

Biyolojik Olgunlaşma ve Temel Motorik Özellikler: Zirve Boy Uzama Hızının Cinsiyete Dayalı Etkileri

Salih Çabuk¹

Süleyman Ulupınar²

Özet

Atletik gelişim süreci, biyolojik olgunlaşma ve büyüme dönemleriyle yakından ilişkilidir. Bireylerin fiziksel kapasitesini ve motor performansını etkileyen büyüme ve olgunlaşma süreçleri, spor performansının temelini oluşturmaktadır. Genç sporcuların büyüme ve biyolojik olgunlaşma süreçleri, motorik özelliklerin gelişimi ve antrenman periyodizasyonu açısından büyük bir öneme sahiptir. Büyüme, somatik, iskelet ve cinsel olgunluk göstergeleri üzerinden takip edilirken, zirve boy uzama hızı (ZBUH), biyolojik gelişimin en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. ZBUH, ergenlik döneminde en hızlı büyümenin gözlemlendiği dönemi temsil eder ve bu süreçte motorik becerilerde önemli değişimler meydana gelir. ZBUH, motorik özelliklerin gelişimini doğrudan etkileyen bir süreçtir ve bu döneme göre yapılandırılan antrenmanlar, biyolojik duyarlı pencereler kavramına dayanır. Özellikle ZBUH sırası ve sonrasında, biyolojik olgunlaşmanın motorik performans üzerindeki etkisi daha belirgin hale gelir. ZBUH öncesinde esneklik ve becerilerin geliştirilmesi önem arz ederken, ZBUH sonrasında kuvvet ve aerobik kapasitenin geliştirilmesi daha etkili sonuçlar doğurur. Uzun Vadeli Sporcu Gelişimi (LTAD) modeli, biyomotor yeteneklerin biyolojik olgunlaşma evrelerine göre optimize edilmesi gerektiğini savunarak, sporcu performansının uzun vadede en üst düzeye çıkarılmasını hedefler. Model, erken ve geç olgunlaşan sporcuların ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş antrenman stratejileri sunar. Bu yaklaşım, biyolojik gelişim süreçlerinin dikkatle izlenmesini ve sporcuların performansını artırmak için uygun antrenman stratejilerinin uygulanmasını önermektedir. Böylece, genç sporcuların fiziksel kapasiteleri en iyi şekilde değerlendirilebilir ve sporcu gelişimi en üst düzeye çıkarılabilir.

- 1 Erzurum Teknik Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Beden Eğitimi ve Spor Bölümü, <https://orcid.org/0000-0003-4148-9781> , salih.cabuk@erzurum.edu.tr
- 2 Erzurum Teknik Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Erzurum, Türkiye. suleyman.ulupinar@erzurum.edu.tr <https://orcid.org/0000-0002-9466-5278>

GİRİŞ

Atletik gelişim, sporda uzmanlaşma sürecinden önce gelmektedir. Bu doğrultuda, genç sporcuların fiziksel uygunluk düzeylerini değerlendirebilmek için spordan bağımsız olarak belirli kriterlere ihtiyaç duyulmaktadır (Lloyd & Oliver, 2012). Biyolojik olgunlaşma, vücut dokuları, organlar ve sistemler üzerinde gerçekleşen kapsamlı bir süreçtir. Bu süreçlerin gözlemlenmesi veya ölçülmesi, bireyin olgunluğa doğru ilerlemesini değerlendirmek için önemli göstergeler sunmaktadır (Malina et al., 2005). Olgunlaşma ile birlikte kasın fonksiyonel kapasitesindeki artış ve kasın yapısal değişimi, atletik performansı doğrudan etkilemektedir. Kasın fonksiyonel gelişimi, kuvvet üretim hızını artırarak olgun sporcuların, geç olgunlaşan akranlarına göre daha iyi performans sergilemelerine olanak sağlamaktadır (Wattie et al., 2015).

Genç sporcular, genellikle takvim yaşlarına göre antrenman ve müsabaka gruplarına ayrılmaktadır. Bu yöntem pratik ve yaygın olarak kullanılmasına karşın, büyüme ve biyolojik olgunlaşma düzeylerindeki farklılıkları dikkate almamaktadır. Araştırmalar, bu farklılıkların önemli düzeylere ulaşabileceğini ortaya koymuştur. Biyolojik olgunluk seviyesinin antropometrik ve fonksiyonel özellikler üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar, çeşitli spor dallarında erken olgunlaşan sporcuların, aynı kronolojik yaşta olmalarına rağmen geç olgunlaşan akranlarına göre 4 yıla kadar uzanan fiziksel avantajlara sahip olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmalar, erken olgunlaşan çocukların sportif beceriler açısından daha avantajlı olduğunu ve sporcu seçiminde öncelikli olarak değerlendirildiklerini ortaya koymaktadır (Schorer et al., 2013; Söğüt, 2019; Vandendriessche et al., 2012).

Genç sporcuların eşit koşullarda ve optimal bir şekilde gelişim gösterebilecekleri antrenman ve müsabaka ortamlarının oluşturulmasının önemine vurgu yapan bilim insanları, uygulayıcılarla iş birliği yaparak yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım, kronolojik yaş yerine büyüme ve biyolojik olgunlaşma özelliklerine dayalı bir gruplama yöntemine odaklanmaktadır (Asan et al., 2024; Cumming et al., 2017).

