

Çocukluk–Ergenlikte Kas–İskelet Olgunlaşması: Kas–Kemik Ünitesi, Pık Kemik Kütlesi ve Direnc Antrenmanı Adaptasyonları

Elif Akkuş¹

Özet

Çocukluk ve ergenlik dönemi, kas-iskelet sisteminin hızla olgunlaştığı; yaşam boyu sağlık, fiziksel yeterlilik ve performansın temelini atıldığı kritik bir gelişim penceresidir. Bu süreçte boy ve vücut ağırlığı artışı belirgin olmakla birlikte, vücut kompozisyonu, motor yeterlilik ve kas–kemik etkileşimi de anlamlı biçimde değişmektedir. Bu nedenle büyüme, performans ve sakatlanma riskini değerlendirirken aynı yaş grubu çocuklarda büyüme hızı, nöromüsküler kontrol ve olgunlaşma düzeyi farklılık gösterdiği için yalnızca kronolojik yaşla sınırlamak yetersiz kalabilmektedir. Biyolojik olgunlaşma göstergeleri kemik yaşı (Tanner evresi/sexual maturity rating (SMR)) ve zirve boy uzama hızı (ZBUH) çevresi, antrenman yüklerinin ve teknik odaklı çalışmaların planlanmasında özellikle önem taşımakta ve hızlı morfolojik değişimler koordinasyon ve hareket kontrolünde geçici dalgalanmalara yol açabilmektedir.

Kemik sağlığı açısından çocukluk–ergenlik, pık kemik kütlesinin ve kemik dayanıklılığının kazanıldığı dönemi ifade etmektedir. Kemik yanıtı yalnız mineral birikimiyle sınırlı olmayıp geometri ve yapısal dayanıklılık bileşenlerini de içermektedir. Osteojenik uyarının temelinde mekanik deformasyon ve buna eşlik eden hücrel adaptasyon yer aldığından, düzenli ve uygun planlanmış mekanik yüklenme uzun vadeli kazanımlar için gereklidir. “Kas–kemik ünitesi” yaklaşımı, yükün yalnız vücut ağırlığından değil kas kasılmalarının ürettiği kuvvetlerden ve darbe/ivmelenme bileşenlerinden de oluştuğunu vurgulamaktadır.

Direnç antrenmanına adaptasyon olgunlaşma ile ilişkisidir. Puberte öncesi dönemde kuvvet artışları daha çok nöromüsküler öğrenme ve koordinasyonla, puberte sonrasında ise yapısal-hormonal katkılarla gelişim göstermektedir. Çocuklarda uygulanan antrenman ve fiziksel aktivite güvenli bir şekilde uygulanmasında teknik öğretim, kademeli progresyon, uygun dinlenme-toparlanma, etkili ısınma ve nitelikli süpervizyon gibi temel ilkeler ön planda olmalıdır.

1 Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, <https://orcid.org/0000-0001-5812-1997>, akkuse@atauni.edu.tr

Giriş

Günümüzde sedanter yaşam biçiminin çocuklarda daha sık görülmekle birlikte sadece kardiyometabolik risk faktörlerini değil, aynı zamanda büyüme ve gelişimin farklı bileşenlerini de olumsuz etkileyebileceği bildirilmektedir. Bu nedenle günlük yaşamda fiziksel aktivite olanaklarının artırılması; beden eğitimi dersleri ile spor ve oyun temelli etkinliklerin okul ortamında planlı ve sürdürülebilir biçimde desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Taşkın & Özdemir, 2018). Düzenli fiziksel aktiviteye katılımın, fiziksel uygunluğa ek olarak motor yeterlilik ve hareket becerisi geliştirdiği ve bu gelişimle ilerleyen yıllarda bireyin sağlığı için fiziksel kapasite açısından işlevsel bir temel oluşturabildiği ifade edilmektedir (Taşkın & Özdemir, 2018).

Çocukluk ve ergenlik döneminde kas-iskelet sisteminde hem morfolojik (kemik geometri/direnç, kas–tendon özellikleri) hem de fonksiyonel (motor kontrol, kuvvet üretimi, hareket becerisi) dönüşümlerin hızlandığı; bu süreçlerin ileri yaşamda sağlık ve performansı etkileyen biyolojik altyapıyı şekillendirdiği belirtilmektedir (Faienza et al., 2023; Brown et al., 2017). Bu dönemde boy ve vücut ağırlığı artışı dikkat çekici bir faktör olsa da vücut kompozisyonu ile kas–kemik etkileşiminin niteliğinde daha belirleyici ve dinamik değişimler izlendiği bildirilmektedir. Bu nedenle büyümenin düzenli izleminin, yalnız büyüme hızını izlemek için değil; genel sağlık durumuna ilişkin klinik ipuçlarını yakalamak açısından da gerekli olduğu vurgulanmaktadır (Gönç et al., 2015). Yapılan çalışmalar ergenlikte gelişim ve performansın kronolojik yaşla açıklanmasının sınırlı kaldığı; aynı yaş grubunda büyüme hızı ve nöromüsküler kontrol açısından belirgin bireysel farklılıklar bulunduğu gösterilmektedir (Malina et al., 2015). Bu farklılıkların daha tutarlı yorumlanabilmesi için biyolojik olgunlaşma göstergeleri kemik yaşı ve zirve boy uzama hızı çevresinin, antrenman içeriğinin bireyselleştirilmesi ve yük yönetiminin güvenli biçimde yapılandırılmasında pratik bir çerçeve sunduğu ifade edilmektedir (Malina et al., 2015; Brown et al., 2017).

Bu kitap bölümünde ayrıca çocukluk–ergenlik döneminin pik kemik kütlesi ve kemik dayanıklılığının kazanımı açısından kritik bir fırsat penceresi oluşturduğu ele alınmaktadır. Kemik sağlığının yalnız mineral içeriği/yoğunluğu ile sınırlı değildir. Kemik geometrisi ve yapısal dayanıklılık bileşenleri de değerlendirmeye dâhil edilmelidir (Kohrt et al., 2004; Haspolat et al., 2015). Kemik dokunun gelişmesin de osteojenik uyarının kardiyorespiratuvar “şiddet” kavramından farklı olarak mekanik deformasyon ve buna eşlik eden hücresel adaptasyonla sağlandığı bu nedenle düzenli ve sürekliliği olan mekanik yüklenmelerin uzun dönem kazanımlar için gerekli olduğu vurgulanmaktadır (Kohrt et al., 2004). Kas–

kemik ünitesi yaklaşımında, kas kasılmalarının ürettiği kuvvetler ile darbe/ivmelenme bileşenlerinin kemiğe aktarılan yükün sadece vücut ağırlıklarıyla açıklanmadığını ortaya konmaktadır (Wetzsteon et al., 2011; Baptista et al., 2012).

