



# Pedriatrik Omurga Yaralanmalarına Yaklaşım ve SCIWORET

## Management of Pediatric Spine Injuries and SCIWORET

Mehmet Edip AKYOL<sup>1</sup>, Mevlüt Özgür TAŞKAPILIOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Van, Türkiye

<sup>2</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

**Yazışma adresi:** Mevlüt Özgür TAŞKAPILIOĞLU ✉ ozgurt@uludag.edu.tr

### ÖZ

Çocuklarda spinal travma erişkin yaşa göre daha nadir görülmekle beraber büyüyen omurgaya yaklaşım ve gelişme aşamasındaki anatomi nedeni ile takip ve tedavisi farklılıklar göstermektedir. Trafik kazaları ve spor yaralanmaları en sık sebeplerdir. Çocukluk çağında servikal omurga yaralanmaları ve radyolojik anormallik olmadan spinal kord yaralanması erişkin hastalara göre daha sık izlenmektedir. Tam gelişmemiş bağ dokunun değerlendirilmesinde manyetik rezonans görüntüleme altın standarttır. Büyüyen omurganın değerlendirilmesi zorluklar gösterebilir. Tedavisinde görüş birliğine varılmamış noktalar bulunmaktadır. Gelişen omurgada yaralanma tedavisinde ilk tercih sıklıkla tutucu tedaviler olmaktadır. Bu tedaviler başarısız olduğunda cerrahi yöntemler kullanılmaktadır. Bu derlemenin amacı çocukluk çağı omurga yaralanmalarının tanı ve tedavisini ve erişkinlerle olan farklılıkları ortaya koymaktır.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Çocukluk çağı, SCIWORET, Spinal travma

### ABSTRACT

Spinal trauma is rarely seen in children compared to adults, and the follow-up and treatment differ in this age group due to the approach to the growing spine and the developing anatomy. Traffic accidents and sports injuries are the most common causes. In childhood, cervical spine injuries and spinal cord injury without radiological abnormalities are observed more frequently than in adult patients. Magnetic resonance imaging is the gold standard in the evaluation of developing connective tissue. Evaluation of the growing spine presents some difficulties. There is no consensus on some treatment modalities. The first choice for treatment in the developing spine is often conservative treatment. When these treatments fail, surgical methods are used. The aim of this review is to reveal the diagnosis and treatment of childhood spinal injuries and the differences with adults.

**KEYWORDS:** Pediatric, SCIWORET, Spinal trauma

### ■ GİRİŞ

**P**edriatrik yaş grubundaki spinal travmaların tanı ve tedavisi bulunduğu yaş aralığına göre özellik göstermektedir. Çocuklarda omurga travması, erişkinlere göre daha nadir görülür; buna rağmen birey, aile ve toplum üzerinde potansiyel biyopsikososyal etkiler daha fazla olabilir. Bu nedenle, travma esnası veya sonrasında süreç iyi yönetilirse, yaralanmanın yıkıcı etkileri azaltılabilir. Yönetim, yaralanma mahallindeki ilk değerlendirmeden, kesin yönetim ve rehabilitasyona kadar hastaya özel olmalıdır. Travma sürecinde, çocuk omurga anatomisinin ve buna bağlı omurga biyomekaniğinin iyi bilin-

mesi gerekir. Omurga yapısının yaşa göre gelişim safhalarının bilinmesi, yapılacak müdahalenin şeklini ve etkinliğini belirleyecektir.

#### Servikal Omurga Yaralanmaları

Servikal bölge yaralanmaları çocukluk çağı travmalarının %60-80'ini oluşturur. Görülme insidansı %1-10'dur (47). Sekiz yaş altı hastalarda daha yüksek insidans ile üst servikal bölge yaralanmaları ve radyolojik anormallik olmadan spinal kord yaralanması (SCIWORET) izlenirken; daha büyük çocuklarda alt servikal bölge yaralanmaları daha siktir (47).

## Epidemiyoloji

Travma çocukluk çağında en önemli ölüm sebebidir (27). Vertebra kırıkları bu yaş grubunda tüm travmaların %5,2'sini oluştururken, ölümlerin %0,82'den sorumludur (27). Spinal yaralanmalar çocuklardaki travmatik yaralanmaların %1-10'unu oluşturur (11). Pediatrik omurga yaralanmalarının büyük bir kısmı servikal omurgada görülür (%40-60) (50). Amerika Birleşik Devletleri'nde, çocuklarda yapılmış olan en büyük travma epidemiyolojisi çalışmasında, Ulusal Pediatrik Travma Kayıtlarındaki 10 yıllık olgular değerlendirilmiş ve 75172 travmalı çocuktan sadece %1,5'inde servikal omurga yaralanması olduğunu belirlemiştir (59). Çalışmada, üst servikal omurga yaralanmaları tüm çocukluk yaş gruplarında (%42'si  $\leq$  8 yaş; %58'de  $>$  8 yaş) yaygın iken, alt servikal omurga yaralanmalarının daha fazlası büyük çocuk yaş grubunda (%85'i  $>$  8 yaş) görüldüğü belirtilmiştir (59). Üst servikal yaralanmalarının 8 yaş altında fazla görülmesinin nedeni kafanın vücudun geri kalanına kıyasla nispi büyüklüğü ve anatomik yapıların farklı olmasıdır. Çocuk büyüdükçe, bu oran azalmakta ve yetişkin düzeylerdeki gibi alt servikal omurganın yaralanması çok daha yaygın görülmektedir. Çocuklarda servikal yaralanmaların üst bölgede görülmesi mortalite ve morbiditeyi artırmaktadır. Ciddi pediatrik servikal yaralanmalarının %80'den fazlası üst bölgededir (42). Üst servikal omurga yaralanması olanlarda mortalite %33 iken, alt servikal omurga yaralanmasında %8,3 düzeyindedir (59). Yetişkinlerde olduğu gibi, erkek çocuklarda servikal omurga yaralanması 1,5-2,1/ 1 oranında daha sıktır (2).

Motorlu araç kazaları ve yüksekte düşme en sık spinal travma sebepleri iken penetran yaralanmalar ve spor yaralanmaları spinal kord hasarı ile ilişkilidir (61). Adölesanlar spinal travma nedeni ile küçük yaşlara göre yaklaşık 8 kat daha fazla hastaneye yatar ve bu yaş grubunda yaklaşık 6 kat daha fazla spinal kord hasarı izlenir (61).

Künt travma, genellikle motorlu taşıt kazaları (%61) servikal omurga hasarının %95'ini oluşturur (59). Düşmeler küçük yaşta daha sık yaralanma sebebidir ( $\leq$  8 yaş %18'i; %11'ide  $>$  8 yaş) (59). Sporla ilgili yaralanmalar büyük yaş çocuk grubunda çok daha yaygındır ( $\leq$  8 yaş %3'ü; %20'side  $>$  8 yaş) (50). Kaza ile olmayan yaralanma olasılığı ve çocuk istismarı özellikle küçük yaş grubunda, her zaman klinisyen tarafından dikkate alınmalıdır.

Yenidoğanlarda, 60.000 doğumdan birinin omurilik yaralanması ile komplike olduğu tahmin edilmektedir (72). Maternal risk faktörleri arasında küçük bir pelvis, obezite, diyabet ve primiparite vardır (39). Fetüsle ilgili risk faktörleri arasında doğum sırasında yenidoğanın anormal pozisyonu, uzun süren doğum eylemi, doğuma yardımcı olmak için forseps kullanımı ve omuz distosisi bulunur (39). Yenidoğanda brakial pleksus yaralanması spinal yaralanmalardan çok daha yaygındır ve sırasıyla Erb veya Klumpke felcine neden olan üst (C5/ 6) veya alt (C7/ T1) sinirlerini etkileyebilir. Nadir olsa da, yenidoğanın servikal omurga hasarı, solunum hasarına (solunum kaslarının felci ve / veya frenik sinir hasarı nedeniyle) ve flaks parapleji veya kuadripleji hipotoniye yol açabilir ve sonucunda da ölümcül olabilir (39).

