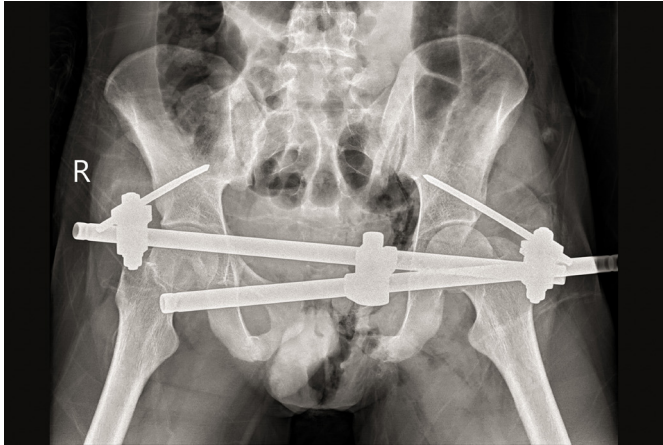
Klinik

Sakral kırıkların teşhisi genellikle zahmetlidir ve %25 ile %70 arasında değişen atlanmış veya gecikmiş tanı oranları vardır (31,32). Tanı genellikle yüksek enerjili yaralanmalardan sonra konulmaktadır. Genel olarak tanı, özellikle yüksek enerjili travmadan sonra konur (kalça ağrısı, morarma, şişlik ve sakral bölgede laserasyon, perineal ve genital hassasiyet, sfinkter tonusu bozukluğu, alt ekstremitelerin nörolojik defisitleri, Morel-Lavallee lezyonunun varlığı gibi). Düşük enerjili stres kırığı olan hastalar, nonspesifik bir klinik prezentasyon sergilerler (aksiel

yük veya aktivitelerle artan, lomber stenoz veya metastazdan kaynaklanan ağrıyı taklit eden, genellikle radikülopati olmayan müphem bel ağrılarında yakınır (33,34). Sakral stres kırıkları tipik olarak, travma olmaksızın bel ağrısı şikayeti olan sporcularda görülür (34).

Aktif kanamaya karşı uyanık olunmalıdır (medial ve lateral sakral arterlerden, presakral venöz pleksustan, superior gluteal arterden ve iliak arterlerden kaynaklanır) (26,36). Kanama pelvik instabilite ile ilişkiliyse, pelvik kemer-çarşaf veya eksternal fiksator (Şekil 3) ile pelvik stabilizasyon şarttır. İzole sakral kırıklarda inatçı hemodinamik instabilite veya kanama mevcut ise, pelvik tamponlama veya embolizasyon düşünülmelidir (37).

Transver kırıklar %62 oranında omurga lezyonlarıyla, %25 oranında torakolomber lezyonlarla, %11 oranında lumbosakral lezyonlarla ilişkili olabilir ve özellikle yüksek enerjili travmalarla ilişkili olanlar lumbosakral ligamanları bozabilir (32). Yetmezlik kırıkları vertebral kompresyon kırıkları ile ilişkili olabilir (38).



Şekil 3. Pelvik fiksator uygulaması

RADYOLOJİK DEĞERLENDİRME

Düz radyografiler (anteroposterior [AP], pelvis inlet ve outlet görüntüleri) ilk istenmesi gereken görüntüleme yöntemleridir fakat sakral kırıkların %50'si kadarı X-ray görüntülemesinde gözden kaçırabilir. Paradoksal işaret, transvers bir kırığı takiben proksimal sakrumun eğimi nedeniyle inlet görüntüsüne benzeyen bir AP görüntü gibi hem direk işaretler ve pelvik instabiliteyi düşündürebilen L5 transvers proses kırığı gibi indirekt işaretler X-ray görüntülemelerinde aranmalı-

dır (39). Röntgen negatifse ve ağrı devam ederse, her zaman bir BT taraması veya manyetik rezonans görüntüleme (MRI) taraması yapılmalıdır. Sakral kırıkları saptamada BT'nin sensitivitesi %68-88'dir (39,40). MR ise %98 ile en yüksek sensitivite oranına sahiptir (41,42). Sağlam korteks nedeni ile BT'de gözden kaçabilecek kırıklar MR'da saptanabilirler (35). Kansellöz kemikteki ödem ve kırık hattı MR'da saptanabilir (34,43). Bazı serilerde sakral yetmezlik kırıklarının %45'e varan oranlarda malignite ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir (44). MRG, dışlanması gereken enfeksiyon veya tümör belirtisi olan kemik ödemi saptayarak ayırıcı tanıda yardımcı olabilir (45). Bir stres kırığından şüphelenildiğinde MRG çekilmeli, gerekli durumlarda kemik taraması ve BT taraması yapılır (46). Kemik sintigrafisi, düşük enerjili sakral kırıkların saptanmasında yardımcı olabilir ve MRG'den daha yüksek duyarlılığa ancak daha düşük özgüllüğe sahiptir (47). Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografi (SPECT/CT) sadece kırığın tanımlanmasını değil, yaşının da teşhisini sağlar (48-50).

YÖNETİM İLKELERİ

İnstabilite, deplasman, pelvik halka hasarı ve nörolojik yaralanma ile birliktelik operatif tedavi ihtiyacını belirler (31,51). Nondeplase izole yüksek transvers kırıklar veya sakroiliak eklem seviyesinin (S3/S4-S5) altındaki kırıklar, longitudinal inkomplet kırıklar stabil kabul edilirler. Komplet transvers kırıklar ve deplase transvers kırıklar instabil olarak kabul edilir ve cerrahi fiksasyon gerektirir (7). Aynısı spinopelvik instabilite ile karakterize U şeklindeki kırıklar ve progressif kifotik deviasyon ve gecikmiş nörolojik sekele neden olabilen, intrinsik instabiliteye neden olabileceği için cerrahi fiksasyon gerektiren U şekilli yetmezlik kırıkları içinde doğrudur (22,52). 10 mm'den fazla yer değiştirme cerrahi tedaviyi gösterir (36). AO/OTA tip A yaralanmaları ve bazı nondeplase LC yaralanmaları stabil kabul edilir ve konservatif olarak tedavi edilirler (53,54). AO/OTA tip B deplase ve tip C yaralanmalar ise stabil olmadığı için cerrahi fiksasyon gerektirir (37). Yaşlılarda, FFP sınıflamasına göre, FFP II yaralanmalarında kırıklar genellikle hastanın erken mobilizasyonuna izin verecek kadar stabil olduğundan konservatif olarak tedavi edilebilirken, FFP III ve IV stabil olmadığına cerrahi olarak stabilize edilmelidir (5). Nörolojik hasarın cerrahi tedavisi tartışmalıdır. S4'ün üzerinde, sıklıkla zon III kırıkları nedeniyle kauda ekina sendromu ile seyreden bir lezyon, geç teşhis edilse bile doğrudan veya dolaylı cerrahi dekompresyon gerektirir. Sakral kanala girip veya nöral köklere bası yapıp nörolojik defisite neden olan kırık parçaları ile karşılaşıldığında da cerrahi redüksiyon endikedir. Bununla birlikte,

diğer nörolojik lezyonlar bakımından, cerrahi dekompresyonun, cerrahi olmayan tedaviden daha iyi bir sonuç vereceği garanti edilemez (37,55).