Bölümün diğer yansıttığı konu ise olgunlaşmaya duyarlı direnç antrenmanı adaptasyonları ve risk yönetimidir. Çocuk ve ergenlerde uygun biçimde planlanan direnç antrenmanının kuvvet gelişimini desteklediğini, erken dönemde kazanımların daha çok sinir-kas iletişimi, motor kontrol ve koordinasyonu ve ileri olgunlaşma evrelerinde ise yapısal-hormonal katkılarla daha belirgin hale gelebildiği bildirilmektedir (Hekim & Hekim, 2015; Faigenbaum et al., 2009; Behringer et al., 2010; Stricker et al., 2020; Lesinski et al., 2016). Bununla birlikte hızlı büyüme dönemlerinde kas-tendon uyum hızları arasında dengesizlik gelişebileceği ve aşırı kullanım riskinin uygunsuz yüklenme ile artabileceği belirtilmektedir (Granacher et al., 2018; Tumkur Anil Kumar et al., 2021; Brenner & Watson, 2024). Bu veriler doğrultusunda çocuklarda teknik öğretimin önceliklendirilmesi, kademeli progresyon, yeterli toparlanma ve nitelikli süpervizyonun güvenli uygulanması sağlanmalıdır. Ayrıca kanıta dayalı yaralanma önleme ısınmalarının rutinleştirilmesinin sakatlanma riskini azaltmaya katkı sağlayabildiği vurgulanmaktadır (Lloyd et al., 2014; Lloyd et al., 2016; Rössler et al., 2018; Al Attar et al., 2023). Bu doğrultuda bölümün amacı, kemik sağlığı–direnç antrenmanı ilişkisini olgunlaşma belirteçleri ve yük yönetimiyle birlikte ele alınarak değerlendirilmesini sağlamak ve mevcut yaklaşımların literatüre katkı sağlayacak bütüncül bir çerçeve ortaya koymaktır.

Çocukluk-Ergenlik Döneminde Büyüme-Gelişim ve Kas-İskelet Olgunlaşması

Çocukluk ve ergenlik dönemi, kas-iskelet sisteminin hem yapısal hem de işlevsel açıdan hızla olgunlaştığı ve yaşam boyu sağlık ile fiziksel yeterliliğin temellerinin atıldığı kritik bir gelişim aşamasıdır. Bu dönemde en belirgin şekilde boy uzaması ve vücut ağırlığında artış görülmektedir. Bunun yanı sıra vücut kompozisyonu, kas-kemik etkileşimi ve motor yeterlilik belirgin biçimde değişmektedir. Normal büyüme; yaş, cinsiyet ve genetik potansiyele uygun biçimde boy ve vücut ağırlığının artması olarak tanımlanmaktadır. Çocuklarda büyümenin düzenli olarak izlenmesi, çocuğun genel sağlık durumuna ilişkin önemli klinik ipuçları sağlamaktadır. Puberteye kadar kız ve erkek çocuklarının büyüme seyri büyük ölçüde benzerlik gösterirken puberteyle birlikte büyüme hızı ve toplam boy kazanımında cinsiyete özgü farklılıklar belirginleşmektedir. (Gönç et al., 2015).

Ergenlik döneminde büyüme, performans ve sakatlanma riskini değerlendirmede yalnızca kronolojik yaşa dayanmak çoğu zaman yeterli değildir. Aynı yaş grubundaki çocuklar arasında büyüme hızı, vücut kompozisyonu ve nöromusküler gelişim açısından belirgin farklılıklar görülebilir. Bu nedenle biyolojik olgunlaşma göstergeleri daha açıklayıcı bir çerçeve sunar. Özellikle kemik yaşı ve olanak varsa kemik yaşı, kuvvet ve performans düzeyindeki çeşitliliği daha doğru yorumlamaya yardımcı olur. Bu göstergeler, yaralanma riskindeki bireysel farklılıkların anlaşılmasına da katkı sağlamaktadır (PHV). Büyümenin en hızlı gerçekleştiği “Zirve Boy Uzama Hızı” (ZBUH) döneminde vücut oranları geçici olarak değişebilir. Bu değişimler bazı sporcularda koordinasyon ve hareket kontrolünde kısa süreli dalgalanmalara yol açabilir. Dolayısıyla ZBUH’nın zamanlaması, antrenman yüklerinin düzenlenmesi ve teknik odaklı çalışmaların planlanmasında mutlaka dikkate alınmalıdır (Brown et al., 2017).

Kas olgunlaşması, genetik program tarafından yönlendirilen ancak çevresel uyaranlarla şekillenen dinamik bir süreçtir. Çocukluk ve ergenlikte düzenli, planlı ve denetimli fiziksel aktivite; kas kuvveti, motor kontrol ve kas-iskelet sisteminin fonksiyonel kapasitesi üzerinde olumlu etkiler yaratabilmektedir. Bu dönemde kas dokusunun gelişimi yalnızca performans açısından değil, aynı zamanda kemik sağlığı ve uzun dönem kas-iskelet bütünlüğü açısından da büyük öneme sahiptir. Kas-kemik etkileşimi, büyüme çağında mekanik, yüklenme ve biyolojik sinyalleşme düzeyinde iki yönlü bir ilişki sunmakta ve kas dokusunun ürettiği miyokinlerin kemik metabolizmasına katkısı bu bütüncül yapıyı güçlendiren mekanizmalardan biri olarak ele alınmaktadır (Faenza et al., 2023).

Direnç antrenmanına verilen yanıtın mekanizması da olgunlaşma düzeyine göre farklılık göstermektedir. Puberte öncesi dönemde kuvvet artışlarının büyük ölçüde nöromusküler öğrenme ve sinirsel adaptasyonlarla ilişkili olduğu, adolesan dönemde ise hormonal ve yapısal değişimlerin katkısıyla hipertrofik yanıtın giderek belirginleştiği bildirilmektedir. Bu çerçeve, çocuk ve ergenlerde direnç antrenmanının yaşa ve olgunlaşma düzeyine uygun biçimde planlanması, teknik öğretimin önceliklendirilmesi ve yüklenmenin kademeli olarak artırılması gerektiğini vurgulamaktadır (Faigenbaum et al., 2009).

Çocuklarda Kemik Sağlığı, Pik Kemik Kütlesi ve Mekanik Yüklenme

İskelet sistemi, kemiklerin biyomekanik ilkeler doğrultusunda örgütlenmesiyle vücudun formunu ve dayanıklılığını belirleyen temel bir çatı

oluşturmaktadır. Bu çatının dış görünüşe ve hareket kapasitesine dönüşmesi, üzerine yerleşen kaslar ve diğer yumuşak dokularla tamamlanmaktadır. (Haspolat et al., 2015). Kemik doku, “azami işlev-iktisadi yapı” ilkesine uygun biçimde organize olmaktadır. Masif bir kitle yerine, basınç ve gerilme hatlarına uyumlu trabeküler mimari ile bunu çevreleyen kompakt tabakadan oluşur. Bu düzen, statik yükler ve kas çekişleri altında fonksiyonel dayanıklılığı mümkün kılar (Haspolat et al., 2015). Bu nedenle kemik sağlığı yalnızca mineral birikimi olarak ele alınmamalı, kemiğin geometrisi ve dayanıklılık özellikleri de değerlendirmeye dâhil edilmelidir.