## Pediatrik Omurganın Anatomik Farklılıkları

Çocukluk çağındaki spinal yaralanmaların tipi ve ciddiyeti erişkinlerden farklıdır (26). Bu farka gelişimsel, anatomik ve biyomekanik pek çok faktör neden olur. Çocukların ve yetişkinlerin vertebral kolonu arasındaki en önemli farklılıklardan biri, iç elastik özellikleridir. Bu esneklik, yaralanma ile kendiliğinden azalmaya neden olabilir. Travma ile çocuklarda erişkinlerden daha fazla bağ hasarı gelişebilir. SCIWORET, X Ray/ BT taramalarında herhangi bir yaralanma bulunmayan bu tür kemiksiz yaralanmaları sınıflandırmak için tanımlanmıştır (55). Gerçekten de, omurilik zedelenmesi servikal omurga zedelenmesinin yaklaşık %35'inde görülür ve bu olguların yaklaşık yarısında kemik yaralanmasının radyolojik belirtisi görülmez (59).

Servikal omurganın doğal esnekliği, kısmen, artan fleksiyon ve ekstansiyon aralığına izin veren sığ ve yatay olarak yönlendirilmiş faset eklemlerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bağlar hasar görmeden daha da uzayabilir. C3'ten T1'e kanca şeklindeki unsinat yapılar, spondilolistezi önlemek ve yetişkinlerde lateral fleksiyonu sınırlamak için etkilidir. Bununla birlikte, bunlar çocukta az gelişmiştir ve servikal omuriliği daha esnek hâle getirir. Kasların desteği de azdır ve bu başka bir önemli faktörü temsil edebilir. Vücuda oranla daha büyük baş, üst servikal omurga boyunca moment kuvvetinin artmasına neden olur. Bebeklerde C2-3'te bulunan dayanak noktası nörolojik yaralanma riskinin artmasına neden olur. Çocuk büyüdükçe, dayanak noktası C5-6'da erişkin pozisyonuna iner (12).

Fleksiyon ekstansiyon yüklerine karşı vücuda göre büyük olan kafa ve gelişmemiş boyun kasları daha fazla esnemeye neden olurlar (21). Eklem kapsülleri, bağlar ve kırıkta endplatelerin esnekliği travmatik gücü absorbe eder ve dağıtır. Yatay açılmış fasetler (özellikle C1-2) ve kama şeklindeki vertebra gövdeleri öne kaymaya neden olur (36).

Servikal bölge erişkin hâlini 8 yaşında alır. Bu yaştan sonra vertebralarda ossifikasyon başlar. Vertebra gövdesi kama şeklini kaybeder ve daha vertikal hâle gelir. Servikal kaslar gelişir, bağlar ve kapsüller daha fazla gerilme direnci kazanır (63).

## Servikal Travmada İlk Değerlendirme

İleri travma yaşam desteği prensipleri, servikal omurga yaralanması olan bir çocuğun acil yönetimi için de geçerlidir. Kaza mahallinde nötr pozisyonda immobilizasyon yapılmalıdır ve çocuk acil serviste tam olarak değerlendirilinceye kadar bu devam ettirilmelidir. Geneksel olarak, yetişkinler gibi omurga yaralanmasından şüphelenilen çocuklar, bir travma tahtası üzerine yerleştirilmeli ve kafanın her iki tarafına sert bloklar ve kum torbalarıyla desteklenmeli veya sert bir servikal boyunluk uygulanmalıdır (38). Bu uygulamalara özellikle küçük yaş grubunda kötü uyum sağlanır. Dahası, çocuklar ajite olabilir, bu da boyunluğun uygulanmasını zor ve potansiyel olarak tehlikeli hâle getirebilir. En güvenli yaklaşım pragmatik bir yaklaşımdır. Uygun boyutta bir yumuşak boyunluk güvenli bir şekilde takılabilirse, bu aşamada daha uygun olabilir. Yoksa, sadece kafanın her iki tarafına yerleştirilen bloklar, kum torbaları, sıvı torbaları veya rulo havlular ve bandı yerinde sabitleyerek nötr veya rahat bir pozisyonda tutmak uygundur. Bu yaklaşım

“National Institute for Health and Care Excellence” (NICE) ve ileri pediatrik yaşam destek kursu tarafından savunulmaktadır (31,54). Servikal bir yakalığın atlanto-okspital distraksiyonu artırabileceği ve bu gibi durumlarda nörolojik hasarı kötüleştirebileceğini de bilmek önemlidir. Bu nedenle, bu şekilde yaralanmadan şüpheleniliyorsa, sadece kum torbaları ve yanlara bant kullanılmalıdır (18). Küçük çocuğun kafası, bir yetişkine kıyasla vücuduna oranla daha büyük olduğundan, omurga tahtasında düz uzanırken, baş hafif bir fleksiyona zorlanır. Bu nedenle, bu etkiye karşı koymak için oksipital girinti veya omuz altı destek ile yükselmek gerekebilir (35).

Servikal omurgadaki hasar, şüpheli yaralanma, bilinç kaybı, tortikollis, servikal kas sisteminin sertliği, önemli boyun ağrısı, geçici veya kalıcı olabilen nörolojik bulgular varlığında dikkate alınmalıdır. Çocuklarda travma varlığında erişkinlerden daha çok nörolojik hasar görme olasılığı mevcuttur. İnkomplet omurilik yaralanmaları (SCI) daha yaygındır (% 75 tam olmayan yaralanma ve %25 tam yaralanma) (59). Komplet omurilik yaralanmasında, motor kayıp ve yaralanma seviyesinin altında fonksiyonel kuvvet, genellikle geri döndürülemez ve yıkıcı sonuçlara yol açar.

Omurilik yaralanması varsa, hasar birincil veya ikincil olarak adlandırılır. Birincil yaralanma, mekanik hareket nedeniyle travma sırasında devam eder ve geri döndürülemez. Olaydan sonra ikincil yaralanma devam eder ve buna en büyük sebeplerden biri spinal kordun hipoperfüzyonudur. Bu nedenle, kord iskemisini önlemek için hipotansiyonun önlenmesi resüsitasyon aşamasında çok önemlidir. Yoğunbakımda uygun organ desteği hayati önem taşır.

Nöroprotektif tedaviler, başlangıçtaki yaralanmaya bağlı olan kord ödemi ve inflamatuvar süreçlerin neden olduğu düşünülen akut SCI'da ikincil hasarı önlemek amacıyla araştırılmıştır. Metilprednizolon kullanımı özellikle tartışmalıdır. 1990'larda Ulusal Akut Omurilik Yaralanması Araştırmaları (NASCIS) II ve III'ün yayınlanmasının ardından popüler hâle gelmiştir. On üç yaş üzerindeki hastalarda yaralanmanın ilk 8 saati içinde verildiğinde SCI'da yararlı bir etki gösterdiği bildirilmiştir (7,8). Ancak, son zamanlarda yapılan yeni analiz ve çalışmalar steroidlerin olumsuz etkilerinin faydalarından daha ağır basabileceğini göstermiştir (60). Son kılavuzlar metilprednizolonun omurilik yaralanmasında rutin olarak kullanılmaması gerektiğini belirtmektedir (40). Bazı araştırmacılar ise kararın duruma göre verilmesi gerektiğini belirtirler ve metilprednizolonun dekompresyona alınan servikal omurilik yaralanmalarında özellikle etkili olabileceğini savunurlar (24). Bu devam eden tartışma, steroidlerin klinik kullanımını daha iyi değerlendirmek için daha yüksek kaliteli randomize kontrol çalışmalarına duyulan ihtiyacı göstermektedir. Hipotermi, yapılan çalışmalarda nörolojik sonuçta umut verici iyileşmelerle birlikte inflamasyonun omurilik üzerindeki etkilerini hafifletmek için de kullanılmıştır. Bununla birlikte hipoterminin yararlarının, bu tedavinin risklerinden daha ağır basacağından emin olmak için yüksek kaliteli kanıtlara ihtiyaç vardır (1).