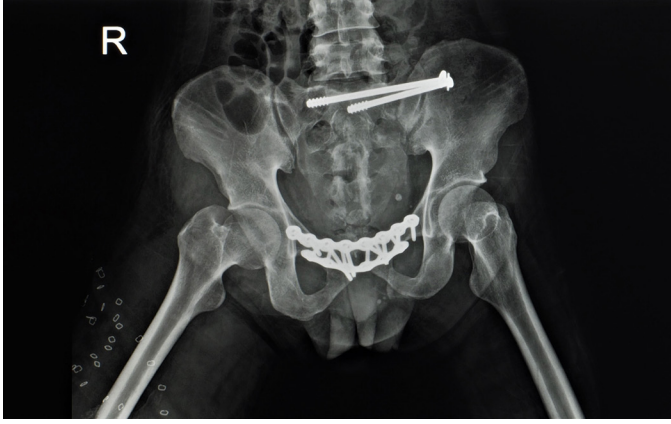
Son zamanlarda, klinik karara yardımcı olmak için bir lumbosakral yaralanma sınıflandırma sistemi (LSICS) geliştirilmiştir. Özellikle karmaşık yaralanmalara odaklanır ve kırık morfolojisine, bağ yaralanmasına ve nörolojik yaralanmaya bağlı olarak her kırığa 0 ile 10 arasında değişen bir puan verir; 4'ten az puan konservatif tedaviyi ve 4'ün üzerindeki puan ise cerrahi stabilizasyonu gösterir (56).

TEDAVİ

Sakral kırıklar konservatif veya cerrahi olarak tedavi edilebilir. Konservatif tedavi, istirahat, ağrı kesici tedavi ve tolere edildiği kadar erken mobilizasyona dayanır. Düşük transvers kırıklarda, sakral alanın stabil nondeplase longitudinal kırıklarında veya marjinal kırıklarında, izole veya stabil LC pelvik yaralanmalarda endikedir (53,54). Bununla birlikte, bazı yazarlar nörolojik yaralanma ile ilişkili anterior deplase düşük transvers kırıkların cerrahi tedavisini önermişlerdir (57). Konservatif tedavi, inkomplet veya stabil nondeplase yetmezlik kırıklarında, izole veya anterior pubik ramusun kırıklarıyla birlikte olan FFP II kırıklarda düşünülür. Konservatif tedavi başarısız olursa, cerrahi tedavi düşünülmelidir (5). Kalsiyum ve D vitamini ilaç takviyesi, bisfosfonatlar ve teriparatid kullanımı iyileşme sürecini hızlandırır ve ağrıyı hafifletir (5,43,58).

Stres kırıklarının tedavisi, altı ay boyunca yüksek aktivite gerektiren sporlardan veya aktivitelerden uzak durmayı ve bazı durumlarda 3-6 aylık periyotta kalsiyum veya vitamin D alımını içermektedir (59).

Cerrahi teknikler iki ana gruba ayrılabilir: posterior pelvik fiksasyon teknikleri ve lumbopelvik fiksasyon teknikleri (60). Kırık, pelvik halka yaralanması ile ilişkili ise anterior pelvik fiksasyon teknikleri uygulanabilir (61). Posterior pelvik fiksasyon teknikleri iliumu sakruma bağlar. Perkütan veya açık olarak yapılabilirler. Perkütan teknikler arasında, iliosakral vida (Şekil 4) ile fiksasyon en sık kullanılan tekniktir (62). S1 veya S2 gövdesinin güvenli koridorundan kanüllü vida yerleştirme ile karakterizedir ve ikincisinde daha fazla malpozisyon oranları mevcuttur (63). Bazı durumlarda, gerektiğinde, S3 koridorunun da kullanımı tanımlanmıştır (64). Osteoporotik kırıklarda, implantın stabilitesini artırmak için iliosakral vidalar çimento ile augmented edilebilir (1,65,66). Sakroplasti, sakral ala inkomplet yetmezlik kırıkları için iliosakral vidaya alternatif bir yöntemdir ve ağrı kesici etki oluşturmak ve stabilize restorasyonunu elde etmek için kırık bölgesine perkütan çimento enjeksiyonu yapılır (67).



Şekil 4. İliosakral vida uygulaması

Transiliak-transsakral vidalar veya transsakral çubuklar gibi transsakral implantlar, uzun yivli bir implantın S1 veya S2 koridoru boyunca kontralateral iliuma geçtiği alternatif perkütan tekniklerdir (68). Transiliak köprüleme sistemleri, sol ve sağ iliiumun arka tarafını vidalarla sabitlenmiş bir plak veya pedikül vidaları ile sabitlenmiş bir barla birleştiren ve iki tarafta minimal insizyonlarla sakrumun arkasına subkutan olarak uygulanan, transiliyak internal fiksator görevi gören minimal invaziv tekniklerdir (69-72). Son zamanlarda kırıkla direkt ilişkili olan S1 pedikül vidasının da sisteme eklendiği sakroiliak rod fiksasyon sistemleri önerilmiştir (73). Ek olarak, iliyosakral vidaların bazı dezavantajlarını gidermek için tension band plağı ve ayarlanabilir plak gibi diğer minimal invaziv cerrahi teknikler tarif edilmiştir (74). Tanımlanan diğer posterior sakroiliak açık teknikler arasında Beaujon sakroiliak düzeneği ve Pitiè-Salpetriere kısaltma osteotomisi yer alır (75,76).

Lumbopelvik fiksasyon teknikleri lomber omurgayı iliuma bağlar. Lomber-iliak tekniği açık bir şekilde gerçekleştirilir ve rodlarla bağlantılı bilateral pedikül vidaları kullanılarak alt vertebra gövdelerini iliium ile birleştirir. Yüksek derecede instabilite durumlarında, hem L4 hem de L5'i iliuma bağlayan daha stabil bir yapı elde edilebilir; alternatif olarak L5'ten iliuma fiksasyon yeterli olabilir (77). Benzer şekilde, iliak vidalar genellikle tektir ancak çift oldukları da bilinmektedir (78). Yukarıda belirtilen lomber iliak tekniği iliosakral vidalar veya transiliyak plak ile birleştirilirse, başlangıçta tek taraflı olarak önerilen, ancak aynı zamanda daha fazla stabilite ile iki taraflı olarak tanımlanan ve pelvik halkanın dorsal stabilizasyonu için en stabil tekniği temsil eden üçgen (triangular) osteosentez düzeneği oluşturulmuş olur (79-82).

Sakral kırıklar anterior pelvik halka yaralanmaları ile ilişkili olduğunda stabiliteyi artırmak ve posterior implant başarısızlığı riskini azaltmak için anterior pelvik fiksasyon teknikleri düşünülmelidir. Retrograd transpubik vida, anterior internal fiksator veya plak-vidalar ile anterior pelvik fiksasyon yapılabilir (18,83).