Büyüme ve Olgunlaşma

Büyüme ve olgunlaşma, genellikle birbirinin yerine kullanılan terimler olmakla birlikte, her ikisi de fiziksel gelişimin önemli göstergeleridir. Büyüme, hücre sayısındaki artış (hiperplazi), hücre boyutundaki artış (hipertrofi) ve hücreler arası maddede birikim gibi süreçleri kapsayan bir bütün olarak veya vücut boyutlarındaki artış olarak tanımlanabilir. Büyüme, genetik, çevresel faktörler, beslenme, metabolik ve hormonal faktörler,

hastalıklar ve fiziksel aktivite düzeyi gibi çeşitli koşullar tarafından doğrudan veya dolaylı olarak etkilenir; belirli bir boyuta ulaşmayı temsil ettiği için ölçülmesi ve değerlendirilmesi nispeten daha kolaydır ve bu nedenle bilimsel araştırmalarda daha sık tercih edilmektedir (Beunen & Malina, 2008; Malina et al., 2004; Silva et al., 2004). Öte yandan, olgunlaşma, bireyin yetişkin bir duruma erişmesini ifade eder. Ancak biyolojik sistemlerin ilerleyişindeki farklılıklar, olgunlaşma ve kronolojik yaş arasında net bir ilişki kurmayı zorlaştırmaktadır. Bu sebeple, olgunlaşmanın gerçekleştiği belirli bir aşamayı veya olgunlaşma hızını kesin olarak belirlemek daha güçtür (Malina et al., 2004; Romann & Cogley, 2015).

Büyüme ve olgunlaşma, çocukların beceri edinimi ve motor performanslarının gelişiminde önemli bir rol oynar. Bu nedenle, çocuklar ve gençlerle yapılacak araştırmalarda, bu süreçlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılması gereklidir (Malina, 2007; Söğüt, 2019). Her ne kadar ırk, yaş ve cinsiyet gibi faktörlere göre farklılık gösterse de her birey, anne karnında başlayan büyüme sürecini ergenlik dönemi sonuna kadar sürdürür. Büyüme ve olgunlaşmayı etkileyen faktörler birbiriyle ilişkili olsa da yaş ve biyolojik olgunluk arasında belirli bir bağımsızlık olduğu bilinmektedir (Malina et al., 2004; Mendez-Villanueva et al., 2011). Biyolojik olgunlaşma, vücut dokuları, organlar ve sistemlerde meydana gelen bir süreçtir. Biyolojik olgunluk, yetişkinlik aşamasına ulaşmak için gereken süreyi ve cinsel, somatik ve iskeletsel faktörlerin değişim sürecini ifade eder (Malina et al., 2004; Malina et al., 2015). Bu bağlamda, büyüme ve olgunlaşma süreçlerinin derinlemesine anlaşılması, bu süreçlerin etkilerini değerlendirmek ve güvenilir veriler elde etmek açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle çocuklar ve ergenlerde, biyolojik olgunlaşma ve büyümenin dikkatle izlenmesi, fiziksel performans ve motor becerilerin gelişimsel dönemlerine göre değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Uzun Vadeli Sporcu Gelişimi (LTAD) Modeli

Uzun Vadeli Sporcu Gelişim (LTAD) modeli, sporcuların biyolojik gelişim süreçleri doğrultusunda performanslarının uzun vadede en üst seviyeye nasıl çıkarılabileceğini açıklayan bir yaklaşımdır (Balyi & Hamilton, 1995; Balyi & Hamilton, 2004; Balyi et al., 2013). Bu model, biyomotor özelliklerin gelişimi ve performans potansiyelinin uygun antrenmanlarla en üst düzeye çıkarılmasının, biyolojik duyarlı pencereler olarak adlandırılan kritik dönemlerle yakından ilişkili olduğunu ileri sürmektedir. Balyi ve Hamilton (1995), biyomotor özelliklerin belirli gelişim evrelerinde en verimli şekilde gelişebileceğini savunurken, bu dönemlerde geliştirilmeyen

becerilerin daha sonra istenilen seviyede geliştirilmesinin zor olduğunu iddia etmektedir (Balyi & Hamilton, 1995; Rengül et al., 2023).

