



## Çocukluk ve ergenlik döneminde kas ve tendon yaralanmaları

### *Muscle and tendon injuries in children and adolescents*

**Mustafa KARAHAN, Bülent EROL**

*Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı*

*Büyüme plakları halen açık olan genç sporcular, büyüme plağı yaralanmaları ve avulsiyon kırıklarına, yetişkinler de sık görülen bağ ve kas-tendon yaralanmalarından daha duyarlıdır. Kas kontüzyonları ve kas gerginliği genç sporcularda sık görülen spor yaralanmalarıdır. Kas yaralanmaları erken ve orta çocukluk döneminde nadir görülürken, ergenlik döneminde belirgin bir artış gösterirler. Çocuklarda kas dokusu iyileşmesi erişkinlere göre çok daha hızlıdır; fakat spora geri dönüş, ancak fonksiyonel hareketin kazanılması ve kasın eski gücüne ulaşmasıyla mümkün olur. Tekrarlayan yaralanmalar myositis ossificans gibi daha ciddi durumlara yol açabilir. Öte yandan, çocuklarda akut tendon yaralanmaları oldukça nadirdir; fakat tekrarlayan submaksimal yüklenmelere bağlı olarak, aşırı kullanım yaralanmaları gelişebilir. Bu yazıda, çocuklarda iskelet kasının temel anatomisi ve fonksiyonu, kas-tendon yaralanmalarının patofizyolojisi; bu yaralanmaları önleme yolları ve tedavi yöntemleri gözden geçirildi.*

*The pediatric athlete with open physal plates is more susceptible to growth plate injuries and avulsion fractures than to ligament and muscle-tendon injuries that most often occur in adults. Muscle contusions and strains are common injuries in young athletes. Although they are rare in the early and middle stages of childhood, they become quite common during the growth spurt period. Healing of muscle tissues is much more rapid in children than that in adults, but it must be ensured that full motion and full strength are regained before returning to sports activities, because recurrences of injuries may result in more serious complications such as myositis ossificans. On the other hand, acute tendinous injuries are quite rare in children; however, repetitive submaximal stress may lead to overuse syndromes. This article reviews the basic anatomy and function of skeletal muscle and discusses the physiopathology of muscle-tendon injuries, and the methods of treatment and prevention, with particular focus on the growing child.*

Dünya şampiyonaları ve olimpiyatlarda yarışan genç sporcuların sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu durum, daha çok sayıda çocuğun erken yaşlarda, ebeveynleri ve antrenörleri tarafından çeşitli spor dallarına yönlendirilmesine neden olmaktadır. Genç sporcular başarıya ulaşmak için düzenli bir şekilde, oldukça yoğun antrenman programlarına alınmaktadır. Saatlerce süren yorucu egzersizler, yumuşak doku yaralanmalarını da beraberinde getirmektedir.

Kas ve tendonlar spor yapan çocuklarda en sık yaralanan dokulardır. Çocukluk ve ergenlik döneminde görülen kas-tendon yaralanmaları konusunda

sınırlı sayıda çalışma yapılması, bu konudaki bilgi birikimimizin, kemik, büyüme kırıkdağı, eklem kırıkdağı ve bağ yaralanmalarına göre oldukça sınırlı kalmasına neden olmuştur.

Çocukluk ve ergenlik döneminde, çoğunlukla makrotravmalara bağlı gelişen kas kontüzyonu veya kas gerginliği (strain) gibi akut yaralanmalar görülmektedir. Bu yaralanmalar genellikle sınırlı, iyi huylu bir seyir izlemekte ve sporcunun kısa sürede antrenmanlara ve yarışmalara geri dönmesine olanak vermektedir. Tekrarlayan mikrotravmalar ve uzun süre submaksimal strese maruz kalınması sonucu gelişen aşırı kullanım yaralanmaları, akut yaralan-

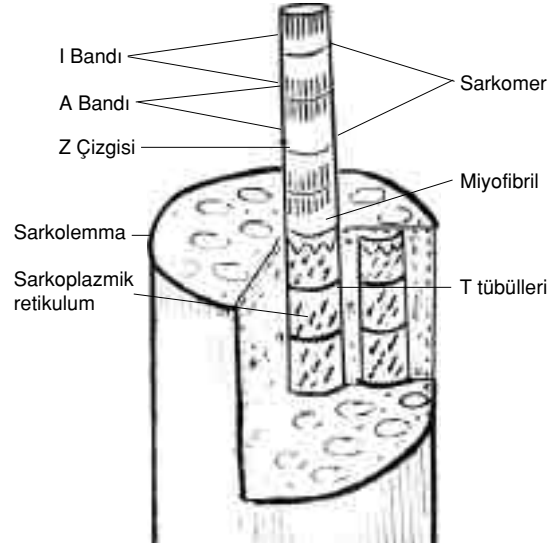
malara oranla daha nadir görülmelerine karşın, daha yoğun bir tedavi programı gerektirmektedir. Aşırı kullanım yaralanmaları, gençlerin daha uzun süre spordan uzak kalmasına neden olmaktadır.

İnsan vücudunda yaklaşık 450 iskelet kası bulunur ve bu kaslar yetişkin bir insanın vücut ağırlığının yaklaşık %40-45'ini oluşturur. Bu yapıların her biri çeşitli yaralanmalara maruz kalabileceğinden, normal kas anatomisinin ve fizyolojisinin anlaşılması uygun tedavi planlarının oluşturulması için çok önemlidir.

### Kasın yapısı ve fonksiyonu

İskelet kası, kas hücreleri, sinir ve kan damarlarının meydana getirdiği organize ağlar ve ekstraselüler bağ dokusu matriksinden oluşur. İskelet kasları genellikle bir tendon ile kemikten başlar ve distalde yine bir tendon aracılığıyla kemiğe yapışırlar. Kas tendon birimi adı verilen bu yapı bir, iki veya üç eklem üzerinden hareketi sağlayabilir. Genellikle tek eklem üzerinden hareket sağlayan kaslar kemiğe yakın yerleşirler ve soleus kası gibi postürü sağlayıcı kaslardır. Bu kasların kontraksiyon hızları iki eklem üzerinden hareket sağlayan biartiküler kaslara göre yavaştır, ama güçleri daha fazladır. Rektus femoris gibi biartiküler kaslar daha yüzeysel yerleşimlidir ve daha hızlı kasılırlar. Ancak, bir eklemün tüm hareket açıklığı boyunca gerilme meydana getirmede tek eklem kasları kadar etkili olamazlar.