Genel olarak, cerrahi tedavinin endikasyonları ve amaçları kırığın enerjisine bağlı olarak farklıdır. Yüksek enerjili kırıklarda cerrahinin amacı anatomik redüksiyon ve rijit fiksasyon ile stabilitenin restorasyonu iken, düşük enerjili kırıklarda redüksiyonun daha az anlamlı hale gelmesiyle birlikte mümkün olduğunca minimal invaziv şekilde rijit fiksasyon ile stabilitenin restorasyonunun elde edilmesi amaçlanır (5).

Yüksek enerjili travmayı takiben, rotasyonel olarak instabil AO/OTA B pelvik halka yaralanması ile beraber olan longitudinal sakral kırıklar, dış manevralarla başarılı bir şekilde düzeltilirse tek veya iki taraflı iliosakral vida veya transiliyak köprüleme sistemi kullanılarak tedavi edilebilirler (84,85). Kapalı yöntemlerle yeterli redüksiyon elde edilemediği durumlarda açık redüksiyon ve internal fiksasyon gerekir. Longitudinal kırıklar, vertikal unstable AO/OTA C yaralanmaları ile ilişkili olduğunda, farklı fiksasyon yöntemleri önerilmiş olmasına rağmen, lumbopelvik implantlar ile yapılan anterior fiksasyon, shear kuvvetlerine karşı en fazla mukavemet gösteren yöntemdir (86,87). Yüksek transvers sakral kırıklar (U veya H-şekilli), Roy-Camille tip I olarak sınıflandırılabilen transvers komponent olması durumunda bilateral ileosakral veya transsakral-transiliyak vida ile tedavi edilebilir. Roy-Camille II veya III yaralanmalarında nörolojik hasar varsa açık redüksiyon ve dekompresyon gereklidir.

Düşük enerjili kırıklarda, sakral ala kırıkları, hem S1 hem de S2 koridorundan uygulanabilen iliosakral vida fiksasyonu ile tedavi edilebilir (88,89). Sakroplastik, inkomplet sakral ala kırıklarında kemik kortekslerini bozmayan, iliosakral vidaya alternatif yöntem olarak düşünülebilir (67). Deplase transvers kırık veya nörolojik hasar ile birliktelik durumunda ise tedavi, açık lubosakral fiksasyon şeklinde uygulanan ve en yüksek stabiliteyi sağlayan sistem olan triangular osteosentez yöntemidir (5,82,90).

KOMPLİKASYONLAR

Belirli kırık tiplerindeki vakalarda %40-50'ye varan oranlarda geniş bir komplikasyon yelpazesi bildirildiği için sakrum kırıklarının tedavisi zordur (91). Perioperatif komplikasyonlar arasında implant malpozisyonu (%15) (92,93), L4-L5,S1 köklerinde sinir hasarı (%2-15) (93), açık yaklaşımlarda kan kaybı (95), superior gluteal arter hasarı (%1.2) ve nadir senaryo olarak üreter hasarı ve bağırsak lezyonu yer alır (76,95).

Postoperatif komplikasyonlar arasında enfeksiyon (minimal invaziv veya perkütan tekniklerle düşük, ancak açık lumbopelvik fiksasyon ile %50'ye ve plaklarla tedavi edildiğinde %20'ye kadar varan oranlarda)(61,74,75,87,96); yara iyileşme problemleri (94,97,98); implant yetmezliği (%11-17) (85); implantın çıkarılmasını gerektiren yumuşak doku tahrişi (75,99,100); sakroplasti sonrası çimento kaçağı ve beyin omurilik sıvısı kaçağı (76,101,102).

SONUÇLAR

a. Fonksiyonel sonuç

Yüksek enerjili kırıkların klinik sonucu, ilk travmanın ciddiyeti ile ilişkilidir. Spinopelvik disosiasyon bulunan hastaların %42'lik kısmında kötü klinik sonuçlar bulunmuştur ve bu sonuçların, başlangıçtaki deplasman derecesi ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (103-105). Benzer şekilde, kronik rezidüel ağrı özellikle vertikal instabil kırıklarda veya spinopelvik disosiasyondan sonra sıktır ve uzun süreli takiplerde hastaların %100'e varan bir kısmında devam ettiği bulunmuştur (97,103,104). Bununla birlikte, 10 yıl sonra hastalar, bir yıllık takip ile karşılaştırıldığında günlük aktivitelerindeki bağımsızlıklarında önemli bir iyileşme göstermiştir (104). Fiksasyon tekniği ile ilgili olarak, iliosakral vidalar, posterior plaklara kıyasla günlük aktivitelere erken dönüş açısından daha iyi sonuçlara ve AO/OTA tip B veya C instabil yaralanmaların tedavisinde bile, ikinci bir vida kullanımının avantajı olmaksızın tatmin edici cerrahi sonuçlara sahiptir (70,106). Düşük enerjili kırıklarda 12 aylık mortalite oranı %28'dir (107,108). Sakral yetmezlik kırığı olan hastalar, eğer ameliyat edilirlerse, konservatif olarak tedavi edilen hastalara göre, postoperatif ağrıda önemli bir azalma ile, yaralanma öncesi seviyeye geri dönüş oranları daha iyi bulunacaktır (89,109). İzole yetmezlik kırıkları, posterior transiliak-transsakral vida ile tedavi edilirse, konservatif olarak tedavi edilen hastaların %20'sine kıyasla %75'lik bir eve dönüş oranı ve ameliyat edilmeyen hastaların %70'ine kıyasla %100 ambulasyon yeteneği göstermiştir (110).

b. Kırık iyileşmesi

Sakral kırığın iyileşmesi 8-12 hafta sürer ve sakral kırıkları takiben füzyon oranlarının %85-90 olduğu bildirilmiştir (6,106). Malunion, gecikmiş tedaviden veya yetersiz redüksiyondan sonra ortaya çıkabilir ve bunun sonucunda pelvik insidansta bir değişiklik meydana gelebilir. Bu, Roy-Camille II ve III kırıklarında ve spinopelvik disosiasyon durumunda daha sık görülür (103,105). Spinopelvik disosiasyon yaralanmalarından sonra, lumbosakral oryantasyonun restorasyonu çok önemlidir, aksi takdirde fonksiyonel sonucun bozulması ve kronik sırt ağrısı ile birlikte sagittal imbalans gelişecektir (111,112).

c. Nörolojik iyileşme

Klinik sonuçlara gelince, nörolojik hasarın prognozu, sakral kırığın ciddiyeti ile yakından ilişkilidir. Lomber pleksus yaralanması ile birlikte olan sakral kırıkta, instabilite ne kadar yüksekse, nörolojik iyileşmenin o kadar kötü olduğu ve yürüme sonuçlarında o kadar kötü etkisi olduğu gösterilmiştir (113). Buna göre, spinopelvik disosiyasyonlarla birlikte olan ekstremitte nörolojik sekelleri, üriner problemler ve cinsel işlev bozukluğu gibi nörolojik problemler neredeyse tamamen düzelir (97,103). Klinik sonuçla ilgili olarak, transvers bileşenin başlangıçtaki deplasman derecesinin nörolojik iyileşme oranıyla yakından bağlantılı olduğu bulunmuştur (105). Nörolojik defisitlerle ilişkili bulunan diğer faktörler: postoperatif redüksiyonda 10 mm'den fazla deplasman; kanal ve foramen içine kemik parça bulunmasıdır (114).