Çocukluk ve ergenlik, yaşam boyu kırık riskini belirleyen pik kemik kütlesinin kazanıldığı kritik dönemdir. Bu evrede hedef, kemik dokusunun niceliksel özelliklerini (mineral içeriği/yoğunluğu) en üst düzeye taşımaktır. Aynı zamanda niteliksel özelliklerin (geometri, kortikal kalınlık ve yapısal dayanıklılık) geliştirilmesi de önem taşımaktadır (Kohrt et al., 2004). Kemik dokusu egzersize, kardiyorespiratuar “şiddet” kavramından farklı bir mekanizma üzerinden yanıt verir. Osteojenik uyarının temeli, kemiğin mekanik deformasyonu (strain) ve buna eşlik eden hücresel adaptasyondur. Bu adaptasyon, özgüllük, aşırı yüklenme ve tersinirlik ilkeleriyle açıklanmaktadır (Kohrt et al., 2004). Ayrıca kemik remodelling döngüsü göreceli olarak yavaştır. Bu nedenle egzersizle oluşan değişimlerin ölçülebilir düzeye ulaşması haftalardan çok aylar ölçeğinde gerçekleşmektedir (Kohrt et al., 2004). Dolayısıyla çocukluk ve ergenlikte düzenli ve uygun planlanmış mekanik yüklenmenin, pik kemik kütlesi ve kemik dayanıklılığı için temel oluşturması beklenmektedir.

Mekanik yüklenmenin kemik üzerindeki etkisini açıklamada “kas-kemik ünitesi” yaklaşımı önemli bir dayanak sağlar. Kemiğe binen yük, yalnızca vücut ağırlığına bağlı yerçekimi etkisinden ibaret değildir. Kas kasılmalarının ürettiği kuvvetler ve günlük hareketlilik shows; darbe ve ivmelenme bileşenleri de yükün önemli parçalarıdır (Wetzsteon et al., 2011). Bu nedenle kemik adaptasyonunu tek bir göstergeyle temsil etmek, özellikle büyüme döneminde yanıltıcı olabilir. Wetzsteon ve arkadaşları, 5–35 yaş aralığında sağlıklı bireylerde tibia üzerinden pQCT ölçümleriyle kortikal geometriyi değerlendirmiştir. Çalışma, kortikal dayanıklılığın önemli göstergelerinden biri olan polar kesit modülünün; kas boyutu, kas kuvveti, vücut ağırlığı ve fiziksel aktivite ile ilişkili olabildiğini göstermiştir. Dahası, bu değişkenlerin aynı model içinde birbirinden bağımsız katkılar sunabileceği bildirilmiştir. Çalışmanın dikkat çekici metodolojik çıktılarından biri, büyüme çağında kemik uzunluğunun (tibia uzunluğu) değerlendirmeye dâhil edilmesi gerekliliğidir. Kemik uzunluğu modele eklenmediğinde kas kesit alanı, kemik geometrisini olduğundan daha yüksek oranda açıklıyor gibi görünebilir.

Oysa kemik uzunluğu, kas boyutundan bağımsız biçimde geometri üzerinde anlamlı bir belirleyici olarak öne çıkmaktadır. Bu bulgu, çocuklarda kemik sağlığını değerlendirirken büyüme dinamiklerinin (boy, kemik uzunluğu ve olgunlaşma) mutlaka hesaba katılması gerektiği sonucunu güçlendirmektedir. Kasın kemiğe etkisini belirleyen unsur yalnızca “büyüklük” değildir. Kasın birim kesit alanı başına üretebildiği kuvvet kapasitesi de (ör. kas özgül kuvveti gibi göstergeler) bireyler arasında farklılık gösterebilir. Bu farklılıklar, kemik adaptasyonunun işlevsel bileşenlerinden biri olarak düşünülebilir. Ayrıca kemik mineral yoğunluğu gibi ölçütlerin her zaman aynı doğrultuda değişmemesi, adaptasyonun yalnız mineral birikimiyle açıklanamayacağını düşündürür. Geometri ve yapısal düzenlenme de kemik yanıtının temel bileşenlerindendir (Wetzsteon et al., 2011). Bu nedenle çocukluk–ergenlik döneminde “kemik sağlığı” hedeflenirken, yalnızca BMD/BMC gibi sonuçlara odaklanmak yeterli değildir. Mekanik yüklenmenin türü ve kemiğin yapısal yanıtı birlikte değerlendirilmelidir.

Çocuklarda kemik sağlığı için kas kütlesi ve günlük fiziksel aktivite düzeyi farklı ağırlıklara sahip olabilir. Bu ağırlıklar cinsiyete ve iskelet bölgesine göre değişebilir. Baptista ve arkadaşları, yaklaşık 8–10 yaş grubunda fiziksel aktiviteyi ve yağsız vücut kütlesini aynı model içinde ele almıştır. Bulgular, kemik mineral içeriği ve kemik alanı üzerinde yağsız vücut kütlesinin tutarlı bir belirleyici olduğunu göstermiştir. Fiziksel aktivitenin bağımsız etkisi ise bazı bölgelerde ve özellikle erkeklerde daha belirgin görünmüştür (Baptista et al., 2012). Aynı çalışma, fiziksel uygunluk başlığı altında izlenen bazı performans ölçütlerinin; yağsız kütle ve fiziksel aktivite hesaba katıldığında kemik çıktıları için ek açıklayıcılığının sınırlı kalabileceğine işaret eder (Baptista et al., 2012). Bu bulgular, kemik sağlığını geliştirmeyi amaçlayan programlarda iki odak alanını öne çıkarır: Birincisi, kas kütlesi ve kuvvet kapasitesini destekleyen uygun direnç yüklenmeleridir. İkincisi, günlük yaşamda düzenli biçimde sürdürülen, ağırlık taşıyan ve uygun darbe bileşenleri içeren fiziksel aktivite örüntüsüdür.

Yaşam boyu perspektifte ACSM yaklaşımı, kemik sağlığı için egzersizin “genel sağlıklı yaşam” reçetesinin ötesinde tasarlanması gerektiğini vurgular. Osteojenik uyarının dinamik ve değişken olması beklenir. Tekdüze ve düşük mekanik talepli aktiviteler, kemik adaptasyonu açısından sınırlı kalabilir. Bu nedenle ilerleyici yüklenme ve süreklilik ilkeleri, çocukluk ve ergenlikte pik kemik kütlesi hedefiyle uyumlu bir temel sunar (Kohrt et al., 2004). Bu yaklaşımın anatomi ve fonksiyon bilgisiyle bütünleştirilmesi önemlidir. Örneğin trabeküler düzenin kuvvet aktarım hatlarına uyumu, eklem kıkırdığının yük dağıtımındaki rolü ve tendon–periost bağlantılarının kas çekişlerini kemiğe iletmesi, mekanik yükün “hangi yollarla” kemiğe

taşındığını açıklar (Haspolat et al., 2015). Böylece kemik sağlığını geliştiren programların yalnız “hareket etmek” düzeyinde kalmaması gerektiği anlaşılır. Program, doğru dokuya doğru mekanik uyarıyı iletecek biçimde planlanmış hareket örüntülerini içermelidir.