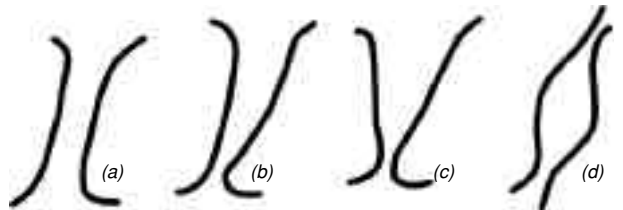
İskelet kasının temel yapıtaşı kas lifidir.<sup>[1,2]</sup> Kas lifi, çok çekirdekli (multinükleat) çok sayıda hücrenin-miyofibrillerin oluşturduğu bir sinsitsiyumdur. (Şekil 1) Lifler yüzlerce miyoblastın füzyonu ile oluşan çok hücreli yapılardır. Kas liflerinin uzunlukları büyük oranda değişiklik gösterir; birkaç milimetre uzunluğunda olabilecekleri gibi, boyları 30 cm'ye kadar ulaşan kas lifleri de vardır (örneğin, erişkin sartorius kası). Kas liflerinin dizilimi kasın uzunlamasına eksenine paralel veya oblik yerleşimli olabilir. Oblik dizilimler pennat, bipennat ve daha karmaşık düzenlemeleri içerir (Şekil 2). Liflerin bu dizilimleri kasın fonksiyonel ve kontraktıl özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir. Kas liflerinin arasını endomisyum adı verilen bir bağ dokusu doldurur. Lifler karakteristik olarak gruplaşarak fasikülleri oluşturur ve fasiküllerin etrafı perimisyum ile sarılır. Fasiküllerin birleşimiyle oluşan kasın çevresi epimisyum ile çevrilidir. Epimisyum ve perimisyum, kası kemiğe bağlayan büyük oranda kollajenöz yapıyla (tendon) devam eder.



**Şekil 1.** Kas lifinin ultrastrüktürel yapısı. Z çizgileri sarkomeri, kasın tekrarlayan temel birimini belirler. Çok sayıda miyofibril kas lifini oluşturur. Sarkolemma ile bazal membran arasında bulunan uydu hücreler şekilde gösterilmemiştir.

Kasın nörovasküler kaynağı, genellikle origosuna yakın bir bölgede bulunan nörovasküler hiatus-tan kas içine girer. Damarlar perimisyum içinde dallanır ve kapiller damarlar endomisyum içinde, lifler arasında yol alır. Kan akımı hafif-orta egzersiz sırasında artar. Güçlü kasılmaların kapiller kan akımında tıkanmaya yol açtığı gösterilmiştir.<sup>[3]</sup> İskelet kaslarının sinir kaynağı hem motor hem de duyu lifleri içerir. Motor lifler, nöromusküler bileşkeye (motor end plate) dal veren alfa-efferentleri ve kas iğini (kas içindeki gerilmeyi-tansiyonu kontrol eden özelleşmiş yapı) inerve eden gamma-efferentleri içerir.

Kasın %75'i su, %20-25'i proteindir. Diğer bileşenleri ise fosfat, laktat, karbonhidrat ve inorganik tuzlardır. Kastaki protein kısmın dörtte üçü aktin ve miyozin şeklindedir. Bu özelleşmiş proteinler kas fibrillerinin kontraksiyonuna izin veren konfigürasyonu sağlarlar.



**Şekil 2.** Kas liflerinin (a) paralel, (b) pennat, (c) bipennat, (d) fusiform şeklinde dizilimleri.

## Ultrastrüktürel yapı

Kas lifi, özelleşmiş sitoplazma matriksine gömülmüş çok sayıda miyofibril içeren bir yapıdır. Bu yapı sarkolemma adı verilen bir membran ile çevrelenir. Sarkolemma ile dış kısmında yer alan bazal membran arasında, proliferasyon ve rejenerasyon özelliği taşıyan uydu hücreler yer alır. Miyofibriller, tüm kas lifi boyunca uzanır. Miyofibriller ışık mikroskopunda, birbirini izleyen açık (I-izotropik) ve koyu (A-anizotropik) bantlar şeklinde çizgili bir görünüm verir. I bantları, Z çizgileri tarafından kesilir ve iki Z çizgisi arasındaki uzaklık kas lifinin tekrarlayan temel fonksiyonel birimini, sarkomeri, temsil eder (Şekil 1).

Her sarkomer içinde birbirine paralel yerleşimli, kısmen üst üste gelen protein filamanları vardır. Polarize ışığı yansıtan kalın filamanlar A bantlarını oluşturur ve esas olarak miyozin içerir. İnce filamanlar daha çok aktin, az miktarda tropomiyozin ve troponin içerir ve polarize ışığı yansıtmayan I bantlarını oluşturur. Miyofibrillerdeki bu detaylı yapı ve protein dizilimi kaslardaki güç üretimine olanak sağlar.

Z bantlarının olduğu bölgelerde transvers veya T tübüller miyofibrillerin arasına nüfuz ederek, sarkolemmannın bir iç uzantısı gibi davranır. Son derece özelleşmiş membranların oluşturduğu sarkoplazmik retikulum longitudinal olarak uzanır ve elektriksel uyarıların kas yüzeyinden derindeki miyofibrillere iletiminden sorumludur.

Kas liflerinde oluşturulan güç, hareketi sağlamak üzere tendona ve dolayısıyla kemiğe iletilmelidir. Muskülotendinöz bileşkede kas lifleri daha sert, sarkomerler ise daha kısadır. Bazı bölgelerde (örneğin, hamstring kasları) bu bileşke kasın çok uzun bir segmentine yayılabilir. Muskülotendinöz bileşkede tüm kas hücrelerinin, tendon üzerinde doğrudan etki eden terminal bağlantıları olduğu görülmüştür. Hücre membranı (sarkolemma) bu bölgede intraselüler (kas) ve ekstraselüler (tendon) yapılar arasında devam eder. Muskülotendinöz bileşke, kas ile tendon arasındaki teması artırmak üzere membranın aşırı derecede katlandığı özel bir bölgedir. Böylece yüzeylerin birbirlerine aktardıkları alan başına yük azalır. Mitokondri, nükleus ve Golgi komplekslerinin sayısındaki artış, bu bölgedeki artmış sentez kapasitesini işaret eder.<sup>[4,5]</sup> Kas veya tendon yaralanmalarının en sık bu bölgede görülmesi, muskülotendinöz bileşkenin önemini ortaya koymaktadır.

## Kas lifi tipleri

Kas lifleri, kontraksiyon hızı ve metabolik özelliklerine dayandırılarak tip 1 veya tip 2 şeklinde sınıflandırılmıştır.<sup>[6]</sup> Her motor birimdeki kas lifleri (efferent nöron, akson ve inerve edilen kas lifleri) aynı metabolik ve kontraktıl özelliklere sahiptir. Çoğu kas içinde iki tip kas lifinin de karışımı bulunur, fakat bir tip genellikle baskındır. Kas lifi tipleri histokimyasal boyama teknikleriyle ayırt edilebilir.