Cerrahi müdahale olarak dekompresyon, ödem ve iskemiye neden olan SCI sonrası sekonder hasarı azaltmaya çalışır. Deneysel çalışmalar, SCI'nın hayvan modellerinin sonuçlarında faydalı etkiler göstermiştir. Dekompresyon genellikle omuriliğe

basısı olan inkomplet SCI'lı hastalarda stabilizasyon ameliyatı sırasında yapılır. Cerrahi müdahalenin zamanlaması tartışmalıdır. Teorik ve deneysel hayvan çalışmaları erken müdahalenin fayda sağlayacağını öne sürerken, klinik çalışmalarda bu henüz kanıtlanamamıştır. Mevcut görüş, cerrahi müdahale için en uygun zaman diliminin 8-24 saat olduğunu göstermektedir (25). Ayrıca erken müdahale, uzun yatak istirahati ile ilişkili morbiditeyi azaltabilecek, erken rehabilitasyonun başlamasını hızlandırabilecek ve hastanede yatış süresinin daha kısa olmasını sağlayacaktır.

### Servikal Omurganın Görüntüleme Prensipleri

#### Düz radyografi

Vicellio ve ark. NEXUS kriterlerini kullanarak servikal omurga yaralanması olan 3000'den fazla çocuğu değerlendiren prospektif bir çalışma gerçekleştirmiştir (Tablo I) (37,73). Uygulanan beş NEXUS kriterinden herhangi birini göstermediyse, servikal omurga kırığı olmadığını bildirmişlerdir (37). Ancak, bu çalışmadaki çocukların sadece %2,8'i 2 yaşın altındadır ve bu grubun acil serviste değerlendirilmesi çok zordur (2).

Servikal omurga travmalarında en iyi görüntüleme yöntemi tartışmaları devam etmektedir. Servikal radyografi, BT görüntüleme kadar duyarlı olmasa da, çok daha düşük bir radyasyon dozuna maruziyet yaratır ve daha güvenlidir. Garton ve Hammer, servikal omurga yaralanması ile tedavi edilen 190 çocuğa NEXUS kriterlerini uyguladıkları çalışmalarında, 8 yaşından küçük çocuklarda %75, düz radyografisi olanlarda %93 duyarlılık saptadı (29). Başka bir çalışma, antero-posterior ve lateral radyografinin 9 yaşından küçük çocuklar için %87 duyarlılığa sahip olduğunu göstermiştir (6).

Fleksiyon-ekstansiyon radyografisi servikal omurganın stabilitesinin belirlenmesinde yardımcı olur. Yalnız akut nörolojik defisitleri olan çocuklarda gerçekleştirilemez ve yaralanma sonrası servikal kas spazmı olan çocuklarda mümkün değildir. Bu nedenle, akut durumda uygulanamazlar. Gecikmiş instabiliteyi değerlendirmek ve servikal omurga yaralanmalarının tedavisinden sonra takip için kullanılır. Servikal omurga yaralanmalarının takibi sırasında çekilen fleksiyon/ ekstansiyon radyografisi hastayı eksternal ortezden ayırmanın güvenli olup olmayacağına karar verilmesine yardımcı olabilir.

#### Bilgisayarlı tomografi (BT)

Garton ve Hammer'ın çalışmasında BT, sekiz yaşından küçüklerde %94'lük ve daha büyük çocuklarda ise %97'lik bir duyarlılık göstermiştir (29). BT taraması aynı zamanda servikal omurga yaralanmalarını tanımlamak için çok daha iyi bir özgüllüğe sahip olsa da, birçok klinisyen, iyonlaştırıcı radyasyonun

**Tablo I:** NEXUS Kriterleri

Servikal Spinal Duyarlılık
İntoksikasyon
Bilinç değişikliği (entübasyon dahil)
Servikal dışı ağırlı yaralanma
Fokal nörolojik defisit

uzun vadeli riskleri nedeniyle pediatrik popülasyonda BT taraması kullanımında haklı olarak dikkatli davranmaktadır (4).

NICE, aşağıdaki risk faktörlerinden birinin tanımlanmasından sonra 1 saat içinde servikal omurganın BT taramasını tavsiye etmiştir (53):

1. Entübe edilirse,
2. GCS <13 ise,
3. Fokal nörolojik bulgular varlığında,
4. Üst ve alt ekstremitelerde parestezi,
5. Eğer normal radyografilere rağmen güçlü bir klinik kuşku şüphesi varsa,
6. Radyografi teknik zor veya yetersizse,
7. Radyografilerde önemli bir kemik yaralanması tespit edilirse

NICE ayrıca, servikal omurga hasarının kesin bir tanısının acilen (örneğin, ameliyattan önce) gerekli olması halinde BT için tavsiyede bulunur (53).

#### **Manyetik rezonans görüntüleme (MRG)**

Manyetik rezonans görüntüleme en iyi görüntüleme yöntemidir. BT taramasında atlanabilecek bağ hasarının değerlendirilmesini sağlar. Özellikle bilinci açık olmayan, konuşmayan çocukta ve servikal omurga 72 saat içinde değerlendirilemediğinde yararlıdır (4). Bununla birlikte, MRG zaman alıcı bir yöntemdir ve anstabil hastalarda çekilmesi uygun değildir. Aynı zamanda maliyetlidir ve üçüncül bir merkeze hasta transferini gerektiren saatler dışında kullanılamaz. Küçük çocukların da tarama süresince hareket etmemesi ve hareket artefaktının önlenmesi için uyutulması gerekebilir. MRG bu handikaplarına rağmen, servikal omurga yaralanmalarını tanımlamak için altın standart olmaya devam etmektedir.

#### **Pediatrik Servikal Omurganın Görüntülenmesinde Tuzaklar**

Çocuğun servikal omurganın görüntülenmesinde normal yapılar patoloji ile karıştırılabilir. Ayrıca, erişkin hastada servikal omurga görüntülenmesinden çok farklılıklar gösterir. Embriyoloji ve pediatrik servikal omurga anatomisinin iyi anlaşılması gerekir.

Prevertebral yumuşak doku kalınlaşması erişkinlerde yaralanmayı gösterir, ancak çocuklarda boynun bükülmesi sırasında ortaya çıkabilir ve özellikle ağlayan çocukta belgindir (71). Bu durumda radyografiyi tekrarlamak mümkün değilse BT çekilmesi gerekebilir.

Servikal lordoz kaybı çocuklarda genellikle görülür, ancak servikal kas sistemi spazmindan da kaynaklanabilir. Servikal omurların kemikleşmiş kısımları doğumda daha küreseldir ve yaşla birlikte dikdörtgen yetişkin şekillerine dönüşür. Bu nedenle, küçük çocukların erişkinlerde görülen ön kama kırıklarını taklit eden normal bir "kama görünümü" olabilir (69).

Yetişkinlerde radyolojik tanı için kullanılan ölçümler, yukarıda tarif edilen anatomik farklılıklar nedeniyle çocuklarda farklıdır. Örneğin, atlanto-okspital çıkığı belirlemek için kullanılan atlantodental aralık (ADI) yetişkinlerde > 3 mm, çocuklarda > 5 mm'dir (15).

Servikal omurganın esnekliği nedeniyle görüntüleme sırasında psödosubluksasyon (özellikle C2-3'te) görülebilir. Subluksasyon miktarı genellikle <2 mm'dir. Swischuk hattı (C1'in arka kemerlerinin ön tarafından C3'e kadar çizilen) değerlendirilmelidir. Çizgi genellikle C2'nin arka arkının <1 mm önündedir ve çizgi C2 kemerinin ön yönünden > 2 mm ise, psödosubluksasyon düşünülmez ve çıkık olarak değerlendirilmelidir. Buradaki bağ yaralanmasını belirlemek için MRG faydalıdır (4).

Senkondrozlar (epifiz büyüme plakaları), görüntüleme üzerindeki kırıklarla karıştırılabilir. Senkondrozların yeri ve görünümü tahmin edilebilir ve genellikle simetriklerdir. Normal anatominin belirlenmesine yardımcı olmak için benzer yaşta bir hastanın görüntülenmesinin gözden geçirilmesi faydalı olabilir. Bununla birlikte, senkondrozlar yoluyla kırıklar meydana gelebilir. Bu kırıklar, iyi birleşme eğilimi gösterirler ve redüksiyon ve dış immobilizasyon önerilen tedavidir. Cerrahi fiksasyon ancak konservatif tedaviye rağmen füzyon gerçekleşmezse yapılır.