Sonuç olarak çocukluk ve ergenlikte kemik sağlığının değerlendirilmesi, çok bileşenli bir mekanik yüklenme perspektifini gerektirir. Kas boyutu, kas kuvveti, vücut ağırlığı ve fiziksel aktivite; kemik geometrisini ve yapısal dayanıklılığı birlikte şekillendiren bileşenlerdir. Bu bileşenler büyüme ve olgunlaşma dinamikleriyle birlikte ele alınmalıdır (Baptista et al., 2012; Kohrt et al., 2004; Wetzsteon et al., 2011). Klinik ve eğitimsel uygulamalar, yalnızca kemik mineral ölçütlerine veya genel uygunluk göstergelerine odaklanmakla sınırlı kalmamalıdır. Kas–kemik biriminin fonksiyonel bütünlüğü ve bölgeye özgü yüklenme gereksinimleri gözetilmelidir. Olgunlaşma dönemleri dikkate alınmalı; güvenli ve sürdürülebilir fiziksel aktivite ile uygun direnç egzersizi bileşenleri programın merkezine yerleştirilmelidir (Haspolat et al., 2015; Kohrt et al., 2004).

Puberte Öncesi ve Sonrası Dönemde Direnç Antrenmanına Adaptasyon

Direnç antrenmanına verilen yanıtı değerlendirirken, çocuk ve ergenlerde kronolojik yaştan çok biyolojik olgunlaşma düzeyi belirleyicidir. Çünkü büyüme ve olgunlaşma ilerledikçe antrenmana uyum farklı fizyolojik mekanizmalar üzerinden gelişebilmekte buna bağlı olarak kazanımların büyüklüğü ve niteliği değişebilmektedir. Bu durum, puberte öncesi dönemde de çocukların anlamlı kuvvet artışı sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Ancak bu dönemde görülen artışların, çoğunlukla sinir-kas koordinasyonunun gelişmesi, motor öğrenme ve teknik becerinin ilerlemesi gibi sinirsel süreçlerle açıklanmasının daha uygun olduğunu vurgulayan klinik ve konsensus görüşleriyle uyumludur (Stricker et al., 2020; Lloyd et al., 2014).

Puberte öncesi dönemde direnç antrenmanına bağlı kuvvet artışlarının temelini çoğunlukla **nöromüsküler adaptasyonlar** oluşturur. Bu yaş grubunda motor ünite aktivasyonunun artması, agonist–antagonist kaslar arası koordinasyonun gelişmesi ve teknik uygulamanın daha ekonomik hâle gelmesi, kuvvet kazanımlarının tipik bileşenleridir. Bu nedenle antrenman planlamasında öncelik, yükün artırılmasından çok **hareket kalitesinin** inşası olmalıdır. Temel hareket örüntülerinin yerleşmesi, farklı motor uyaranlarla çok yönlü beceri gelişimi ve kontrollü, kademeli ilerleme bu yaklaşımın ana eksenini oluşturur.

Amerikan Pediatri Akademisi'nin (AAP) klinik raporu, puberte öncesinde gözlenen kuvvet kazanımlarının ağırlıklı olarak nörolojik mekanizmalarla açıklandığını vurgular. Aynı rapor, uygun süpervizyon altında yürütülen programlarda yaralanma oranlarının düşük seyrettiğini belirtir (Stricker et al., 2020). Benzer biçimde Ulusal Kuvvet ve Kondisyon Birliği'nin (NSCA) pozisyon metni, doğru tasarlanmış ve yeterli biçimde denetlenen direnç antrenmanının çocuk ve ergenlerde güvenli olduğunu bildirir. Ayrıca bu tür programların kas kuvveti ve gücünü geliştirebildiği ve sportif yaralanma riskinin azaltılmasına katkı sunabileceği ifade edilmektedir (Faigenbaum et al., 2009).

Puberte sonrası dönemde ise hormonal ve yapısal çevre, kas-iskelet adaptasyonlarının yönünü ve büyüklüğünü belirgin biçimde etkiler. Pubertal hormonların etkisiyle kas kütlesi artışına elverişli biyolojik zemin güçlenirken, kuvvet kazanımlarında hipertrofik katkı daha görünür hale gelir. AAP raporu, pubertal dönemdeki kazanımların nörolojik uyumun yanı sıra kas hipertrofisiyle desteklenebileceğini ifade ederek bu geçişi net biçimde çizer (Stricker et al., 2020). Bu nedenle adölesan dönemde programlama, teknik temel korunarak daha planlı yüklenme stratejileriyle ilerletilebilmektedir. Olgunlaşma süreci yalnızca kasın kontraktıl kapasitesini değil, kas-tendon ünitesinin mekanik özelliklerini de dönüştürür. Büyüme ile tendon boyutları ve sertliği artma eğilimi gösterir; bu durum elektromekanik gecikmenin azalması ve kuvvetin kemiğe aktarımının daha etkili gerçekleşmesiyle ilişkili olabilir (Tumkur Anil Kumar et al., 2021). Ayrıca büyüme ve olgunlaşmaya bağlı kas mimarisi değişimleri (kas kesit alanı, pennasyon açısı, fasikül uzunluğu gibi) doğal kuvvet artışlarının yapısal arka planını oluşturur (Tumkur Anil Kumar et al., 2021). Bu biyomekanik zeminin gelişmesi, özellikle sprint ve sıçrama gibi gerilme–kısılma döngüsü (SSC) ağırlıklı görevlerde performans artışlarını açıklayan önemli bir çerçeve sunar.

Bununla birlikte ergenlik, hızlı büyümenin etkisiyle kas ve tendon uyum hızları arasında dengesizlik oluşabildiği bir dönemdir. Bu dengesizliklerin, özellikle yüksek hacimli plyometrik yüklenmeler altında tendon aşırı kullanım yaralanmalarına zemin hazırlayabileceği belirtilmektedir (Granacher et al., 2018). Dolayısıyla puberte sonrası programlamada yalnızca performans hedefleri değil, doku toleransı, toparlanma ve yük yönetimi de eş zamanlı izlenmelidir.

