

DERLEME

Mesafe Koşularında Performansı Etkileyen Fizyolojik, Mekanik ve Genetik Farklılıklar

Selen YILDIZ, Selma Arzu VARDAR

Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Edirne, Türkiye.

ÖZET

Koşu sporuna katılım dünyada her geçen gün artmaktadır. Koşu yarışları mesafe uzunluklarına göre sprint, orta mesafe, uzun mesafe ve ultramaraton olarak sınıflandırılmaktadır. Amatör veya profesyonel koşucular yarış rakiplerinden erken bitirmek ve kişisel rekorlarını kırmak için çabalamaktadır. Maksimal oksijen tüketimi (VO_2 maks), koşu ekonomisi, kas lifi özellikleri gibi fizyolojik özellikler ile yarışa başlangıç aşamaları, adım uzunluğu ve frekansı, ayak vuruş şekli gibi mekanik özellikler koşu performansını etkileyen faktörlerdendir. Ayrıca alfa-aktinin-3 (ACTN3) ve anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) gibi genlerin de koşu performansıyla ilişkili olabileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Bu derlemede sprint koşularından ultramaraton koşularına kadar olan çeşitli mesafelerde yarışan koşucuların performansını etkileyen fizyolojik, mekanik, genetik faktörleri incelenmek amaçlanmıştır. Koşu performansını etkileyen bu faktörlerin yarış mesafesine göre değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Koşu antrenmanlarının ve yarış sırasındaki koşu tekniğinin fizyolojik, mekanik, genetik faktörlerle ilişkisinin incelenmesi, koşucu performansının iyileştirilmesinde ve koşu sırasında mevcut performansın etkin kullanımında rol oynayabilir. Ayrıca bu konuda bilgi düzeyinin artması koşu öncesi ve yarış esnasındaki sakatlanmalar gibi olumsuz tıbbi durumların önüne geçilmesine yardımcı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Koşu. Atletik Performans. Koşu Ekonomisi. VO_2 maks.

Physiological, Mechanical and Genetic Differences Affecting Performance in Distance Running

ABSTRACT

Participation in running is increasing day by day in the world. Running races are classified as sprint, middle-distance, long-distance, and ultramarathon according to their distance lengths. Amateur or professional runners struggle to finish the race earlier than their competitors and break their records. Physiological factors such as maximal oxygen consumption (VO_2 maks), running economy, muscle fiber properties, and mechanical factors such as race start phases, stride length and frequency, and foot strike pattern affect running performance. Additionally, some studies also show that genes such as alpha-actinin-3 (ACTN 3) and angiotensin-converting enzyme (ACE) may affect running performance. In this review, the physiological, mechanical and genetic factors affecting the performance of runners competing in various distances from sprint to ultramarathon were aimed to be examined. It is observed that the factors influencing running performance vary according to the race distance. Investigating the relationship between physiological, mechanical, and genetic factors and running technique during running training and racing can play a role in improving runner performance and effective utilization of current performance before running. In addition, increasing the level of knowledge on this subject may help to prevent adverse medical conditions such as injuries before and during the race.

Key Words: Running. Athletic Performance. Running Economy. VO_2 max.

Geliş Tarihi: 25.Nisan.2024

Kabul Tarihi: 18.Mayıs.2024

Dr. Selen YILDIZ
Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi,
Fizyoloji Anabilim Dalı,
Balkan Yerleşkesi, D Blok Kat:2 22030
Edirne, Türkiye.
Tel: 0284 235 76 41
E-posta: selendns@gmail.com

Yazarların ORCID Bilgileri:

Selen YILDIZ: 0009-0008-7106-5422

Selma Arzu VARDAR: 0000-0002-1073-1718

Koşu sporunun sağlık için kardiyovasküler sistem hastalıkları, kanser vb. tüm nedenlere bağlı ölüm riskini azalttığına dair birçok yararlı yönü bilinmektedir¹. Sportif koşular farklı mesafelere göre gruplanmakta olup katılan kişilerin sayısı azımsanmayacak düzeydedir. Koşu sporuna katılımın artmasıyla birlikte koşu yarışları dünya çapında ilgi çeken spor olayları haline gelmiştir. Örneğin ülkemizde ilk kez 1970’li yıllarda Asya- Avrupa Koşusu adıyla koşulmuş olan, günümüzde Dünya Atletizm Birliği tarafından “altın” kategoride tanımlanan İstanbul Maratonu ve beraberinde yapılan Halk koşusuna 2023 yılında 45 bin kişi katılım göstermiştir^{2,3}.