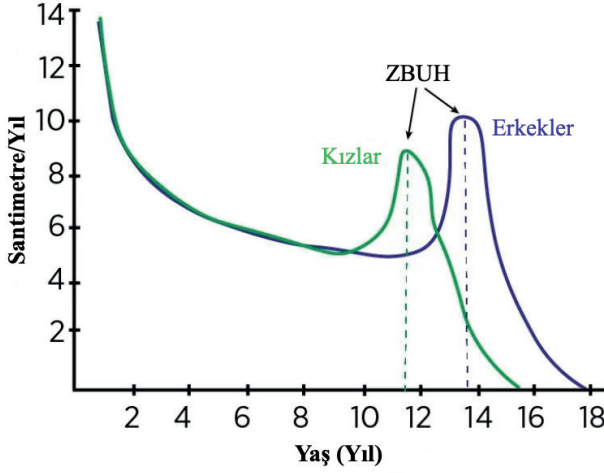
LTAD modeli, ayrıca spor dallarını “Erken Özelleşilen” ve “Geç Özelleşilen” olarak sınıflandırır. Erken özelleşilen sporlar, sinir sistemi temelli teknik becerilerin genç yaşlarda geliştirilmesi gereken cimnastik ve artistik buz pateni gibi dalları içerir (Balyi & Hamilton, 1995; Moesch et al., 2011). Bu sporlar için üst düzey performansa biyolojik olgunlaşma tamamlanmadan önce ulaşılmasının gerekli olduğu varsayılmaktadır (Balyi & Hamilton, 1995; Ford et al., 2011; Gulbin et al., 2013). Buna karşılık, geç özelleşen sporlar için biyolojik olgunlaşmanın ve metabolik antrenman uyumunun daha ileri yaşlarda tamamlanması gerektiği öne sürülmektedir (Balyi & Hamilton, 1995).

LTAD modelinde biyolojik duyarlı pencereler hipotezi ve erken-geç özelleşme kavramlarına ilişkin uzun süreli veya geniş kapsamlı araştırmaların yetersizliği, modelin teorik bir varsayıma dayandığını göstermektedir. Bu nedenle LTAD modeli, büyüme ve gelişme teorilerine dayalı bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Açıkada & Hazır, 2016).

Olgunlaşmanın Ölçülmesi, Değerlendirilmesi ve Sınıflandırılması

Olgunlaşma takibi, çeşitli olgunlaşma süreçleri temel alınarak gerçekleştirilmektedir. Örneğin, bazı yöntemler somatik olgunlaşma ve sonuçlarına odaklanırken, diğerleri cinsel ve iskelet olgunlaşma sürecini esas almaktadır. İskelet olgunlaşmasının takibi için Greulich-Pyle Atlası, Tanner-Whitehouse ve FELS gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, çocukların el bileği radyografisinin karşılaştırılmasına dayalıdır ve hızla uygulanabilmesi nedeniyle yaygın kullanılırken, etnik farklılıklara dikkat edilmesi gerekmektedir (Dahlberg et al., 2019; Greulich & Pyle, 1959; Malina & Beunen, 2008). Cinsel olgunlaşmanın takibinde, Tanner skalası gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Tanner tarafından geliştirilen bu yöntem, pubik kılınma, göğüs gelişimi ve genital gelişim gibi ikincil cinsiyet özelliklerini temel alan beş aşamalı bir parametre sistemi ile cinsel olgunlaşmayı izlemektedir (Malina & Beunen, 2008). Somatik olgunlaşmanın takibinde en sık kullanılan yöntem, zirve boy uzama hızı (ZBUH) ölçümüdür. ZBUH, ergenlik ile ilgili boylamsal çalışmalarda en sık kullanılan olgunluk göstergesidir (Mirwald et al., 2002). Ergenlik dönemindeki en hızlı büyüme evresi olarak tanımlanmaktadır (Pitlović et al., 2013) ve bu durum, erkeklerde genellikle 13-15 yaşları arasında, kızlarda ise 11-12 yaşları arasında gözlemlenmektedir. ZBUH döneminde kas-iskelet sisteminde bir dizi önemli değişiklik meydana gelmekte olup, bunlar arasında

kas kütlelerinde artış, kaslarda gerginlik artışı ve kemik mineral yoğunluğunda geçici bir azalma yer almaktadır (Tsutsui et al., 2022).



Şekil 1. Zirve Boy Uzama Hızı Grafiği (Balyi & Way, 2005)

Ergenlik dönemindeki doğrusal büyümede, sırayla ortaya çıkan üç temel süreç bulunmaktadır. İlk süreç, yaklaşık iki ila üç yıl süren ve büyüme atağı olarak adlandırılan dönemdir. Bu dönemde, ergenlik öncesinde büyüme hızı yavaşlar, ardından büyüme hızının maksimum seviyesine, yani ZBUH ulaşılır ve yetişkin boyunun %20'sinden fazlasının kazanıldığı bir duraklama evresiyle sonlanır. İkinci süreç, kemik mineral içeriğinin hızla artmasıdır. Bu dönemde, kemik oluşumu kemik yeniden emilimini geçer ve kemik kütlelerinin zirveye ulaştığı bir evreyi temsil eder. Çocukluk döneminde lineer olarak ilerleyen bu süreç, özellikle 13-17 yaşları arasında en yoğun seviyeye ulaşır. Üçüncü ve en kritik süreç ise 14-15 yaşlarında gerçekleşen iskeletin olgunlaşmasıdır; bu dönem epifizlerin kapanmasıyla sona erer (Lima et al., 2001; Silva et al., 2004; Ward & Weber, 2019). Kızlarda ergenliğin ilk fiziksel belirtisi genellikle büyüme atağının başlamasından kısa bir süre sonra gözlemlenen bedensel değişikliklerdir. Bu süreci takiben vücutta diğer karakteristik değişiklikler meydana gelir. Adolesan dönemde adet görmeyi başlangıcı, büyüme atağının ilerleyen aşamalarında, ZBUH'ya ulaşıldıktan sonra gerçekleşir. Gelişimsel olayların sıralaması, normalde ortalamadan iki yıl kadar önce ya da sonra görülebilir. Erkeklerde ise vücut gelişimi olgunlaşma süreci ile yakından ilişkilidir ve sporcularda özellikle güç artışı geç dönemde daha belirgin hale gelir. Kızlarda olduğu gibi, erkeklerde de gelişimsel sürecin sıralaması, ortalamadan iki yıl kadar önce veya sonra gerçekleşebilir. Erken olgunlaşan erkekler, geç olgunlaşan akranlarına kıyasla fizyolojik olarak dört

