



Çocuk sporcuların fizyolojik özellikleri

Physiological characteristics of child athletes

Nazan Ş. KOŞAR, ¹ Haydar A. DEMİREL ^{1,2}

Hacettepe Üniversitesi, ¹Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu,²Tıp Fakültesi Spor Hekimliği Anabilim Dalı

Çocuk sporcuların fizyolojik özellikleri, çocukluk ve ergenlik dönemi süresince değişkenlik gösteren büyüme ve gelişmeden bağımsız değerlendirilemez. Bu yazıda, büyüme ve gelişmeye paralel olarak aerobik ve anaerobik kapasite, kas kuvveti ve dayanıklılığında meydana gelen değişimler ve başta antrenman olmak üzere bu değişimleri etkileyen etmenler incelendi. Ayrıca, çocuklarda fiziksel aktivite, spora katılım ve antrenmanın büyüme ve gelişme üzerine etkileri değerlendirildi.

Physiological characteristics of child athletes cannot be examined independently from the changes that occur during growth and maturation. This article reviews changes occurring in aerobic and anaerobic capacities, muscle strength and endurance in parallel with growth and development, and the factors affecting these changes, in particular, training. In addition, a brief evaluation is presented concerning the effects of physical activity, participation in sports, and training on growth and maturation.

Çocukluk döneminin temel özelliklerden biri bu dönemde yaşanan büyüme ve gelişme sürecidir. Çocuk sporcuların fizyolojik özelliklerinin, büyüme ve gelişme dönemlerinden bağımsız incelenmesi yanıltıcı sonuçlara götürebilir. Çocukluk ve ergenlik döneminde değişkenlik gösteren büyüme ve gelişme özellikleri, çocuk sporcuların fizyolojik standartlarının oluşturulmasında, performans testleri sonuçlarının yorumlanmasında ve yetenek seçiminde dikkate alınmalıdır.

Somatik büyüme ile doku kitlesinde düzenli artış, vücut boyutlarında ve orantılarında ciddi değişikliklere neden olur. Büyümeye bağlı fiziksel değişiklikler zamanla çocuğun becerisini, egzersiz toleransını ve yaralanma potansiyelini etkileyebilir.^[1] Büyüyen organizmanın fizyolojik kapasitesini ve hareket mekanizmasını önemli düzeyde etkileyen bu değişiklikler nadiren doğrusal değişim gösterir.^[1] Büyümeye bağlı fiziksel kapasitede oluşan değişiklikler antrenmandan da önemli ölçüde etkilenir. Bu nedenle, büyüme ve antrenmanın performans parametreleri üzerine etkilerini ayırt etmek oldukça zordur.

Bu yazıda, çocuk sporcularda genel fizyolojik özellikler, spora katılım ve antrenmanın büyüme ve gelişme üzerine etkileri; aerobik ve anaerobik kapasite ile kas kuvveti ve dayanıklılığında büyüme ve gelişmeye paralel olarak oluşan değişimler ve bunları etkileyen faktörler ve fizyolojik özelliklerin antrenman ile nasıl modifiye edilebileceği değerlendirildi. Aerobik dayanıklılığı belirleyen, anaerobik eşik ve mekanik verimliliğe kısaca değinildi. Maksimal düzeyde oksijen tüketimindeki (MOT) değişimler ayrıntılı olarak incelendi. Maksimal oksijen tüketiminin belirleyicileri olan merkezi ve periferik etmenlerdeki değişim ve antrenmana bağlı gelişimler tartışıldı. Anaerobik güç ve kapasite, kas kuvveti ve dayanıklılığındaki gelişimler değerlendirildi. Kas kitlesi, kas lifi ve kasın metabolik özelliklerinin gelişimi ve vücut gelişiminin etkileri incelendi.

Çocuk sporcularda büyüme ve gelişme

Çocuklarda spor aktivitelerine katılımın büyüme ve gelişme üzerine etkileri geçmişten günümüze de-

ğın ilgi çeken bir konu olmuştur. Sportif başarı amacıyla spora başlama yaşının giderek küçülmesi nedeniyle, antrenman veya egzersizin kas, büyümeyi uyaran hormonlar ve henüz kapanmamış olan epifiz plakları üzerindeki etkilerine ilişkin tartışmalar güncelliğini korumaktadır. Yapılan çalışmaların büyük bir bölümü, antrenmanın boy uzunluğu ve vücut ağırlığı üzerindeki etkileri ile ilgilidir. Diğer vücut boyutları (oturma boyu, bi-iliyak genişlik, bi-akromiyal genişlik, bacak uzunluğu, bi-kondiller çap, ayak bileği genişliği, üst kol ve baldır çevre ölçümleri) üzerine çalışmalar sınırlı kalmıştır.^[2-6] Fiziksel aktivite, spora katılım ve antrenmanın menarş yaşı üzerine etkileri de sıklıkla araştırılan konulardandır.^[7-12]

Ergenlik, vücut yağ dokusunda ve yağsız vücut ağırlığında hızlı artış ve değişimle kendini gösterir.^[13] Elit düzeyde olmayan düzenli egzersizlerin büyümeyi olumsuz etkilemediği bildirilmiştir.^[3,4,11,14,15] Yarışmacı düzeyde yapılan egzersizlerin çocuklarda büyüme ve gelişme üzerine etkisi konusunda farklı görüşler bulunmaktadır. Cimnastik, bale ve paten gibi sporlarla yarışmacı düzeyde uğraşan çocuklarda büyüme hızının ve ergenlik gelişiminin olumsuz etkilenebileceği, ergenlik döneminde antrenman düzeyinin azaltılması gerektiği bildirilmiştir.^[10,15-21] Cimnastik yapan kız çocuklarının yaşitları ile karşılaştırıldığında menarş yaşının geciktiği; daha düşük yağ oranı, kısa boy ve düşük vücut ağırlığına sahip oldukları bildirilmiştir.^[10] Artistik cimnastikçilerde büyüme potansiyelinin ritmik cimnastikçilerden daha düşük olduğu belirtilmiştir.^[19] Yoğun cimnastik antrenmanı yapan kız çocuklarda gözlenen düşük IGF-1 (insulin-like growth factor-1)/kortizol oranı katabolik aktivitenin arttığını göstermektedir.^[22] Yoğun antrenman yapan çocuklarda gözlenen yüksek katabolik aktivite nedenlerinin aşırı yüklenme, yetersiz dinlenme ve/veya yetersiz enerji alımı olabileceği düşünülmektedir.^[22,23]

Yüzücü kız çocuklarında büyüme ve gelişimin normal olduğu^[24] ve yüzücülerin biyolojik yaşının, yaşitlarından daha yüksek olduğu bildirilmiştir.^[25] Tenis, yüzme, hentbol ve cimnastik yarışmalarına katılan 9-13 yaşlarındaki kız ve erkek çocuklarda boy uzunluğunu belirleyen en önemli etmenlerin genetik özellikler, spora katılmadan önceki vücut yapısı ve cinsel gelişim düzeyi olduğu; yapılan spor dalı ya da antrenman saatinin boy uzunluğuna bir etkisi olmadığı bildirilmiştir.^[26] Çocuklarda 2-4 yaşlarında görülen boy farkının, yarışmacı sporla ilgilendikleri bir dönemde, 9-13 yaşları arasında da görülüyor ol-

ması, sporcu seçiminde yapısal etmenlerin önem taşıdığını; ancak aynı zamanda sporun vücut yapısını olumsuz etkilemediğini de göstermektedir.^[26] Kürek, atletizm ve yüzme dallarında haftada 12 saat antrenman yapan kız çocuklarıyla yapılan bir çalışmada, boy uzama hızı ve menstrüasyonun başlama yaşının, spor yapmayanlardan daha yüksek olduğu; ancak bu farklılığın anlamlı olmadığı gösterilmiştir.^[12] Düzenli fiziksel aktivite, spora katılım ya da antrenmanın, ulaşılan boy uzunluğu, boy uzama hızının zamanı ve boy uzama hızını etkilemediği belirtilmiştir.^[15] Bu verilere dayanarak, çocukluk ve ergenlik döneminde yapılan yoğun dayanıklılık antrenmanlarının somatik büyüme ve cinsel olgunlaşma üzerinde anlamlı etkisi olmadığı söylenebilir.^[12,15,27]

Futbol, yüzme ve kürek gibi sporlarda erken olgunlaşma özellikle erkekler için; cimnastik, bale, dans gibi sporlarda geç olgunlaşma özellikle kız çocuklar için avantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle, spora bağlı seçimler yapılırken antrenmanın olgunlaşma üzerine etkileri de göz önüne alınmalıdır. Malina ve ark.^[28] elit düzeyde futbol oynayan çocuklar arasında, geç olgunlaşan çocuk sayısının kronolojik yaşla birlikte azaldığını belirlemişlerdir. Erken ve geç olgunlaşma oranının 11-12 yaş grubunda eşit olduğu (%21), 13-14 yaş grubunda geç olgunlaşanların oranının %7'ye düştüğü, erken olgunlaşanların oranının %38'e yükseldiği görülmüştür. Geç ve erken olgunlaşanların oranı, 15-16 yaş grubunda sırasıyla %2 ve %65 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma bulgularından, futbolda artan kronolojik yaş ve branşlaşma ile birlikte geç olgunlaşan çocukların sistematik olarak elendiği sonucu çıkarılmıştır. Cimnastik, yüzme ve tenis sporlarına katılan kız çocuklarıyla yapılan başka bir çalışmada, çocuğun menarş yaşı ile spor branşı ve annenin menarş yaşı arasında anlamlı korelasyon gözlenmesi, yoğun antrenman yapan cimnastikçilerde menarştaki gecikmenin spora devamı desteklediğini düşündürmektedir.^[9]

Spor aktivitelerine katılımın büyüme ve gelişme üzerine etkileri konusunda farklı görüşler bildirilmiştir.^[15] Belirli bir dönem, fiziksel aktivite ve spora katılımın büyümeyi olumlu etkilediği düşünülmüştür. Ancak, bu çalışmalarda, deneklerin sporun gerektirdiği özellikleri taşıyanlar arasından seçilmesinin sonuçlar üzerinde etkili olup olmadığı ya da spora katılımın büyüme hızını etkileyip etkilemediği tam olarak anlaşılamamıştır. Beunen ve ark.^[4] beş yıl izledikleri ergenlik çağındaki erkeklerde, fiziksel

aktivitenin büyüme ve gelişme üzerine olumlu veya olumsuz etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Cacciarri ve ark.^[3,14] 10-16 yaş arasında futbol oynayan erkeklerde spor aktiviteleri ile hormonal düzeyler ve antropometrik boyutlardaki değişiklikler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu çalışmalarda, ergenlik öncesi aktif spor yapan çocuklarla kontrol grubu arasında büyüme indisleri yönünden farklılık olmadığı bulunmuştur. Ergenlik dönemindeki çocuklarda ise futbol oynayanların biyolojik açıdan (pubik kıl gelişimi, kemik yaşı, testis hacmi) daha gelişmiş oldukları belirtilmiştir.^[14] Ayrıca, testosteron, büyüme hormonu ve kortizol düzeyleri de futbol oynayanlarda daha yüksek bulunmuştur. Aynı araştırmacılar egzersiz yapan erkek çocuklarda adrenal hiperaktivitenin ergenliğe daha erken girmeye ve erken gelişime neden olabileceğini bildirmişlerdir. Bu bulgulardan, spor aktivitelerine katılımın fiziksel yapıyı tamamen değiştirmedeği, ancak erkek sporcularda ergenliğe girmeyi hızlandırdığı; dolayısıyla da erkeklerin genetik büyüme potansiyellerine normalden erken ulaşmalarına neden olduğu sonucu çıkarılmıştır.^[14]