Koşunun özel ekipman ve beceri gerektirmemesi, kolaylıkla yapılabilir olması bu spora eğilimi artırmaktadır. Koşu yarışlarında koşucuların amaçları yarışmayı rakiplerinden daha kısa sürede bitirmek veya amatör olarak günlük yaşamlarına katmış oldukları bu aktivite açısından kişisel rekorlarını kırmaktır. Mesafe uzunluklarına göre koşular sprint (100-400 m), orta mesafe (800-3000 m) uzun mesafe (5000 m- maraton) ve ultramaraton olarak farklı sınıflara ayrılabilir⁴. Koşu sporunun sağlık açısından fizyolojik ve psikolojik birçok yararlı yönü bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, bazı olumsuz etkiler oluşturan durumlara yol açabileceği de belirtilmektedir. Koşuya bağlı diz, ayak bileği yaralanmaları gibi kas iskelet rahatsızlıkları görülebilmektedir⁵. Ayrıca maraton ve ultramaraton gibi uzun süren koşulara bağlı dehidratasyon, sodyum iyon dengesizlikleri gibi patolojik durumların oluştuğu belirtilmektedir⁶. Bu durumların önlenmesinde rol oynayabilecek en uygun antrenmanların, beslenme yöntemlerinin ve ekipmanların kullanılabilmesi için koşular ile ilgili bilgi birikiminin artması önem taşımaktadır. Bu makalede farklı koşu tiplerinin kendine has önem taşıyan fizyolojik, mekanik ve genetik özellikleri güncel literatür bilgisine dayanılarak incelenmiştir.

Sprint Koşuları

Olimpik yarışmalarda sprint koşuları mesafeye göre 100 m, 200 m ve 400 m olarak tanımlanmıştır⁷. Sprint koşularının süresi genelde bir dakikanın altındadır ve diğer koşularda olduğu gibi ana amaç mesafeyi en kısa sürede kat etmektir. Biyomekanik açıdan sprint koşularında koşunun hızı zamana göre incelendiğinde 3 farklı aşamadan bahsedilmekte olup bu aşamalar hızlanma, sabit hız ve yavaşlama olarak belirtilmektedir⁸. Hızlanma fazı sprint yarışları için önemli bir bileşen olup 100 m gibi kısa mesafe koşularında performans hızlı ivmelenmeyle oldukça fazla ilişkilidir. Örneğin, bir 100 m koşusunda, kat edilen ilk 40-60 m sporcunun hızlanma fazını, daha sonraki 10-30 m hızını koruduğu sabit hız fazı, koşunun son bulduğu son 10-20 m ise yavaşlama fazını oluşturmaktadır⁴.

Sporcunun, koşuya başlamadan önce, hazır durumda ayaklarını yerleştirdiği ve blok olarak tanımlanan aparatlardan koşuya başlangıç yapmasının koşu performansına etkisi pek çok çalışmada incelenmiştir. Bloklar arası ön ve arka mesafenin orta düzey bir aralıkta (30-50 cm) olmasının, bloklara uygulanan kuvvet ve itme süresi açısından daha iyi bir başlangıç sağladığı gösterilmiştir⁹. Cavedon ve ark.¹⁰ orta düzeyde blok mesafe aralığına ek olarak ön blok ile başlangıç çizgisi arasında olan mesafenin bacak uzunluğunun %50'sine ayarlanmasının başlangıç performansını iyileştireceğini bildirmiştir. Ancak yine

de optimum bir set pozisyonundan söz edilememektedir¹¹.