yıla kadar bir avantaj elde edebilir. Ancak, geç olgunlaşanlar büyüme atağını yaşadıklarında bu farkı kapatabilmektedir (Balyi & Way, 2005).

ZBUH'yi tahmin etmek için antropometrik ölçümlerden elde edilen somatik denklemler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu alandaki en popüler hesaplama yöntemlerinden biri, 2002 yılında Mirwald ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilen yöntemdir. Bu yöntemin diğer yöntemlere kıyasla en büyük avantajı, oldukça pratik ve kolay tekrarlanabilir olmasıdır. Ayrıca, hem müsabık sporcuların hem de rekreasyonel sportif etkinliklere katılan bireylerin büyüme ve olgunlaşma durumlarının izlenmesi açısından da önemli bir kolaylık sunmaktadır. Bu yöntem cinsiyete göre farklılık göstermektedir ve bireylerin olgunlaşma zamanını tahmin etmek amacıyla antropometrik verilere dayanmaktadır. Mirwald ve ekibinin geliştirdiği yöntemde, çocukların boy uzunluğu, bacak uzunluğu, gövde uzunluğu ve takvim yaşları bir denklemde kullanılarak olgunlaşma zamanı tahmin edilir. Denklem sonucunda elde edilen veri, bireyin olgunlaşma zamanını “eksi” ve “artı” ekseninde bir değerle ifade eder. Eksi bir ile artı bir arasındaki değerler (ZBUH sırası), çocukların en hızlı büyüme atağına ulaştığı dönemi temsil ederken; eksi değer (ZBUH öncesi), hızlı büyüme atağına henüz ulaşılmadığını, artı değer (ZBUH sonrası) ise büyüme hızının azalmaya başladığını gösterir (Hernández Camacho et al., 2018; Mirwald et al., 2002; Towlson et al., 2021). Mirwald ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilen bu yöntem, bilimsel çalışmalarda da olgunlaşma izleme amacıyla aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Cumming et al., 2017; Malina et al., 2019). Özellikle spor bilimleri alanında yayımlanan çalışmalarda, yöntemin pratik ve tekrarlanabilir olması nedeniyle sıkça tercih edilmektedir. Ayrıca, boylamsal ve geniş popülasyonlu çalışmalar için de ideal bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Luiz-de-Marco et al., 2019). Denklem 1 erkekler için; denklem 2 ise kadınlar için ZBUH tahmininde kullanılan fomülleri göstermektedir.

$$ZBUH = (0.0002708 \times (\text{Bacak uzunlu\u011fu}) \times (\text{Oturma boyu})) - (0.001663 \times (\text{Kronolojik ya\u015f}) \times (\text{Bacak uzunlu\u011fu})) + (0.007216 \times (\text{Kronolojik ya\u015f}) \times (\text{Oturma boyu})) + ((0.02292 \times (\text{V\u00fccut a\u011fırlığı}) \div (\text{Boy uzunlu\u011fu})) - 9.236$$

Denklem 1. Erkekler için ZBUH tahmin etmede kullanılan denklem

$$ZBUH = (0.0001882 \times (\text{Bacak uzunlu\u011fu}) \times (\text{Oturma Boyu})) + (0.0022 \times (\text{Kronolojik ya\u015f}) \times (\text{Bacak Uzunlu\u011fu})) + (0.005841 \times (\text{Kronolojik Ya\u015f}) \times (\text{Oturma boyu})) - (0.002658 \times (\text{Kronolojik ya\u015f}) \times (\text{V\u00fccut uzunlu\u011fu})) + ((0.07693 \times (\text{V\u00fccut a\u011fırlığı}) \div (\text{Boy uzunlu\u011fu})) - 9.376$$

Denklem 2. Kadınlar için ZBUH tahmin etmede kullanılan denklem

Temel Motorik Özellikler

Her spor branşında başarıyı etkileyen en önemli unsurlardan biri temel motorik özelliklerdir. Bu özellikler bireyin fiziksel kapasitesini, yeteneklerini ve karmaşık motor performans seviyesini belirleyen kritik bileşenlerdir ve antrenman boyunca yapılan bütün motorik spor hareketlerinin temeli ve başta gelen koşuludur. Bireylerin doğuştan sahip olduğu temel motorik özellikler, herhangi bir fiziksel aktivite olmadan doğal olarak gelişebilen, ancak antrenman yoluyla daha da güçlendirilebilen fiziksel hareket kapasiteleri olarak tanımlanmaktadır. Spor alanında artan rekabetle birlikte insan performansının sınırları zorlanmış ve yüksek düzeyde başarıya ulaşmak için temel motorik özelliklerin önemi daha da belirgin hale gelmiştir (Asan & Canyurt, 2024; Çabuk & Özal, 2022; Günay et al., 2017). Literatür incelendiğinde temel motorik özellikler; kuvvet, dayanıklılık, sürat, esneklik ve koordinasyon adı altında 5 bölüme ayrılmaktadır. Kişilerin, ana temel motorik özellikleri kuvvet, sürat ve dayanıklılık, diğer unsurlar olan esneklik ve koordinasyon ise yardımcı motorik özellikleridir.