Malina ve Bielicki^[11] aktif spor yapan 8-18 yaşlarındaki erkek ve kızları büyüme özellikleri yönünden izleyerek, spor yapmayan çocuklarla karşılaştırmışlardır. Aktif spor yapan erkeklerin genellikle daha uzun boylu ve ağır olduğunu; bu farkın ergenlik dönemindeki hızlı büyüme sırasında (13-16 yaşları arasında) belirginlik kazandığını bildirmişlerdir. Aktif spor yapan erkeklerde bi-akromiyal çapın daha fazla olduğu gözlenirken, bi-kristal çapın farklı olmadığı ve bu nedenle bi-akromiyal/bi-kristal çap oranının daha yüksek olduğu bulunmuştur.^[11] Aynı araştırmacılar tarafından kronolojik yaş ile iskelet yaşının 10-12 yaşları arasında farklılık göstermediği; ancak ergenlik döneminde iskelet yaşının kronolojik yaşı geçtiği, bir başka deyişle, aktif çocuklarda gelişimin daha erken gerçekleştiği bildirilmiştir. Aktif spor yapan 8-18 yaşları arasındaki kız çocuklar, aktif spor yapmayanlara göre daha ağır ve uzundur. Bu farklılık geç ergenlik döneminde artmaktadır. Bi-akromiyal ve bi-kristal çap bakımından aktif olanlarla olmayanlar arasında fark bulunmamıştır.^[11] Aktif spor yapan kız çocuklarda, iskelet yaşı ve kronolojik yaş arasında farklılık görülmemiştir. Cinsiyet özelliklerinin kazanılmasının zamanlaması yönünden de aktif olanlar ve olmayanlar arasında fark bulunmamıştır.^[11] Bu çalışmanın sonuçları, düzenli antrenmana katılımın boy uzunluğu, iskelet ve fiziksel yapı, cinsiyet özellikleri, somatik

gelişimin zamanlaması ve devamlılığını büyük ölçüde etkilemediğini göstermektedir.

Avlonitou^[29] ergenlik öncesi dönemdeki yüzücü erkek ve kızların vücut boyutlarını yüzme branşlarına göre incelemiş ve yüzme gruplarının fiziksel yapılarının erken yaşlarda bile farklılık gösterdiğini bildirmiştir. Sprint grubunda iki cinsiyette de daha uzun kol ve bacak uzunluğu, kız çocuklarda kelebek grubunda en kısa kol ve bacak uzunluğu ölçülmüştür. Bununla birlikte, çalışmada fiziksel özellikleri uygun olanların mı ilgili branşı seçtiği, yoksa yüzme branşının mı çocukların fiziksel özelliklerini etkilediği açık değildir.

Şu ana kadar elde edilen bulgular, düzenli fiziksel aktivite, spora katılım ve antrenmanın boy uzunluğunu, en fazla boy uzama hızına ulaşma zamanını ve cinsiyet özelliklerinin gelişimini etkilemediğini göstermektedir.^[8,30] Bununla birlikte, spor dalı ve cinsiyete bağlı değişiklikler gözlenebilmektedir. Beyzbol, futbol ve basketbol oynayan ve yüzen erkek çocuklarda ileri düzeyde iskelet gelişimi görülürken,^[2,8,29] atletizm, cimnastik ve bale yapan kız çocuklarda iskelet gelişiminde gecikme söz konusudur.^[10,18,19]

Son yıllarda, prematüre doğan çocuklardaki fizyolojik özellikler de ilgi çeken bir konudur. Prematüre doğan çocuklarda egzersiz performansının daha düşük olduğu bildirilmiştir.^[16,17,31-33] Prematüre doğmuş, düşük baş çevresi ölçümüne sahip 6-12 yaşları arasındaki çocuklar; prematüre doğmuş, aynı yaş grubundaki normal baş çevresine sahip çocuklar ve normal kontrol grubundakilere göre Wingate testinde daha düşük tepe kuvveti ve mekanik iş ortaya koymuşlardır.^[33] Aynı çalışma grubunda, yağsız vücut kütlesi göz önüne alınarak yapılan değerlendirmelerde farklılık görülmemiştir.^[33] Düşük baş çevresine sahip prematüre doğmuş çocukların, diğer gruplardaki çocuklara göre bisiklet egzersiz testinde, özellikle daha hızlı gerçekleştirilen iş yüklerinde daha fazla oksijen tüketmeleri, nöral kontrolün yol açtığı kas içi ve kaslar arası koordinasyonda bozukluğun belirtisi olarak değerlendirilmiştir.^[33]

Büyüme ve gelişme döneminde yapılan sportif antrenmanın iskelet gelişimi veya boy uzunluğu artışını hızlandırdığı ya da engellediği yönünde yeterli veri yoktur.^[2,8] Antrenmanlı ve antrenmansız olguları karşılaştırarak egzersizin büyüme ve gelişim üzerine etkilerinin incelendiği çalışma sonuçlarının yorumlanmasındaki sorun, olguların seçimiyle ilgili

dir. Sporcular, genellikle becerileri, performans düzeyleri ve özellikle bazı sporlarda vücut yapısı dikkate alınarak ilgili branşa seçilmektedir. Bu nedenle, egzersizin büyüme ve gelişim üzerine etkilerinin incelenmesinde en iyi yöntem, fiziksel aktivite düzeyleri farklı olan tek yumurta ikizleriyle çalışmalar yapılmasıdır.^[2] Beslenme bozukluğu ya da enerji yetersizliği gelişimi etkilediği için^[13] bu tür çalışmalarda çocukların beslenme özelliklerinin de incelenmesinin gerekli olduğu bildirilmiştir.^[6] Çalışmalarda farklı grupların kullanılması; antrenmanların şiddet, süre ve sıklık yönünden çeşitlilik göstermesi; verilerin farklı ifade edilmesi (iskelet yaşı, kronolojik yaş, tepe boy uzama dönemi, vb.); büyüme ve gelişimden kaynaklanan değişimlerle antrenmandan kaynaklanan değişimlerin ayırt edilmesindeki zorluklar nedeniyle bu konuda daha fazla kontrollü çalışmaya gereksinim duyulduğu anlaşılmaktadır.

Çocuk sporcularda aerobik dayanıklılık ve maksimal oksijen tüketimi

Aerobik dayanıklılık, aerobik enerji üretimine bağlı ortaya çıkan bir kondisyon özelliğidir. Aerobik dayanıklılığı belirleyen üç ana etmen, mekanik verimlilik, anaerobik eşik ve maksimal aerobik güçtür (maksimal oksijen tüketimi).

Mekanik verimlilik, yapılan iş miktarının harcanan enerji miktarına oranı ile ifade edilir. Aynı düzeyde MOT'ye sahip iki sporcudan, belirli bir egzersizi daha düşük oksijen tüketimi ile gerçekleştiren sporcunun performansının daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bunun bir nedeni, bu kişinin mekanik verimliliğinin daha yüksek olmasıdır.^[34] Belirli hızdaki aktiviteler için çocukların oksijen tüketim düzeyinin yetişkinlere oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.^[35-37] Yüz otuz dört çocukta farklı hızlarda gerçekleştirilen koşu bandı testinde, herhangi bir koşu hızında, yaş ne kadar küçükse oksijen tüketiminin o kadar fazla olduğu gösterilmiştir.^[35] Hızı saatte 5.6 km olan basit bir yürüme testinde çocukların ergenlik dönemindeki olgulardan, onların da yetişkinlerden daha fazla oksijen tükettiği saptanmıştır.^[35] Çocuklarda düşük mekanik verimliliğin nedenleri, uyuk ve baldır bölgesi antagonist kaslarında yüksek düzeyde ko-kontraksiyon gerçekleşmesi^[36] ve yüksek mekanik güç çıktısı^[37] olarak belirlenmiştir. Kol ve bacakların kısa olması nedeniyle gereken adım uzunluğu ve frekansını sağlayamayan çocuklarda, koşu performansı olumsuz etkilenerek düşük verim-

liliğe neden olmaktadır.^[38] Çocuklarda yaşla birlikte submaksimal düzeyde tüketilen oksijen miktarındaki azalma, mekanik verimliliğin arttığına işaret etmektedir.^[39] Koşu performansındaki gelişmelere paralel olarak, mekanik verimlilikte de artış gözlenmesi, koşu mekaniğinin gelişmesi ve vücut kütleindeki artışla ilişkilendirilmektedir.^[39]

Aerobik dayanıklılığın ikinci bileşeni anaerobik eşik ya da aerobik kapasitedir. Maksimal oksijen tüketimi ve mekanik verimliliği birbirine yakın değerlerde olan sporcular farklı aerobik dayanıklılık performansı sergileyebilirler. Bu farklılık motivasyon veya anaerobik kapasite ile açıklanamaz. Leger^[34] MOT'nin herhangi bir yüzdesinde gösterilen dayanıklılık süresinin büyüme sırasında sabit kaldığını, çocuklarda ve yetişkinlerde benzerlik gösterdiğini belirtmiştir. Yeterli süre, şiddet ve sıklıkta yapılan dayanıklılık antrenmanı ile çocuklarda anaerobik eşik düzeyinin %19.4-22 oranında arttığı bildirilmiştir.^[40,41]

Aerobik dayanıklılığın üçüncü bileşeni MOT'dir. Maksimal oksijen tüketimi ya da aerobik güç, aerobik koşullarda devam ettirilebilen en yüksek egzersiz düzeyinde tüketilen oksijen miktarıdır. Maksimal oksijen tüketimini belirleyen etmenler, merkezi ve periferik olmak üzere sınıflandırılır. Merkezi etmenler, kardiyak debi, kalp atım hacmi ve en yüksek kalp atım hızı; periferik etmenler, kas lifi tipi, kas kitlesi, kılcal damar yoğunluğu, mitokondri sayısı, büyüklüğü, aerobik enerji sisteminde rol oynayan enzimlerin aktivite düzeyi, yakıt kullanımı ve kanın oksijen taşıma kapasitesini içerir. Çocuklarda vücut boyutundaki değişiklikler ve biyolojik gelişme, bu etmenleri ve dolayısıyla MOT'yi etkilemektedir.