Çocuk ve Ergenlerde Direnç Antrenmanı Uygulama İlkeleri

Çocuklarda direnç antrenmanı, uzun yıllar büyüme ve gelişim açısından riskli bir uygulama olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte güncel kanıtlar,

bu yargının koşulsuz biçimde genellenemeyeceğini ortaya koymaktadır. Yaşa ve biyolojik olgunlaşma düzeyine uygun olarak yapılandırılan programlar güvenli kabul edilmektedir. Teknik öğretiminin merkeze alındığı ve nitelikli süpervizyon altında yürütülen uygulamalar etkilidir. Bu yaklaşım, hedefi yalnızca kas kuvveti ve gücü artışıyla sınırlamaz. Motor beceri gelişimini destekler, spor performansı için altyapı oluşturur ve yaralanma riskinin azaltılmasına katkı sağlayabilir (Faigenbaum et al., 2009; Lloyd et al., 2014; Stricker et al., 2020). Bu alandaki tereddütlerin önemli bir bölümü, çocukların antrenman yanıtlarına ilişkin hatalı genellemelerden beslenmiştir. “Çocuklar kuvvet kazanamaz” ya da “kuvvet gelişimi yalnızca puberteyle başlar” biçimindeki ifadeler güncel kanıtlarla örtüşmemektedir. Meta-analitik veriler, puberte öncesi çocukların da direnç antrenmanına anlamlı kuvvet artışlarıyla yanıt verebildiğini göstermektedir. Ayrıca olgunlaşma ilerledikçe kazanım büyüklüğünün artma eğilimi ortaya çıkabilmektedir (Behringer et al., 2010). Bu örüntü, büyüme dönemlerine göre değişen uyum mekanizmalarıyla uyumludur. Puberte öncesi dönemde kuvvet artışları çoğunlukla nöromüsküler öğrenme, motor ünite aktivasyonunun gelişmesi ve koordinasyonun iyileşmesiyle açıklanır. Adölesan dönemde ise olgunlaşmanın sağladığı biyolojik zeminle yapısal katkılar daha belirgin hâle gelebilir (Faigenbaum et al., 2009; Lloyd et al., 2014).

Bu alandaki tereddütlerin önemli bir bölümü, çocukların antrenman yanıtlarına ilişkin hatalı genellemelerden kaynaklanmıştır. “Çocuklar kuvvet kazanamaz” ya da “kuvvet gelişimi yalnızca puberteyle başlar” biçimindeki görüşler güncel literatürle uyumlu değildir. Meta-analitik bulgular, puberte öncesi çocukların direnç antrenmanı ile anlamlı kuvvet kazanımları elde edebildiğini göstermektedir. Olgunlaşma ilerledikçe kazanım büyüklüğünün artma eğilimi de bildirilmektedir (Behringer et al., 2010). Bu örüntü, büyüme dönemlerine göre değişen adaptasyon mekanizmalarıyla tutarlıdır. Puberte öncesinde kuvvet artışları çoğunlukla nöromüsküler öğrenme, motor ünite aktivasyonunun gelişmesi ve koordinasyonun iyileşmesiyle açıklanır. Adölesan dönemde ise olgunlaşmanın sağladığı biyolojik zeminle yapısal katkılar daha belirgin hâle gelebilir (Faigenbaum et al., 2009; Lloyd et al., 2014).

Toplumda sık dile getirilen bir diğer yanlış inanış, direnç antrenmanının boy uzamasını durdurduğu veya büyüme plaklarına zarar verdiği iddiasıdır. Amerikan Pediatri Akademisi’nin politika metni ve bunu güncelleyen 2020 klinik raporu, uygun koşullar sağlandığında direnç antrenmanının güvenli bir yaklaşım olduğunu vurgular (McCambridge et al., 2008; Stricker et al., 2020). Bu raporlar, olumsuz örneklerin çoğunun yanlış teknik, uygunsuz yüklenme ve yetersiz denetimle ilişkili olduğuna işaret eder (Stricker et

al., 2020; Faigenbaum et al., 2009). Dolayısıyla belirleyici olan, direnç antrenmanının varlığı değil; programın nasıl yapılandırıldığı ve kim tarafından uygulandığıdır (Lloyd et al., 2014; Stricker et al., 2020).

Güncel eğitim ve programlama anlayışı, çocuklarda direnç antrenmanını “erken yaşta ağır yük” yaklaşımına indirgemez. Bunun yerine, çok yönlü hareket becerileri, temel kuvvet, postüral kontrol ve doğru teknik ekseninde bir gelişim aracı olarak konumlandırır (Lloyd et al., 2014; Stricker et al., 2020). Özellikle antrenman geçmişi sınırlı çocuklarda ilerleme, önce beceri kazanımı ve hareket kalitesi üzerinden kurgulanmalıdır. Yük artışı ise kademeli ve bireyselleştirilmiş biçimde planlanmalıdır (Faigenbaum et al., 2009; Lloyd et al., 2014).

Genç sporcularda yapılan sistematik derleme ve meta-analizler, direnç antrenmanının kuvvetin yanı sıra sıçrama ve sprint gibi performans göstergelerinde de anlamlı iyileşmeler sağlayabildiğini göstermektedir (Lesinski et al., 2016). Bununla birlikte bu kazanımların güvenli biçimde sürdürülebilmesi, olgunlaşma düzeyine uygun programlamayı gerektirir. Teknik temelli uygulama ve nitelikli süpervizyon bu süreçte temel koşullardır (Lloyd et al., 2014; Stricker et al., 2020). Ayrıca direnç antrenmanının yalnızca performans geliştirme aracı olmadığı vurgulanmalıdır. Uygun biçimde uygulandığında, yaralanma riskinin azaltılmasına katkı sunan hazırlayıcı bir bileşen olarak da değerlendirilmektedir (Faigenbaum et al., 2009; Stricker et al., 2020).

Bu bulgular, çocuk ve ergenlerde direnç antrenmanına yönelik modern yaklaşımın temelini açık biçimde ortaya koymaktadır. Temel Yaklaşım, olgunlaşmaya duyarlı planlama, teknik öncelik, kademeli progresyon ve uzman gözetimidir (Faigenbaum et al., 2009; Lloyd et al., 2014; Stricker et al., 2020). Bu ilkeler sağlandığında direnç antrenmanı, büyüme ve gelişimi riske eden bir uygulama değil kas-iskelet sağlığını ve motor yeterliliği destekleyen bilimsel temelli bir gelişim aracı olarak kabul edilmektedir.

Çocuklarda Yaşa/Olgunlaşmaya Göre Direnç Antrenmanlarında Temel Programlama Yaklaşımı

Çocuk ve ergenlerde direnç/kuvvet antrenmanı programlamasına yönelik çağdaş yaklaşım, kronolojik yaşı tek başına belirleyici kabul edilmesini yeterli görmemektedir. Bunun yerine biyolojik olgunlaşma düzeyi, antrenman yaşı ve hareket yeterliliği birlikte değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, uzun dönem atletik gelişim anlayışının temel ilkeleriyle uyumludur. Ayrıca çocuklarda kuvvet antrenmanını yalnızca performans artışına indirgemez. Motor gelişimin desteklenmesi, fiziksel okuryazarlığın geliştirilmesi ve

yaralanma riskinin azaltılmasına katkı sağlanması da programlamanın temel amaçları arasında yer almaktadır. (Lloyd et al., 2015; Lloyd et al., 2016).