Kuvvet: Sportif performansın temel bileşenlerinden biri olarak ilk akla gelen motorik özelliğin kuvvet olduğu ifade edilmektedir. Kuvvet, iç veya dış dirençlere karşı koymayı sağlayan sinir-kas etkileşimi olarak tanımlanmaktadır. Kuvvet performansı, kuvvet ve ivmenin çarpımı olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, kuvvet seviyesindeki artış, bu iki bileşenin birinde veya her ikisinde meydana gelen değişikliklerden kaynaklanmaktadır.

Dayanıklılık: Dayanıklılık, temel motorik özelliklerden biri olarak, kaslarda yorgunluk oluşumunu her türlü iç ve dış etkenlere rağmen önlemeye çalışan bir yetidir. Ayrıca, dayanıklılık yoğun ve uzun süreli egzersizlerin sürdürülmesinde önemli bir performans bileşeni olarak kabul edilmektedir. Artan dayanıklılık düzeyi, bir sporunun sadece fiziksel verimliliğini ve toparlanma kapasitesini geliştirmekle kalmayıp aynı zamanda sakatlanma riskini ve yorgunluk kaynaklı teknik hataları da en aza indirmektedir. Bir sporunun dayanıklılığını artırması, yaptığı sporun gerektirdiği özelliklerle uyum sağlaması yoluyla mümkün olabilmektedir.

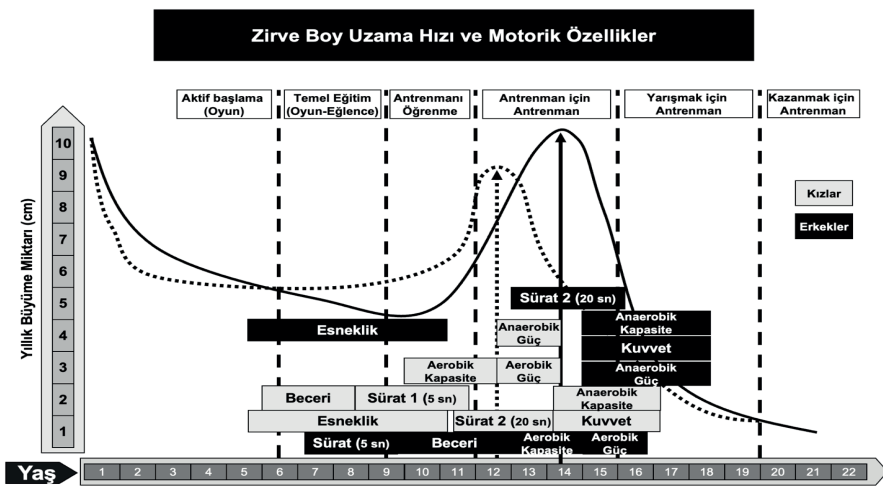
Sürat: Her spor branşında farklı derecelerde yer alan ve tüm sporlarda ihtiyaç duyulan önemli bir biyomotor yetenek olan sürat, diğer motorik özelliklerle karşılaştırıldığında, en yavaş ve en az gelişen yetenektir. Bunun temel nedeni, sürat yeteneğinin genetik olarak belirlenmesi ve yalnızca genetik potansiyelin izin verdiği ölçüde geliştirilebilmesidir. Ancak, kalıtsal bir özellik olmasına rağmen, sürat yeteneği bilinçli ve uzun süreli antrenmanlarla da geliştirilebilmektedir (Çabuk & Özal, 2022; Muratlı et al., 2011).

Esneklik: Esneklik, bir bireyin eklemlerinin veya kaslarının geniş bir hareket yelpazesinde rahatça hareket edebilme yeteneğidir (Muratlı et al., 2011). Bireyin sportif performansını en üst düzeye çıkarmada en temel unsurlardan biri esnekliktir (Sanchez et al., 2015). Bireyin sahip olduğu esneklik, bazı yapısal sınırlayıcılarla kısıtlanmıştır. Bu sınırlayıcılar arasında iskelet sistemi, kemikler, kaslar, ligamentler, tendonlar, eklem kapsülleri ve deri yer almaktadır.

Koordinasyon: Koordinasyon, sürat, dayanıklılık, kuvvet ve esneklik gibi diğer motorik özelliklerle yakından ilişkili, karmaşık bir motor yetenektir. Performans sırasında daha az çaba ile daha fazla iş yapmayı mümkün kılan önemli bir unsurdur. Zor ve karmaşık hareketlerin daha basit ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmesi, koordinasyonun olumlu bir özelliğidir (Çabuk & Özal, 2022; Muratlı et al., 2011).