Tedaviden bağımsız olarak, hastaların yarısından azında tam bir iyileşme görülmesine rağmen, nörolojik yaralanmalar sıklıkla zamanla iyileşir. Bu tartışmalı olsa bile, cerrahi dekompresyonda iyileşme daha iyidir (55). Kauda ekina sendromu durumunda cerrahi dekompresyon nörolojik iyileşmeyi arttırır (115). Kırık redüksiyonu ile dolaylı dekompresyon, direkt laminektomiye kıyasla daha iyi sonuç vermiştir (116). Ayrıca dekompresyon zamanlamasının (< 72 saat) net bir etkisi yoktur. Bazı yazarlara göre sonucu etkilemiyor gibi görülmüşse, diğerleri erken dekompresyonun sonucu iyileştireceğini, ancak hastaların akut dönemdeki ağır durumu nedeniyle çoğu zaman uygulanamadığını söylüyorlar (16,19).

TARTIŞMA/SONUÇLAR

Sakral kırıklar karmaşık kırıklardır, çünkü sakrum pelvik kuşağın temel taşı olarak kabul edilir ve bu nedenle yüksek streslere maruz kalır ve pelvik stabilitenin yaklaşık %60'undan sorumludur. Böylece bu kırıklardan sonra anatomi ve mekaniği mümkün olan en iyi şekilde restore etmenin önemini büyüktür (117).

Sakral kırık tedavisi ile ilgili ilk önemli konu, bu duruma maruz kalmış olan hastaların özellikleridir. Bunlar, yüksek enerjili travmaya uğramış olan genç insanlar veya düşük enerjili travmaya uğramış olan yaşlı hastalar olabilir. Her iki durumda iyi yönetilmezse yüksek ölüm oranları görülür. Diğer bir konu ise kırık sınıflandırması ile ilgilidir. Klinik durumu, kırık özelliklerini ve sonuçlarını doğru bir şekilde belirlemek için bir cerrah genellikle kırık sınıflandırmalarından faydalanabilir. Bununla birlikte, sakral kırıkların heterojenliği göz önüne alındığında, mevcut sınıflandırmaların hiçbiri, kullanıcının kırığı daha iyi anlamasına gerçekten yardımcı değildir. Bu amaçla, sakral kırıkların ana tartışmalarını belir-

lemek için AOSpine/Trauma üyeleri arasında bir anket yapılmıştır. Cerrahlara, farklı kırık paternlerinin şiddeti, farklı kırık lokasyonunu takiben nörolojik yaralanma riski, S1-L5 faset tutulumu ve yetmezlik kırıkları gibi farklı konulardaki algıları hakkında sorular sundular. Cevapların çeşitliliğine dayanarak, bu karmaşık kırık grubuyla ilişkili tüm ilgili faktörleri hesaba katabilen yeni, kapsamlı ve kabul edilmiş bir sınıflandırmaya ihtiyaç olduğu sonucuna varmışlar (9).

Ayrıca, yüksek oranda yanlış veya gecikmiş tanı oranları ile sakral kırıkların teşhisi zordur (31). Bu sorunun kaynağı çok faktörlüdür: her şeyden önce, sakral kırıkların düşük insidansı, cerrahların çoğunluğunun bu kırıklarla alakalı çok az deneyime sahip olması; farklı klinik bulgularla birlikte olması; hastaların genel durumlarının bozuk olabilmesi; aynı tanısal güce sahip olmayan mevcut görüntüleme tekniklerinin çeşitliliği, özellikle tanıda birinci basamak olarak kullanılan X-ray ışınlarının kırığı saptamadaki zorluğudur ki çünkü hasta uygumsuzluğu, barsaktaki gaz mevcudiyeti, sklerotik dejenerasyon veya sakrumla örtüşen pelvik kemiklerin artriti durumunda X-ray ile kırığı saptamak zorlaşır. Bu soruna bir çözüm olarak, daha fazla X-ışını görüntüsü (inlet, outlet) kullanmak ve X-ışınlarının sakral kırık için indirek bulgu vermesi durumunda dikkatli değerlendirme sonrası klinik şüphe durumunda BT taraması ile tanı sürecini derinleştirmek olabilir (7,97).

Sakral kırıkların tedavisi de zahmetlidir, çünkü kırığın stabilitesinin yorumlanması gibi tedavi stratejisini belirleyecek olan genel kabul görmüş standartlar eksiktir. Bu konuyu ele almak ve sakral bir kırıkla karşı karşıya kalan cerrahın, kırığı ameliyat edip etmemesine yardımcı olmak için, yakın zamanda lumbosakral yaralanma sınıflandırma sistemi (LSICS) önerilmiştir. Servikal ve torakolomber omurga için yapılanlara benzer şekilde cerrahi tedaviye rehberlik eden, skoru 4'ün üzerindeki her kırık için cerrahi tedavi öneren, morfoloji, bağ bütünlüğü ve nörolojik durumu baz alan bir skorlama sistemidir (56).

Sakral kırık tedavisi için cerrahi tedavi uygulaması cerrahlar açısından zorlukları içermektedir, çünkü hem perkütan hem de kapalı tekniklerle yapılan işlemler sonrası yüksek komplikasyon oranları bildirilmiştir ve her iki yönteminde kendisine özgü avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Perkütan ve minimal invaziv tekniklerde perioperatif komplikasyonlar görülebilmekle birlikte açık tekniklere göre daha az postoperatif komplikasyon görülür. Ayrıca kapalı ve minimal invaziv teknikler ile iyi bir redüksiyon elde etmek genellikle zordur (94). Açık tekniklerde daha fazla kan kaybı ve daha uzun cerrahi süre bildirilmiştir ve açık tekniklerde postoperatif komplikasyon oranları yüksek bulunmuştur. Ancak açık yöntemler, kırığa daha kolay ulaşma imkanı ve daha doğru bir redüksiyon imkanı sunarlar.

Bu nedenle, yüksek vertikal instabilite veya spinopelvik instabilite gibi açık redüksiyon uygulanarak lumbopelvik fiksasyon ile daha iyi stabilitenin elde edileceği vakalar haricinde, komplikasyonları azaltmak ve sonuçları iyileştirmek için her zaman perkütan veya minimal invaziv tekniklerin kullanılması denenmelidir. Ancak bunu yapmak için perioperatif komplikasyonlar ve redüksiyon elde etme zorluğu gibi dezavantajları da düşünmelidir.

Radyasyona maruz kalma, malpozisyon ve bun bağlı olarak nöral lezyon gibi perioperatif komplikasyonlar iliosakrak vidalama yöntemi ile ilişkilidir. Doğru preoperatif planlama ve vida yerleştirmeyi kontrol etmek için modern enstrümantasyon sistemlerinden yardım alınması malpozisyon oranlarını, radyasyon maruziyetini ve cerrahi süreyi azaltır (74,84,93,118,119).