Tip 1 lifler, tip 2'lere oranla daha yavaş fizyolojik kasılma ve gevşeme özelliği gösterir. Bu lifler yorgunluğa karşı aşırı derecede dayanıklıdır. Tip 1 lifler yapısal olarak daha çok mitokondri içerir ve daha çok kapiller tarafından beslenir. Tip 2 lifleri birçok altgruba ayırmak mümkün olmakla beraber, en çok bilinen iki ana grup, tip 2A ve 2B şeklindedir. Tip 2B, hızlı glikolitik motor birim, kontraksiyon süresi en hızlı, fakat yorgunluğa dayanıklılığı en az olan liflerdir. Bu liflerde glikolitik sistem oksidatif sisteme göre daha çok gelişmiştir. Tip 2A lifler (hızlı oksidatif glikolitik motor birim) tip 1 ve tip 2B lifler arasında yer alır; bu liflerin kontraksiyon zamanları ve yorgunluğa dayanıklılıkları tip 1 ve tip 2B arasındadır. Bu liflerde hem oksidatif hem de glikolitik sistem iyi gelişmiştir. İnsanın yanı sıra birçok memelide tip 2C kas lifleri bulunur. Bu liflerin fonksiyonları tam olarak bilinmemesine karşın, tip 2A ve 2B arasında histokimyasal ve fizyolojik özelliklere sahip bir geçiş tipi olduğu düşünülmektedir. Son zamanlarda yapılan araştırmalar kas liflerinin yalnızca bu üç tip ile sınırlı kalmadığını ortaya koymuştur.

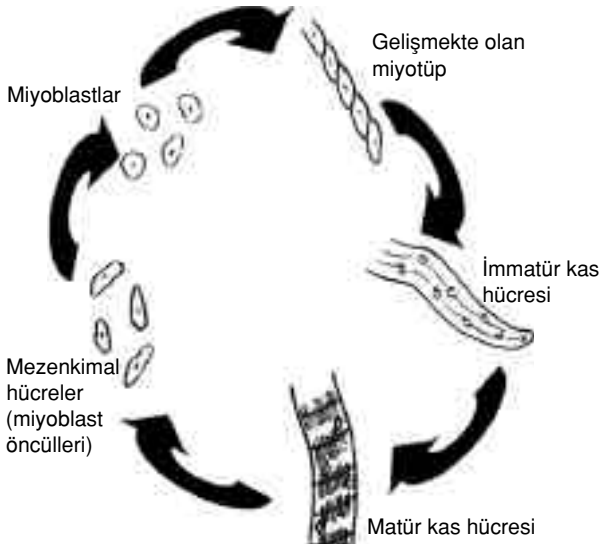
## Kasın büyüme ve gelişimi

İskelet kası, embriyo 2-3 haftalıkken mezodermal somitlerden köken alır. Somitlerdeki gelişimle beraber, embriyonun içinde tek hücreli mononükleat kas fibril öncülleri olan miyoblastlar görülmeye başlar. Miyoblastlar 7-9. haftalarda biraraya gelerek miyotüp adı verilen küçük, multinükleat hücreleri oluşturur (Şekil 3). Aktin ve miyozin molekülleri de aynı zamanda sentezlenmeye başlar. Yeni oluşan miyoblastların miyotüplerin uçlarına eklenmesiyle boydaki artış devam eder ve 10. haftada kaslarda belirginleşme görülür. On altıncı haftadan doğuma kadar, kas lifleri büyümeye devam eder ve liflerdeki çizgilenmeler daha belirgin hale gelir. Yaralanma sonrasında görülen kasın tamir ve rejenerasyonu, iskelet kasının orijinal oluşum işlemine yakın benzerlik gösterir.

Kas liflerinin çapı yaşla beraber değişir. Genellikle, kas lifi çapı çocukluk döneminde artarak erken erişkin dönemde zirveye ulaşır. Lif çapı bir yaşında erişkinlerdekine %30'u, beş yaşında %50'si kadardır.<sup>[7]</sup> İlk yıl içinde tip 1 ve tip 2 liflerin sayısında indifferensiye liflerin sayısının azalmasına bağlı olarak sürekli bir artış görülür. Çocuklar bir yaşını aştıktan sonra kas liflerinin bileşimi ve dağılımı erişkinlerle aynıdır.

Kaslar longitudinal büyüme için, kemiğin büyüme plağı gibi, özel bir bölgeye sahip değildir. Erişkinlerde, kasın kısalmış veya uzamış pozisyonda immobilizasyonuna bağlı, uzunluk değişiklikleri olabilir. Bu değişiklikler esas olarak kas liflerinde görülür ve tendonu içermez. Fakat, iskelet gelişimini tamamlamamış çocuklar uzunluk değişikliklerine ve kronik germeye hem kas lifi hem de tendonda oluşan adaptasyonlar ile yanıt verirler. Bu dönemde kas lifi büyümesi esas olarak muskületendinöz bileşkede görülür.<sup>[8,9]</sup>

Büyüme sürecinde, vücut hacmi ve uzun kemiklerin boyu arttıkça çocukların kas gücü de artar. İskelet kasının büyümesi liflerin hiperplazisinden çok hipertrofi yoluyla gerçekleşir ve bu gelişim genetik faktörler, beslenme ve fiziksel aktivite ile belirlenir. Birçok kas lifi, 12-15 yaşlarında erişkin boyutlarına ulaşır; ancak postpubertal erkek çocuklarda ve erişkinlerde güç antrenmanları sonrasında kas liflerinde belirgin bir hipertrofi gözlenebilir. Prepubertal çocuklarda antrenmanlarla kas gücünü belirgin olarak artırmak



**Şekil 3.** Kas lifinin gelişimi. Mezenkimal hücreler birleşerek miyotüpü, matür kas lifi öncülünü oluşturur.

mümkünse de kas hipertrofisi gözlenmez. Dolayısıyla, küçük çocuklardaki güç gelişiminin merkezi sinir sistemi kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

### Kas yaralanmaları

Çocukluk ve ergenlik döneminde, kas dokusunu içeren spor yaralanmaları çoğunlukla kas kontüzyonu veya gerginliği (strain) şeklinde görülür. Kas yaralanmaları, iskemiden ezilme veya laserasyon ile oluşan doğrudan yaralanmaya kadar değişen çeşitli mekanizmalarla gelişebilir. Yapılan çalışmalar kas yaralanmalarının sıklığı ve şiddeti ile çocuğun yaşı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermiştir; ancak bu ilişkinin boyutları tam olarak bilinmemektedir. Buna göre, erken ve orta çocukluk döneminde iki yaralanma tipi de oldukça nadir görülürken, ergenlik döneminde kas yaralanmalarında belirgin bir artış görülür. Kas gerginliği genellikle muskületendinöz bileşkede oluşurken, kontüzyonlar kasın göbeğinde oluşur ve daha sorunlu seyreder.