Zirve Boy Uzama Hızı ve Temel Motorik Özelliklerin Periyodizasyonu

Önceki araştırmalar, genç sporcuların fiziksel gelişiminin farklı olgunlaşma evrelerinde (ZBUH öncesi, sırası ve sonrası) potansiyel gelişim fırsatları sunduğunu göstermiştir (Balyı & Hamilton, 2004). Bu bağlamda, antrenmanla hedeflenen motorik özelliklerin hangi dönemlerde geliştirilmesi gerektiği konusu da açıklığa kavuşmuştur. Özellikle testosteron seviyesinin, ZBUH'den bir yıl önce yükselmeye başladığı ve sabit bir artış göstererek ZBUH'den yaklaşık üç yıl sonra yetişkin seviyelerine ulaştığı bilinmektedir. Testosteron, iskelet kasında anabolik süreçleri uyaran ve kuvvet gelişiminde önemli bir rol oynayan başlıca hormondur (Armstrong, 2007).



Şekil 2. ZBUH ve temel motorik özelliklerin gelişim süreçleri (Açıkada & Hazır, 2016)

Şekil 2’de kızlar ve erkekler için ZBUH aşamaları ve temel motorik özelliklerin gelişim süreçleri gösterilmektedir. ZBUH, kızlar ve erkeklerde farklı yaşlarda gerçekleşmekte olup, bu büyüme dönemleri antrenmanların planlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Grafik, ZBUH öncesi, sırası ve sonrasında hangi motorik özelliklerin geliştirilmesi gerektiğine dair bir rehber sunmaktadır.

ZBUH Öncesi: Bu dönemde esneklik, beceri ve sürat (özellikle kısa mesafeler için) gibi özelliklerin geliştirilmesi önemlidir. Grafik, esneklik ve becerilerin ZBUH öncesi dönemde yoğun bir şekilde çalışılması gerektiğini göstermektedir.

ZBUH Sırası: ZBUH sırası döneminde, çocuklar büyüme atağına girer ve bu süreçte motorik özelliklerde hızlı değişiklikler gözlemlenir. Bu dönemde sürat (orta mesafe için), aerobik kapasite, güç ve anaerobik güç gibi özelliklerin geliştirilmesi hedeflenmelidir.

ZBUH Sonrası: ZBUH sonrası dönemde, özellikle kuvvet, anaerobik güç ve aerobik kapasiteye odaklanılması önerilmektedir. Bu dönemde çocuklar daha fazla fiziksel dayanıklılık ve güç kazanabilir. Kızlar için bu dönem genellikle 15 yaş sonrasında başlar ve erkeklerde ise 16-18 yaşları arasında gözlemlenir. Kuvvet antrenmanları ve anaerobik güç bu dönemde büyük bir öncelik taşır.

Zirve Boy Uzama Hızı ile İlişkili Temel Motorik Özelliklerin Gelişim Süreçleri

Aerobik kapasitenin çocuklarda ve adolesanlarda gelişimi, bireyin biyolojik olgunlaşma seviyesi, cinsiyeti ve antrenmanlara verdiği yanıtların çeşitliliği doğrultusunda farklılık göstermektedir. Bu gelişim süreci, lineer bir yapıdan ziyade non-lineer bir şekilde ilerleyerek, farklı evrelerde değişen hızlarda gerçekleşir (Malina et al., 2004). Literatürde, maksimal oksijen tüketimi (VO_{2maks}) gelişimi için biyolojik “duyarlı pencereler” olarak adlandırılan kritik dönemlerin varlığı vurgulanmaktadır. Viru ve arkadaşları (1999), kız ve erkek çocuklarda VO_{2maks} ’ın en duyarlı olduğu biyolojik dönemin 12-16 yaş aralığında olduğunu ifade etmiştir (Viru et al., 1999). Buna ek olarak, Rowland (1985), zirve VO_{2maks} ’a en duyarlı pencerenin erkek çocuklarda ZBUH’den hemen önce %10.1, kız çocuklarında ise %8.8 oranında artışla ortaya çıktığını göstermiştir (Rowland, 1985). Sürat gelişimi için iki kritik “duyarlı pencere”den söz edilmektedir. İlk pencere, 5-9 yaş aralığını kapsamakta olup, bu dönemde sprint sürati ve çabukluk gibi anaerobik performansların gelişiminde kas fosfajenlerinin önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir. İkinci pencere ise, kızlar için yaklaşık 12 yaş, erkekler