Kırığın deplasmanını azaltmak için farklı yöntemler benimsenmiştir: hastaya özel konum verilmesi, örneğin transvers kırıklarda supinde hiperekstansiyon getirme; manipülasyon teknikleri, özellikle pelvik halka yaralanmaları ile ilişkili sakral kırık vakalarında faydalıdır, örneğin tip B pelvik yaralanma ile karşı karşıya kalındığında iliak kanatların manipüle edilmesi ve alt uzuvların rotasyonlarının kontrol edilmesi gibi; İmpakte transvers kırık durumunda transkondiler traksiyon gibi spesifik yardımcıların kullanımı, redüksiyon manevralarını gerçekleştirmek ve definitif fiksasyona kadar elde edilen redüksiyonu sürdürmek için perkütan yöntemlerle Schanz pinleri kullanılarak frame kurulabilir ve böylece redüksiyona karşı koyan kuvvetlere engel olunabilir (76,120-122).

Son olarak, umut verici sonuçlarla minimal invaziv lumbopelvik fiksasyon da yakın zamanda önerilmiştir ve bu yöntemle invaziv tekniğe bağlı yüksek komplikasyon oranı en aza indirilebilir (61,77,123,124).

Sonuç olarak, sakral kırıklar, çeşitli kırık paternleri ile özgün yaralanmaları temsil eder. Şok, intrapelvik solid organ yaralanmaları ve nörolojik sekeller ile beraber olabilirler. Tedavileri birçok zorluğa sahiptir ve optimum sonuç için multidisipliner ekip çalışması gerektirir.

KAYNAKLAR

1. van Berkel D, Ong T, Drummond A, et al. ASSERT (Acute Sacral insufficiency fracture augmentation) randomised controlled, feasibility in older people trial: a study protocol. *BMJ Open* 2019;9:e032111.
2. Bydon M, De la Garza-Ramos R, Macki M, Desai A, Gokaslan AK, Bydon A. Incidence of sacral fractures and in-hospital postoperative complications in the United States: an analysis of 2002–2011 data. *Spine (Phila Pa 1976)* 2014;39:E1103–E1109.
3. Lyders EM, Whitlow Ct, Baker Md, Morris PP. Imaging and treatment of sacral insufficiency fractures. *AJNR Am J Neuroradiol* 2010;31:201–210.
4. Tamaki Y, Nagamachi A, Inoue K, et al. Incidence and clinical features of sacral insufficiency fracture in the emergency department. *Am J Emerg Med* 2017;35:1314–1316.

5. Rommens PM, Arand C, Hofmann A, Wagner D. When and how to operate fragility fractures of the pelvis? *Indian J Orthop* 2019;53:128–137.
6. Bydon M, Fredrickson V, De la Garza-ramos R, et al. Sacral fractures. *Neurosurg Focus* 2014;37:E12.
7. Beckmann NM, Chinapuvvula NR. Sacral fractures: classification and management. *Emerg Radiol* 2017;24:605–617.
8. Benzel EC: Spine Surgery: Techniques, Complication Avoidance, and Management, üçüncü baskı. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2012
9. Schroeder GD, Kurd MF, Kepler CK, et al. The development of a universally accepted sacral fracture classification: a survey of AOSpine and AOTrauma members. *Global Spine J* 2016;6:686–694.
10. Sakaguchi M, Maebayashi T, Aizawa T, Ishibashi N. Risk factors for sacral insufficiency fractures in cervical cancer after whole pelvic radiation therapy. *Anticancer Res* 2019;39:361–367.
11. Vajapey s, Matic G, Hartz C, Miller TL. Sacral stress fractures: a rare but curable cause of back pain in athletes. *Sports Health* 2019;11:446–452.
12. Beckmann N, Cai C. CT characteristics of traumatic sacral fractures in association with pelvic ring injuries: correlation using the Young-Burgess classification system. *Emerg Radiol* 2017;24:255–262.
13. Park YS, Baek SW, Kim HS, Park KC. Management of sacral fractures associated with spinal or pelvic ring injury. *J Trauma Acute Care Surg* 2012;73:239–242.
14. Meinberg Eg, Agel J, Roberts CS, Karam MD, Kellam JF. Fracture and dislocation classification compendium-2018. *J Orthop Trauma* 2018;32:S1–S170.
15. Burgess AR, Eastridge BJ, Young JW, et al. Pelvic ring disruptions: effective classification system and treatment protocols. *J Trauma* 1990;30:848–856.
16. Rommens PM, Hofmann A. Comprehensive classification of fragility fractures of the pelvic ring: recommendations for surgical treatment. *Injury* 2013;44:1733–1744.
17. Katsuura Y, Lorenz E, Gardner W II. Anatomic parameters of the sacral lamina for osteosynthesis in transverse sacral fractures. *Surg Radiol Anat* 2018;40:521–528.
18. Backer HC, Wu CH, Vosseller Jt, et al. Spinopelvic dissociation in patients suffering injuries from airborne sports. *Eur Spine J* 2019. DOI: 10.1007/s00586-019-05983-6 [Epub ahead of print].
19. Tian W, Chen WH, Jia J. Traumatic spino-pelvic dissociation with bilateral triangular fixation. *Orthop Surg* 2018;10:205–211.
20. Lehmann W, Hoffmann M, Briem D, et al. Management of traumatic spinopelvic dissociations: review of the literature. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2012;38:517–524.
21. Nonne D, Capone A, Sanna F, et al. Suicidal jumper's fracture – sacral fractures and spinopelvic instability: a case series. *J Med Case Rep* 2018;12:186.
22. Pulley BR, Cotman SB, Fowler TT. Surgical fixation of geriatric sacral U-type insufficiency fractures: a retrospective analysis. *J Orthop Trauma* 2018;32:617–622.
23. Bakker G, Hattingen J, Stuetzer H, Isenberg J. Sacral insufficiency fractures: how to classify? *J Korean Neurosurg Soc* 2018;61:258–266.
24. Denis F, Davis S, Comfort T. Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases. *Clin Orthop Relat Res* 1988;227:67–81.
25. Wagner D, Kamer L, Sawaguchi T, Richards RG, Noser H, Rommens PM. Sacral bone mass distribution assessed by averaged three-dimensional CT models: implications for pathogenesis and treatment of fragility fractures of the sacrum. *J Bone Joint Surg Am* 2016;98:584–590.
26. Ruatti S, Guillot S, Brun J, et al. Which pelvic ring fractures are potentially lethal? *Injury* 2015;46:1059–1063.
27. Strange-Vognsen HH, Lebech A. An unusual type of fracture in the upper sacrum. *J Orthop Trauma* 1991;5:200–203.
28. Bishop JA, Dangelmajer S, Corcoran-Schwartz I, Gardner MJ, Routh MIC Jr, Castillo TN. Bilateral sacral ala fractures are strongly associated with lumbopelvic instability. *J Orthop Trauma* 2017;31:636–639.