Kas yaralanmalarının tamir süreçleri, farklı mekanizmalar ile oluşsa da, genellikle birbirine benzer. Yaralanma sonrasında hasar sonucu nekroz gelişen kas hücreleri makrofajlar tarafından ortamdan uzaklaştırılır. Yeni kas hücreleri, yaralanmış kasın bağ dokusu çerçevesi içinde görünmeye başlar. Yeni oluşan kas hücrelerinin, bazal membran ile sarkolemma arasında bulunan farklılaşmamış progenitor uydu hücrelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Birçok progenitor hücre miyoblast oluşturmaya başlar ve miyoblastlar da birleşerek miyotüpleri oluşturur. Kontraktil proteinlerin gelişimi için gerekli hücresel bileşenleri sağlayan miyotüpler biraraya gelerek, kas liflerini oluşturmak üzere değişime uğrar. Ayrıca, kas liflerini çevreleyen bir bağ doku bazal laminası ve ekstraselüler matriks oluşumu gözlenir. Böylece, kas dokusu rejenerasyonu, fibröz bağ doku proliferasyonu ile aynı anda ilerler. Büyüme faktörleri ve sitokinler bu süreçte önemli rol oynar.<sup>[10]</sup> Kan akışının yeterli olması iki işlem için de son derece önem taşımaktadır.

### Kas kontüzyonları

Kas kontüzyonları, çocuk yaş grubunda en sık görülen yumuşak doku yaralanmalarıdır.<sup>[3,11,12]</sup> Bu yaralanmalar, özellikle futbol gibi sporlarla uğraşan erkek çocuklarda, daha çok alt ekstremitelerde (kuadriseps ve tibialis anterior) görülür. Kas kontüzyonları, hafif bir ağrıya neden olabilecekleri gibi, belirgin ağrı ve geçici sakatlıklara da yol açabilir.

Jarvinen ve ark.<sup>[13-16]</sup> sıçanlar üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalarda kas kontüzyonunun patofizyolojisini ayrıntılı bir şekilde incelemişlerdir. Kas kontüzyonuna verilen ilk yanıtın hematoma ve enflamasyon gelişimi şeklinde olduğu, bunu da kas rejenerasyonu ve bağ dokusunda skar oluşumunun izlediği gösterilmiştir. Bu çalışmalarda önemli bir bulgu olarak, yaralanma sonrası erken hareketin daha az skar dokusu oluşumuna yol açtığı ve tensil gücün daha hızlı geri dönüşünü sağladığı gözlenmiştir. Ayrıca, yaşlı sıçanlarla karşılaştırıldığında iyileşmenin yavru sıçanlarda çok daha hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Ek olarak, kontüzyona uğramış kasın immobilizasyonunun, kas yırtılması için gerekli kuvvette azalmaya yol açtığı (2-3 haftalık immobilizasyon sonrasında %20-30 oranında azalma) ve immobilizasyon sonrası rüptürlerin muskületendinöz bileşkeden çok, kasın göbeğinde meydana geldiği izlenmiştir. Yapılan bazı klinik çalışmalarda ilk yaralanmanın, gelişen hareket kısıtlılığının miktarına bağlı olarak derecelendirilmesinin önemi vurgulanmıştır.<sup>[17,18]</sup> Buna göre, hareket açıklığında belirgin bir kısıtlılığa yol açan şiddetli yaralanmalar, genellikle daha fazla sakatlık ve daha sık komplikasyon gelişimi ile sonuçlanmaktadır.

Kas kontüzyonlarının ilk tedavisinde, dinlenme, buz uygulaması, kompresyon (çok sıkı olmamalı) ve elevasyon şeklindeki yaklaşım geçerliliğini korumaktadır. Kontüzyona uğramış kasın kısa bir süre gergin pozisyonda immobilize edilmesinin uzun dönemde iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Etkilenen kasın gergin pozisyonda tutulmasıyla, yaralanma sonrası oluşacak kanama, ödem ve enflamasyonun azalacağı ve dolayısıyla uzun dönemde daha iyi sonuçlar alınacağı düşünülmektedir.<sup>[17]</sup> Hareket açıklığını kazanmaya yönelik pasif hareketlere, hasta ağrısı tolere edebildiği ölçüde, erken dönemde başlanmalıdır. Pasif hareketleri aktif hareket açıklığı egzersizleri izlemeli, zorlayıcı aktiviteden, ağrısız fonksiyonel hareket açıklığı kazanılana kadar kaçınılmalıdır.<sup>[12]</sup> Spora geri dönüş, fonksiyonel hareketin kazanılması ve kasın eski gücüne ulaşmasıyla izin verilmelidir. Kasta daha fazla hasara yol açabileceğinden, masaj tedavisinden kaçınılmalıdır. Kas kontüzyonlarının önlenmesinde en önemli unsur, bu yaralanmaların sık görüldüğü spor yarışmalarında koruyucu ekipmanların kullanılmasıdır.

### **Miyositis ossifikans**

Miyositis ossifikans, kas kontüzyonu sonrasında kanama alanında kalsifikasyon gelişmesiyle oluşan

bir komplikasyondur. Çeşitli hayvan modellerinde farklı türlerin travmatik miyositis ossifikansa duyarlılıkları arasında belirgin farklar olduğu görülmüştür.<sup>[19-21]</sup> Histolojik çalışmalar, lezyonun bölgesel tip-te olgunlaşma gösterdiğini ortaya koymuştur. En dışta, çevre kas dokusundan rahatlıkla ayrılabilen görece matür hücreler bulunurken; orta bölgede immatür osteoblastlar, iç bölgede ise nekroz ve kanamayla birlikte immatür fibroblastlar görülmüştür.<sup>[19]</sup>

Belirli kaslar (kuadriseps, brakialis), yerleşimleri ve travmaya maruz kalma sıklıklarına bağlı olarak, miyositis ossifikans gelişimine daha açıktır. Bu komplikasyon daha çok 20-30 yaşlarında görülmekle birlikte, daha küçük çocuklarda da bildirilmiştir.<sup>[22]</sup> Miyositis ossifikans gelişim riski ilk travmanın şiddetiyle ilişkilidir; orta veya şiddetli kas kontüzyonlarını takiben daha sık gelişir. Lokalize ağrı ve hareket kısıtlılığı tipik klinik bulgulardır. Lezyon, yaralanmadan 2-4 hafta sonra radyolojik olarak belirlenebilir ve boyutları altı aya kadar artabilir. Tipik radyografik görünüm, altta yatan kemiğe sap şeklinde bir bağlantıyla uzanan kalsifiye bir kitle şeklindedir. Miyositis ossifikansın radyografik görünümü parosteal ve periosteal osteosarkoma benzerlik gösterdiğinden, kitlenin daha önceki bir kontüzyon ile ilişkili olduğunun bilinmesi çok önemlidir.<sup>[23]</sup> Dikkatli bir öykü ve rutin radyografik incelemeler, olguların büyük çoğunluğunda tanı için yeterlidir; özel görüntüleme yöntemlerine nadiren gerek duyulur.