Çocuklarda, mutlak (absolute) MOT değerleri iki cinsiyette de yaşla birlikte artar.^[39] Mutlak MOT değerlerinde 9.5-13 yaşları arasında gözlenen hafif artış, ergenlik döneminde (ort. 13 yaş) hızlanır ve yaklaşık 14 yaşında tepe noktasına ulaşır.^[39] Mutlak MOT'deki artış eğrisi, boy ve vücut ağırlığındaki artışla benzerlik gösterir. Büyüme sırasında, görece (relative) MOT değerleri erkeklerde sabit kalırken, kızlarda düşüş gösterir.^[39] Bununla birlikte, MOT'den bağımsız olarak, her yaşta önemli düzeyde bireysel farklılıklar görülür.^[42] Genellikle MOT standart sapma değerleri ortalama değerlerin %15'ine ulaşmaktadır. Bu durum, bazı çocuklarda yaş ve cinsiyete özgü ortalamalardan ve MOT'deki büyüme tarzından sapma görülebileceği anlamına

gelmektedir. Genellikle, erkeklerin ortalama MOT değerleri yüksek olduğu halde bazen kızların lehine sonuçlar da elde edilmektedir.^[42]

Her yaşta erkeklerin ortalama MOT değerleri kızlardan daha yüksektir.^[43] Kızların MOT değerleri, 10-12 yaşlarından önce erkeklerin MOT değerinin %85-90'ına ulaşmaktadır. Ergenlik dönemindeki hızlı büyüme ve biyolojik olgunlaşmadan sonra kızların MOT değerleri erkeklerin yaklaşık %70-80'ine ulaşmaktadır.^[43] Bunun nedeni, erkeklerde 16 yaşına kadar doğrusal artış gösteren MOT değerlerinin kızlarda 13 yaşından sonra ergenlik dönemi boyunca bir plato çizmesidir.^[43] Nitekim, 8-16 yaşları arasında 2540 kız ve erkek çocuğun fiziksel çalışma kapasitesinin PWC170 testi ile yedi yıl boyunca altı kez değerlendirildiği bir çalışmada, kız çocukların mutlak PWC170 performanslarının ergenliğin başlangıcında platoya ulaştığı; erkeklerin değerlerinin her yıl artmaya devam ettiği; görece PWC170 değerlerinin kızlarda hafif düşüş gösterdiği; erkeklerde sabit kaldığı görülmüştür.^[44] Daha önce yaptığımız bir çalışmada, aerobik dayanıklılığın belirlenmesinde kullanılan bir saha testi olan 24x20 m performansında 7-11 yaşları arasında iki cinsiyette de yaşla beraber artış görülmüş ve erkeklerin dayanıklılık performansının her yaşta kızlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 1).^[45] Ayrıca, erkek ve kızlar arasındaki farklılığın yaşla beraber arttığı gözlemlenmiştir.

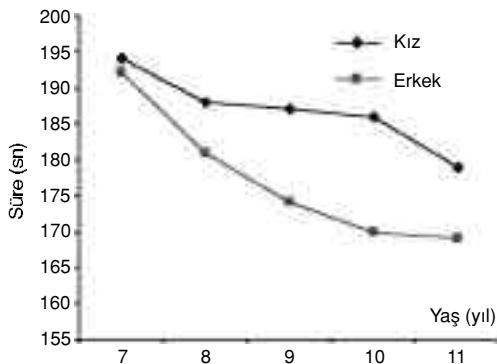
Çocuklarda farklı gelişim evrelerinde MOT uyumunun belirlenmesi amacıyla, Falk ve Bar-Or^[46] ergenlik öncesi, ergenlik ve sonrası dönemlerindeki çocuklarda MOT değişimini 18 ay süreyle izlemişler; ilk ölçüm ile son ölçüm arasında mutlak değerlerde 0.96, görece değerlerde 0.76 korelasyon belirlenmiştir. Bu bulgu, aerobik güç devamlılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Maksimum oksijen

tüketiminin %80'inin genetik olarak belirlendiği düşünülürse,^[47] çocukken MOT'si yüksek olan bireylerin yetişkin dönemde de yüksek değerlere sahip olmaları beklenebilir.

Çocuklarda maksimal aerobik güç, vücut boyutu, cinsel olgunlaşma düzeyi ve cinsiyetle ilişkilidir.^[39,48-54] Ancak, büyümekte olan bireylerde, bu üç etmen kontrol edildiğinde bile aerobik güçte önemli düzeyde farklılık gözlenmektedir. Bu farklılık, yapısal, fizyolojik ve biyolojik farklılıklarla ilişkilidir.

Cinsiyet özelliklerinin kazanılmasının MOT üzerine etkileri, kız ve erkekler arasında farklılık gösterebilir;^[54] aynı cinsiyet özelliklerine sahip çocuklarda MOT ile vücut boyutu arasındaki ilişki de farklıdır.^[51] Beunen ve ark.^[51] cinsiyet özelliklerinin kazanılması ile vücut boyutu ve MOT arasındaki ilişkiyi inceledikleri bir çalışmada, cinsiyet özellikleri aynı erkeklerde MOT'nin vücut boyutu ile yüksek korelasyon ($r>0.90$) gösterdiğini, kızlarda göstermediğini ($r<0.70$) bildirmişlerdir. Rowland ve ark.^[50] beş yıllık bir çalışmada, görece MOT'nin (MOT/vücut ağırlığı) erkeklerde arttığını, kızlarda artmadığını belirlemişlerdir. Maksimal oksijen tüketiminin yağsız vücut kütlelerine oranında da cinsiyetler arasında farklılıklar olduğu saptanmıştır.^[50] Vücut kompozisyonu dışındaki etmenlerin MOT'yi etkilediği ileri sürülmüştür.^[50] Kronolojik yaş, iskelet yaşı, boy uzunluğu ve vücut ağırlığı arasındaki ilişkiler, 8-11 yaşları arasında iskelet yaşının submaksimal ve maksimal çalışma kapasitesi üzerine katkısının belirlenmesini zorlaştırmaktadır.^[50] İskelet gelişimi yönünden ileri olan erkek çocuklar, vücut yapılarının büyük olmasının yanı sıra mutlak olarak daha büyük kalp hacmine ve maksimal aerobik güce sahiptir.^[50] Vücut boyutu, kalp hacmi ve kalp atım hacminin, dolayısıyla da aerobik güç ve kapasitenin önemli bir belirleyicisidir.^[50] Bu nedenle, iskelet yaşının çalışma kapasitesi üzerine özgül katkısını belirlemek çocuklukta ve ergenlikte son derece güçtür.

Maksimal aerobik güç, çocuklarda genellikle maksimal egzersiz kalp atım hızına (KAH) ulaşılmaması ölçüt alınarak değerlendirilir. Çocuklarda maksimal egzersiz KAH'ı dakikada yaklaşık 200-215 atım, standart sapma ise 10-15 atım olarak gözlenmektedir. Maksimal egzersiz KAH'ı ergenlikten yetişkinlik dönemine kadar yaşla birlikte azalır. Geç ergenlik döneminde dakikada yaklaşık 190-195 atıma ulaşır. Yetişkinlerle karşılaştırıldığında, belirli



Şekil 1. Kız ve erkek çocuklarda 24x20 m değerleri.

bir oksijen tüketimi düzeyinde, çocuklarda kardiyak debisi ve kalp atım hacmi daha düşük, arterio-venöz oksijen farkı ve kalp atım hızı daha yüksektir.^[55,56] Hemodinamik yanıtlarda gözlenen yaşa bağlı farklılıklar dinlenme koşullarında da gözlenmektedir.^[56] Büyüme sırasında kalp büyüklüğü, vücut kütlesiyle orantılı olarak artar. Mutlak kalp büyüklüğü, çocuklarda ve gençlerde MOT ile yüksek korelasyon gösterir.^[42] Benzer bir ilişki MOT ile toplam hemoglobin miktarı ve kan hacmi arasında da vardır. Maksimal oksijen tüketimi ayrıca maksimal kalp atım hacmi ve maksimal kardiyak debinin bir fonksiyonudur.^[42] Bu nedenle, büyüme sırasında MOT, vücut kütlesindeki ve oksijen taşıma kapasitesindeki yükselmeye bağlı olarak artar.^[42]

Normal, sağlıklı çocuklarda pulmoner fonksiyonlar MOT'yi sınırlayıcı etmenler değildir. Maksimal egzersiz ventilasyonu yaşla artar ve 8 yaş ile olgunlaşma arasındaki dönemde dakikada 50 L'den 100 L'ye ulaşır. Çocuklarda aynı düzeydeki pulmoner ventilasyon için, yetişkinlere oranla daha yüksek solunum frekansı ve daha düşük solunum hacmi vardır.^[42]

Maksimal aerobik gücü etkileyen oksijen taşıma sistemine bağlı merkezi etmenlerin yanı sıra ATP yenilenmesi için kandan oksijeni alma kapasitesi ve çalışan kasın yakıt kullanımı da potansiyel belirleyici etmenlerdir. Çocuklarda kandan oksijeni alma kapasitesinin daha yüksek olduğu ve ergenlik döneminde genç yetişkinlerle aynı düzeye ulaştığı bildirilmiştir.^[42] Böylece, maksimal iş yükünde arterio-venöz oksijen farkı yaşla birlikte hafif azalma gösterir.

Büyüme sırasında aerobik egzersizde yakıt kullanımı ile ilgili veriler sınırlıdır.^[57-59] Maksimal oksijen tüketimi ölçümlerinde, çocuklarda kas ve kan laktat konsantrasyonlarının düşük olduğu belirlenmiştir.^[59] Çocuklar, aerobik sistemlerini yetişkinlerden daha hızlı yüksek düzeye çıkarabilmeleri nedeniyle, orta şiddetli aerobik aktivitelere yetişkinlerden daha kolay uyum sağlarlar.^[42] Egzersizin başlangıcından sonra, MOT'nin %50'sine ulaşma süresinin çocuklarda yetişkinlere oranla daha kısa olduğu belirtilmiştir.^[42] Bu nedenle, maksimal aerobik egzersizin enerji gereksiniminin karşılanmasında, glikojen-laktat (glikoz-laktat) yoluna çocuklarda daha az gereksinim duyulur. Yetişkinlerle karşılaştırıldığında, orta şiddetli, aerobik nitelikli aktivitelere solunum değişim oranı daha düşüktür.^[58] Bu bulgu, çocukların yakıt kullanımında serbest yağ asidi mobilizasyonu ve

aerobik enerji kullanımına yetişkinlere oranla daha fazla dayandığını göstermektedir. Nitekim, çocuklarda, görece olarak aynı şiddette yapılan uzun süreli bir egzersiz sırasında yetişkinlere göre daha fazla yağ ve daha az karbonhidrat kullanılmaktadır.^[57,60] Yaş arttıkça, kas aktiviteleri için enerji kaynağı olarak karbonhidrat kullanımının arttığını gösteren solunum değişim oranı da artmaktadır.^[56,60]

Biyolojik gelişim düzeyi farklı çocuklar mutlak MOT değerleri yönünden karşılaştırıldığında, erken olgunlaşan erkek çocukların geç olgunlaşanlara oranla daha yüksek mutlak MOT değerlerine sahip olduğu saptanmıştır.^[42,53,54] Kız çocuklarda da benzer sonuçlar elde edilmesine karşın, aradaki farkın daha düşük olduğu bildirilmiştir.^[54] İki cinsiyette de, geç ergenlik döneminde MOT yönünden erken ve geç olgunlaşanlar arasında fark yoktur. Bu durum, olgunlaşma düzeyi, vücut yapısı ve maksimal aerobik güç arasındaki ilişkinin ergenlik döneminde iki cinsiyette de değişiklik gösterdiğine işaret etmektedir. Görece MOT değerlerinin, erkeklerde erken ergenlik dönemi dışında, iki cinsiyette de geç olgunlaşanlarda daha yüksek olduğu belirlenmiştir.^[42] Bu durum, erken olgunlaşan kız çocuklarının, geç olgunlaşanlara oranla daha yüksek vücut kütlesine ve vücut yağ oranına sahip olmalarına bağlanabilir. Erken olgunlaşan erkek çocuklar, geç olgunlaşanlara göre daha fazla yağsız vücut kütlesine ve dolayısıyla daha az yağa sahiptir. Bu nedenle, erken olgunlaşan çocuklarda görülen düşük görece MOT düzeyi yağ miktarına bağlanamaz. Bu dönemde gözlenen düşük görece MOT, vücut kütlesinin hızlı artışına bağlı olarak vücut kütlesi başına düşen oksijen tüketiminin azalmasıyla ilişkilendirilebilir.