Son zamanlarda yapılan incelemelere göre, en iyi koşu derecelerine sahip sprinterlerin kısa sürelerde büyük itiş gücü üretebildikleri, daha yüksek blok hızı ve ivmesi gösterdikleri belirtilmektedir^{12,13}. Sprint koşucuları bloklardan kalktıktan sonra, adım uzunluğunu ve hızını artırarak hızlanır⁸. Hızlanma fazında adım uzunluğu düzenli olarak artarken adım frekansı daha ilk adımlarda maksimum düzeyine (3. adımdan sonra %90) ulaşır ve faz boyunca sabit seyredir¹³. Daha kısa temas süreleri de yüksek koşu hızıyla ilişkilendirilmiştir^{14,15}.

Sprint koşularında başlangıç sinyaline olabildiğince hızlı cevap verebilmek için motor sinir entegrasyonu önem taşımaktadır¹⁶. Kısa sürede bitirilen bu tür koşuları yapan sporcularda görsel, propriyoseptif ve vestibüler sistemlerden gelen impulslar, kasların kasılma ve gevşemelerini düzenlemede önemli rol oynamaktadır. Bu süreci değerlendirebilmek amacıyla koşu sporcusunun reaksiyon süresi belirlenmektedir. Reaksiyon süresi, koşucunun başlangıç sinyali sesi ile başlangıç bloklarına basınç uygulayabildiği zaman arasındaki süre olarak tanımlanmıştır⁸. Bu süre sprint koşularını en iyi düzeyde koşan atletlerde 200 ms'den kısadır. Ancak bununla birlikte reaksiyon süresi performans seviyeleri ile tam bir korelasyon göstermemektedir^{8,17}.

Sprint koşusunun metabolik özelliklerine bakıldığında, bu koşular asıl olarak anaerobik metabolizmaya dayanmaktadır. Erkek ve kadın koşucular için 100 m ve 200 m koşularında anaerobik enerji katkısının sırasıyla yaklaşık %79-%75 ve %72-%67 olduğu tahmin edilmektedir¹⁸. Koşu için vücuda gerekli olan enerji ilk 10 saniyeye kadar adenozin trifosfat (ATP) depolarından, fosfokreatin yıkımından ve glikolizden sağlanır. Fosfokreatin yıkımı ilk 3 saniyede ATP oluşumuna %70 katkı sağlarken daha sonrasında bu etki azalmakta ve bunun yerine anaerobik metabolizmayı desteklemek üzere glikoliz artmaktadır^{19,20}. Fosfokreatin ve glikolizden sağlanan maksimum ATP miktarı anaerobik kapasite olarak isimlendirilmiş olup sprint koşuları anaerobik kapasitenin kullanılmasına neden olmaktadır²¹. Sprint koşularında koşulan 400 m mesafe boyunca, süreyle birlikte artan anaerobik talep kan laktat seviyelerine de yansımaktadır ve bu nedenle kan laktat ölçümleri anaerobik kapasiteyi tahmin etmekte kullanılmaktadır²².

Sprint performansını etkileyen başlıca faktörler arasında iskelet kasının kütlesi, kas lifi içeriği ve fasikül uzunluğu sayılabilir^{23,24}. İskelet kasi farklı kas liflerinden oluşan heterojen bir yapıda olup Tip 2a lifleri hızlı oksidatif ve glikolitik liflerdir. Bu liflerin, Tip 1 liflere göre kasılma hızları fazladır fakat yorulmaya daha az dirençlidirler. Bu zamana kadar yapılan çalışmalarda, sprint koşularında daha çok

Mesafe Koşuları ve Performans

önem taşıyan nöromusküler gücün kas hacmiyle ilişkili olduğu, sprinterlerin daha fazla kas kütlesi ve hızlı kas lifi tiplerine sahip olduğu gösterilmiştir²⁵⁻²⁷. Miller ve ark.²⁶ elit sprinterlerde kalça ekstansör kasların daha büyük boyutlara sahip olduğunu ve bunun performansla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Sprint koşularındaki hızlanma ve sabit hız aşamasındaki koşu hızı ile bacak ekstansör kası olan vastus lateralis kasındaki Tip 2 lif oranı arasında ilişki olduğu saptanmıştır⁸. Ayrıca, sprint performansı ile alt ekstremitelerde kasların fasikül uzunlukları arasında korelasyon olduğu bildirilmiştir. Kas fasiküllerinin uzun olmasının sarkomerin daha yavaş kısalmasını sağlayarak daha fazla kuvvet geliştirilmesine neden olabileceği belirtilmektedir^{28,29}.