Heterotopik kemik genellikle zamanla kaybolur. Normal fonksiyonun sağlanması miyositis ossifikans varlığında bile mümkündür; fakat iyileşme süreci komplike olmamış kas kontüzyonlarına göre daha yavaştır. Miyositis ossifikansın tedavisi, genellikle komplike olmamış yumuşak doku kontüzyonlarının tedavisine benzer. Lezyon olgunlaşana kadar tekrarlayan yaralanmaların önlenmesi çok önemlidir. Heterotopik kemik oluşumunu tetikleyerek, uzun süreli sakatlığa yol açabileceğinden erken cerrahi tedaviden kaçınılmalıdır.<sup>[3]</sup> Matür bir lezyonun fonksiyonu kısıtladığı durumlarda eksizyon yararlı olabilir; ancak matürasyon sürecinin ektopik kalsifikasyonun ilk görünüşünden en az bir yıl sonra tamamlandığı bilinmelidir.<sup>[24]</sup> Eksizyon gerektiren semptomlar, miyositis ossifikanslı olguların %10'undan azında görülür.<sup>[25]</sup>

### **Kas gerginliği**

Kas gerginliği, kas kontraksiyonu sonucu kas-tendon biriminde oluşan bir yaralanmadır. Akut kas

gerginliği, sık görülmesi ve ciddi sakatlanmalar oluşturabilmesine rağmen, bu yaralanmanın patofizyolojisi ve tedavisi konusundaki bilgilerimiz kısıtlıdır. Kas yaralanmalarıyla ilgili hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, yaralanmaların çoğunun muskülotendinöz bileşkede olduğu belirlenmiştir. Kas yaralanmasından önceki uzunluk değişikliğinin ve yaratılan gücün, kas aktivasyonu ile çok fazla değişiklik göstermediği görülmüştür; ancak kasılma anında, kasın yaralanma öncesinde absorbe ettiği enerjinin, pasif gerilme sırasındaki bir kasa göre çok daha fazla olduğu ortaya konmuştur.<sup>[26]</sup> Bir başka deyişle, güçlü kaslar daha fazla enerji absorbe edip yaralanmalara daha dirençli hale gelirken, yorgun kaslar enerji absorbe etme kapasitesilerinin düşmesine bağlı olarak yaralanmaya daha yatkındırlar.

Klinik çalışmalar, akut kas gerginliği yaralanmalarının egzersiz öncesi yetersiz ısınma, yorgunluk, önceki bir yaralanma ve çevresel faktörlerle ilişkili olduğunu göstermiştir. Hayvanlarla yapılan deneysel çalışmalarda yaralanmaya yol açan faktörün kas içinde gelişen kuvvet veya stresten çok, dokudaki gerginlik olduğu belirlenmiştir.<sup>[27,28]</sup> Ergenlik döneminde kemik gelişiminin kas gelişiminden önce gerçekleşmesinin de yaralanma nedeni olduğu öne sürülmüştür.<sup>[29]</sup>

Kas %75'i su, %20-25'i proteinden oluşan viskoelastik bir yapıdır. Bu viskoelastik yapı, kasa uygulanan germinin etkileriyle kas yaralanması arasındaki ilişkinin incelenmesinde önemli olabilir. Laboratuvar çalışmalarında, yumuşak dokuların gerilmesiyle (uzatılmasıyla), mekanik özelliklerinde değişiklikler olduğu gösterilmiştir.<sup>[30]</sup> Bunun yanı sıra, pasif ısınmanın da yumuşak dokuların mekanik özelliklerini değiştirebileceği bildirilmiştir.<sup>[31]</sup> Bu çalışmalardan elde edilen veriler, egzersiz öncesi uygulanacak bir germe ve ısınma protokolünün kasın ısınımasını artıracak ve yaralanmaya duyarlılığını azaltacağını göstermektedir.

Kas kontraksiyonu konsantrik, eksentrik veya izometrik olabilir. Konsantrik kontraksiyonda, bir nesne, kasılan kas ile uyumlu olarak aynı yönde hareket ettirilir (örneğin, elde tutulan bir ağırlığın bicepsin konsantrik kontraksiyonu ile kaldırılması). İzometrik kontraksiyon hareket olmaksızın oluşan kasılmadır; kasılma kendine eşit bir kuvvet tarafından karşılanır ve hiçbir hareket görülmez (iri bir kaya parçasını itmeye çalışmak). Eksentrik kontraksi-

yon bir kuvvetin yavaşça deselerasyonuna izin vererek, kasılan kas yönünden uzaklaşmasına neden olur. Eksentrik kontraksiyon her yürüme döngüsünde oluşur; hamstringler yürümenin sallanma fazında bacağın akselerasyonunu yavaşlatır. Eksentrik kontraksiyonlar sonucu kasta daha çok enerji ve tansiyon yaratılır. Bunun nedeni, pasif gerilmeden dolayı zaten var olan gerginliğin, kontraksiyon ile oluşturulan gerginlik ile birleşmesidir. Eksentrik kontraksiyonun, kas gerginliğinin oluşumunda anahtar rol oynadığı gösterilmiştir. Yaralanmaya en duyarlı kaslar, eksentrik kasılmalarıyla eklem hareketini kontrol eden biartiküler kaslardır. Ayrıca, yüksek oranda tip 2 lif içeren kasların kas gerginliğine daha yatkın olduğu ortaya konmuştur. Bu durumun tip 2 liflerin fonksiyonel ve metabolik profilleriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Böylece, koşma ve deselerasyon manevralarında sıklıkla eksentrik kasılmaya uğrayan ve yüksek oranda tip 2 lif içeren hamstringler, kas gerginliğine en sık maruz kalan kasların başında yer alır.<sup>[3]</sup>

Kas gerginliği yaralanmalarının tedavi protokolleri çoğunlukla klinik uygulamalardan yola çıkılarak oluşturulmuştur. Kas kontüzyonuna uygulanan genel rehabilitasyon prensipleri kas gerginliği için de geçerlidir. Yaralanma sonrası ilk saatlerde, kanama ve ödemi kontrol etmek için etkilenen kas çevresine kompresyon bandajı ve buz uygulanabilir. Non-steroidal antiinflamatuvar ilaçlar, etkileri halen tartışmalı olsa da ilk hafta içinde rutin olarak kullanılır. Hastayı rahat ettirmek ve korumak amacıyla ilk 1-2 gün, etkilenen kasın hafif gergin (uzamış) pozisyonunda immobilizasyonu yararlıdır. Hareket açıklığını sağlamaya yönelik pasif egzersizlere mümkün olduğunca çabuk başlanmalı, bunu aktif hareketler, germe egzersizleri ve güçlendirme programı izlemelidir. Kas kontraksiyonu ağrısız hale geldiğinde ise fonksiyonel aktivitelere dönülebilir.