için ise 15 yaş civarında ortaya çıkmakta ve laktik anaerobik enerji üretimi ile ilişkilendirilmektedir (Malina et al., 2004; Viru et al., 1999). ZBUH evresinde gözlemlenen sürat performansındaki artışların büyük ölçüde biyolojik büyüme değişimleriyle ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Beunen ve Malina (1988), bu dönemde meydana gelen hızlı fiziksel uzamanın motor koordinasyon bozukluklarına ve “adolesan tuhaflığı” olarak adlandırılan bir etkiye yol açabileceğini öne sürmüşlerdir (Beunen & Malina, 1988). Yüksek şiddetli anaerobik antrenmanların etkilerini inceleyen çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, bazı araştırmalar anaerobik metabolizmadaki substrat konsantrasyonu ve enzim aktivitesinde artışlar gözlemiştir. Ancak, bu kazanımların çocukluk döneminde, yetişkinlerle karşılaştırıldığında, daha sınırlı olduğu ve antrenman yapılmadığında biyolojik olgunlaşma sürecinin etkisiyle kaybedildiği belirtilmiştir (Açıkada & Hazır, 2016). Balyi ve Hamilton (2004), kuvvetin her yaşta geliştirilebileceğini savunmakta, ancak optimal kuvvet gelişimi için “duyarlı pencereler” kavramının önemine dikkat çekmektedirler. Erkek çocuklarda kuvvetin en iyi antrene edilebileceği dönem, ZBUH’dan 12-18 ay sonra gerçekleşirken, kız çocuklarında bu dönem ZBUH’dan hemen sonra ortaya çıkmaktadır (Balyi & Hamilton, 2004). Puberte sonrası çocukların, kuvvet antrenmanına puberte öncesi gruplara kıyasla daha yüksek kol ve bacak kuvveti gelişimi gösterdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, puberte öncesi dönemde sırt ve abdominal kuvvet gelişiminde daha belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca, farklı olgunlaşma evrelerindeki çocuklar arasında kuvvet gelişim oranları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı ifade edilmiştir (Açıkada & Hazır, 2016).

Kaynaklar

- Açıkada, C., & Hazır, T. (2016). Uzun süreli sporcu gelişim programları: Hangi bilimsel temellere oturuyor? *Spor Bilimleri Dergisi*, 27(2), 84-99.
- Armstrong, N. (2007). *Paediatric exercise physiology*. Elsevier Health Sciences.
- Asan, S., & Canyurt, F. (2024). Life kinetik egzersizlerin motorsal ve bilişsel beceriler ile ilişkisi. In S. Asan (Ed.), *Beden Eğitimi ve Spor Öğretiminde Güncel Yaklaşımlar* (pp. 66 - 86). Bidge Yayınları.
- Asan, S., Ulupınar, S., Özbay, S., Namlı, S., Gençoğlu, C., Canyurt, F., Çingöz, Y. E., & Özkara, A. B. (2024). The impact of inactivity during the COVID-19 pandemic on the physical performance of high school athletes. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 16(1), 126.
- Balyı, I., & Hamilton, A. (1995). The concept of long-term athlete development. *Strength and Conditioning Coach*, 3(2), 5-6.
- Balyı, I., & Hamilton, A. (2004). Long-term athlete development: Trainability in childhood and adolescence. *Olympic Coach*, 16(1), 4-9.
- Balyı, I., & Way, R. (2005). The role of monitoring growth in long-term athlete development. *Canadian Sport for Life*, 2(1), 47-64.
- Balyı, I., Way, R., & Higgs, C. (2013). *Long-term athlete development*. Human Kinetics.
- Beunen, G., & Malina, R. M. (1988). Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 16(1), 503-540.
- Beunen, G., & Malina, R. M. (2008). Growth and biologic maturation: relevance to athletic performance. *The Young Athlete*, 1, 3-17.
- Çabuk, S., & Özal, M. (2022). *Futbol, basketbol ve voleybol branşlarında mücadele eden sporcuların temel motorik özelliklerinin karşılaştırılması*. Gece Kitaplığı.
- Cumming, S. P., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Eisenmann, J. C., & Malina, R. M. (2017). Bio-banding in sport: applications to competition, talent identification, and strength and conditioning of youth athletes. *Strength & Conditioning Journal*, 39(2), 34-47.
- Dahlberg, P. S., Mosdøl, A., Ding, Y., Bleka, Ø., Rolseth, V., Straumann, G. H., Skjerven-Martinsen, M., Delaveris, G. J. M., & Vist, G. E. (2019). A systematic review of the agreement between chronological age and skeletal age based on the Greulich and Pyle atlas. *European Radiology*, 29, 2936-2948.
- Ford, P., De Ste Croix, M., Lloyd, R., Meyers, R., Moosavi, M., Oliver, J., Till, K., & Williams, C. (2011). The long-term athlete development model: Physiological evidence and application. *Journal of Sports Sciences*, 29(4), 389-402.