#### **Servikal Omurga Yaralanmasında Sınıflama**

Pediatrik servikal yaralanmaları 4 grupta sınıflandırılabilir (20):

1. Omur cisminde veya arka elemanlarında kırık ile subluksasyon
2. Subluksasyon olmaksızın kırık
3. Kırık olmaksızın ligaman hasarına bağlı subluksasyon
4. Radyolojik bulgu olmaksızın omurilik yaralanması (SCIWORET)

#### **Servikal Omurga Yaralanma Paternleri**

##### *Atlanto-Oksipital Dislokasyon (AOD)*

Bu çıkıklar, çoğunlukla motorlu taşıt kazaları gibi yüksek mekanik kuvvetlerden kaynaklanmaktadır (49). Eski zamanlarda AOD'nin çok seyrek olduğu ve AOD'li hastaların bu yaralanmanın ciddiyeti nedeniyle olay yerinde öldüğü düşünülmüştür. Gelişen tedavi yöntemleri ve başlangıç bakımı nedeniyle giderek daha fazla hasta bu yaralanma modeli ile hayatta kalmaktadır.

AOD, nispeten büyük baş ve diğer anatomik farklılıklar nedeniyle çocuklarda yetişkinlerden üç kat daha yaygındır (28,32). Bu eklemdaki eklem kapsülü ve çevresindeki bağlar, küçük çocuklarda daha gevşektir. Ayrıca, C1 arki küçüktür ve üzerindeki foramen magnum büyüktür. Bu nedenle travma sonrası oksipital kondilin C1'in lateral fasetleri arasında dönmesi AOD'ye yol açabilir (28,32).

Nörolojik bozukluk yaygındır. Hastaların %80'i başvuru anında anormal nörolojik muayeneye sahiptir (33). Ciddi servikal kord yaralanmaları üst ve alt ekstremitelerde felç, duyuusal anormallikler, solunum yetmezliği, priapizm, gaita/ idrar inkontinansına ve nörojenik şoka yol açabilir.

Tedavi edilmeyen AOD hastalarının %54'ünde kalıcı nörolojik defisit geliştirir ve %15'i ölür (70). Erken müdahale morbidite ve mortaliteyi önler (32). BT görüntüleme travma bağlamında ilk görüntüleme yöntemi olmalıdır; çünkü yüksek etkili

yaralanmalarda kemik patolojilerini ve diğer yaralanmaları tanımlayacaktır. MRG taraması, yumuşak doku/ bağ hasarını tespit etmek, nörolojik defisitleri daha iyi değerlendirmek ve kararsız yaralanmanın tedavisini planlamak için daha sonra yapılmalıdır. Hasta bilinçsiz ve klinik değerlendirme mümkün değilse, 48 saat içinde MRG yapılmalıdır (65,67).

AOD'nin tedavisi kanıt eksikliği nedeniyle tartışmalıdır. Bu nedenle, oksipito-servikal fiksasyon ve füzyon yoluyla stabilitenin sağlanması için genellikle zorunlu olarak kabul edilir. Bu başlangıçta mümkün değilse, halo uygulanabilir. Fiksasyon, instabiliteye bağlı olarak potansiyel nörolojik kötüleşmeyi önler. Halo cihazının uygulanması sırasında %10 nörolojik bozulma riskinden dolayı traksiyondan kaçınılmalıdır (70). Konservatif tedavi ile tatmin edici bir füzyon sağlanamazsa, bazı çocuklarda cerrahi fiksasyon gerekebilir.

#### Atlantoaksiyal Dislokasyon

Çocuk travmalarında en sık görülen servikal dislokasyon tipidir (9). C1 ve C2 (atlantoaksiyal eklem) arasındaki disartikülasyonu içerir. Atlantoaksiyal eklem kompleksinin neredeyse tamamı çevredeki bağlarla desteklenir. Transvers atlantal ligament (TAL), anterior dislokasyonu önler ve travma ile zedelenebilir. Alar bağlar ise odontoidi oksiput'a bağlayarak ek destek sağlar.

BT görüntülemesi, C1'in lateral fasetlerinin kırılması ile TAL'in bütünlüğünün bozulduğunu gösterebilir. Fakat TAL'in bütünlüğünü gösterebilmek için MRG gereklidir. TAL'in kendisi yırtılırsa iyileşme olasılığı düşük olduğundan cerrahi fiksasyon gereklidir. Bu nedenle, C1'in lateral fasetleri kırılırsa ve bu nedenle TAL'da yırtılma olursa, bu olguların %74'ünde cerrahi müdahaleye gerek kalmadan iyileştiği için bir halo ilk durumda takılabilir (19,48).

#### Eksenel Kırıklar

Saf odontoid kırıkları çocuklarda yetişkinlere göre farklıdır. Gelişmekte olan C2 vertebraları, altı senkondrozla ayrılmış beş ossifikasyon merkezinden oluşur. Bu senkondrozlar 7 ila 13,5 yaşları arasında kapanır (68). Küçük yaş çocuklarda, odontoid kırıkları genellikle C2 gövdesi ile odontoid arasındaki senkondroz noktalarında ortaya çıkar. Senkondrosal kırıklar, genellikle eksternal fiksasyon ile iyi iyileşir (68). Senkondrozlar kapandıktan sonra, yaralanmalar Anderson ve D'Alonzo sınıflandırması kullanılarak yetişkinlere göre sınıflandırılabilir (2).

Anderson-D'Alonzo sınıflandırması odontoid çıkıntı kırıklarının üç tipe ayırmıştır;

1. Transvers ligaman üstünde, odontoidin tepesinde oluşan avulsiyon kırığı (tip I)
2. Vertebra cismi odontoid bileşke kırığı (tip II)
3. Vertebra cisminin anterior proksimal kısmını içeren kırıklar (tip III)

Tip II kırıklar atlantoaksiyal dislokasyona neden olabilir (74). Tedavi tip I veya III ise halo yelek ile yapılır, çünkü bunlar nispeten stabildir. Dens 5 mm'den daha az yer değiştirmişse Tip II kırıklar aynı şekilde tedavi edilebilir. Daha fazla yer

değiştirmişse, odontoid vida fiksasyonu veya atlantoaksiyal eklem füzyonu ile cerrahi müdahale gerekebilir.

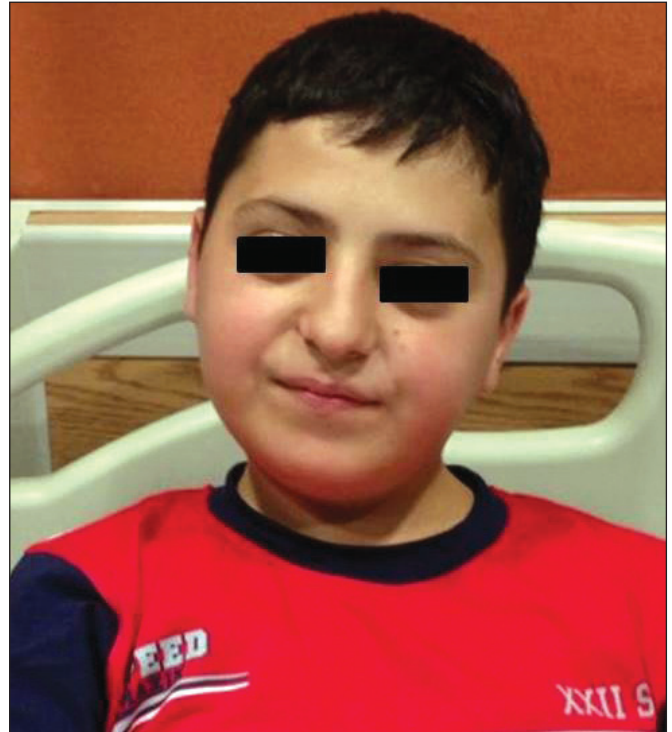
Odontoid kırığı sonrası nörolojik bozukluk nadirdir (2). Odontoid çıkıntı kırıkları konservatif olarak yönetildiğinde iyi iyileşir. Kırıkla birlikte eşlik eden atlantoaksiyal çıkık varsa internal fiksasyon gereklidir (2).