Komplet kas yırtılması gelişen olgularda cerrahi tedavi endikasyonu nadirdir; çünkü grup içindeki diğer kaslar hipertrofiye olarak, yaralanan kasın fonksiyonunu kompanse ederler.<sup>[12]</sup> Bu duruma iyi bir örnek kuadriseps gerginliğidir ve genellikle rektus femoris kası tutulur. Rektus femoris yaralanmaları, sıçrama ve vurma hareketleriyle kasın eksentrik kontraksiyonlar sırasında yüklenmesine yol açan futbol gibi sporlarda sık görülür. Komplet yırtıklarda bile nadiren cerrahi gerekir; çünkü diğer kuadriseps kasları hipertrofiye olarak rektus femorisin eksikliğini kompanse ederler. Kısmi yırtıklarda, tekrar

yırtık oluşumu ve çocuğun spora dönüşünün gecikmesinden endişe duyulur. Rehabilitasyon bir an önce başlamalı, kademeli olarak ilerlemeli ve spora özgü olmalıdır. İskelet gelişimini tamamlamamış çocuklarda, avulsiyon kırıklarının komplet kas yırtıklarından daha sık meydana geldiği unutulmamalıdır.

Lumbosakral bel gerginliği, yetişkin bireylerde çok sık görülmesine karşın, çocuklarda oldukça nadirdir. Bel ağrısıyla getirilen bir çocuk hasta spondilolizis, spondilolistezis ve skolyoz gibi patolojiler açısından araştırılmalıdır. Ergenlik döneminde hiperlordotik bel ağrısı gelişebilir; bu durum sıklıkla kalça fleksörlerindeki gerginlik ile ilişkilidir. Bu çocuklar uygun rehabilitasyon programı ile tedavi edilmelidir.<sup>[32]</sup>

### Gecikmiş kas ağrıları

Gecikmiş kas ağrıları, yoğun egzersizden sonra 24-72 saat içinde gelişen kas ağrılarıdır. Egzersiz sırasında oluşan ağrılarla, sıklıkla kas yorgunluğuyla birlikte görülen rahatsızlıklarla veya ağrılı, istemsiz kramplarla karıştırılmamalıdır. Gecikmiş kas ağrısı egzersizden birkaç saat sonra başlar ve 1-3 gün sonra en üst düzeye ulaşır. Ağrı genellikle muskületinöz bileşke bölgesinde görülür. Gecikmiş kas ağrısı oluşumu sırasında kasta meydana gelen hasarı ve bunu izleyen iyileşme mekanizmasını açıklamaya yönelik çeşitli teoriler geliştirilmiştir. Bunlar içinde en çok kabul gören, yaralanmayı başlatan olaylardan büyük ölçüde mekanik faktörlerin sorumlu tutulmasıdır.<sup>[33]</sup> Bu teori, kas içindeki yüksek tensil streslerin yapısal hasara yol açtığı varsayımına dayanır ve kalsiyum iyonunun ( $Ca^{+2}$ ) enflamatuvar değişiklikleri tetiklemede anahtar rolü üstlendiğini kabul eder. Daha sonra yapılan bazı çalışmalarda ise serbest oksijen radikallerinin gecikmiş kas ağrısı gelişiminde rol oynadığına dair bulgular elde edilmiştir.<sup>[34]</sup>

### Avulsiyon kırıkları

İskelet gelişimini tamamlamamış çocuklarda, gerilim altındaki epifiz plağın muskületinöz birimden daha zayıf olması, kas gerginliğinden çok avulsiyon kırıklarına neden olur. Apofizel avulsiyon kırıkları sıklıkla sekonder ossifikasyon merkezlerinin oluşumundan önce meydana gelir. Bu nedenle çocukluk ve ergenlik dönemine özgü kırıklardır. Avulsiyon kırıkları, özellikle pelvis ve proksimal femurdan köken alan kaslarda görülmektedir. Tipik olarak, sartorius, rektus femoris, gluteus, iliopsoas, adduktor longus ve hamstring kaslarının yaralanmalarını içerir. Avulsi-

yonların en sık görüldüğü yerler, anterior superior ve inferior spina iliakalardır.<sup>[35]</sup> Avulsiyon kırığını takiben çocuk genellikle birşeyler olduğunu hisseder ve içinde bulunduğu aktiviteye devam edemez. Tanı radyografik incelemeyle desteklenir. Dinlenme ve etkilenen tarafa kısmi yük verdirme ile tedavi edilir; 6-8 hafta sonra, çocuğun hareketleri iyice rahatlayıp kırık bölgesindeki ağrı kaybolduğunda tam yüke izin verilebilir. Önemli bir nokta, kısmi yük verilen dönemde pasif egzersizler önerilerek (yüzme gibi yük verilmeyen aktiviteler de eklenebilir) çocukta kas atrofisinin önlenmesidir. Avulse olmuş kemik fragmanın belirgin deplasmanına pek rastlanmaz, fakat fragmanın büyük olduğu ve instabilite veya buna bağlı fonksiyon kaybına yol açabileceği nadir olgularda (dirsek medial epikondil kırıkları, tibial tüberkül avulsiyonları) cerrahi tedavi gerekebilir (Şekil 4).

### Aşırı kullanım yaralanmaları

Aşırı kullanım yaralanmaları (overuse syndromes), normal bir dokunun uzun süre tekrarlayan submaksimal strese maruz kalması sonucunda oluşur. Karşılanamayan bu yüklenmeler zamanla yumuşak doku ve kemikte yaralanmalara neden olur. Yarışma ve antrenman sezonlarının uzaması, genç atletlerin bir spor sezonundan diğerine ara vermeden devam etmesi, bu yaralanmaların görülme sıklığını oldukça artırmıştır. Aşırı kullanıma bağlı yaralanma-



Şekil 4. On beş yaşındaki erkek hastada cerrahi tedavi uygulanan tibial tüberkül avulsiyon kırığı görülmekte.

lar, akut spor yaralanmaları kadar sık görülmeseler de, onlardan daha uzun süre sporcuları sahalardan uzak tutabilir.<sup>[36,37]</sup>

İskelet gelişimini tamamlamamış çocuklarda görülen birçok stres-ilişkili yaralanma kemik-kas, kas-tendon veya tendon-kemik birleşme noktalarında oluşur. Bu bölgelerde farklı mekanik özellikteki dokuların güç iletimi ve dönüşümü sağlanmaktadır. Yumuşak dokular ve kemik, özellikleri yüklenmenin hızına ve yönüne bağlı olarak değişen viskoelastik, heterotopik mekanik sistemler şeklinde davranırlar. Aşırı kullanıma bağlı kemikte (stres kırığı), tendonda (tendinit), kas-tendon bileşkesi veya bursada (bursit) tutulum olabilir. Genç sporcularda büyüme kırıkdağı da bu tür yüklenmelere karşı duyarlıdır. Apofizlerin özellikle hızlı büyüme fazında tekrarlayan aşırı yüke maruz kalması, Osgood-Schlatter hastalığı (tibial tüberkül apofiziti) ve Sever hastalığı (kalkaneal apofizit), apofizlerin özellikle hızlı büyüme fazında tekrarlayan aşırı yüke maruz kalmasına örnek, sık görülen durumlardır.<sup>[37]</sup>