Orta Mesafe Koşuları

Orta mesafe koşuları ortalama 2-10 dakika kadar sürer ve atletizm programlarında yer alan orta mesafe yarışları ise genelde 800 m, 1500 m ve 3000 m koşularından oluşmaktadır³⁰. Orta mesafe koşuları hızlı koşmanın yanı sıra aynı zamanda ekonomik hareket etmeyi gerektirir. Yarışlarda etkili bir final bitişi için, özellikle sonlara doğru hızın arttığı bir tempo benimsemek önerilir^{31,32}. Orta mesafe koşucularının sprint ve uzun mesafe koşucularının karışımı bir koşu tekniği benimsediği belirtilmektedir³³.

Mesafe koşucuları daha hızlı koşmak için adım uzunluğunu ve frekansını artırmaya çalışırken temas süresini de kısaltırlar. Ancak kısa yerle temas süresi ve yüksek frekans metabolik maliyeti arttırmaktadır. Chapman ve ark.³⁴ yapmış olduğu çalışmada koşu hızı arttıkça yerle temas süresinde azalma, adım uzunluğu ve frekansında artma olduğunu göstermiştir. Aynı çalışmada koşu hızı saniyede 5 metreden 7 metreye çıkarıldığında orta mesafe koşucularında koşunun metabolik maliyeti %24,5; uzun mesafe koşucularında %31,1 artış göstermiştir. Bu nedenle mesafe yarışları boyunca hızı aynı şekilde sürdürmek mümkün olmayıp bitişe yakın hızlanmak için özellikle bu kısımda yerle teması kısaltmak ve adım frekansını artırmak yararlı görülmektedir³⁵.

Orta mesafe koşularına metabolik açıdan bakıldığında, 1500 m üzerindeki koşularda enerji asıl olarak aerobik metabolizmadan sağlanırken, glikoliz ve laktat da anaerobik metabolizmayı gerçekleştirmede enerji kaynağı olmayı sürdürür³⁶. Aerobik sistemin 400 m, 800 m ve 1500 m yarışları için yaklaşık katkısı sırasıyla yaklaşık %43, %66, %84'tür ve bu koşularda aerobik enerji sistemine geçişin ilk 15-30 saniyelik zaman diliminde gerçekleştiği gösterilmiştir^{37,38}. Koşu performansı farklı yöntemlerle belirlenmeye çalışılmaktadır. Performansın bir göstergesi olan maksimal oksijen tüketimi (VO₂maks) kavramı, kişinin yoğun egzersiz sırasında artan efora rağmen

oksijen alımında artışın daha fazla yükselmediği bir maksimum değere ulaşması olarak tanımlanmıştır³⁹. Sporcuların 100 m'den 3000 m'ye kadar olan koşucu yarışlarındaki sportif performansları ile VO₂maks düzeyleri arasındaki ilişki incelendiğinde, VO₂maks düzeyleri koşu mesafesi fazla olan sporcularda daha yüksektir. Kısa mesafe koşucularında ise VO₂maks ile performans tahmininin doğruluğu net olmayıp 1500 m'den daha kısa mesafelerde VO₂maks'ın performansı tahmin etme doğruluğunun daha az olduğu belirtilmiştir⁴⁰. Bu nedenle koşu sporunda performansı tahmin etmeye yönelik başka parametrelerin değerlendirilmesi söz konusudur. Örneğin, anaerobik hız rezervi (ASR) bir sporcunun maksimal sprint hızı ile maksimal oksijen alımındaki hızı (vVO₂maks) arasındaki farktır⁴¹. Sandford ve ark.⁴² yaptıkları çalışmalarda 800 m koşu performansı ile ASR arasında güçlü bir ilişki göstermelerine rağmen yaptıkları bir diğer çalışmada büyük ASR'ye sahip sporcuların daha yavaş 1500 m koşu performansı gösterdiklerini bulmuşlardır⁴³. Bu durumun, iki koşu mesafesine aerobik katkının farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Orta mesafe koşu performansı ile ilişkili bir diğer belirleyici faktör olan koşu ekonomisi, belirli bir koşu hızında submaksimal oksijen tüketimi olarak tanımlanmaktadır⁴⁴. Koşu ekonomisi verimli bir performansın göstergesi olarak kabul edilebilir. Ingham ve ark.⁴⁵ 800 m ve 1500 m koşucularının koşu performanslarının %95,9'nun VO₂maks ve koşu ekonomisi ile açıklanabileceğini bildirmiştir. Yukarıdaki performans belirleyicilere ek olarak, egzersiz sırasında kabul edilen laktat eşiği değeri 4 mmol olup bu değer üzerinde laktik asit birikimi aerobik metabolizmayı kısıtlayan bir faktör olarak düşünülmektedir⁴⁶. Kadın elit atletlerde yapılan çalışmada kan laktat birikiminin başlangıcı veya kan laktat eşiği gibi kan laktat değişkenlerinin 800 m ile 3000 m arası orta mesafe koşularında performansı öngördüğü bildirilmiştir⁴⁷.