Travma os odontoideumun omuriliği sıkıştırmasına yol açabilir ve bu durum travma sırasında transvers ligamanın yırtılması nedeniyle atlantoaksiyal çıkıklara neden olabilir (74). Atlantoaksiyal kompleksin progresif instabilitesi varsa veya antero-posterior yönde > 5 mm'den fazla translasyonel instabilite varsa nörolojik bulgular ve ağrı varlığında operasyonel girişim endikedir (66).

#### Atlantoaksiyal Rotasyonel Dislokasyon

C1'in C2 üzerinde rotasyonel deformitesi 'cock-robin' (çene bir tarafa rotasyonda ve başın karşı taraf fleksiyonu) ile ortaya çıkabilir (Şekil 1). Atlantoaksiyal rotasyonel dislokasyon, üst solunum yolu enfeksiyonu sonrası veya %20-%45 travma ile ortaya çıkabilir (44). Diğer nedenleri, romatoid artrit, tortikollis, chiari malformasyonu, posterior fossa tümörleri ve iatrojenik nedenler sayılabilir. Boyun hareketlerinde ağrı ve kısıtlılık vardır. C1-2 fasetlerinin sıkı eklemelenmesi ve oldukça elastik destekleyici bağ yapıları çocukları bu yaralanmaya yatkın hâle getirir. Küçük çocuklarda müsküler tortikollis ayırıcı tanıda düşünülmelidir. Müsküler tortikollis de tipik olarak çenenin döndüğü tarafın aksi taraftaki sternokleidomastoid kasta spazm ve bununla birlikte ele gelen şişlik olur (16).

Travmatik yaralanmanın bu deformiteli C1-C2 kompleksinin bağ destek sistemine zarar verme olasılığı daha yüksektir.



Şekil 1: Grisel sendromlu bir hastada klasik 'cock-robin' duruşu.

Bunun sonucunda oksipital nevralsi (C2 radikülopati, oksipital sinirin sublukal vertebra tarafından sıkıştırılması) görülebilir. Düz radyografinin anormal boyun duruşu nedeniyle değerlendirilmesi zordur. BT, atlasın eksen üzerinde rotasyonunun gösterilmesi için en hassas araştırma olduğu ve düz radyografilerde anlaşılması zor ilişkili kırıkları gösterebileceği için tercih edilir. Aynı zamanda atlanto-oksipital eklemin değerlendirilmesi de sağlanır ve burada C1-C2'deki instabiliteyi artıran nedenleri gösterebilir (57). MRG ligamentöz yaralanma ve omurilik kontüzyonları için faydalıdır, ancak BT taraması kadar hassas değildir. Subluksasyonlar spontan redükte olabilirler. Spontan redülte olmayan hastalar redüksiyon ve ardından eksternal immobilizasyon ile konservatif olarak tedavi edilmelidir (30,57). Ciddi bağ yaralanması, tekrarlayan çıkıklar veya konservatif tedaviye yanıtın olmaması halinde C1-2 arthrodez uygulanması önerilmiştir (45).

#### *Subaksiyal Yaralanmalar*

Subaksiyal vertebra yaralanmaları vertebral korpus kırıkları, subluksasyonlar, faset eklemlerinin çıkması ve laminer/pediküler/spinöz proseslerin kırıklarını içerebilir. Subaksiyal yaralanması olan hastaların çoğu (%60) 9-16 yaş arasındadır (21). Bunun sebebi servikal hareketin destek noktasının adölesanlarda C5-6'da, daha küçük çocuklarda ise C2-3 düzeyinde olmasıdır. Subaksiyal yaralanmaların da en sık sebebi araç kazaları ve spor kazalarıdır.

Çocuklarda yaralanma şekli yetişkinlere benzer, çünkü sekiz yaşından sonra subaksiyal servikal omurga iyi gelişmiştir ve bir yetişkininkine benzer. Bu hastalarda en sık etkilenen bölge C5-7'dir. Bu tür kırıkların tedavisi yetişkinlere benzer ve bir halo cihazının kullanımını veya dahili fiksasyonu içerebilir. Küçük çocuklarda subaksiyal kırıklar, yaralanma tipine, stabiliteye ve nörolojik defisitinin mevcut olup olmadığına bağlı olarak genellikle sadece servikal yakalık ile tedavi edilebilir (52).

Literatürde çoklu seviye spinal yaralanma oranları %7-22 olarak bildirilmiştir (3). Travma yaratan enerjinin daha küçük bir vücuda yayılması erişkinlere oranla çoklu seviye spinal yaralanmanın daha fazla görülmesinin bir açıklaması olabilir (11). Çocukluk çağı servikal spinal yaralanmaların %66'sı kafa travması ile beraberdir (51).

Çocukluk çağı subaksiyal servikal yaralanmaların tedavisi özellikle büyüme çağında zorluk göstermektedir. Yaralanmaların çoğu eksternal stabilizasyon ile konservatif olarak tedavi edilebilir. Tedaviye hastanın yaşı, hasarın ciddiyeti ve seviyesi, nörolojik bası miktarı ve eşlik eden yaralanmalar göz önüne alınarak karar verilmelidir. Spinal yaralanma şüphesi olan bir hasta öncelikli olarak tüm vertebral kolon ve spinal kord görüntülenene kadar immobil tutulmalıdır. Özellikle ciddi kafa travması veya sistemik travması olanlarda çoklu seviye spinal yaralanma olabileceği akıldaki tutulmalıdır.

Cerrahi için endikasyonlar redüksiyonda başarısızlık, devam eden instabilite, faset instabilitesi ile beraber olan ligament hasarı, 15° fazla kifotik deformite, belirgin vertebra gövdesinde kompresyon kırığı, dislokasyon, ilerleyici nörolojik hasar ile beraber olan spinal kord kompresyonu, epidural hematoma, travmatik diskler olarak sayılabilir (41).

Çocukluk çağı servikal spinal yaralanmalarda prognoz başvuru anındaki nörolojik hasar derecesi ile ilişkilidir. Doğan ve ark. 51 hastalık serilerinde inkomplet yaralanması olan hastaların %62,5'da tam iyileşme bildirmişlerdir (21).

Üst servikal yaralanmalarda mortalite oranı %33; alt servikal bölgede %8,3 olarak bildirilmiştir (58). Servikal yaralanmaların yaklaşık %35'inde spinal kord hasarı izlenir ve bunların yaklaşık yarısında radyolojik olarak kemik hasarı izlenmez (58).

#### **Torakolomber Yaralanmalar**

Çocukluk çağı torakal ve lomber yaralanmalarının insidansı literatürde %5,4-34 arasında bildirilmiştir (11,14). Sakral kırıklar bu yaş grubunda çok daha nadir izlenir (%0,16) (34). Pelvik ve spinal kırıkları olan hastalarda genellikle sakral kırıklar gözden kaçırılmaktadır (34). Çocukluk çağı torakolomber ve sakral kırıklar hakkında literatürde az yayın bulunmaktadır. Hâlâ büyüme potansiyeli olan çocukluk yaş grubunda bu kırıkların eksternal immobilizasyonu ve cerrahi tedavisi problemler yaratmaktadır. Torakolomber yaralanmalar adölesanlarda daha sık görülür. Tüm pediatrik spinal travma olgularının %52,9'u torakolomber yaralanmalardır (22).

En sık etkilenen seviyeler sırası ile L2-5 (%29,8), T5-8 (%26,2) ve torakolomber bileşkedir (%19,2) (Şekil 2A-D). Tek seviye yaralanmalarda torakolomber bileşke en sık yaralanan bölge olmuştur (22).