Büyüme ve gelişme sırasında antrenmanın MOT'ye etkileri spor bilimcileri ve fizyologlar tarafından araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda antrenman şiddeti, süresi ve sıklığının yeterli olması durumunda çocukların dayanıklılık antrenmanına yanıt verdikleri belirtilmiştir.^[61-64] Dayanıklılık antrenmanı ile MOT'de gözlenen artış genellikle %7-15 oranlarında olmasına rağmen,^[40,65-69] daha yüksek oranlarda (yaklaşık %38) artış olduğunu bildiren çalışmalar da bulunmaktadır.^[70] Bununla birlikte, çocukların ergenliğin hangi döneminde antrenmana daha iyi yanıt verdikleri; büyümenin ve antrenmanın MOT'ye etkisinin nasıl ayırt edilebileceği; MOT'deki artışın ne kadarının büyüme ve gelişme etkisinden veya ant-

renmandan kaynaklandığı tartışılmaktadır. Ergenlik öncesi dönemde dayanıklılık antrenmanı ile çocuklarda MOT'nin artmadığını gösteren çalışmalar bulunmasına karşın,^[71,72] arttığını gösteren çalışmalar çoğunluktadır.^[49,66,70,73,74] Tolfrey ve ark.^[72] ergenlik öncesi kız ve erkek çocuklarda, 12 haftalık antrenmanın (haftada 3 kez, 30 dk bisiklet egzersizi, maksimal KAH'nin %80'i şiddetinde), cinsiyet özelliklerinin gelişimi, vücut yağ oranı ve normal fiziksel aktivite alışkanlıkları kontrol edildiğinde MOT'yi artırmadığını bildirmişlerdir. McKeag,^[71] ergenlik öncesi dönemde antrenman yapan çocuklarda MOT'de anlamlı artış görülmediğini belirtmiştir. Ergenliğe bağlı fizyolojik değişikliklerin başlamasıyla, antrenmansız çocukların MOT'si düşerken, antrenmanlıların aynı düzeyde devam ettiği gözlenmiştir; bu nedenle, ergenlik öncesi dönemde antrenmanın beceri öğrenimi dışında başka bir katkısının olmadığı sonucuna varılmıştır.^[71] Borms^[2] 10 yaşından küçük çocuklarda dayanıklılık egzersizlerinin MOT'yi artırmadığını, antrenmana yanıtın ergenlik döneminden sonra oluştuğunu belirtmiştir.

Öte yandan, ergenlik öncesi dönemde yapılan dayanıklılık antrenmanının MOT'yi artırdığını bildiren çalışmaların sayısı da az değildir. Baxter-Jones ve ark.^[49] futbol, tenis, cimnastik ve yüzme sporları yapan, 8-16 yaşlarındaki 453 çocuğun aerobik gelişimini üç yıl süreyle incelemişler ve yaşa bağlı büyüme (boy, kilo) ve cinsiyet özelliklerinin gelişiminden bağımsız olarak, ergenlik öncesi dönemde yapılan antrenmanın aerobik gücü artırdığını saptamışlardır. Anılan çalışmada, futbol, tenis, cimnastik ve yüzme arasında aerobik gücü en fazla artıran sporun yüzme olduğu belirtilmiştir.^[49] Bu sonuç, yetişkinlerde olduğu gibi çocuklarda da antrenman tipinin aerobik güç gelişimini etkilediğini göstermektedir. Obert ve ark.^[70] 10 aylık yoğun yüzme antrenmanının (günde 2 kez 1-1.5 saat, haftada 5 gün) dokuz yaşındaki kız çocuklarının aerobik gücü üzerine etkilerini inceledikleri bir çalışmada, mutlak MOT'nin kontrol grubunda %13, çalışma grubunda %38 oranında arttığını bildirmişlerdir. Kontrol grubundaki artışı büyüme etmenlerine bağlayan araştırmacılar, çalışma grubunda daha fazla gelişme görülmesini antrenman etkileri ile ilişkilendirmişlerdir. Antrenman öncesi ile karşılaştırıldığında, olguların oksijen nabzında artış gözlenmesi, antrenmanın MOT üzerine olan bu etkisinin atım hacmi ve/veya arterio-venöz oksijen farkındaki artıştan kaynaklanmış olabi-

leceğine işaret etmektedir.^[70] Gerçekten de, çocuklarda dayanıklılık antrenmanı ile MOT'deki artışın nedenlerinden biri, kardiyak fonksiyonlarda görülen artıştır.^[67,69,75,76] Bir çalışmada, 10-14 yaşlarındaki erkek yüzücülerde antrenman süresinin (7 ve 14 hafta) MOT üzerine etkisi değerlendirilmiş ve 14 hafta antrenman yapan grupta MOT'nin anlamlı derecede yüksek olduğu bulunmuş; bu sonucun atım hacmindeki artıştan kaynaklanmış olabileceği ileri sürülmüştür.^[75] Ayrıca, Nottin ve ark.^[69] dayanıklılık nitelikli bisiklet antrenmanı yapan ve spor yapmayan ergenlik öncesi dönemdeki çocuklar arasında görülen MOT farkının atım hacmi farkından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Dayanıklılık antrenmanı yapan çocuklarda belirlenen atım hacmindeki bu artışın, kardiyak hipertrofi, miyokardiyal gevşeme özelliklerinin veya kan hacminin artışı ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir.^[69] Aktif spor yapan çocuklarda kardiyak fonksiyonlarının geliştiğine dair başka bir kanıt da, dayanıklılık antrenmanı yapan çocukların aktif olmayan yaşlılarından daha düşük dinlenik kalp atım sayısı ve daha yüksek kalp atım hacmine sahip olmasıdır.^[65,77,78] Aerobik antrenman, kız ve erkek çocuklarda sol ventrikül hacmini yaklaşık %4.6 oranında artırırken,^[68,78] sol ventrikül kontraktilesini de geliştirmektedir.^[77] Holmann ve ark.^[62] dayanıklılık antrenmanının, ergenlik öncesi dönemde yapılsa bile, aerobik kapasitenin artmasına ve erken yaşlarda antrenmana bağlı kardiyak hipertrofinin, fizyolojik sınırlar içinde sporcu kalbinin oluşmasına katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir.^[62]

Çocuklarda antrenmanla MOT ve aerobik dayanıklılığın artmasını sağlayan bir diğer etmen, kas kitlesi ve metabolik aktivitelerindeki değişimlerdir. Nitekim, bisiklet ergometresinde altı hafta boyunca haftada üç kez 30 dakika çalışan çocuklarda, antrenman sonrası süksinat dehidrogenaz ve fosfofruktokinaz enzim aktivitelerinin sırasıyla %30 ve %83 oranında arttığı bildirilmiştir.^[79] Kas lifi tipi dağılımının değişmediği; ancak iki kas lifi tipinin de (tip 1 ve tip 2) oksidatif kapasitelerinin arttığı saptanmıştır. Eliakim ve ark.^[74] ergenlik öncesi dönemdeki kız çocuklarında aerobik antrenmanla uyluk kas hacminin %4.3 oranında arttığını bildirmişlerdir.

Bazı çalışmalarda ise fiziksel aktivite düzeyi ile MOT arasındaki ilişki araştırılmıştır.^[80,81] Loftin ve ark.^[81] ilkökul ve liseye devam eden kız öğrencilerde, MOT ile fiziksel aktivite düzeyi arasında ilişki olmadığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, Al-Haz-

zaa ve Sulaiman^[80] 7-12 yaşlarındaki erkek çocuklarda fiziksel aktivite düzeyi ile MOT arasında anlamlı korelasyon olduğunu bildirmişlerdir.

Bailey ve ark.^[63] çocuklarda antrenmanın aerobik güç üzerine etkilerini inceleyen çalışmalarda çelişkili sonuçlar bulunmasındaki nedenleri şöyle belirtmişlerdir: (i) Antrenmanlı ve antrenmansız çocuklarda MOT'yi karşılaştıran kesitsel çalışmalarda denekler rastgele yöntemle seçilmemektedir. (ii) Antrenman programları şiddet, süre, sıklık yönünden farklılık göstermektedir. (iii) Çocuklarda fiziksel aktivite düzeyleri arasındaki fark MOT'de değişiklik oluşturacak kadar yüksek değildir. (iv) Antrenman, submaksimal düzeyde verimliliği artırdığı halde maksimal güç üzerinde etkili olmayabilir. Bu nedenle, çocuklarda birçok aktivite submaksimal düzeyde gerçekleştiği için, ergenlik öncesi dönemde maksimal aerobik gücü dolaşım sisteminin kapasitesinin göstergesi olarak kullanmak hatalı olabilir. (v) Aerobik gücün belirlenmesinde genetik etmenlerin daha ağırlıklı rolü olabilir.^[63]

Özetle, çocuklarda MOT ve anaerobik eşik ve mekanik verimlilikteki artışa bağlı olarak aerobik dayanıklılık, büyüme ve gelişmeye paralel olarak iki cinsiyette de artmaktadır. Şiddeti, süresi ve sıklığı yeterli olduğunda dayanıklılık antrenmanı, çocuklarda kardiyak fonksiyonları da içeren gelişmelerle MOT'yi ve aerobik dayanıklılığı artırmaktadır.