Yaş + Olgunlaşma Değerlendirilmesi

Aynı kronolojik yaş aralığında bulunn çocuklar, büyüme hızı, nöromüsküler kontrol, kas-kemik uyumu, psikolojik hazır oluş ve yaralanma duyarlılığı açısından farklı olgunlaşma düzeyleri sergileyebilirler. Bu heterojenlik, programlamada “tek yaş–tek reçete” anlayışının sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu sebeple antrenman içeriği ve yüklenme düzeyi, bireyin gelişim temposuna göre kademeli ve bireyselleştirilmiş biçimde yapılandırılmalıdır (Lloyd et al., 2015). Çocuklarda direnç antrenmanının amaçlarını yalnızca kuvvet artışı sınırlamamaktadır. Çocuklarda kuvvet gelişimi; temel hareket becerileri, sağlık göstergeleri ve genel fiziksel uygunluk ile ele alınmalıdır. Birçok araştırma bulguları, uygun biçimde tasarlanmış programların çocuk ve ergenlerde kuvvetin yanı sıra sıçrama ve sprint performansı ile genel fiziksel uygunluk üzerinde anlamlı iyileşmeler sağlayabildiğini göstermektedir (Lesinski et al., 2016; Lesinski et al., 2020).

Biyolojik Olgunlaşma Değerlendirilmesi

Biyolojik olgunlaşmanın doğrudan ölçümü her koşulda uygulanabilir değildir. Bu nedenle somatik olgunlaşma göstergelerinin izlenmesi ve büyüme atağına yakınlığın belirlenmesi, programlamada pratik bir yaklaşım sunmaktadır. Zirve Boy Uzama Hızı (ZBUH/PHV) çevresi bu açıdan kritik bir dönemdir. Bu dönemde hızlı morfolojik değişimler görülmekte ve koordinasyon ve hareket kontrolünde geçici dalgalanmalar ortaya çıkabilmektedir. Dolayısıyla çocuklarda yüklenme ve teknik yönetimi daha dikkatli planlanmalıdır (Malina et al., 2015).

Bu süreçte kronolojik yaşa dayalı sınıflandırma çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Olgunlaşma benzerliğine göre gruplamayı esas alan biyobantlama (**bio-banding**) yaklaşımı, özellikle pubertal dönemde antrenman yüklerinin daha adil ve daha güvenli dağıtılmasına katkı sağlayabilecek tamamlayıcı bir strateji olarak önerilmektedir (Malina et al., 2015).

Yaş/Olgunlaşmaya Göre Program Hedefleri

a) Puberte Öncesi (ZBUH Öncesi)

Bu dönemde öncelikli hedef, hareket kalitesini ve nöromüsküler altyapıyı geliştirmektir. Uygulamalar vücut ağırlığı ve düşük–orta direnç düzeyleriyle yapılandırılmalıdır. Çok eklemlili temel hareket kalıplarının doğru öğretimi merkeze alınmalıdır. Oyun temelli ve yaşa uygun pedagojik yöntemler tercih

edilmelidir. Güvenli ve sürdürülebilir uygulama için nitelikli süpervizyonun kritik olduğu vurgulanmaktadır (Faigenbaum et al., 2009).

b) Puberte Dönemi (ZBUH Çevresi)

Büyüme atağı döneminde kuvvet gelişimi devam eder. Bununla birlikte yük artış hızı daha yakından izlenmeli ve sınırlandırılmalıdır. Egzersiz seçimi ve karmaşıklığı kademeli biçimde ilerletilmelidir. Bu evrede programın odağında teknik standardizasyon yer alır. Özellikle iniş mekaniği, gövde kontrolü ve eklem hareket aralığının güvenli yönetimi kritik önemdedir. ZBUH çevresinde kuvvet/güç ve koordinasyon göstergelerinde dalgalanmalar görülebileceğine dair bulgular, planlamada kalite odaklı ve temkinli ilerlemeyi desteklemektedir (Retzepis et al., 2025).

c) Puberte Sonrası (ZBUH Sonrası)

Teknik temeli yerleşmiş ve antrenman yaşı yeterli olan adölesanlarda, performans odaklı kuvvet ve güç programlarına daha sistematik biçimde geçiş yapılabilir. Bu dönemde çok eklemli serbest ağırlık uygulamalarının program içindeki payı artırılabilir. Spora özgü periodizasyonun daha belirgin şekilde yapılandırılabilir. Yardımcı antrenman bileşenleri (tamamlayıcı kuvvet, denge/çekirdek, mobilite) planlı biçimde entegre edilebilir. Uygun süpervizyon ve kademeli progresyon sağlandığında, serbest ağırlıkla direnç antrenmanının olumlu adaptasyonları desteklediği bildirilmektedir (McQuilliam et al., 2020; Lesinski et al., 2016).

Direnç Antrenmanı Uygulamada Güvenlik Uygulamaları

Direnç antrenmanının büyümeyi olumsuz etkilediği yönündeki görüş, literatürde sıklıkla tekrar edilmesine karşın güncel kanıtlarla desteklenmemektedir. Klinik ve kurumsal rehberler, uygun teknik öğretimi sağlanan programların çocuk ve ergenlerde güvenli biçimde uygulanabileceğini belirtmektedir. Yük seçiminin yaşa ve biyolojik olgunlaşma düzeyine göre yapılması temel ilkedir. Güvenli uygulama için nitelikli süpervizyon zorunlu bir bileşendir. Rehberler, olası risk artışının çoğunlukla yanlış teknik ve yetersiz gözetim koşullarında ortaya çıktığını vurgular (Stricker et al., 2020; Faigenbaum et al., 2009).

Meta-analitik bulgular, kuvvet kazanımı potansiyelinin yaş ve olgunlaşma ilerledikçe genel olarak arttığını göstermektedir. Bununla birlikte pubertal dönemde kazanımların yalnızca biyolojik süreçlerle “kendiliğinden” artacağı varsayımı yeterli değildir. Programın süresi, toplam hacmi ve uygulama kalitesi, elde edilen sonuçların büyüklüğünü belirleyen başlıca etmenlerdir (Behringer et al., 2010).

Çocuklarda Risk Yönetimi: Büyüme Kıkırdığı, Yaralanma Önleme ve Süpervizyon

Büyüme çağındaki sporcularda risk yönetimi; büyüme kıkırdığının biyolojik duyarlılığının anlaşılmasını, yüklenmenin planlı biçimde düzenlenmesini ve nitelikli süpervizyonun sürekliliğini gerektirir. Büyüme kıkırdığı; uzun kemik uçlarındaki büyüme plaklarında, eklem yüzlerini örten artiküler kıkırdakta ve tendonların kemiğe tutunduğu apofiz bölgelerinde yer almaktadır. Bu dokular “ön-kemik” niteliği nedeniyle bazı mekanik stres türlerine daha duyarlı olabilmektedir. Özellikle tekrarlayıcı mikrotravma, aşırı kullanım sorunlarına zemin hazırlayabilmekte, bununla birlikte akademik çalışmalar, uygun biçimde tasarlanmış ve denetlenen programlarda riskin yönetilebilir olduğunu göstermektedir. Olumsuz örnekler çoğu zaman yanlış teknik, maksimal yüklenmeye erken yönelim ve yetersiz yetişkin gözetimi ile ilişkilidir. Prospektif genç direnç antrenmanı çalışmalarında büyüme kıkırdığı yaralanmasının raporlanmaması ve büyüme/olgunlaşmanın olumsuz etkilendiğine dair kanıt bulunmaması, güvenlik değerlendirmesini desteklemektedir (Faigenbaum, 2009).