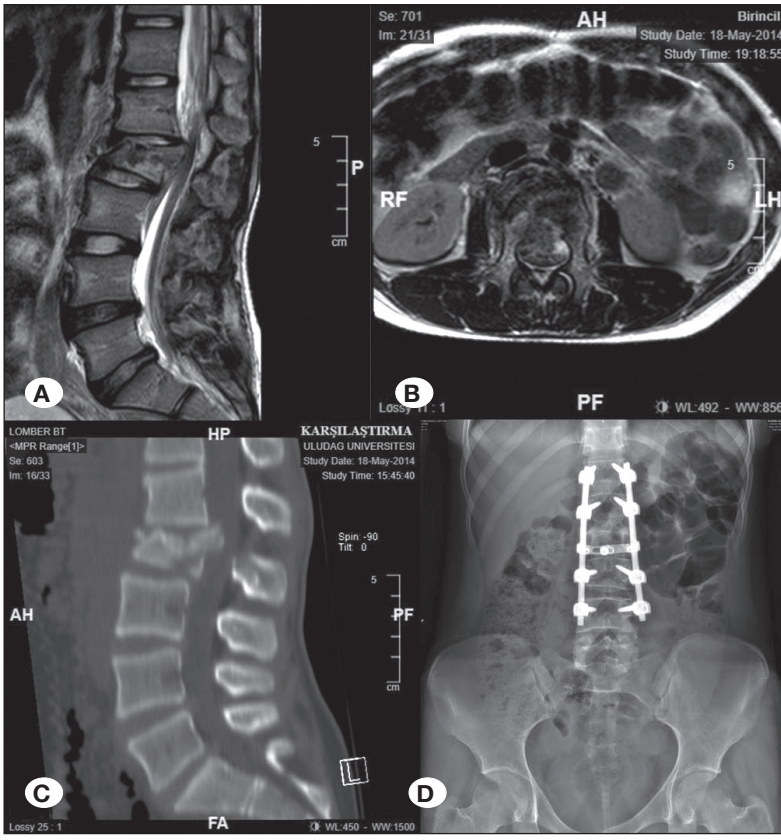
Torakolomber ve sakral yaralanmaların en sık sebebi motorlu araç kazaları (%57,3) ve sporla ilişkili (%21,3) yaralanmalardır (22). Yaralanmaların çoğu (%55,1) kompresyon fraktürüdür (22).

Pediatrik sakral kırıklar az görülür ve çok nadiren nörolojik hasar ile beraber olur. Hart ve ark.nın 4876 travma hastalık serilerinde sakral kırık oranı %0,16 oranında izlenmiştir (34). Olguların çoğunda Zone 1 kırık izlenir (22,34).

Emniyet kemeri yaralanmasının mekanizması üst gövdenin kemer tarafından sabitlenen bir destek noktası üzerinde hiperfleksiyon ve sonrasında ani bir deselerasyondur. Bu tür yaralanmalar mesane ve bağırsak yaralanmaları ile siktir.

Çocukluk çağı spinal kırıklarının tedavisinde olguların çoğunda cerrahi olmayan tedaviler önerilmektedir. Minör spinöz proses kırıkları, transvers proses kırıkları, kama kırıklar, bazı Chance kırıkları, orta ve posterior kolonu tutmayan kompresyon kırıklarında tutucu tedaviler uygulanabilir. Tutucu tedaviler de büyüyen çocuklarda vertebral kolonun diziliminde bozulmaya neden olabilir. Sadece yatak istirahati ve korsesiz mobilizasyon ile de iyi sonuçlar bildirilmiştir (43). İnstabilitesi olanlarda, ciddi vertebra gövdesi kompresyon kırıklarında (%40 ve daha fazla kanal basısı ve/veya daha fazla spinal kanal yüksekliğinde kayıp), 20° den fazla spinal kifotik deformite, vertebral dislokasyon, ilerleyici nörolojik defisit ile beraber olan spinal kord kompresyonu durumlarında cerrahi tedavi önerilir.

Laminektomi sonrası ve unstabil kırıkları konservatif şekilde tedavi edilmiş olanlarda ilerleyen yıllarda kifoz gelişimi siktir. Parisini ve ark. 18 yıllık takip yaptıkları serilerinde kompresyon kırığı veya 2 kolon patlama kırığı nedeni ile konservatif olarak tedavi edilen hastaların hiçbirinde kifoz veya skolyoz gelişimi saptamamışlardır (58).



**Şekil 2:** 15 yaşında trafik kazası sonrası L2 burst kırığı nedeni ile opere edilen hastanın preoperatif **A)** sagittal MRG, **B)** aksiyel MRG, **C)** lomber BT, **D)** postoperatif direkt grafisi.

## SCIWORET

Radyolojik anormallik olmadan spinal kord hasarı (SCIWORET) Pang ve Wilberger tarafından 1982 yılında tarif edilmiştir (55). Görülme sıklığı Avrupa ülkelerinde 5.6/milyon/yıldır (13). Bu durum sıklıkla çocuklarda görülür. Tüm çocukluk çağı spinal yaralanmalarının %13-42'sini oluşturur (23). Yenidoğan- 8 yaş ve 8 yaş-16 yaş olarak iki dönemde %60'a varan oranlarda görülmektedir (17). C1-4 arası en sık etkilenen bölgelerdir (46). SCIWORA küçük çocuklarda üst servikal bölgede olurken, adölesanlarda sıklıkla alt servikal ve torakal bölgede görülür (46).

İnterspinöz, posterior eklem kapsülü omurların üst ve alt sınırlarının elastisitesinin daha fazla olması, omurların ön yüksekliklerinin daha az olup öne doğru kaymaya olanak sağlaması, unsinat yapıların yeterli gelişmemesi nedeni ile fleksiyon ve rotasyon hareketlerini kısıtlayamaması, kafanın vücuda göre daha büyük olması ve kasların yetersiz gelişmiş olması bu duruma yol açan sebepler olarak nitelenmektedir (62).

Çocukluk döneminde omurliliğin erişkin döneme göre daha artmış bir hareketliliği olması özellikle ilk 8 yaş içerisindeki travmalarda SCIWORET ve nörolojik defisit gelişmesine neden olmaktadır. SCIWORA tüm omurlilik seviyelerinde görülebilmekle birlikte daha çok servikal bölge travmalarından sonra rastlanılmaktadır (54). Hastaların kliniği geçici paresteziden tetraplejiye kadar değişen yelpazede olabilir. Küçük çocuklarda tablo daha ağır seyreder.

Radyolojik olarak patoloji saptanamayan ancak nörolojik defisiti olan hastalarda immobilizasyonun sağlanması tablonun ilerlemesini önleyebilir. Hastalığın tanısı, basit radyolojik tetkiklerde bulgu saptanamadığından anamnez ve nörolojik muayene ile konulmaktadır. Direkt röntgen ve BT'de travmatik kemik lezyonu bulunmayan hastalarda nörolojik defisitlerinin açıklanmasına akut dönemde veya takiplerinde MRG incelemesi yapılarak çalışılmaktadır. BT'de patolojik bulgu olmayan hastalarda %15 MRG'de patoloji saptanabilir; bunların %0,3'ü cerrahi lezyonlardır (5). MRG, hastaların prognozu hakkında bilgi verir ve normal MRG bulguları olan hastaların nörolojik defisitleri geri dönüşümlü olabilir. Nörolojik hasarın ciddiyeti sonuç ile direkt ilişkilidir. Hafif ve orta derecede hasar olanlarda tamamen düzelleme potansiyeli bulunmaktadır (56).

SCIWORET tedavisindeki ilk yaklaşım omurganın immobilizasyonudur. Genellikle servikal ortez kullanılma süresi 12 hafta olarak önerilir. Immobilizasyon sonrası normal aktivitesine dönen çocuklarda daha küçük travmalar ile SCIWORET kliniği tekrarlayabilir. Bu durumda nörolojik defisit bir öncekinden daha ağır olabilmektedir (62). Yüksek doz steroid kullanımı yüksek komplikasyon oranları nedeni ile önerilmemektedir (10).