Çocuk sporcularda anaerobik güç ve kapasite

Çocuklarda anaerobik spor aktivitelerindeki performans (yüksek atlama, sprint, yüzme ve 200 m koşu) mutlak ve görece değerler yönünden ergen çocuklar ve yetişkinlere oranla düşüktür.^[60,82-86] Bunun en önemli nedeni, çocukların anaerobik yollardan enerji elde etme kapasitelerinin düşük olmasıdır. Anaerobik performans, mutlak ve görece değerler bakımından (vücut ağırlığı, uyluk kas kesit alanı, yağsız vücut ağırlığı) büyüme ve gelişmeye paralel olarak artar^[60,82,84,87,88] ve en yüksek değerlere 20-30 yaşları arasında ulaşılır.^[83] Anaerobik performanstaki artışın en hızlı olduğu dönem, iki cinsiyette de 9-15 yaşları arasındadır.^[84]

Çocuklarda düşük anaerobik performansın nedenleri, kas kitlesi, vücut boyutu, kas lifi tipi ve kontraktıl özellikleri; glikojen depoları, glikolitik enzim aktiviteleri ve nörolojik gelişim düzeyindeki

yetersizlikler şeklinde sıralanabilir. Büyüme sırasında, anaerobik performans iki cinsiyette de yağsız vücut ağırlığı ve çalışan kas kitlesi ile yüksek korelasyon göstermektedir.^[83,89] Bununla birlikte, maksimum ve ortalama güç değerlerinin, yağsız vücut ağırlığı ya da kas kitlesine göre ifade edildiğinde dahi büyüme sırasında artış göstermesi,^[83] anaerobik performansın sadece kas kitlesindeki artışa değil, kasın metabolik özelliklerindeki değişime de bağlı olduğunu göstermektedir. Kastaki metabolik özellikleri tanımlaması açısından kas lifi tipi dağılımı incelendiğinde, çocuklarda vastus lateralis kasında tip 1 lifi oranının yetişkinlere göre daha yüksek olduğu,^[42] buna karşın, antrenmanlı çocuklarda yetişkinlerle benzer kas lifi tipi dağılımı görüldüğü saptanmıştır.^[90] İskelet kaslarında yetişkinlere göre daha yüksek oranda tip 1 lifi bulunması, çocuklarda yüksek şiddetli aktiviteler sırasında ATP'nin refosforilasyonundaki düşüklüğü açıklayabilir. Nitekim, kasların erken postnatal dönemdeki ATP ve kreatin fosfat konsantrasyonları olgunlaşma dönemi ile karşılaştırıldığında %30 daha azdır.^[42] Spor yapan 11-13 yaşlarındaki çocuklar içinde, vastus lateralis kasında tip 2 lifi oranı yüksek olanların (%59), tip 2 lif oranı daha düşük (%39) olan çocuklara göre reaksiyon zamanı, kuvvet oluşturma hızı ve skuat sıçrama yüksekliği açısından daha iyi performans sergiledikleri ortaya konmuştur.^[90] Çocukların kreatin fosfat düzeyleri ile ilgili çelişkili bulgular vardır. Inbar ve Bar-Or^[82] çocuklarda kreatin fosfat düzeyinin yetişkinden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Eriksson^[91] çocuk ve yetişkinlerdeki iskelet kası kreatin fosfat düzeylerinin aynı olduğunu bildirmiştir. Çocuklarda ve yetişkinlerde ATP miktarı ise farklılık göstermemektedir.^[82,84] Kreatin fosfat ve ADP'den ATP yenilenmesini sağlayan kreatin kinaz miktarı da çocuklar ve yetişkinlerde aynıdır. Dolayısıyla, alaktik enerji sisteminin kullanımı ile ilgili olarak çocuklarla yetişkinler arasında fark yoktur. Bununla birlikte, maksimal egzersiz sırasında, kas içi pH düzeyleri çocuklarda yetişkinlerden daha az düşer.^[60] Çocukluk ve ergenlik dönemlerinde belirlenen düşük fosfofruktokinaz-1 ve laktat dehidrogenaz aktivitesi ile düşük asidoz toleransı, çocuklarda glikolitik kapasitenin düşük olmasını ve yetişkinlerle karşılaştırıldığında daha düşük laktat yanıtı verilmesini açıklayabilir.^[83] Çocuklarda düşük olan kas içi glikojen depoları, ergenlik döneminde yetişkinlerle aynı düzeye ulaşır.^[60] ATP sentezinde yenilenme ve glikolitik sis-

temde rol oynayan kas enzim aktiviteleri (kreatin kinaz, heksoz fosfat izomeraz, aldolaz, pirüvat kinaz ve laktat dehidrogenaz) yaşa bağlı artarak 12-14 yaşlarında en yüksek düzeylerine ulaşmaktadır.^[92] Maksimal kan laktat düzeyleri büyüme sırasında yaşla artmaktadır.^[59,79] Pianosi ve ark.^[59] 7-17 yaşları arasındaki gruplarda, MOT'nin %70'ini kullanarak gerçekleştirilen egzersiz sırasında laktat yanıtının yaşla beraber arttığını gözlemişlerdir. Yetişkinlerle karşılaştırıldığında, çocuklarda daha düşük anaerobik yanıt gözlenmesi, yüksek şiddetli aktivitelerde daha düşük sempatik yanıt vermeleri ile de bağlantılı olabilir.^[60]

Anaerobik performansın belirleyicilerinden biri de iskelet yaşıdır.^[88,93] Erkek ve kız çocuklar (7-12 yaş) üzerinde yapılan bir çalışmada, hız, güç ve koordinasyon gerektiren sıçrama, sprint ve fırlatma aktivitelerindeki gelişim sürecinde iskelet yaşının önemli rolü olduğu gösterilmiştir.^[93] Çocuklar bu temel becerilerde uygun hareket biçimlerini ortalama 6-7 yaşlarında kazanmakta ve çocukluk dönemi boyunca kazandıkları yaş ve deneyimle bu becerilerdeki gelişimleri devam etmektedir.^[42] Benzer şekilde, büyüme ve iskelet yaşı gelişimi de anaerobik performansını artırmaktadır.

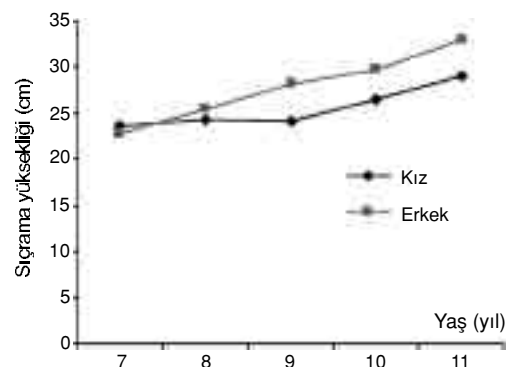
Kızların anaerobik nitelikli aktivitelerdeki performansı aynı yaştaki erkeklerden daha düşüktür.^[45,84,94-97] Göreceli olarak incelendiğinde ise (güç/kg vücut ağırlığı⁻¹) farklılık azalmakta^[82,83] ya da tamamen ortadan kalkmaktadır.^[84] Genel olarak, 9-11 yaşlarında anaerobik performans değerlerinde cinsiyet bakımından farklılık gözlenmezken,^[84,89,97] 13 yaşından sonra maksimal anaerobik performans düzeylerinde anlamlı cinsiyet farklılıkları ortaya çıkar.^[84,97] Bu dönemde, kızların anaerobik performansı erkeklerin %75'i kadardır.^[84] Yaptığımız bir çalışmada (7-11 yaş), erkeklerin dikey sıçrama değerlerinin, yedi yaş dışında bütün yaşlarda kızlardan daha yüksek olduğunu belirledik (Şekil 2).^[45]

Güç ve hız gerektiren (sprint, fırlatma, vb.) aktivitelerde erkeklerde ergenlikle beraber hızlı gelişim görülmesine karşın, kızlarda 13-14 yaşlarından sonra artış görülmemektedir. Erkekler, ergenlik döneminde güç ve hız gerektiren aktivitelerde kızları geçmekte ve yaşla beraber aradaki fark artmaktadır.^[97,98] Sprint, uzun atlama, dikey sıçrama, fırlatma, çeviklik koşusu gibi hız, koordinasyon ve güç gerektiren aktivitelerdeki performans ile iskelet yaşı arasında,

kız çocuklarda negatif, erkek çocuklarda pozitif ilişki bulunmaktadır.^[98] Bu farklılık, ergenlikle birlikte kızlarda yağ kitlesi artışı, fiziksel aktivite düzeyinin azalması; erkeklerde ise kas kitlesi artışı ve fiziksel olarak daha aktif olmaları ile açıklanabilir. Hız gerektiren mekik koşusu ve plate tapping aktivitelerindeki maksimal performans gelişimi, maksimal boy uzamasının gerçekleştiği dönemden yaklaşık 1.5 yıl önce gözlenir. İzleyen dönemde, bu aktivitelerdeki performans daha yavaş olmakla beraber gelişmeye devam eder.^[98] Çocukların kol ve bacaklarının kısa olması nedeniyle en uygun adım uzunluğu ve frekansını sağlayamamaları, koşu performansını olumsuz yönde etkiler.^[38] İskelet gelişiminin hızlanması ile bacak uzunluğu gelişiminin tamamlanması koşu performansını olumlu yönde etkiliyor olabilir.

Spor aktivitelerine katılan ve fiziksel aktivite düzeyi yüksek çocukların anaerobik güç ve kapasitelerinin aktif olmayan yaşlıtlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir.^[79,99,100] Bu dönemde yapılan anaerobik nitelikli antrenmanın kasın biyokimyasal özelliklerini etkilediğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır.^[79,101] Loko ve ark.^[100] 10-17 yaşları arasında, aktif olarak spor yapan 643 ve spor yapmayan 902 ergen kız üzerinde yaptıkları çalışmada, 30 metre sprint, durarak uzun atlama, sağlık topu fırlatma ve bir dakika boyunca hızlı bisiklet pedalı çevirme aktivitelerinde, aktif kızların aktif olmayan yaşlıtlarına göre daha iyi performans gösterdiklerini belirlemişlerdir.

Sprint antrenmanı yapan 16-17 yaşlarındaki erkek çocuklarda glikolitik enzim aktivitelerinde anlamlı artış görülmüştür.^[101] Eriksson ve ark.^[79] 11-13 yaşlarındaki erkek çocuklarda antrenmanın kas metabolizması ve enzim aktiviteleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Antrenman altı ay süreyle, haftada



Şekil 2. Kız ve erkek çocuklarda dikey sıçrama değerleri.

üç kez, günde 60 dakika uygulanmıştır. Antrenman seansı, 5-10 dakika kalistenik hareketler, 15-25 dakika interval antrenman ve basketbol ve futbol çalışmalarından oluşturulmuştur. Antrenmanla dinlenik kas glikojen, kreatin fosfat ve ATP konsantrasyonlarının önemli düzeyde arttığı; maksimal bir testten sonra ölçülen kan laktat değerinin %23, kas laktat değerinin %56 oranında yükseldiği; glikojen kullanımının arttığı; ATP ve kreatin fosfat kullanımında değişiklik olmadığı belirlenmiştir.^[79]

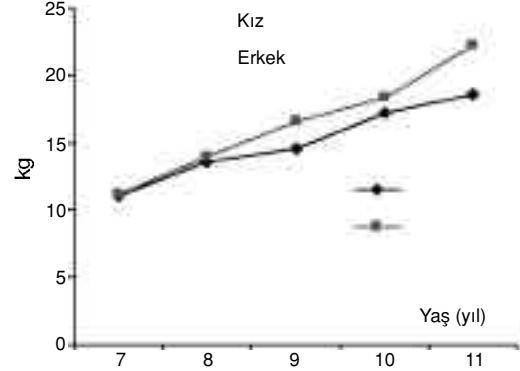
Yukarıdaki bulgular doğrultusunda, büyüme sırasında çocuklarda kas kitlesi, kas kuvveti, kuvvette dayanıklılık, kas-sinir ve reaksiyon süresi gelişimi, kasın metabolik yapısı ve vücut boyutlarının artması nedeniyle anaerobik performansın yaşla beraber arttığı; bu artışın spor yapan çocuklarda daha belirgin olduğu görülmektedir. Bu gelişim, kız çocuklarda ergenlik döneminde platoya ulaşmışken, erkeklerde 20'li yaşlara kadar devam etmektedir.