29. Isler B. Lumbosacral lesions associated with pelvic ring injuries. *J Orthop Trauma* 1990;4:1–6.
30. Guerado E, Cervan AM, Cano JR, Giannoudis PV. Spinopelvic injuries: facts and controversies. *Injury* 2018;49:449–456.
31. Hanna TN, Sadiq M, Ditkofsky N, et al. Sacrum and coccyx radiographs have limited clinical impact in the emergency department. *AJR Am J Roentgenol* 2016;206:681–686.
32. Rodrigues-Pinto R, Kurd Mf, Schroeder GD, et al. Sacral fractures and associated injuries. *Global Spine J* 2017;7:609–616.
33. Kao FC, Hsu YC, Liu PH, Yeh LR, Wang JT, Tu YK. Osteoporotic sacral insufficiency fracture: an easily neglected disease in elderly patients. *Medicine (Baltimore)* 2017;96:e9100.
34. Sudhir G, K L K, Acharya S, Chahal R. Sacral insufficiency fractures mimicking lumbar spine pathology. *Asian Spine J* 2016;10:558–564.
35. Wagner D, Ossendorf C, Gruszka D, Hofmann A, Rommens PM. Fragility fractures of the sacrum: how to identify and when to treat surgically? *Eur J Trauma Emerg Surg* 2015;41:349–362.
36. Pascarella R, Del Torto M, Politano R, Commessatti M, Fantasia R, Maresca A. Critical review of pelvic fractures associated with external iliac artery lesion: a series of six cases. *Injury* 2014;45:374–378.
37. Halawi MJ. Pelvic ring injuries: surgical management and long-term outcomes. *J Clin Orthop Trauma* 2016;7:1–6.
38. Hatgis J, Granville M, Jacobson RE, Berti A. Sacral insufficiency fractures: recognition and treatment in patients with concurrent lumbar vertebral compression fractures. *Cureus* 2017;9:e1008.
39. Nork SE, Jones CB, Harding SP, Mirza SK, Routt MI JR. Percutaneous stabilization of U-shaped sacral fractures using iliosacral screws: technique and early results. *J Orthop Trauma* 2001;15:238–246.
40. Mandell JC, Weaver MJ, Khurana B. Computed tomography for occult fractures of the proximal femur, pelvis, and sacrum in clinical practice: single institution, dual-site experience. *Emerg Radiol* 2018;25:265–273.
41. Schicho A, Schmidt SA, Seeber K, Olivier A, Richter PH, Gebhard F. Pelvic X-ray misses out on detecting sacral fractures in the elderly: importance of CT imaging in blunt pelvic trauma. *Injury* 2016;47:707–710.
42. Henes FO, Nüchtern JV, Groth M, et al. Comparison of diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging and multidetector computed tomography in the detection of pelvic fractures. *Eur J Radiol* 2012;81:2337–2342.
43. Na WC, Lee SH, Jung S, Jang HW, Jo S. Pelvic insufficiency fracture in severe osteoporosis patient. *Hip Pelvis* 2017;29:120–126.
44. Baldwin MJ, Tucker LJ. Sacral insufficiency fractures: a case of mistaken identity. *Int Med Case Rep J* 2014;7:93–98.
45. Kinoshita H, Miyakoshi N, Kobayashi T, Abe T, Kikuchi K, Shimada Y. Comparison of patients with diagnosed and suspected sacral insufficiency fractures. *J Orthop Sci* 2019;24:702–707.
46. Yoder K, Bartsokas J, Averell K, McBride E, Long C, Cook C. Risk factors associated with sacral stress fractures: a systematic review. *J Man Manip Ther* 2015;23: 84–92.
47. Wang B, Fintelmann FJ, Kamath RS, Kattapuram SV, Rosenthal DI. Limited magnetic resonance imaging of the lumbar spine has high sensitivity for detection of acute fractures, infection, and malignancy. *Skeletal Radiol* 2016;45:1687–1693.
48. Lapina O, Tiškevičius S. Sacral insufficiency fracture after pelvic radiotherapy: a diagnostic challenge for a radiologist. *Medicina (Kaunas)* 2014;50:249–254.
49. Scheyerer MJ, Hüllner M, Pietsch C, Werner CM, Veit-Haibach P. Evaluation of pelvic ring injuries using SPECT/CT. *Skeletal Radiol* 2015;44:217–222.
50. Zhang L, He Q, Jiang M, Zhang B, Zhong X, Zhang R. Diagnosis of insufficiency fracture after radiotherapy in patients with cervical cancer: contribution of technetium tc 99m-labeled methylene diphosphonate single-photon emission computed tomography/computed tomography. *Int J Gynecol Cancer* 2018;28:1369–1376.

51. Hak DJ, Baran S, Stahel P. Sacral fractures: current strategies in diagnosis and management. *Orthopedics* 2009;32:orthosupersite.com/view.asp?rID=44034.
52. Gray R, Molnar R, Suthersan M. A minimally invasive surgical technique for the management of U-shape sacral fractures. *Spinal Cord Ser Cases* 2017;3:17045.
53. Hagen J, Castillo R, Dubina A, Gaski G, Manson TT, O'Toole RV. Does surgical stabilization of lateral compression-type pelvic ring fractures decrease patients' pain, reduce narcotic use, and improve mobilization? *Clin Orthop Relat Res* 2016;474: 1422–1429.
54. Höch A, Schneider I, Todd J, Josten C, Böhme J. Lateral compression type B 2-1 pelvic ring fractures in young patients do not require surgery. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2018;44:171–177.
55. Mahajan R, Tandon V, Das K, Nanda A, Venkatesh R, Chhabra HS. Management of neglected sacral fracture with cauda equina syndrome: report of two cases with review of literature. *Spinal Cord Ser Cases* 2015;1:15020.
56. Lehman RA Jr, Kang DG, Bellabarba C. A new classification for complex lumbosacral injuries. *Spine J* 2012;12:612–628.
57. Sommer C. Fixation of transverse fractures of the sternum and sacrum with the locking compression plate system: two case reports. *J Orthop Trauma* 2005;19:487–490.
58. Kasukawa Y, Miyakoshi N, Ebina T, et al. Enhanced bone healing and decreased pain in sacral insufficiency fractures after teriparatide treatment: retrospective clinical-based observational study. *Clin Cases Miner Bone Metab* 2017;14:140–145.
59. Baillieux S, Guinot M, Dubois C, Prunier A, Mahler F, Gaudin P. Set the pace of bone healing: treatment of a bilateral sacral stress fracture using teriparatide in a long-distance runner. *Joint Bone Spine* 2017;84:499–500.
60. Bederman SS, Hassan JM, Shah KN, Kiester PD, Bhatia NN, Zamorano DP. Fixation techniques for complex traumatic transverse sacral fractures: a systematic review. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013;38:E1028–E1040.
61. Kanezaki S, Miyazaki M, Notani N, et al. Minimally invasive triangular osteosynthesis for highly unstable sacral fractures: technical notes and preliminary clinical outcomes. *Medicine (Baltimore)* 2019;98:e16004.
62. Vigdorich JM, Jin X, Sethi A, et al. A biomechanical study of standard posterior pelvic ring fixation versus a posterior pedicle screw construct. *Injury* 2015;46:1491–1496.
63. Takao M, Hamada H, Sakai T, Sugano N. Factors influencing the accuracy of iliosacral screw insertion using 3D fluoroscopic navigation. *Arch Orthop Trauma Surg* 2019;139:189–195.
64. El Dafrawy MH, Strike SA, Osgood GM. Use of the S3 corridor for iliosacral fixation in a dysmorphic sacrum: a case report. *JBJS Case Connect* 2017;7:e62.
65. Höch A, Pieroh P, Henkelmann R, Josten C, Böhme J. In-screw polymethylmethacrylate-augmented sacroiliac screw for the treatment of fragility fractures of the pelvis: a prospective, observational study with 1-year follow-up. *BMC Surg* 2017;17:132.
66. König MA, Hediger S, Schmitt JW, Jentsch T, Sprengel K, Werner CML. In-screw cement augmentation for iliosacral screw fixation in posterior ring pathologies with insufficient bone stock. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2018;44:203–210.
67. Kortman K, Ortiz O, Miller T, et al. Multicenter study to assess the efficacy and safety of sacroplasty in patients with osteoporotic sacral insufficiency fractures or pathologic sacral lesions. *J Neurointerv Surg* 2013;5:461–466.
68. Lucas JE, Routt ML Jr, Eastman JG. A useful preoperative planning technique for transiliac-transsacral screws. *J Orthop Trauma* 2017;31:e25–e31.
69. Kobbe P, Hockertz I, Sellei RM, Reilmann H, Hockertz T. Minimally invasive stabilisation of posterior pelvic-ring instabilities with a transiliac locked compression plate. *Int Orthop* 2012;36:159–164.
70. Liuzza F, Silluzzo N, Florio M, et al. Comparison between posterior sacral plate stabilization versus minimally invasive transiliac-transsacral lag-screw fixation in fractures of sacrum: a single-centre experience. *Int Orthop* 2019;43:177–185.