Köprü gibi zorlayıcı hareketler sonrası özellikle 8 yaşın altında görülebilir. Torasik omurganın longitudinal gerilmesinin ve bunun yarattığı spinal korddaki aşırı gerilme ve aksonlardaki, sinir hücrelerindeki ve küçük damarlardaki künt travmanın altta yatan mekanizma olduğu ileri sürülmüştür. Bu hastalarda spinal DTI tanı konulmasında faydalı olabilir (64).

## ■ KAYNAKLAR

- Ahuja CS, Martin AR, Fehlings M: Recent advances in managing a spinal cord injury secondary to trauma. *F1000Res* 5(F1000 Faculty Rev):1017, 2016
- Baumann F, Ernstberger T, Neumann C, Nerlich M, Schroeder GD, Vaccaro AR, Loibl M: Pediatric cervical spine injuries: A rare but challenging entity. *J Spinal Disord Tech* 28(7):E377-384, 2015
- Bohn D, Armstrong D, Becker L, Humphreys R: Cervical spine injuries in children. *J Trauma* 30:463-469, 1990
- Booth TN: Cervical spine evaluation in pediatric trauma. *AJR Am J Roentgenol* 198(5):W417-425, 2012
- Bozzo A, Marcoux J, Radhakrishna M, Pelletier J, Goulet B: The role of magnetic resonance imaging in the management of acute spinal cord injury. *J Neurotrauma* 28:1401-1411, 2011
- Buhs C, Cullen M, Klein M, Farmer D: The pediatric trauma C-spine: Is the 'odontoid' view necessary? *J Pediatr Surg* 35(6):994-997, 2000
- Bracken MB, Shepard MJ, Collins WF, Holford TR, Young W, Baskin DS, Eisenberg HM, Flamm E, Leo-Summers L, Maroon J, Marshall LF, Perot Jr PL, Pieomeier J, Sonntag VKH, Franklin CW, Wilberger JE: A randomized, controlled trial of methylprednisolone or naloxone in the treatment of acute spinal-cord injury. Results of the Second National Acute Spinal Cord Injury Study. *N Engl J Med* 322(20):1405-1411, 1990
- Bracken MB, Shepard MJ, Holford TR, Leo-Summers L, Aldrich EF, Fazl M, Fehlings M, Herr DL, Hitchon PW, Marshall LF, Nockels RP, Pascale V, Perot PL Jr, Piepmeier J, Sonntag VK, Wagner F, Wilberger JE, Winn HR, Young W: Administration of methylprednisolone for 24 or 48 hours or tirilazad mesylate for 48 hours in the treatment of acute spinal cord injury. Results of the third national acute spinal cord injury randomized controlled trial. National acute spinal cord injury study. *JAMA* 277(20):1597-1604, 1997
- Brown RL, Brunn MA, Garcia VF: Cervical spine injuries in children: A review of 103 patients treated consecutively at a level 1 pediatric trauma center. *J Pediatr Surg* 36:1107-1114, 2001
- Canosa-Hermida E, Mora-Boga R, Cabrera-Sarmiento JJ, Ferreiro-Velasco ME, Salvador-de la Barrera S, Rodriguez-Sotillo A, Montoto-Marqués A: Epidemiology of traumatic spinal cord injury in childhood and adolescence in Galicia, Spain: Report of the last 26-years. *J Spinal Cord Med* 42:1-11, 2017
- Carreon L, Glassman SD, Campbell MJ: Pediatric spine fractures: A review of 137 hospital admissions. *J Spinal Disord Tech* 17:477-482, 2004
- Carroll T, Smith CD, Liu X, Bonaventura B, Mann N, Liu J, Ebraheim NA: Spinal cord injuries without radiologic abnormality in children: A systematic review. *Spinal Cord* 53(12):842-848, 2015
- Caruso MC, Daugherty MC, Moody SM, Falcone RA, Bierbrauer KS, Geis GL: Lessons learned from administration of high-dose methylprednisolone sodium succinate for acute pediatric spinal cord injuries. *J Neurosurg Pediatr* 20(6):567-574, 2017
- Cirak B, Ziegfeld S, Knight VM, Chang D, Avellino AM, Paidas CN: Spinal injuries in children. *J Pediatr Surg* 39:607-612, 2004
- Copley PC, Tilliridou V, Kirby A, Jones J, Kandasamy J: Management of cervical spine trauma in children. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* 45(5):777-789, 2019
- d'Amato C: Pediatric spinal trauma. Injuries in very young children. *Clin Orthop Rel Res* 432:34-40, 2005
- Dickman CA, Zabramski JM, Hadley MN, Rekate HL, Sonntag VK: Pediatric spinal cord injury without radiographic abnormalities: Report of 26 cases and review of the literature. *J Spinal Disord* 4(3):296-305, 1991
- Dickman CA, Papadopoulos SM, Sonntag VK, Spetzler RF, Rekate HL, Drabier J: Traumatic occipitoatlantal dislocations. *J Spinal Disord* 6(4):300-313, 1993
- Dickman CA, Greene KA, Sonntag VK: Injuries involving the transverse atlantal ligament: Classification and treatment guidelines based upon experience with 39 injuries. *Neurosurgery* 38(1):44-50, 1996
- Dietrich AM, Ginn-Pease ME, Barttkowski HM, King DR: Pediatric cervical spine fractures: Predominantly subtle presentation. *J Pediatr Surg* 26:995-1000, 1991
- Dogan S, Safavi-Abbasi S, Theodore N, Horn E, Rekate HL, Sonntag VK: Pediatric subaxial cervical spine injuries: Origins, management, and outcome in 51 patients. *Neurosurg Focus* 20(2):E1, 2006
- Dogan S, Safavi-Abbasi S, Theodore N, Chang SW, Horn EM, Mariwalla NR, Rekate HL, Sonntag VK: Thoracolumbar and sacral spinal injuries in children and adolescents: A review of 89 cases. *J Neurosurg* 106 Suppl 6:426-433, 2007
- Eleraky MA, Theodore N, Adams M, Rekate HL, Sonntag VK: Pediatric cervical spine injuries: Report of 102 cases and review of the literature. *J Neurosurg* 92 Suppl 1:12-17, 2000
- Fehlings MG, Wilson JR, Cho N: Methylprednisolone for the treatment of acute spinal cord injury: Counterpoint. *Neurosurgery* 61 Suppl 1:36-42, 2014
- Furlan JC, Noonan V, Cadotte DW, Fehlings MG: Timing of decompressive surgery of spinal cord after traumatic spinal cord injury: An evidence-based examination of pre-clinical and clinical studies. *J Neurotrauma* 28(8):1371-1399, 2011
- Fredo HL, Rizvi SA, Lied B, Ronning P, Helseth E: The epidemiology of traumatic cervical spine fractures: A prospective population study from Norway. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 20:85, 2012
- Galano GJ, Vitale MA, Kessler MW, Hyman JE, Vitale MG: The most frequent traumatic orthopaedic injuries from a national pediatric inpatient population. *J Pediatr Orthop* 2:39-44, 2005
- Garrett M, Consiglieri G, Kakarla UK, Chang SW, Dickman CA: Occipitoatlantal dislocation. *Neurosurgery* 66 Suppl 3:48-55, 2010
- Garton HJ, Hammer MR: Detection of pediatric cervical spine injury. *Neurosurgery* 62(3):700-708, 2008
- Glottzbecker MP, Wasser AM, Hresko MT, Karlin LI, Emans JB, Hedequist DJ: Efficacy of nonfusion treatment for subacute and chronic atlanto-axial rotatory fixation in children. *J Pediatr Orthop* 34(5):490-495, 2014