Okul ve kulüp düzeyinde amaç yalnızca spora katılımı artırmak değildir. Asıl hedef, yüklenme–hata–denetim ilişkisinin sistematik biçimde yönetilmesidir. Aşırı hacim ve yetersiz toparlanma, yaralanma riskini artırabilmektedir. Performans düşüşü ve psikolojik tükenmişlik açısından da olumsuz bir zemin oluşturur. Bu nedenle genç sporcularda çoklu spor katılımı desteklenmelidir. Tek bir sporda yıl boyu yoğunlaşma sınırlandırılmalıdır. Okul–kulüp–bireysel antrenmanlar arasındaki toplam yük koordine biçimde izlenmelidir (Lloyd et al., 2016). Benzer biçimde Amerikan Pediatri Akademisi’nin klinik raporu, aşırı kullanım yaralanmaları ve overtraining riskine odaklanır. Yük–toparlanma dengesinin korunmasını temel ilke olarak tanımlamaktadır. Ani yük artışlarından kaçınmayı ve planlı dinlenme aralıklarını özellikle vurgulamaktadır. Erken uyarı belirtilerinin ciddiye alınması da raporun temel mesajları arasındadır (Brenner & Watson, 2024).

Büyüme atağı dönemleri, risk yönetiminde ayrı bir hassasiyet gerektirir. Hızlı morfolojik değişimler motor kontrol ve koordinasyonda geçici dalgalanmalara yol açabilir. Bu nedenle yükler ve antrenman uyarıları uyarlanmalıdır. Teknik standardın korunması öncelik olmalıdır (Lloyd et al., 2016). Bu aşamada süpervizyon belirleyici bir bileşenleri

- ✓ Nitelikli gözetim, teknik öğretimini güvence altına alması,
- ✓ Uygun ekipman seçimini ve güvenli çevre düzenlemesini desteklemesi
- ✓ Progresyonun akılcı yönetilmesini sağlamasıdır.

Çocuk ve ergenlerde direnç antrenmanının yetkin yetişkinler tarafından yürütülmesi bu nedenle kritik görülmektedir. Programın bireyin fiziksel ve psikososyal özelliklerine göre uyarlanması da aynı derecede önemlidir (Faigenbaum, 2009). Okul/kulüp uygulamalarında risk yönetimi, uygulanabilir kurallarla standartlaştırılabilir.

- a) Risk Yönetiminde İlk hedef, hareket kalitesinin önceliklendirilmesidir.
- b) Teknik bozulduğunda yük veya tekrar azaltılmalıdır.
- c) Yorgunluk altında “zor tekrar” yaklaşımı yerine teknik tutarlılık korunmalıdır.

Bu yaklaşım büyüme atağı dönemlerinde daha da önem kazanır (Lloyd et al., 2016).

İkinci hedef, aşırı kullanım riskini azaltan yük yönetimidir.

Haftalık artışlar kademeli tutulmalıdır.

Toparlanma pencereleri korunmalıdır.

Yıl boyu kesintisiz yoğunlaşmayı önleyecek dinlenme aralıkları planlanmalıdır (Brenner & Watson, 2024; Lloyd et al., 2016).

Üçüncü hedef, süpervizyon standardının her antrenmanda işletilmesidir. Nitelikli gözetmen, güvenli ortam ve dinamik ısınma temel bileşenlerdir.

- a) Doğru teknik önceliği ve kademeli ilerleme ilkeleri uygulamanın merkezinde olmalıdır
- b) Denetimsiz ekipman kullanımının risk oluşturabileceği bilgisi aile bilgilendirmesine dâhil edilmelidir (Faigenbaum, 2009).

Dördüncü hedef, kanıta dayalı sakatlık önleme ısınmalarının rutinleştirilmesidir. “FIFA 11+ Kids” gibi yapılandırılmış ısınma programlarının çocuk futbolunda yaralanma riskini azaltabildiği bildirilmektedir (Al Attar et al., 2023; Rössler et al., 2018).

Son hedef ise, erken uyarı ve raporlama kültürünün yerleştirilmesidir.

- a) “Ağrıyla oynamak normaldir” yaklaşımı benimsenmemelidir.
- b) Süreğen ağrı, şişlik, topallama, performans düşüşü, uyku bozulması ve belirgin yorgunluk durumlarında antrenman modifiye edilmelidir.
- c) Gerekğinde tıbbi değerlendirme süreci işletilmelidir (Brenner & Watson, 2024).

Takip sürecinde, basit bir haftalık kayıt formu ile standartlaştırılabilir. Hazırlanan form antrenman gün sayısını, birikmiş yorgunluğu, ağrı

bölgelerini ve uyku/toparlanma göstergelerini içermelidir (Lloyd et al., 2016).

Sonuç

Sonuç olarak çocukluk ve ergenlik dönemi, kas-iskelet sisteminin büyüme-gelişim ve olgunlaşma süreçlerinin çok yönlü olarak arttığı ve genetik potansiyel, biyolojik olgunlaşma, nöromüsküler gelişim ve fiziksel aktivite örüntülerinin etkileşimiyle şekillendiği kritik bir evreyi oluşturmaktadır. Bu dönemde kazandırılan güvenli, sistemli ve sürekliliği olan fiziksel aktivite alışkanlıkları; motor yeterliliğin gelişmesine, kas-kemik bütünlüğünün güçlenmesine ve yaşam boyu fiziksel işlevin korunmasına katkı sağlayan temel bir mekanizma sunmaktadır.

Olgunlaşma sürecinin yalnızca kasın kuvvet üretim kapasitesini, kas-tendon ünitesinin mekanik özelliklerini, tendon boyutları ve sertliğindeki artışı ve kuvvetin kemiğe aktarım verimliliğinin ve hareket etkinliğinin değiştirebildiği görülmektedir. Buna paralel olarak kas gelişimindeki düzenlenmeler, özellikle yüksek hız ve gerilme-kısalma döngüsü ağırlıklı görevlerde performans çıktılarının biçimlenmesinde belirleyici bir biyomekanik arka plan oluşturmaktadır. Bu nedenle büyüme ataklarıyla ilişkili dönemlerde performans göstergelerindeki dalgalanmalar ve doku toleransındaki değişimler birlikte izlenmelidir.