- Greulich, W. W., & Pyle, S. I. (1959). Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. *The American Journal of the Medical Sciences*, 238(3), 393.
- Gulbin, J., Weissensteiner, J., Oldenzil, K., & Gagné, F. (2013). Patterns of performance development in elite athletes. *European Journal of Sport Science*, 13(6), 605-614.
- Günay, M., Şıktar, E., & Şıktar, E. (2017). Antrenman Bilimi, Ankara. *Gazi Kitapevi Tic. Ltd. Şti.*
- Hernández Camacho, J. D., Huelva Leal, A. B., Martínez Sanz, J. M., Lahoz Ruano, M. D., & Vázquez Carrión, J. (2018). Peak height velocity and muscle mass in young soccer players.
- Lima, F., De Falco, V., Baima, J., Carazzato, J. G., & Pereira, R. (2001). Effect of impact load and active load on bone metabolism and body composition of adolescent athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8), 1318-1323.
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength & Conditioning Journal*, 34(3), 61-72.
- Luiz-de-Marco, R., Kemper, H., Agostinete, R. R., Werneck, A. O., Maillane-Vanegas, S., Faustino-da-Silva, Y. d. S., Exupério, I., & Fernandes, R. A. (2019). Sports participation and muscle mass affect sex-related differences in bone mineral density between male and female adolescents: A longitudinal study. *Sao Paulo Medical Journal*, 137, 75-81.
- Malina, R. M. (2007). Body composition in athletes: assessment and estimated fatness. *Clinics in Sports Medicine*, 26(1), 37-68.
- Malina, R. M., & Beunen, G. (2008). Growth and maturation: methods of monitoring. *The Young Athlete*, 430-442.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Human kinetics.
- Malina, R. M., Cumming, S. P., Kontos, A. P., Eisenmann, J. C., Ribeiro, B., & Aroso, J. (2005). Maturity-associated variation in sport-specific skills of youth soccer players aged 13–15 years. *Journal of Sports Sciences*, 23(5), 515-522.
- Malina, R. M., Cumming, S. P., Rogol, A. D., Coelho-e-Silva, M. J., Figueiredo, A. J., Konarski, J. M., & Kozieł, S. M. (2019). Bio-banding in youth sports: background, concept, and application. *Sports Medicine*, 49(11), 1671-1685.
- 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.

- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Kuitunen, S., Douglas, A., Peltola, E., & Bourdon, P. (2011). Age-related differences in acceleration, maximum running speed, and repeated-sprint performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 477-484.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(4), 689-694.
- Moesch, K., Elbe, A. M., Hauge, M. L., & Wikman, J. M. (2011). Late specialization: the key to success in centimeters, grams, or seconds (cgs) sports. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(6), e282-e290.
- Murath, S., Kalyoncu, O., & Şahin, G. A. (2011). Müsabaka. 3. Baskı. İstanbul, Atölye Ofset, Kalyoncu Spor Danışmanlık San. Tic. Ltd. Şti, 165.
- Pitlović, V., Šarić, G., Pitlović, H., Jovanović, S., & Jurišić, D. (2013). A correlation of peak height velocity and olecranon apophysis ossification assessed by ultrasound. *Collegium Antropologicum*, 37(4), 1285-1289.
- Rengül, B. F., Tortu, E., & İnce, İ. (2023). Puberte öncesi dönemde futbolculara uygulanan 8 haftalık sürat, çeviklik ve çabukluk antrenmanlarının futbolcuların hızlanma, yön değiştirme, çeviklik ve sürat performansı üzerine etkisinin incelenmesi: Deneysel Çalışma. *Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*, 15(1), 86-95.
- Romann, M., & Cobby, S. (2015). Relative age effects in athletic sprinting and corrective adjustments as a solution for their removal. *PLoS One*, 10(4), e0122988.
- Rowland, T. W. (1985). Aerobic response to endurance training in prepubescent children: a critical analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(5), 493-497.
- Sanchez, J., JA, R. M., & Villa, J. (2015). Effects of seven weeks of static hamstring stretching on flexibility and sprint performance in young soccer players according to their playing position. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(4), 345-351.
- Schorer, J., Wattie, N., & Baker, J. R. (2013). A new dimension to relative age effects: constant year effects in German youth handball. *PLoS One*, 8(4), e60336.
- Silva, C. C. d., Goldberg, T. B. L., Teixeira, A. d. S., & Marques, I. (2004). Does physical exercise increase or compromise children's and adolescent's linear growth? Is it a myth or truth? *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 10, 520-524.
- Söğüt, M. (2019). Bio-banding in sport. *Spor Hekimliği Dergisi*, 54(2), 143-147.
- Towson, C., Salter, J., Ade, J. D., Enright, K., Harper, L. D., Page, R. M., & Malone, J. J. (2021). Maturity-associated considerations for training

load, injury risk, and physical performance in youth soccer: One size does not fit all. *Journal of Sport and Health Science*, 10(4), 403-412.

Tsutsui, T., Iizuka, S., Sakamaki, W., Maemichi, T., & Torii, S. (2022). Growth until peak height velocity occurs rapidly in early maturing adolescent boys. *Children*, 9(10), 1570.

Vandendriessche, J. B., Vaeyens, R., Vandorpe, B., Lenoir, M., Lefevre, J., & Philippaerts, R. M. (2012). Biological maturation, morphology, fitness, and motor coordination as part of a selection strategy in the search for international youth soccer players (age 15–16 years). *Journal of sports sciences*, 30(15), 1695-1703.

Viru, A., Loko, J., Harro, M., Volver, A., Laancots, L., & Viru, M. (1999). Critical periods in the development of performance capacity during childhood and adolescence. *European Journal of Physical Education*, 4(1), 75-119.

Ward, L. M., & Weber, D. R. (2019). Growth, pubertal development, and skeletal health in boys with Duchenne muscular dystrophy. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity*, 26(1), 39-48.

Wattie, N., Schorer, J., & Baker, J. (2015). The relative age effect in sport: A developmental systems model. *Sports Medicine*, 45, 83-94