Aşırı kullanım yaralanmalarının oluşumundan başta antrenman programları olmak üzere çeşitli faktörler sorumludur (Tablo 1).<sup>[36]</sup> Antrenman programının, çocuğun ailesi veya antrenörü tarafından yapılan baskılar sonucu, yüklenmeye yol açacak şekilde düzenlenmesi sıklıkla aşırı kullanım yaralanmalarına yol açar. Öyküde antrenmanların sıklığı, süresi ve yoğunluğunda yapılan ani değişiklikler sorgulanmalıdır. Bu yaralanmalar tipik olarak antrenman programının başında, kasların alışkın olmadıkları strese maruz kalmaları sonucu veya antrenman programının ortasında, çalışmaların dozunun aniden artırılması ile ortaya çıkar. Antreman dozundaki artışın haftalık %10'un altında tutulması ile bu yaralanmalar en alt düzeye indirilebilir.<sup>[36]</sup>

Genç sporcuların kullandıkları ekipmanları ve üzerinde çalıştıkları zemini de içeren birçok çevresel faktör aşırı kullanım sorunlarının ortaya çıkışında belirgin rol oynar. Uygunsuz spor ayakkabıları, güç

antrenmanı aletleri, uygun olmayan boyutlarda top- lar, raket sapları veya cimnastik ekipmanları sık karşılaşılan örneklerdir. Ayağı yetersiz derecede destekleyen spor ayakkabıların kullanılması, kalkaneal apofizit veya tibia stres kırığı gelişimine yol açabilir. Genç atletlere göre tasarlanan ekipmanların kullanılması ve sert zeminler üzerinde spor yapılmasından kaçınılması, yaralanma riskinin azaltılması açısından önemlidir.

Antremanlar sırasında yanlış tekniklerin kullanımı musküloskeletal sistemde fazla stres yaratarak aşırı kullanma yaralanmalarına neden olabilir. Genç atletlerin aşırı istekli oluşu, çoğu zaman beceri düzeylerinin önüne geçerek yanlış tekniklerin kullanımına (uygun olmayan koşma, sıçrama, fırlatma teknikleri) yol açar ve maruz kalınan aşırı submaksimal travma sonucu yaralanma oluşur. Bir yüzücünün yanlış omuz çekme tekniği uygulaması bu duruma iyi bir örnektir. Uygun olmayan teknikle uzun süreler yüzülmesi sonrası erken yorgunluk ve "yüzücü omzu" olarak adlandırılan aşırı kullanma zedelenmesi oluşabilir.

Fiks veya dinamik deformitelere bağlı gelişen anormal anatomik dizilimler musküloskeletal sistemde stres artışına yol açabilir. Alt ekstremitte uzunluk farkları, rotasyonel bozukluklar (femoral anteverسیون artışı, internal veya eksternal tibial torsiyon), ayak mekaniğini bozan deformiteler (tarsal kolalasyon, pes kavus deformitesi) sık görülen etkenlerdendir.<sup>[38]</sup> Özellikle koşucular ve futbolcular risk grubundadır.

Aşırı kullanıma bağlı yaralanma gelişen genç sporcuların klinik değerlendirmeleri öykü ve fizik muayene ile başlar. Aşırı kullanıma bağlı olarak genellikle mekanik tipte ağrı gelişir; ağrı aktiviteyle artar ve dinlenme ile kaybolur. Aşırı kullanım ağrısı, aktiviteyle ilişkisine göre üç şekilde, zorlayıcı spor aktivitelerini takiben, sınırlı spor aktiviteleriyle veya günlük aktivitelerle birlikte görülür. Genç sporcuların antrenman programları ayrıntılı olarak sorgulanmalı, kullanılan ekipmanların ve ayakkabıların özellikleri öğrenilmelidir. Lokal duyarlılık, ısı artışı ve şişlik gibi bulgular bu yaralanmalara (örneğin, tendinit, apofizit, bursit, stres kırığı) sıklıkla eşlik eder. Fizik muayenede alt ekstremitelerin mekanik aksları kontrol edilerek longitudinal, angüler veya rotatuar deformitelerin varlığı araştırılmalıdır. Tutulan ekstremitedeki tüm eklemlerin hareket açıklıkları

**Tablo 1.** Aşırı kullanım yaralanmalarının nedenleri

İntrinsik faktörler	Ekstrinsik faktörler
Anatomik yapı	Çevresel etkiler
Büyüme	Antreman programı
Kas-tendon dengesizliği	Kullanılan aletler
Altta yatan hastalık	Kültür düzeyi



kaydedilmelidir. Genel ve bölgesel “fleksibilite” saptanmalı ve “normal” hareket açıklığının cimnas-tik gibi spor dalları için yeterli olamayacağı akılda tutulmalıdır.

Aşırı kullanım yaralanmalarının tanısında radyo-lojik incelemelere rutin olarak ihtiyaç duyulmaz, fakat gerekli oldukları durumlarda istenmelidir. Radyografiler çoğu zaman yarar sağlamaz. Kemik sin-tigrafisi stres kırıklarının tanısında, manyetik rezonans görüntüleme ise özellikle palpe edilemeyen bölgelerdeki yumuşak dokuların kalınlaşma ve şiş-liklerini göstermede yardımcıdır.

Aşırı kullanım yaralanmalarının tedavisi beş aş-madan oluşur.<sup>[36]</sup> Birinci aşamada aşırı yüklenmeye neden olan faktörler belirlenir. İkinci aşamada bu faktör/faktörlerin modifikasyonuna gidilir. Örneğin, ilgilenilen spor dalına özgü mekaniklerin öğrenilme-si ve buna göre tekniğin geliştirilerek uygun şekilde uygulanması önemlidir. Bu noktada antrenörlerle kurulacak iletişim çok yararlıdır. Uygun olmayan ekipmanların kullanılmaması veya uygun boyutlara göre modifikasyonu gerekebilir. Çalışmaların süresi, yoğunluğu ve sıklığı azaltılarak “görece dinlenme” uygulanması, genç sporcuya iyileşme sürecinde ant-renmanlara devam etme olanağı sağlar ve böylece hiç kullanılmaya bağlı komplikasyonların oluşumu önlenir. İyileşme hızlandıkça antrenmanların süresi, yoğunluğu ve sıklığı sürekli olarak artırılabilir. Bu dönemde sporcunun asıl aktivitesinin, yürüme, koş- ma, yüzme veya bisiklet kullanma gibi farklı aktivi- telerle değiştirilmesi de yararlı olabilir. Üçüncü aş- ama ise ağrı kontrolüdür. Tanı konmadan ağrıya yö- nelik hiçbir ilaç uygulanmamalıdır. Ağrı kontrolü çeşitli fiziksel yöntemler ve/veya non-steroidal anti- enflamatuvar ilaçlarla yapılabilir. Dördüncü aşama, tam fleksibilite, dayanıklılık ve güç gelişiminin sağ- lanmasıyla fonksiyonel aktivitenin geliştirilmesidir. Bu kesintisiz program beşinci aşamaya, yani devam- lılık aşamasına geçişi sağlar. Bu aşamada genç spor- cuya yaralanmaların önlenmesi ve tekrarlanmaması- nın önemi vurgulanmalıdır.