Çocuk sporcularda kas kuvveti ve dayanıklılığı

Kas kuvveti, sinir sistemi, endokrin sistem ve kasın ortaklaşa bir bütün olarak çalışması yanı sıra yaş, cinsiyet, biyolojik olgunluk, fiziksel aktivite düzeyi ve genetik etmenler tarafından belirlenir.^[102] Çocukluk dönemi boyunca büyüme ve gelişmeye bağlı oluşan değişimler kas kuvvetindeki değişimin de belirleyicisidir. Bu nedenle, çocuklarda kas kuvveti gelişiminin ve cinsiyet farklılığının değerlendirilmesinde kronolojik yaş tek başına bir anlam ifade etmemektedir.

Çocukluk dönemi boyunca, kas kuvveti iki cinsiyette de yaşla birlikte artar.^[103-106] Kas kuvvetindeki artışın temel nedenleri, vücut ağırlığının artması, boy uzaması^[106,107] ve bunlara bağlı olarak kas kitlesi artışıdır.^[104] Bununla birlikte, mutlak kas kuvveti değerleri vücut ağırlığı ve boy uzunluğuna göre göreceli olarak ifade edildiğinde dahi kronolojik yaşla birlikte kas kuvveti artışı ve cinsiyet farklılığı devam etmektedir.^[105,108] Bu durum, vücut ağırlığı ve boy dışındaki diğer etmenlerin de yaşla beraber görülen kuvvet gelişimi ve cinsiyetler arasında kas kuvvetinde gözlenen farklılıkta rolü olduğunu düşündürmektedir.

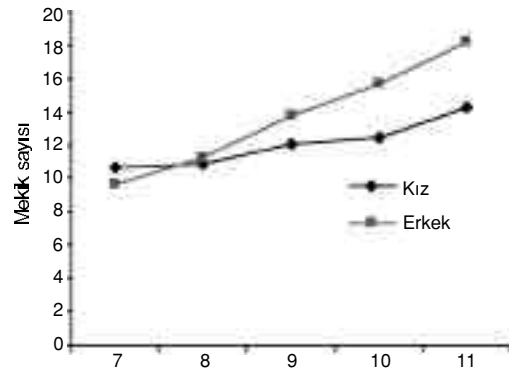
Ergenlik öncesi dönemde kız ve erkek çocukların kas kuvvetinde önemli bir farklılık gözlenmemektedir.^[45,105,106] Maffulli ve ark.^[109] 12 yaşa kadar kızların erkeklerden daha kuvvetli olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, 7-11 yaşları arasında 399 kız ve



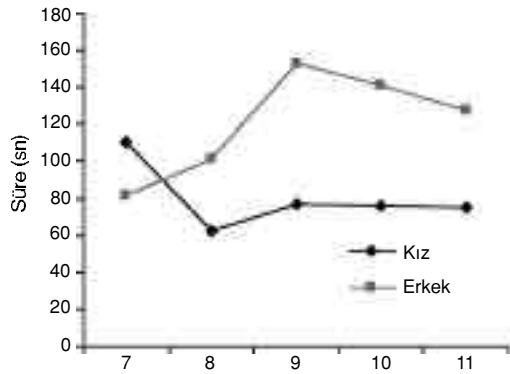
Şekil 3. Kız ve erkek çocuklarda sağ el kavrama kuvveti değerleri.

252 erkek çocuk üzerinde yaptığımız çalışmada, yaşla beraber iki cinsiyette de el kavrama kuvvetinde artış olmasına karşın, cinsler arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığını gözledik (Şekil 3).^[45] Aynı çalışmada erkeklerde kuvvet artışının 11 yaşında hızlandığını belirledik. Kas kuvvetinde dayanıklılık incelendiğinde, bara bükülü kolla asılma süresi ve mekik sayısı açısından, erkek çocukların sekiz yaşından itibaren daha yüksek değerlere ulaştıkları görülmüştür (Şekil 4, 5).

Ergenlik döneminde erkeklerin kas kuvvetindeki artış ivme kazanır.^[105] Bu nedenle, özellikle 13-14 yaşlarından itibaren erkeklerde kas kuvveti daha yüksektir.^[103,109,110] Kas kuvvetindeki cinsiyet farklılığının maksimum boy uzama hızı döneminde belirginleştiği gözlenmiştir.^[110,111] Biseps ve kuadriseps kas kuvveti değerlendirilen 8-17 yaşları arasındaki 50 kız ve 50 erkek çocukla yapılan bir çalışmada, kuadriseps kas kuvvetinin iki cinsiyette de boy ve kilo ile korelasyon gösterdiği; erkeklerde, ek olarak testosteron düzeyinin de kas kuvvetinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir.^[110] Aynı çalışmada, testosteronun, özellikle biseps kas kuvveti ile ilişkili olarak



Şekil 4. Kız ve erkek çocuklarda mekik sayısı.



Şekil 5. Kız ve erkek çocuklarda bükülü kolla barda asılı kalma süresi.

doğrudan kas üzerine etkilerinin yanı sıra humerus uzunluğuna dolaylı etkisi ile üst ekstremitte boyutunu etkileyerek kas kuvvetini artırdığı gösterilmiştir.^[110] Ayrıca, 10-14 yaşları arasındaki kız ve erkek çocuklarda kas kesit alanı ile izokinetik kas kuvveti arasında anlamlı korelasyon olduğu; ancak boy uzunluğu ve vücut ağırlığının etkisi kas kesit alanının tek başına belirleyici olmadığı bildirilmiştir.^[106]

Kas fonksiyonu gelişimindeki en önemli etkenlerden biri de biyolojik olgunlaşma ile oluşan hormonal uyumlardır.^[105,110,112-114] Fraiser ve ark.^[112] sağlıklı erkek çocukların testosteron düzeylerinin 4-11 yaşları arasında değişmediğini, 11 yaşından itibaren artış görülmesinin cinsel gelişim ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Bunun yanı sıra, serum testosteron düzeylerinin iki cinsiyette de mutlak kas kuvveti ile korelasyon gösterdiği ve testosteron düzeylerinde 13-14 yaşlarından itibaren cinsiyetler arasında farklılık oluştuğu bildirilmiştir.^[105] Ergenlik dönemindeki erkeklerde kas kuvvetindeki artışın serum testosteron düzeylerindeki artışı izlediği saptanmıştır.^[105] Ayrıca, 11-13 yaşları arasındaki sporcu çocuklarda kas lifi boyutunun serum testosteron düzeyi ile ilişkili olduğu ortaya konmuştur.^[113]

Biyolojik olarak erken olgunlaşan çocuklar, geç olgunlaşanlardan daha kuvvetlidir.^[102,115-117] Kız çocuklarında (11-14 yaş) yapılan bir araştırmada, olgunlaşmanın gövde fleksiyonu kuvvetindeki farklılığın %23'ünden, durarak uzun atlama performansının ise %17'sinden sorumlu olduğu ortaya konmuştur.^[117] Erken olgunlaşan çocukların yaşlarına göre daha kuvvetli olması, vücut boyutlarındaki artış, sinir sistemi gelişimi ve kontrolünün artması,^[102] kas dokusunun özellikleri, kas lifi tipi dağılımı, kas içi yağ miktarı ve kaldıraç sistemindeki değişiklik-

ler^[115,118] ile ilişkilendirilmektedir. Ergenlik dönemi sonunda, geç olgunlaşanların arayı kapatması ile kas kuvvetindeki farklılıklar da ortadan kalkar. Olgunlaşma düzeyine bağlı kas kuvveti farklılıkları 11-15 yaşları arasında belirgin olarak gözlenmektedir.^[102]

Spor yapan çocukların kas kuvveti ve dayanıklılığı spor yapmayan yaşlılarından daha yüksektir.^[109,114,116,119,120] Futbol takımlarında oynayan 11 yaşındaki erkek çocukların kavrama kuvveti, bacak ekstansiyonu, sırt ve abdominal kasların izometrik kas kuvvetinin, futbol oynamayan yaşlılarından daha yüksek olduğu görülmüştür.^[114] İki yıl süresince izlenen olgularda, futbol oynayanlar ile oynamayanlar arasındaki kuvvet farkının mutlak ve görece değerlerde (yaş, vücut boyutları, testosteron ve IGF-1'in etkileri dikkate alındığında) korunduğu gözlenmiştir. Aynı çalışmada, testosteronun kas kuvveti gelişiminde önemli rol oynadığı; ancak 11-13 yaşlarındaki erkek çocuklarda testosterondan bağımsız olarak antrenmanın da kas kuvveti gelişimine katkıda bulunduğu gösterilmiştir.^[114]

Ergenlik öncesi ve ergenlik döneminde yapılan kuvvet antrenmanları kas kuvvetini artırmaktadır.^[73,121-123] Bu dönemde kuvvet antrenmanının kas kuvveti gelişimi üzerine etkisi kas hipertrofisi değil;^[122] motor ünite aktivasyonundaki artış, kaslar arasındaki koordinasyon artışı ve motor beceri koordinasyonundaki gelişmelere bağlıdır.^[121-124] Mero ve ark.^[73] ergenliğin başlangıcında (11.6-12.6 yaş) yapılan antrenmanla kendini gösteren çabuk kuvvet artışı ile testosteron miktarı arasında pozitif ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Bir başka deyişle, anabolik hormonların düzeyi bu dönemde bile antrene edilebilirliği etkilemektedir. Yetişkinlerle karşılaştırıldığında, kuvvet antrenmanı ile ergenlik öncesi ve ergenliğin başlangıcındaki çocuklarda görece kas kuvvetinde benzer, mutlak kas kuvvetinde ise daha düşük artış meydana gelmektedir.^[122]

Hakkinen ve ark.^[124] ergenlik öncesi (11-13 yaş) erkek sporcularda dayanıklılık, sprint ve kuvvet antrenmanının fiziksel performans üzerine olan spesifik etkilerini araştırmışlardır. Ağırlık kaldırma grubu ile sprinter grubunun fiziksel performans kapasitelerinde anlamlı farklılık bulunmamıştır. İki grup da dayanıklılık grubu ile karşılaştırıldığında bacak ekstansörlerinde anlamlı olmamakla beraber daha iyi kuvvet zaman eğrisi ve anlamlı olarak daha iyi dinamik patlayıcı performansı göstermişlerdir. Anılan çalış-

mada, dayanıklılık ve ağırlık antrenmanının ergenlik öncesi dönemde bile özgün etki gösterdiği; sprint antrenmanı etkilerinin ise kuvvet antrenmanı etkilerinden anlamlı derecede farklılık göstermediği sonucuna varılmıştır. Erkek çocuklar (11-13 yaş) üzerinde yapılan dört yıllık bir çalışmada sprint antrenmanı sonrası, kas kesit alanındaki artışla beraber kasın dayanıklılığında da gelişme gözlenmiş; ancak kas lifi dağılımında farklılık gözlenmemiştir.^[125]

Sonuç olarak, çocuklarda kas kuvveti iki cinsiyette de yaşla birlikte artış göstermektedir. Bu dönemde kas kuvvetindeki artışın temel nedenleri, vücut ağırlığı ve boy uzamasına bağlı artan kas kitlesidir. Ergenlik öncesi dönemde kız ve erkek çocukların kas kuvvetinde önemli farklılık gözlenmemesine karşın, ergenlik döneminde testosteronun etkisiyle erkeklerde kas kuvveti artışı çok belirgin hale gelir. Antrenmana bağlı olarak iki cinsiyette de ergenlik öncesinde ve ergenlik döneminde kas kuvvetinde artış görülmektedir. Ergenlik öncesi dönemde antrenmana bağlı oluşan kas kuvvetindeki artıştan sorumlu etmenler nöral uyumlar olmasına karşın, ergenlik döneminde artan kas kitlesi de önemli rol oynamaktadır.