71. Dienstknecht T, Berner A, Lenich A, Nerlich M, Fuechtmeier B. A minimally invasive stabilizing system for dorsal pelvic ring injuries. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469:3209–3217.
72. Salášek M, Jansová M, Křen J, Pavelka T, Weisová D. Biomechanical comparison of a transiliac internal fixator and two iliosacral screws in transforaminal sacral fractures: a finite element analysis. *Acta Bioeng Biomech* 2015;17:39–49.
73. Futamura K, Baba T, Mogami A, et al. 'Within ring'-based sacroiliac rod fixation may overcome the weakness of spinopelvic fixation for unstable pelvic ring injuries: technical notes and clinical outcomes. *Int Orthop* 2018;42:1405–1411.
74. Zhang R, Yin Y, Li S, Guo J, Hou Z, Zhang Y. Sacroiliac screw versus a minimally invasive adjustable plate for Zone II sacral fractures: a retrospective study. *Injury* 2019;50:690–696.
75. Acklin YP, Marco G, Sommer C. Double locking plate fixation of sacral fractures in unstable pelvic ring C-type injuries. *Oper Orthop Traumatol* 2015;27:74–79.
76. Pascal-Moussellard H, Hirsch C, Bonaccorsi R. Osteosynthesis in sacral fracture and lumbosacral dislocation. *Orthop Traumatol Surg Res* 2016;102:S45–S57.
77. Williams SK, Quinnan SM. Percutaneous lumbopelvic fixation for reduction and stabilization of sacral fractures with spinopelvic dissociation patterns. *J Orthop Trauma* 2016;30:e318–e324.
78. Bourghli A, Boissiere L, Obeid I. Dual iliac screws in spinopelvic fixation: a systematic review. *Eur Spine J* 2019;28:2053–2059.
79. Mohd Asihin MA, Bajuri MY, Ahmad AR, Ganaisan PK, Fazir M, Salim AA. Spinopelvic fixation supplemented with gullwing plate for multiplanar sacral fracture with spinopelvic dissociation: a case series with short term follow up. *Front Surg* 2019;6:42.
80. Sagi HC, Militano U, Caron T, Lindvall E. A comprehensive analysis with minimum 1-year follow-up of vertically unstable transforaminal sacral fractures treated with triangular osteosynthesis. *J Orthop Trauma* 2009;23:313–319.
81. Song W, Zhou D, He Y. The biomechanical advantages of bilateral lumbo-iliac fixation in unilateral comminuted sacral fractures without sacroiliac screw safe channel: a finite element analysis. *Medicine (Baltimore)* 2016;95:e5026.
82. Acklin YP, Zderic I, Richards RG, Schmitz P, Gueorguiev B, Grechenig S. Biomechanical investigation of four different fixation techniques in sacrum Denis type II fracture with low bone mineral density. *J Orthop Res* 2018;36:1624–1629.
83. Mitchell PM, Corrigan CM, Patel NA, et al. 13-year experience in external fixation of the pelvis: complications, reduction and removal. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2016;42:91–96.
84. Krappinger D, Lindtner RA, Benedikt S. Preoperative planning and safe intraoperative placement of iliosacral screws under fluoroscopic control. *Oper Orthop Traumatol* 2019;31:465–473.
85. Wang H, Fu YH, Ke C, et al. Minimally invasive stabilisation of posterior pelvic ring instabilities with pedicle screws connected to a transverse rod. *Int Orthop* 2018;42:681–686.
86. Kim JW, Oh CW, Oh JK, et al. The incidence of and factors affecting iliosacral screw loosening in pelvic ring injury. *Arch Orthop Trauma Surg* 2016;136:921–927.
87. Koshimune K, Ito Y, Sugimoto Y, et al. Minimally invasive spinopelvic fixation for unstable bilateral sacral fractures. *Clin Spine Surg* 2016;29:124–127.
88. El Dafrawy MH, Kebaish KM. Percutaneous S2 alar iliac fixation for pelvic insufficiency fracture. *Orthopedics* 2014;37:e1033–e1035.
89. Hopf JC, Krieglstein CF, Müller LP, Koslowsky TC. Percutaneous iliosacral screw fixation after osteoporotic posterior ring fractures of the pelvis reduces pain significantly in elderly patients. *Injury* 2015;46:1631–1636.
90. Maki S, Nakamura K, Yamauchi T, et al. Lumbopelvic fixation for sacral insufficiency fracture presenting with sphincter dysfunction. *Case Rep Orthop* 2019;2019: 9097876.
91. König MA, Jehan S, Boszczyk AA, Boszczyk BM. Surgical management of U-shaped sacral fractures: a systematic review of current treatment strategies. *Eur Spine J* 2012;5:829–836.
92. Strobl FF, Haeussler SM, Paprottka PM, et al. Technical and clinical outcome of percutaneous CT fluoroscopy-guided screw placement in unstable injuries of the posterior pelvic ring. *Skeletal Radiol* 2014;43:1093–1100.