Direnç antrenmanına bağlı adaptasyonların olgunlaşma düzeyine duyarlı olduğu; puberte öncesinde kazanımların daha çok motor öğrenme, koordinasyon ve sinirsel uyum üzerinden; puberte sonrasında ise yapısal ve hormonal etkilerin belirginleşmesiyle hipertrofik ve mekanik katkılar üzerinden ilerlediği görülmektedir. Bu gerçeklik, erken yaşlarda hareket kalitesi ve teknik temelin inşasını merkeze alan, adolesan dönemde ise kademeli ve iyi denetlenen yüklenme yaklaşımını öne çıkaran bir programlamayı gerektirmektedir. Süreç boyunca teknik öncelik, aşamalı ilerleme, yeterli toparlanma ve nitelikli gözetim ilkeleri uygulamanın güvenliğini ve sürdürülebilirliğini belirleyen temel unsurlar olarak değerlendirilmelidir.

Kemik sağlığı açısından ise yalnız mineral ölçütlerine odaklanan dar bir bakışın yeterli değildir. Kas boyutu ve kuvveti, vücut ağırlığı ve fiziksel aktivite ile gelişen mekanik yüklenmenin, büyüme ve olgunlaşma dinamikleriyle birlikte ele alınmasının gerekli olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla klinik ve eğitimsel uygulamalarda, bölgeye özgü yüklenme gereksinimlerini ve kas-kemik biriminin fonksiyonel bütünlüğünü ele alan ve güvenli fiziksel aktivite ve direnç egzersizi bileşenlerini birlikte sunan yeni yaklaşımlar ön planda tutulmalıdır.

Kaynaklar

- Al Attar, W. S. A., et al. (2023). The FIFA 11+ Kids injury prevention program reduces overall injury rates in children playing soccer more than the usual warm-ups. *Sports Health*.
- American Academy of Pediatrics. (2024). Preventing overuse injuries in young athletes: AAP policy explained. *HealthyChildren.org*.
- Baptista, F., Barrigas, C., Vicira, F., Santa-Clara, H., Homens, P. M., Fragoso, I., & Sardinha, L. B. (2012). The role of lean body mass and physical activity in bone health in children. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 30(1), 100–108.
- Behringer, M., vom Heede, A., Yue, Z., & Mester, J. (2010). Effects of resistance training in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatrics*, 126(5), e1199–e1210.
- Brenner, J. S., & Watson, A. (2024). Overuse injuries, overtraining, and burnout in young athletes. *Pediatrics*, 153(2), e2023065129.
- Brown, K. A., Patel, D. R., & Darmawan, D. (2017). Participation in sports in relation to adolescent growth and development. *Translational Pediatrics*, 6(3), 150.
- Faienza, M. F., Urbano, F., Chiarito, M., Lassandro, G., & Giordano, P. (2023). Musculoskeletal health in children and adolescents. *Frontiers in Pediatrics*, 11, 1226524.
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., & Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: Updated position statement paper from the National Strength and Conditioning Association. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, S60–S79.
- Gönç, E. N., Özön, Z. A., Alikashiçoğlu, A., & Kandemir, N. (2015). Çocuklarda büyümenin değerlendirilmesi ve boy kısalığında tanısall yaklaşım. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 58.
- Granacher, U., Puta, C., Gabriel, H. H. W., Behm, D. G., & Arampatzis, A. (2018). Strength training in young athletes. *Frontiers in Physiology*, 9, 1264. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01264>
- Haspolat, D. Y. K., Aktar, Y., & Yolbaş, D. D. İ. (2015). Adolesanda kemik sağlığı ve spor (ss. 222–241). Cinius Yayınları.
- Hekim, M. (2016). Çocuklarda beden eğitimi, spor ve oyun etkinliklerine katılımın kemik gelişimi üzerine etkilerinin değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(2), 66–71.
- Hekim, M., & Hekim, H. (2015). Çocuklarda kuvvet gelişimi ve kuvvet antrenmanlarına genel bakış. *Güncel Pediatri*, 13(2), 110–115.

- Kohrt, W. M., Bloomfield, S. A., Little, K. D., Nelson, M. E., & Yingling, V. R. (2004). Physical activity and bone health. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(11), 1985–1996.
- Lesinski, M., Herz, M., Schmelcher, A., & Granacher, U. (2020). Effects of resistance training on physical fitness in healthy children and adolescents: An umbrella review. *Sports Medicine*, 50(11), 1901–1928.
- Lesinski, M., Prieske, O., & Granacher, U. (2016). Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(13), 781–795.
- Lloyd, R. S., Cronin, J. B., Faigenbaum, A. D., Haff, G. G., Howard, R., Kraemer, W. J., & Oliver, J. L. (2016). National Strength and Conditioning Association position statement on long-term athletic development. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(6), 1491–1509.
- Lloyd, R. S., et al. (2014). Position statement on youth resistance training: The 2014 international consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 498–505.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., Croix, M. B. D. S., Williams, C. A., & Myer, G. D. (2015). Long-term athletic development—Part 1: A pathway for all youth. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1439–1450.
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., e Silva, M. J. C., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: Assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 852–859.
- McCambridge, T. M., et al. (2008). Strength training by children and adolescents. *Pediatrics*, 121(4), 835–840.
- McQuilliam, S. J., Clark, D. R., Erskine, R. M., & Brownlee, T. E. (2020). Free-weight resistance training in youth athletes: A narrative review. *Sports Medicine*, 50(9), 1567–1580.
- Muth, N. D., Bolling, C., Hannon, T., & Sharifi, M. (2024). The role of the pediatrician in the promotion of healthy, active living. *Pediatrics*, 153(3), e2023065480.
- Pekünlü, G. (2019). Çocuklar ve gençlerde direnç antrenmanı. *Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*, 11(1).
- Retzepis, N. O., Avloniti, A., Kokkotis, C., Stampoulis, T., Balampanos, D., Gkachtsou, A., & Chatzinikolaou, A. (2025). The effect of peak height velocity on strength and power development of young athletes: A scoping review. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 10(2), 168.
- Rössler, R., et al. (2018). A warm-up programme to prevent injuries in children's football ("11+ Kids"). *Sports Medicine*.

- Stricker, P. R., Faigenbaum, A. D., & McCambridge, T. M. (2020). Resistance training for children and adolescents. *Pediatrics*, 145(6), e20201011.
- Taşkın, G., & Özdemir, F. N. Ş. (2018). Çocuklarda egzersizin önemi. *Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 23(2), 131–141.
- Tumkur Anil Kumar, N., et al. (2021). The influence of growth, maturation and resistance training on muscle-tendon and neuromuscular adaptations in youth. *Sports*, 9(5), 59. <https://doi.org/10.3390/sports9050059>
- Wetzsteon, R. J., Zemel, B. S., Shults, J., Howard, K. M., Kibe, L. W., & Leonard, M. B. (2011). Mechanical loads and cortical bone geometry in healthy children and young adults. *Bone*, 48(5), 1103–1108.