Kaynaklar

- Crawford SM. Anthropometry. In: Docherty D, editor. Measurement in pediatric exercise science. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1996. p. 17-86.
- Borms J. The child and exercise: an overview. *J Sports Sci* 1986;4:3-20.
- Cacciari E, Mazzanti L, Tassinari D, Bergamaschi R, Magnani C, Zappulla F, et al. Effects of sport (football) on growth: auxological, anthropometric and hormonal aspects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990;61:149-58.
- Beunen GP, Malina RM, Renson R, Simons J, Ostyn M, Lefevre J. Physical activity and growth, maturation and performance: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:576-85.
- Beunen GP, Malina RM, Lefevre J, Claessens AL, Renson R, Kanden Eynde B, et al. Skeletal maturation, somatic growth and physical fitness in girls 6-16 years of age. *Int J Sports Med* 1997;18:413-9.
- Borer KT. The effects of exercise on growth. *Sports Med* 1995;20:375-97.
- Claessens AL, Malina RM, Lefevre J, Beunen G, Stijnen V, Maes H, et al. Growth and menarcheal status of elite female gymnasts. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:755-63.
- Rowland TW. The physiological impact of intensive training on the prepubertal athlete. In: Cahill BR, Pearl AJ, editors. Intensive participation in children's sports. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1993. p. 167-93.
- Baxter-Jones AD, Helms P, Baines-Preece J, Preece M. Menarche in intensively trained gymnasts, swimmers and tennis players. *Ann Hum Biol* 1994;21:407-15.
- Lindholm C, Hagenfeldt K, Ringertz BM. Pubertal development in elite juvenile gymnasts. Effects of physical training. *Acta Obstet Gynecol Scand* 1994;73:269-73.
- Malina RM, Bielicki T. Retrospective longitudinal growth study of boys and girls active in sport. *Acta Paediatr* 1996;85:570-6.
- Geithner CA, Woynarowska B, Malina RM. The adolescent spurt and sexual maturation in girls active and not active in sport. *Ann Hum Biol* 1998;25:415-23.
- Rogol AD, Clark PA, Roemmich JN. Growth and pubertal development in children and adolescents: effects of diet and physical activity. *Am J Clin Nutr* 2000;72 (2 Suppl):521S-8S.
- Cacciari E, Mazzanti L, Tassinari D, Bergamaschi R, Magnani C, Ghini T, et al. Growth and sport. *J Endocrinol Invest* 1989;12 (8 Suppl 3):53-7.
- Malina RM. Physical activity and training: effects on stature and the adolescent growth spurt. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:759-66.
- Mansfield MJ, Emans SJ. Growth in female gymnasts: should training decrease during puberty? *J Pediatr* 1993;122:237-40.
- Pigeon P, Oliver I, Charlet JP, Rochiccioli P. Intensive dance practice. Repercussions on growth and puberty. *Am J Sports Med* 1997;25:243-7.
- Georgopoulos N, Markou K, Theodoropoulou A, Paraskevopoulou P, Varaki L, Kazantzi Z, et al. Growth and pubertal development in elite female rhythmic gymnasts. *J Clin Endocrinol Metab* 1999;84:4525-30.
- Georgopoulos NA, Markou KB, Theodoropoulou A, Benardot D, Leglise M, Vagenakis AG. Growth retardation in artistic compared with rhythmic elite female gymnasts. *J Clin Endocrinol Metab* 2002;87:3169-73.
- Caine D, Lewis R, O'Connor P, Howe W, Bass S. Does gymnastics training inhibit growth of females? *Clin J Sport Med* 2001;11:260-70.
- Vadocz EA, Siegel SR, Malina RM. Age at menarche in competitive figure skaters: variation by competency and discipline. *J Sports Sci* 2002;20:93-100.
- Daly RM, Rich PA, Klein R. Hormonal responses to physical training in high-level peripubertal male gymnasts. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998;79:74-81.
- Weimann E. Gender-related differences in elite gymnasts: the female athlete triad. *J Appl Physiol* 2002;92:2146-52.
- Theintz GE, Howald H, Weiss U, Sizonenko PC. Evidence for a reduction of growth potential in adolescent female gymnasts. *J Pediatr* 1993;122:306-13.
- Wawrzyniak G. Biological age in children who practise swimming. *Anthropol Anz* 2001;59:149-56.
- Damsgaard R, Bencke J, Matthiesen G, Petersen JH, Muller J. Is prepubertal growth adversely affected by sport? *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1698-703.
- Eisenmann JC, Malina RM. Growth status and estimated growth rate of young distance runners. *Int J Sports Med* 2002;23:168-73.
- Malina RM, Pena Reyes ME, Eisenmann JC, Horta L, Rodrigues J, Miller R. Height, mass and skeletal maturity of elite Portuguese soccer players aged 11-16 years. *J Sports Sci* 2000;18:685-93.
- Avlonitou E. Somatometric variables for preadolescent swimmers. *J Sports Med Phys Fitness* 1994;34:185-91.
- Beunen G, Malina RM. Growth and biological maturation: relevance to athletic performance. In: Bar-Or O, editor. The child and adolescent athlete. Cambridge: Blackwell Science; 1996. p. 3-24.
- Keller H, Bar-Or O, Kriemler S, Ayub BV, Saigal S. Anaerobic

- performance in 5- to 7-yr-old children of low birthweight. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:278-83.
32. Pianosi PT, Fisk M. Cardiopulmonary exercise performance in prematurely born children. *Pediatr Res* 2000;47:653-8.
33. Hebestreit H, Schrank W, Schrod L, Strassburg HM, Kriemler S. Head size and motor performance in children born prematurely. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:914-22.
34. Leger L. Aerobic performance. In: Docherty D, editor. *Measurement in pediatric exercise science*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1996. p. 183-223.
35. MacDougall JD, Roche PD, Bar-Or O, Moroz JR. Maximal aerobic capacity of Canadian schoolchildren: prediction based on age-related oxygen cost of running. *Int J Sports Med* 1983; 4:194-8.
36. Frost G, Dowling JJ, Bar-Or O, Dyson K. Ability of mechanical power estimations to explain differences in metabolic cost of walking and running among children. *Gait Posture* 1997;5:120-7.
37. Frost G, Dowling J, Bar-Or O, Dyson K. Cocontraction in three age groups of children during treadmill locomotion. *J Electromyog Kinesiol* 1997;7:179-86.
38. Krahenbuhl GS, Williams TJ. Running economy: changes with age during childhood and adolescence. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:462-6.
39. Rowland TW. Developmental aspects of physiological function relating to aerobic exercise in children. *Sports Med* 1990; 10:255-66.
40. Mahon AD, Vaccaro P. Ventilatory threshold and VO₂max changes in children following endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21:425-31.
41. Hoffer AS, Harrison AC, Kirk PA. Anaerobic threshold alterations caused by interval training in 11-year-olds. *J Sports Med Phys Fitness* 1990;30:53-6.
42. Malina RM, Bouchard C, editors. *Growth, maturation and physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1991.
43. Bale P. Pre- and post-adolescents' physiological response to exercise. *Br J Sports Med* 1981;15:246-9.
44. McMurray RG, Harrell JS, Bradley CB, Deng S, Bangdiwala SI. Gender and ethnic changes in physical work capacity from childhood through adolescence. *Res Q Exerc Sport* 2003;74:143-52.
45. Demirel H, Açıkkada T, Bayar P, Turnagöl H, Erkan U, Hazır T ve ark. Ankara'da Yükseliş Koleji İlkokul Bölümünde 7-11 yaş grubu çocuklarda EUROFIT uygulaması. In: *Spor Bilimleri I. Ulusal Sempozyumu*; 15-16 Mart 1990; Ankara, Türkiye. s. 601-10.
46. Falk B, Bar-Or O. Longitudinal changes in peak aerobic and anaerobic mechanical power of circumpubertal boys. *Pediatr Exerc Sci* 1993;5:318-31.
47. Klissouras V, Pirnay F, Petit JM. Adaptation to maximal effort: genetics and age. *J Appl Physiol* 1973;35:288-93.
48. Rutenfranz J, Lange Andersen K, Seliger V, Ilmarinen J, Klimmer F, Kylian H, et al. Maximal aerobic power affected by maturation and body growth during childhood and adolescence. *Eur J Pediatr* 1982;139:106-12.
49. Baxter-Jones A, Goldstein H, Helms P. The development of aerobic power in young athletes. *J Appl Physiol* 1993;75:1160-7.
50. Rowland TW, Vanderburgh P, Cunningham L. Body size and the growth of maximal aerobic power in children: a longitudinal analysis. *Pediatric Exercise Science* 1997;9:262-74.
51. Beunen GP, Rogers DM, Woynarowska B, Malina RM. Longitudinal study of ontogenetic allometry of oxygen uptake in boys and girls grouped by maturity status. *Ann Hum Biol* 1997;24:33-43.
52. Beunen G, Baxter-Jones AD, Mirwald RL, Thomis M, Lefevre J, Malina RM, et al. Intraindividual allometric development of aerobic power in 8- to 16-year-old boys. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:503-10.
53. Armstrong N, Welsman JR, Kirby BJ. Peak oxygen uptake and maturation in 12-yr olds. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:165-9.
54. Janz KF, Burns TL, Witt JD, Mahoney LT. Longitudinal analysis of scaling VO₂ for differences in body size during puberty: the Muscatine Study. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30:1436-44.
55. Zauner CW, Maksud MG, Melichna J. Physiological considerations in training young athletes. *Sports Med* 1989;8:15-31.
56. Bar-Or O. New and old in pediatric exercise physiology. *Int J Sports Med* 2000;21 (Suppl 2):S113-6.
57. Delamarche P, Monnier M, Gratas-Delamarche A, Koubi HE, Mayet MH, Favier R. Glucose and free fatty acid utilization during prolonged exercise in prepubertal boys in relation to catecholamine responses. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;65:66-72.
58. Martinez LR, Haymes EM. Substrate utilization during treadmill running in prepubertal girls and women. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:975-83.
59. Pianosi P, Seargeant L, Haworth JC. Blood lactate and pyruvate concentrations, and their ratio during exercise in healthy children: developmental perspective. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;71:518-22.
60. Boisseau N, Delamarche P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med* 2000; 30:405-22.
61. Rowland TW. Aerobic responses to physical training in children. In: Shephard RJ, Astrand PO, editors. *Endurance in sport*. International Olympic Committee. London: Blackwell Scientific Publications; 1992. p. 377-84.
62. Holmann W, Klemm F, Rost R, Liesen L, Heck H. Comparative studies of the physical work capacity of children and adolescents in 1964 and 1984 and adaptations during competitive training. In: Malina MR, editor. *Young athletes: biological, psychological, and educational perspectives*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1988. p. 49-60.
63. Bailey DA, Mirwald RL. The effects of training on growth and development of the child. In: Malina MR, editor. *Young athletes: biological, psychological, and educational perspectives*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1988. p. 33-48.
64. Armstrong N, Welsman JR. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev* 1994;22:435-76.
65. Sundberg S, Elovainio R. Cardiorespiratory function in competitive endurance runners aged 12-16 years compared with ordinary boys. *Acta Paediatr Scand* 1982;71:987-92.
66. Rotstein A, Dotan R, Bar-Or O, Tenenbaum G. Effect of training on anaerobic threshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys. *Int J Sports Med* 1986;7:281-6.
67. Mahon AD, Vaccaro P. Cardiovascular adaptations in 8- to 12-year-old boys following a 14-week running program. *Can J Appl Physiol* 1994;19:139-50.
68. Mandigout S, Melin A, Fauchier L, N'Guyen LD, Courteix D, Obert P. Physical training increases heart rate variability in healthy prepubertal children. *Eur J Clin Invest* 2002; 32:479-87.