Koşu performansında vücut kompozisyonu da önemli rol oynamaktadır. Vücut yağ oranında her %1'lik artışın VO₂maks değerinde %1'den biraz daha fazla düşüşe neden olduğu belirtilmiştir⁴⁸. Orta mesafe koşucularının diğer koşucu gruplarına göre daha uzun boylu ve deri altı yağ dokularının daha az olduğu şeklinde saptamalar bulunmaktadır^{49,50}.

Kas liflerinde değişimler açısından bakıldığında, dayanıklılık mesafe koşucularında yavaş kasılan lifler olan Tip 1 lifler daha yüksek oranda bulunur⁵¹. Fakat Tip 2 liflerin Tip 1 liflere göre daha üstün anaerobik metabolizma kapasitesine sahip olduğu da düşünüldüğünde, daha fazla Tip 2 kas liflerine sahip olmanın orta mesafe gibi hem aerobik hem de anaerobik metabolizmanın aktif olduğu koşularda son tur hızı için önemli ve yarar sağlayan bir özellik olabileceği de belirtilmektedir⁵².

Uzun Mesafe Koşuları

Koşu türlerinden bir diğer ana kategoriye oluşturan uzun mesafe koşuları 5 000 m, 10 000 m ve maraton koşuları içermektedir⁵³. Uzun mesafe koşularında, koşucular genellikle hızlı başlangıç yaparlar ve orta kısımda yavaşlayıp bitişe doğru tekrar hızlanırlar, fakat koşu boyunca çok fazla hız değişikliği yapmamak gerektiği de önerilmektedir^{7,54,55}. Uzun mesafe koşularında performans belirteci olan inceleme yöntemleri açısından, performansın %70'inin koşu ekonomisi, VO₂max ve laktat eşiği ile değerlendirilebileceği belirtilmektedir⁵⁶. Ancak uzun mesafe performansında bu belirleyici faktörler arasında en önemlisinin koşu ekonomisi olduğu düşünülebilir. Koşu ekonomisi, uzun mesafe koşularında önemli bir performans belirteci olup, benzer VO₂maks değerlerine sahip koşucularda koşu ekonomisi ile elde edilen değerler değişkenlik göstermektedir^{57,58}. Bu nedenle koşu ekonomisi ile elde edilen farklı sonuçların daha belirgin bir tanımlama oluşturabildiği, yarışlarda mesafe uzadıkça koşu ekonomisi bulgularının daha önemli duruma geldiği belirtilmektedir⁵⁹. Yüksek eğitilmiş mesafe koşucularının karşılaştırıldığı bir çalışmada 5000-10 000 km uzun mesafe koşucularının diğer gruplara göre daha yüksek VO₂maks ve koşu ekonomisi değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir⁶⁰.