## Kaynaklar

- Gamble JG. The musculoskeletal system. Physiology basics. New York: Raven Press; 1988.
- Siegel IM. Muscle and its diseases: an outline primer of basic science and clinical method. Chicago: Year Book Medical Publishers; 1986.
- Gross RH. Acute musculotendinous injuries. In: Stanitski CL, DeLee JC, Drez D Jr, editors. Pediatric and adolescent sports medicine. Vol. 3, Philadelphia: W. B. Saunders; 1994. p. 131-43.
- Dix DJ, Eisenberg BR. Myosin mRNA accumulation and myofibrillogenesis at the myotendinous junction of stretched muscle fibers. J Cell Biol 1990;111:1885-94.
- Tidball JG. Myotendinous junction: morphological changes and mechanical failure associated with muscle cell atrophy. Exp Mol Pathol 1984;40:1-12.
- Gollnick PD, Matoba H. The muscle fiber composition of skeletal muscle as a predictor of athletic success. An overview. Am J Sports Med 1984;12:212-7.
- Vogler C, Bove KE. Morphology of skeletal muscle in children. An assessment of normal growth and differentiation. Arch Pathol Lab Med 1985;109:238-42.
- Goldspink G. Postembryonic growth and differentiation of striated skeletal muscle. In: Bourne GH, editor. The structure and function of muscle. New York: Academic Press; 1972. p. 179-236.
- Griffin GE, Williams PE, Goldspink G. Region of longitudinal growth in striated muscle fibres. Nat New Biol 1971;232:28-9.
- Best TM, Hunter KD. Muscle injury and repair. Phys Med Rehabil Clin N Am 2000;11:251-66.
- Watson AW. Sports injuries during one academic year in 6799 Irish school children. Am J Sports Med 1984;12:65-71.
- Best TM. Muscle-tendon injuries in young athletes. Clin Sports Med 1995;14:669-86.
- Jarvinen M, Sorvari T. Healing of a crush injury in rat striated muscle. 1. Description and testing of a new method of inducing a standard injury to the calf muscles. Acta Pathol Microbiol Scand [A] 1975;83:259-65.
- Jarvinen M. Healing of a crush injury in rat striated muscle. 2. a histological study of the effect of early mobilization and immobilization on the repair processes. Acta Pathol Microbiol Scand [A] 1975;83:269-82.
- Jarvinen M. Healing of a crush injury in rat striated muscle. 3. A micro-angiographical study of the effect of early mobilization and immobilization on capillary ingrowth. Acta Pathol Microbiol Scand [A] 1976;84:85-94.
- Jarvinen M. Healing of a crush injury in rat striated muscle. 4. Effect of early mobilization and immobilization on the tensile properties of gastrocnemius muscle. Acta Chir Scand 1976;142:47-56.
- Ryan JB, Wheeler JH, Hopkinson WJ, Arciero RA, Kolakowski KR. Quadriceps contusions. West Point update. Am J Sports Med 1991;19:299-304.
- Jackson DW, Feagin JA. Quadriceps contusions in young athletes. Relation of severity of injury to treatment and prognosis. J Bone Joint Surg [Am] 1973;55:95-105.
- Ackerman LV. Extra-osseous localized non-neoplastic bone and cartilage formation (so-called myositis ossificans): clinical and pathological confusion with malignant neoplasms. J Bone Joint Surg [Am] 1958;40:279-98.
- Walton M, Rothwell AG. Reactions of thigh tissues of sheep to blunt trauma. Clin Orthop 1983;(176):273-81.
- Zaccalini PS, Urist MR. Traumatic periosteal proliferations in rabbits. The enigma of experimental myositis ossificans traumatica. J Trauma 1964;171:344-57.
- Wilkes LL. Myositis ossificans traumatica in a young child: a case report. Clin Orthop 1976;(118):151-2.
- Mackenzie WG, Gabos PG. Localized disorders of bone and soft tissue. In: Morrissy RT, Weinstein SL, editors. Lowell and Winter's pediatric orthopaedics. Vol. 1, 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001. p. 339-77.

24. Lipscomb AB, Thomas ED, Johnston RK. Treatment of myositis ossificans traumatica in athletes. *Am J Sports Med* 1976;4:111-20.
25. Carlson WO, Klassen RA. Myositis ossificans of the upper extremity: a long-term follow-up. *J Pediatr Orthop* 1984;4: 693-6.
26. Garrett WE Jr, Safran MR, Seaber AV, Glisson RR, Ribbeck BM. Biomechanical comparison of stimulated and nonstimulated skeletal muscle pulled to failure. *Am J Sports Med* 1987; 15:448-54.
27. Best TM, McElhaney JH, Garrett WE Jr, Myers BS. Axial strain measurements in skeletal muscle at various strain rates. *J Biomech Eng* 1995;117:262-5.
28. Lieber RL, Friden J. Muscle damage is not a function of muscle force but active muscle strain. *J Appl Physiol* 1993; 74:520-6.
29. Micheli LJ, Smith AD. Sports injuries in children. *Curr Probl Pediatr* 1982;12:1-54.
30. Best TM, McElhaney JH, Garrett WE Jr, Myers BS. Characterization of the passive responses of live skeletal muscle using the quasi-linear theory of viscoelasticity. *J Biomech* 1994;27:413-9.
31. Noonan TJ, Best TM, Seaber AV, Garrett WE Jr. Thermal effects on skeletal muscle tensile behavior. *Am J Sports Med* 1993;21:517-22.
32. Herring JA. Back pain. In: Herring JA, editor. *Tachdjian's pediatric orthopaedics*. Vol. 1, 3rd ed. Philadelphia: W. B. Saunders; 2002. p. 95-107.
33. Armstrong RB. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sports Exerc* 1984;16:529-38.
34. Maughan RJ, Donnelly AE, Gleeson M, Whiting PH, Walker KA, Clough PJ. Delayed-onset muscle damage and lipid peroxidation in man after a downhill run. *Muscle Nerve* 1989; 12:332-6.
35. Clancy WG Jr, Foltz AS. Iliac apophysitis and stress fractures in adolescent runners. *Am J Sports Med* 1976;4:214-8.
36. Stanitski CL. Overuse syndromes. In: Stanitski CL, DeLee JC, Drez D Jr, editors. *Pediatric and adolescent sports medicine*. Vol. 3, Philadelphia: W. B. Saunders; 1994. p. 95-109.
37. Busch MT. Sports medicine in children and adolescents. In: Morrissy RT, Weinstein SL, editors. *Lowell and Winter's pediatric orthopaedics*. Vol. 1, 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001. p. 1273-318.
38. O'Neill DB, Micheli LJ. Tarsal coalition. A follow up of adolescent athletes. *Am J Sports Med* 1989;17:544-9.