69. Nottin S, Vinet A, Stecken F, N'Guyen LD, Ounissi F, Lecoq AM, et al. Central and peripheral cardiovascular adaptations to exercise in endurance-trained children. *Acta Physiol Scand* 2002;175:85-92.
70. Obert P, Courteix D, Lecoq AM, Guenon P. Effect of long-term intense swimming training on the upper body peak oxygen uptake of prepubertal girls. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;73:136-43.
71. McKeag DB. Adolescents and exercise. *J Adolesc Health Care*. 1986;7 (6 Suppl):121S-129S.
72. Tolfrey K, Campbell IG, Batterham AM. Aerobic trainability of prepubertal boys and girls. *Pediatric Exercise Science* 1998;10:248-63.
73. Mero A, Jaakkola L, Komi PV. Serum hormones and physical performance capacity in young boy athletes during a 1-year training period. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990;60:32-7.
74. Eliakim A, Scheett T, Allmendinger N, Brasel JA, Cooper DM. Training, muscle volume, and energy expenditure in nonobese American girls. *J Appl Physiol* 2001;90:35-44.
75. Mercier J, Vago P, Ramonatxo M, Bauer C, Prefaut C. Effect of aerobic training quantity on the VO₂ max of circumpubertal swimmers. *Int J Sports Med* 1987;8:26-30.
76. Obert P, Mandigouts S, Nottin S, Vinet A, N'Guyen LD, Lecoq AM. Cardiovascular responses to endurance training in children: effect of gender. *Eur J Clin Invest* 2003;33:199-208.
77. Oyen EM, Schuster S, Brode PE. Dynamic exercise echocardiography of the left ventricle in physically trained children compared to untrained healthy children. *Int J Cardiol* 1990; 29:29-33.
78. Obert P, Mandigout S, Vinet A, N'Guyen LD, Stecken F, Courteix D. Effect of aerobic training and detraining on left ventricular dimensions and diastolic function in prepubertal boys and girls. *Int J Sports Med* 2001;22:90-6.
79. Eriksson BO, Gollnick PD, Saltin B. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol Scand* 1973;87:485-97.
80. Al-Hazzaa HM, Sulaiman MA. Maximal oxygen uptake and daily physical activity in 7- to 12-year-old boys. *Pediatr Exerc Sci* 1993;5:357-66.
81. Loftin M, Strikmiller P, Warren B, Myers L, Shroth L, Pittman J. Comparison and relationship of VO₂ peak and physical activity patterns in elementary and high school females. *Pediatric Exercise Science* 1998;10:153-63.
82. Inbar O, Bar-Or O. Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc* 1986;18:264-9.
83. Bar-Or O. Anaerobic performance. In: Docherty D, editor. *Measurement in pediatric exercise science*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1996. p. 161-82.
84. Saavedra C, Lagasse P, Bouchard C, Simoneau JA. Maximal anaerobic performance of the knee extensor muscles during growth. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:1083-9.
85. Gaul CA, Docherty D, Cicchini R. Differences in anaerobic performance between boys and men. *Int J Sports Med* 1995; 16:451-5.
86. Van Praagh E, Dore E. Short-term muscle power during growth and maturation. *Sports Med* 2002;32:701-28.
87. Singh H, Joon DS, Kooner K. Development of motor abilities of trained Indian boys of 9-16 years of age. *Br J Sports Med* 1987;21:34-5.
88. Falgairette G, Bedu M, Fellmann N, Van-Praagh E, Coudert J. Bio-energetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991;62:151-6.
89. De Ste Croix MB, Armstrong N, Chia MY, Welsman JR, Parsons G, Sharpe P. Changes in short-term power output in 10- to 12-year-olds. *J Sports Sci* 2001;19:141-8.
90. Mero A, Jaakkola L, Komi PV. Relationships between muscle fibre characteristics and physical performance capacity in trained athletic boys. *J Sports Sci* 1991;9:161-71.
91. Eriksson BO. Muscle metabolism in children-a review. *Acta Paediatr Scand (Suppl)* 1980;283:20-8.
92. Berg A, Keul J. Biochemical changes during exercise in children. In: Malina RM, editor. *Young athletes: biological, psychological, and educational perspectives*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1988. p. 61-74.
93. Katzmarzyk PT, Malina RM, Beunen GP. The contribution of biological maturation to the strength and motor fitness of children. *Ann Hum Biol* 1997;24:493-505.
94. Morris AM, Williams JM, Atwater A, Wilmore JH. Age and sex differences in motor performance of 3 through 6 year old children. *Res Q Exerc Sport* 1982;53:214-21.
95. Nelson JK, Thomas JR, Nelson KR, Abraham PC. Gender differences in children's throwing performance: biology and environment. *Res Q Exerc Sport* 1986;57:280-7.
96. Butterfield SA, Loovis EM. Influence of age, sex, balance, and sport participation on development of throwing by children in grades K-8. *Percept Mot Skills* 1993;76:459-64.
97. Eisenmann JC, Malina RM. Age- and sex-associated variation in neuromuscular capacities of adolescent distance runners. *J Sports Sci* 2003;21:551-7.
98. Beunen G, Malina RM. Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exerc Sport Sci Rev* 1988;16:503-40.
99. Bencke J, Damsgaard R, Saekmose A, Jorgensen P, Jorgensen K, Klausen K. Anaerobic power and muscle strength characteristics of 11 years old elite and non-elite boys and girls from gymnastics, team handball, tennis and swimming. *Scand J Med Sci Sports* 2002;12:171-8.
100. Loko J, Aule R, Sikkut T, Erelina J, Viru A. Age differences in growth and physical abilities in trained and untrained girls 10-17 years of age. *Am J Human Biol* 2003;15:72-7.
101. Fournier M, Ricci J, Taylor AW, Ferguson RJ, Montpetit RR, Chaitman BR. Skeletal muscle adaptation in adolescent boys: sprint and endurance training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14:453-6.
102. Froberg K, Lammert O. Development of muscle strength during childhood. In: Bar-Or O, editor. *The child and adolescent athlete*. Cambridge: Blackwell Science; 1996. p. 25-41.
103. Parker DF, Round JM, Sacco P, Jones DA. A cross-sectional survey of upper and lower limb strength in boys and girls during childhood and adolescence. *Ann Hum Biol* 1990;17:199-211.
104. Kanehisa H, Yata H, Ikegawa S, Fukunaga T. A cross-sectional study of the size and strength of the lower leg muscles during growth. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995; 72:150-6.
105. Ramos E, Frontera WR, Llopart A, Feliciano D. Muscle strength and hormonal levels in adolescents: gender related differences. *Int J Sports Med* 1998;19:526-31.
106. De Ste Croix M, Deighan M, Armstrong N. Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation. *Sports Med* 2003;33:727-43.

107. De Ste Croix MB, Armstrong N, Welsman JR, Sharpe P. Longitudinal changes in isokinetic leg strength in 10-14-year-olds. *Ann Hum Biol* 2002;29:50-62.
108. Backman E, Oberg B. Isokinetic muscle torque in the dorsiflexors of the ankle in children 6-15 years of age. Normal values and evaluation of the method. *Scand J Rehabil Med* 1989;21:97-103.
109. Maffulli N, King JB, Helms P. Training in elite young athletes [the training of young athletes (TOYA) study]: injuries, flexibility and isometric strength. *Br J Sports Med* 1994; 28:123-36.
110. Round JM, Jones DA, Honour JW, Nevill AM. Hormonal factors in the development of differences in strength between boys and girls during adolescence: a longitudinal study. *Ann Hum Biol* 1999;26:49-62.
111. Nevill AM, Holder RL, Baxter-Jones A, Round JM, Jones DA. Modeling developmental changes in strength and aerobic power in children. *J Appl Physiol* 1998;84:963-70.
112. Frasier SD, Gafford F, Horton R. Plasma androgens in childhood and adolescence. *J Clin Endocrinol Metab* 1969; 29:1404-8.
113. Mero A, Jaakkola L, Komi PV. Relationships between muscle fibre characteristics and physical performance capacity in trained athletic boys. *J Sports Sci* 1991;9:161-71.
114. Hansen L, Bangsbo J, Twisk J, Klausen K. Development of muscle strength in relation to training level and testosterone in young male soccer players. *J Appl Physiol* 1999; 87:1141-7.
115. Jones DA, Rutherford OM, Parker DF. Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Q J Exp Physiol* 1989;74:233-56.
116. Mero A, Kauhanen H, Peltola E, Vuorimaa T, Komi PV. Physiological performance capacity in different prepubescent athletic groups. *J Sports Med Phys Fitness* 1990;30: 57-66.
117. Volver A, Viru A, Viru M. Improvement of motor abilities in pubertal girls. *J Sports Med Phys Fitness* 2000;40:17-25.
118. Lexell J, Sjostrom M, Nordlund AS, Taylor CC. Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle Nerve* 1992;15:404-9.
119. Payne VG, Morrow JR Jr, Johnson L, Dalton SN. Resistance training in children and youth: a meta-analysis. *Res Q Exerc Sport* 1997;68:80-8.
120. Faigenbaum AD, Westcott WL, Loud RL, Long C. The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children. *Pediatrics* 1999;104:e5.
121. Ramsay JA, Blimkie CJ, Smith K, Garner S, MacDougall JD, Sale DG. Strength training effects in prepubescent boys. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:605-14.
122. Blimkie CJ. Resistance training during pre- and early puberty: efficacy, trainability, mechanisms, and persistence. *Can J Sport Sci* 1992;17:264-79.
123. Ozmun JC, Mikesky AE, Surburg PR. Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:510-4.
124. Hakkinen K, Mero A, Kauhanen H. Specificity of endurance, sprint and strength training on physical performance capacity in young athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 1989;29:27-35.
125. Jacobs I, Sjodin B, Svane B. Muscle fiber type, cross-sectional area and strength in boys after 4 years' endurance training. In: 1982 American College of Sports Medicine Annual Meeting; May 26-29, 1982, Minneapolis, Minnesota, USA. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14:123.