93. Yang F, Yao S, Chen KF, et al. A novel patient-specific three-dimensional- printed external template to guide iliosacral screw insertion: a retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord* 2018;19:397.
94. Zhang R, Yin Y, Li S, Li A, Hou Z, Zhang Y. Lumbopelvic fixation versus novel adjustable plate for sacral fractures: a retrospective comparative study. *J Invest Surg* 2019. DOI: 10.1080/08941939.2019.1569737 [Epub ahead of print].
95. Kang S, Chung PH, Kim JP, Kim YS, Lee HM, Eum GS. Superior gluteal artery injury during percutaneous iliosacral screw fixation: a case report. *Hip Pelvis* 2015;27: 57–62.
96. Yu YH, Lu ML, Tseng IC, et al. Effect of the subcutaneous route for iliac screw insertion in lumbopelvic fixation for vertical unstable sacral fractures on the infection rate: a retrospective case series. *Injury* 2016;47:2212–2217.
97. Xie YL, Cai L, Ping AS, Lei J, Deng ZM, Hu C, Zhu XB. Lumbopelvic fixation and sacral decompression for u-shaped sacral fractures: surgical management and early outcome. *Curr Med Sci* 2018;38:684–690.
98. Raza H, Bowe A, Davarinos N, Leonard M. Bowel preparation prior to percutaneous ilio-sacral screw insertion: is it necessary? *Eur J Trauma Emerg Surg* 2018;44: 211–214.
99. Osterhoff G, Noser J, Sprengel K, Simmen HP, Werner CML. Rate of intraoperative problems during sacroiliac screw removal: expect the unexpected. *BMC Surg* 2019;19:39.
100. Chen W, Hou Z, Su Y, Smith WR, Liporace FA, Zhang Y. Treatment of posterior pelvic ring disruptions using a minimally invasive adjustable plate. *Injury* 2013;44:975–980.
101. Andresen R, Radmer S, Andresen JR, Schober HC. Comparison of the 18-month outcome after the treatment of osteoporotic insufficiency fractures by means of balloon sacroplasty (BSP) and radiofrequency sacroplasty (RFS) in comparison: a prospective randomised study. *Eur Spine J* 2017;26:3235–3240.
102. Yang SC, Tsai TT, Chen HS, Fang CJ, Kao YH, Tu YK. Comparison of sacroplasty with or without balloon assistance for the treatment of sacral insufficiency fractures. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2018;26:2309499018782575.
103. Adelved A, Tötterman A, Glott T, Hellund JC, Madsen JE, Røise O. Long- term functional outcome after traumatic lumbosacral dissociation: a retrospective case series of 13 patients. *Injury* 2016;47:1562–1568.
104. Adelved A, Tötterman A, Glott T, Søbørg HL, Madsen JE, Røise O. Patient-reported health minimum 8 years after operatively treated displaced sacral fractures: a prospective cohort study. *J Orthop Trauma* 2014;28:686–693.
105. Lindahl J, Mäkinen TJ, Koskinen SK, Söderlund T. Factors associated with outcome of spinopelvic dissociation treated with lumbopelvic fixation. *Injury* 2014;45: 1914–1920.
106. Khaled SA, Soliman O, Wahed MA. Functional outcome of unstable pelvic ring injuries after iliosacral screw fixation: single versus two screw fixation. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2015;41:387–392.
107. Noser J, Dietrich M, Tiziani S, Werner CML, Pape HC, Osterhoff G. Mid-term follow-up after surgical treatment of fragility fractures of the pelvis. *Injury* 2018;49:2032–2035.
108. Loggers SAI, Joosse P, Jan Ponsen K. Outcome of pubic rami fractures with or without concomitant involvement of the posterior ring in elderly patients. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2019;45:1021-1029.
109. Eckardt H, Egger A, Hasler RM, et al. Good functional outcome in patients suffering fragility fractures of the pelvis treated with percutaneous screw stabilisation: assessment of complications and factors influencing failure. *Injury* 2017;48: 2717–2723.
110. Walker JB, Mitchell SM, Karr SD, Lowe JA, Jones CB. Percutaneous transiliac-transsacral screw fixation of sacral fragility fractures improves pain, ambulation, and rate of disposition to home. *J Orthop Trauma* 2018;32:452–456.
111. Boyoud-garnier L, Boudissa M, Ruatti S, Kerschbaumer G, Grobost P, Tonetti J. Chronic low back pain after lumbosacral fracture due to sagittal and frontal vertebral imbalance. *Orthop Traumatol Surg Res* 2017;103:523–526.

112. Lee HD, Jeon CH, Won SH, Chung NS. Global sagittal imbalance due to change in pelvic incidence after traumatic spinopelvic dissociation. *J Orthop Trauma* 2017;31: e195–e199.
113. Lee JS, Kim YH. Factors associated with gait outcomes in patients with traumatic lumbosacral plexus injuries. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2019. doi: 10.1007/s00068-019- 01137-x [Epub ahead of print].
114. Adelled A, Tötterman A, Hellund JC, Glott T, Madsen JE, Roise O. Radiological findings correlate with neurological deficits but not with pain after operatively treated sacral fractures. *Acta Orthop* 2014;85:408–414.
115. Bekmez S, Demirkıran G, Çağlar O, Akel I, Acaroğlu E. Transverse sacral fractures and concomitant late-diagnosed cauda equina syndrome. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg* 2014;20:71–74.
116. Kepler CK, Schroeder GD, Hollern DA, et al. Do formal laminectomy and timing of decompression for patients with sacral fracture and neurologic deficit affect outcome? *J Orthop Trauma* 2017;31:S75–S80.
117. Bai Z, Gao S, Liu J, liang A, Yu W. Anatomical evidence for the anterior plate fixation of sacroiliac joint. *J Orthop Sci* 2018;23:132–136.
118. Theologis AA, Burch S, Pekmezci M. Placement of iliosacral screws using 3D image-guided (O-Arm) technology and stealth navigation: comparison with traditional fluoroscopy. *Bone Joint J Br* 2016;98-B:696–702.
119. Wang JQ, Wang Y, Feng Y, et al. Percutaneous sacroiliac screw placement: a prospective randomized comparison of robot-assisted navigation procedures with a conventional technique. *Chin Med J (Engl)* 2017;130:2527–2534.
120. Irifune H, Hirayama S, Takahashi N, Chiba M, Yamashita T. Closed reduction in a 'hyperextended supine position' with percutaneous transsacral-transiliac and iliosacral screw fixation for Denis zone III sacral fractures. *Adv Orthop* 2018;2018:6098510.
121. Ruatti S, Kerschbaumer G, Gay E, Milaire M, Merloz P, Tonetti J. Technique for reduction and percutaneous fixation of U- and H-shaped sacral fractures. *Orthop Traumatol Surg Res* 2013;99:625–629.
122. Peng Y, Zhang W, Zhang G, et al. Using the Starr Frame and Da Vinci surgery system for pelvic fracture and sacral nerve injury. *J Orthop Surg Res* 2019;14:29.
123. Fujino S, Miyagi M, Tajima S, et al. Surgical treatment for suicidal jumper's fracture (unstable sacral fracture) with thoracolumbar burst fracture: a report of three cases. *Spine Surg Relat Res* 2017;1:100–106.
124. Okuda A, Maegawa N, Matsumori H, et al. Minimally invasive spinopelvic 'crab-shaped fixation' for unstable pelvic ring fractures: technical note and 16 case series. *J Orthop Surg Res* 2019;14:51.