31. Group ALS: Advanced paediatric life support: A practical approach to emergencies (APLS) 6. Hoboken: Wiley, 2016
32. Hall GC, Kinsman MJ, Nazar RG, Hruska RT, Mansfield KJ, Boakye M, Rahme R: Atlanto-occipital dislocation. *World J Orthop* 6(2):236-243, 2015
33. Harmanli O, Koyfman Y: Traumatic atlanto-occipital dislocation with survival: A case report and review of the literature. *Surg Neurol* 39(4):324-330, 1993
34. Hart DJ, Wang MY, Griffith P, McComb JG: Pediatric sacral fractures. *Spine* 29:667-670, 2004
35. Herzenberg JE, Hensinger RN, Dedrick DK, Phillips WA: Emergency transport and positioning of young children who have an injury of the cervical spine. The standard backboard may be hazardous. *J Bone Joint Surg Am* 71(1):15-22, 1989
36. Hill SA, Miller CA, Kosnik EJ, Hunt WE: Pediatric neck injuries. A clinical study. *J Neurosurg* 60:700-706, 1984
37. Hoffman JR, Schriger DL, Mower W, Luo JS, Zucker M: Low-risk criteria for cervical-spine radiography in blunt trauma: A prospective study. *Ann Emerg Med* 21(12):1454-1460, 1992
38. Huerta C, Griffith R, Joyce SM: Cervical spine stabilization in pediatric patients: Evaluation of current techniques. *Ann Emerg Med* 16(10):1121-1126, 1987
39. Huisman TA, Phelps T, Bosemani T, Tekes A, Poretti A: Parturitional injury of the head and neck. *J Neuroimaging* 25(2):151-166, 2015
40. Hurlbert RJ, Hadley MN, Walters BC, Aarabi B, Dhall SS, Gelb DE, Rozzelle CJ, Ryken TC, Theodore N: Pharmacological therapy for acute spinal cord injury. *Neurosurgery* 72 Suppl 2:93-105, 2013
41. Joint Section on Disorders of the Spine and Peripheral Nerves of the AANS/CNS: Treatment of subaxial cervical spinal injuries. *Neurosurgery* 50:S156-S165, 2002
42. Jones TM, Anderson PA, Noonan KJ: Pediatric cervical spine trauma. *J AM Acad Orthop Surg* 19:600-611, 2011
43. Karlsson MK, Moller A, Hasserijs R, Besjakov J, Karlsson C, Ohlin A: A modeling capacity of vertebral fractures exists during growth: An up-to-47-year follow-up. *Spine* 28:2087-2092, 2003
44. Kitiş S, Karagöz GF, Serdar Ç: Çocuklarda üst servikal bölge ve kraniovertebral bileşke yaralanmaları. *Türk Nöroşirür Derg* 25(2):177-188, 2015
45. Klimo P, Ware ML, Gupta N, Brockmeyer D: Cervical spine trauma in the pediatric patient. *Neurosurg Clin N Am* 18:599-620, 2007
46. Knox J: Epidemiology of spinal cord injury without radiographic abnormality in children: A nationwide perspective. *J Child Orthop* 10(3):255-260, 2016
47. Kokoska ER, Keller MS, Rallo MC, Weber TR: Characteristics of pediatric cervical spine injuries. *J Pediatr Surg* 36(1):100-105, 2011
48. Lo PA, Drake JM, Hedden D, Narotam P, Dirks PB: Avulsion transverse ligament injuries in children: Successful treatment with nonoperative management. Report of three cases. *J Neurosurg* 96 Suppl 3:338-342, 2002
49. Marshall KW, Koch BL, Egelhoff JC: Air bag-related deaths and serious injuries in children: Injury patterns and imaging findings. *AJNR Am J Neuroradiol* 19(9):1599-1607, 1998
50. McCall T, Fassett D, Brockmeyer D: Cervical spine trauma in children: A review. *Neurosurg Focus* 20(2):E5, 2006
51. Michael DB, Guyot DR, Darmody WR: Coincidence of head and cervical spine injury. *J Neurotrauma* 6:177-189, 1989
52. Murphy RF, Davidson AR, Kelly DM, Warner WC Jr, Sawyer JR: Subaxial cervical spine injuries in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 35(2):136-139, 2015
53. National Institute for Health and Care Excellence. Head injury: triage, assessment, investigation and early management of head injury in infants, children and adults. *Clinical Guideline* 176, 2014
54. Spinal injury: Assessment and initial management. National Institute for Health and Care Excellence. *NICE Guideline* 41, 2014:1-24
55. Pang D, Wilberger JE Jr: Spinal cord injury without radiographic abnormalities in children. *J Neurosurg* 57(1):114-129, 1982
56. Pang D: Spinal cord injury without radiographic abnormality in children, 2 decades later. *Neurosurgery* 55(6):1325-1342, 2004
57. Pang D, Li V: Atlantoaxial rotatory fixation: Part 3—a prospective study of the clinical manifestation, diagnosis, management, and outcome of children with atlantoaxial rotatory fixation. *Neurosurgery* 57(5):954-972, 2005
58. Parisini P, Di Silvestre M, Greggi T: Treatment of spinal fractures in children and adolescents: Long-term results in 44 patients. *Spine* 27:1989-1994, 2002
59. Patel JC, Tepas JJ III, Mollitt DL, Pieper P: Pediatric cervical spine injuries: Defining the disease. *J Pediatr Surg* 36(2):373-376, 2011
60. Pettiford JN, Bikhchandani J, Ostlie DJ, St Peter SD, Sharp RJ, Juang D: A review: The role of high dose methylprednisolone in spinal cord trauma in children. *Pediatr Surg Int* 28(3):287-294, 2012
61. Piatt J, Imperato N: Epidemiology of spinal injury in childhood and adolescence in the United States: 1997-2012. *J Neurosurg Pediatr* 21(5):441-448, 2018
62. Pollack IF, Pang D, Scwabassi R: Recurrent spinal cord injury without radiographic abnormalities in children. *J Neurosurg* 69:177-182, 1988
63. Rahimi SY, Stevens EA, Yeh DJ, Flannery AM, Choudhri HF, Lee MR: Treatment of atlantoaxial instability in pediatric patients. *Neurosurg Focus* 15(6):ECP1, 2003
64. Ren J, Zeng G, Ma YJ, Chen N, Chen Z, Ling F, Zhang HQ: Pediatric thoracic SCIWORA after back bend during dance practice: A retrospective case series and analysis of trauma mechanisms. *Childs Nerv Syst* 33(7):1191-1198, 2017
65. Riascos R, Bonfante E, Cotes C, Guirguis M, Hakimelahi R, West C: Imaging of Atlanto-occipital and atlantoaxial traumatic injuries: What the radiologist needs to know. *Radiographics* 35(7):2121-2134, 2015
66. Robson KA: Os odontoideum: Rare cervical lesion. *West J Emerg Med* 12(4):520-522, 2011
67. Roche CJ, O'Malley M, Dorgan JC, Carty HM: A pictorial review of atlanto-axial rotatory fixation: Key points for the radiologist. *Clin Radiol* 56(12):947-958, 2001

68. Rusin JA, Ruess L, Daulton RS: New C2 synchondrosal fracture classification system. *Pediatr Radiol* 45(6):872-881, 2015
69. Swischuk LE, Swischuk PN, John SD: Wedging of C-3 in infants and children: Usually a normal finding and not a fracture. *Radiology* 188(2):523-526, 1993
70. Theodore N, Aarabi B, Dhall SS, Gelb DE, Hurlbert RJ, Rozzelle CJ, Ryken TC, Walters BC, Hadley MN: The diagnosis and management of traumatic atlanto-occipital dislocation injuries. *Neurosurgery* 72 Suppl 2:114-126, 2013
71. Vermess D, Rojas CA, Shaheen F, Roy P, Martinez CR: Normal pediatric prevertebral soft-tissue thickness on MDCT. *AJR Am J Roentgenol* 199(1):W130-133, 2012
72. Vogel LC: Unique management needs of pediatric spinal cord injury patients: Etiology and pathophysiology. *J Spinal Cord Med* 20(1):10-13, 1997
73. Viccellio P, Simon H, Pressman BD, Shah MN, Mower WR, Hoffman JR, NEXUS Group: A prospective multicenter study of cervical spine injury in children. *Pediatrics* 108(2):E20, 2001
74. Yang SY, Boniello AJ, Poorman CE, Chang AL, Wang S, Passias PG: A review of the diagnosis and treatment of atlantoaxial dislocations. *Global Spine J* 4(3):197-210, 2014