Koşu şekli ve kinetiği açısından düşünüldüğünde uzun mesafe koşularında incelenen başlıca faktörler arasında, ayak vuruş şekilleri bulunmaktadır. Ayak vuruş şekillerinin araştırıldığı çalışmalarda farklı sonuçlar ortaya konmuştur. Ayaklarının orta kısmına basarak koşan atletlerin ayaklarının arka ya da topuk kısmına basan koşuculara göre ekonomik bir koşu için avantajlı olduğu gösterilmiş olsa da⁶¹ ayak vuruş şekilleri arasında fark olmadığını gösteren çalışmalarda vardır⁶². Koşucular uzun mesafe koşusuna yanıt olarak adım sıklığını arttırmakta ve adım uzunluğunu ise azaltmaktadır⁶³ ancak bu konuda bireysel tercihlerin yararlı olduğu da düşünülebilir. Deneyimli koşucuların seçtikleri adım frekansı ve uzunluğu ekonomik olarak en uygun adım frekansından %3 daha hızlı ve adım uzunluğundan %3 daha kısadır^{64,65}.

Metabolik açıdan düşünüldüğünde, uzun süreli egzersiz sırasında vücutta glikojen depoları azaldıkça enerji sağlamak için serbest yağ asitlerinin oksidasyonu artmaktadır⁶⁶. Ancak yağ dokusu enerji sağlanmasına katkı sağlıyor olsa da gerekenden fazla yağ dokusunun taşınması da metabolik maliyeti arttırmaktadır⁴⁸. Bu nedenle uzun mesafe koşularından olan yarı maraton koşucularında yapılan bir çalışmada vücut kütlesi ve vücut yağ yüzdesinin düşük olması yarışın kısa sürede bitirilmesiyle ilişkilendirilmiştir^{67,68}. Uzun mesafe koşucularının kas liflerinin bu koşu türüne uygun özellikler gösterdiği

düşünülebilir. Uzun mesafe koşucularını da içeren geniş bir tanımlama yapmak gerekirse, dayanıklılık sporcularında Tip 1 kas lifi baskındır ve bu kaslar daha aktif oksidatif enzimlere sahiptirler⁵¹.

Koşu sporu mesafeye göre geniş bir sınıflandırmaya sahip olduğundan farklı koşu tiplerine kardiyak adaptasyonda değişim olup olmadığı merak konusudur. Sprint koşularından maratona kadar farklı mesafelerde koşmuş sporcuların kalplerinin ekokardiyografi ile incelendiği Legaz Arrese ve ark'nın⁶⁹ çalışmasında diyastol sonu sol ventrikül iç çapının ve sol ventrikül ağırlığının koşu mesafesiyle arttığı ve bu artışın tüm mesafe koşucularında birbirine benzer bir şekilde sol ventrikül genişlemesiyle karakterize eksantrik hipertrofi şeklinde olduğu ortaya konmuştur. Ancak sağ ventrikül çapının ise sadece maraton koşucularında arttığı gösterilmiştir.

Sprint ve mesafe koşucularının 3 yıl boyunca takip edildiği bir başka çalışmada, bu bulgularla uyumlu olarak koşucuların kalplerinin eksantrik hipertrofi gösterdiği bulunmuş ve bu durumda diyastol sonu sol ventrikül iç çapının, koşu performansını öngören bir belirteç olabileceği düşünülmüştür⁷⁰. Ayrıca bu iki çalışmada sol ventrikül genişlemesine rağmen sistolik fonksiyonun korunmuş olarak bulunması elit koşucularda sol ventrikül büyümesinin bir fizyolojik adaptasyon olduğunu göstermektedir^{69,70}. Christou ve ark.⁷¹ yapmış oldukları çalışmada ise sağ ventrikül genişlemesinin maraton performansıyla ilişkili olduğu ve maraton koşucularında sağ ventrikül genişlemesinin yararlı bir miyokardiyal adaptasyon olabileceği belirtilmiştir.

Ultramaraton Koşuları

Klasik maraton mesafesi olan 42195 m'lik bir koşudan daha uzun koşular ultramaraton olarak kabul edilirler. Bu koşular 6 saat veya daha uzun süren yarışlardır. Bu yarışlar tek etaplı veya ardışık günlerde gerçekleşen çok etaplı etkinlikler olarak gerçekleşebilmektedir⁷².

Ultramaraton performansında hız stratejileri önemli bir yer almaktadır. Diğer koşu etkinliklerinde genellikle koşucular hızlı bir başlangıç yaparlar, sonra yavaşlarlar ve son kısımda tekrar hızlanırlar, ancak ultramaraton koşucuları daha az hız değişikliği göstererek daha eşit bir tempo sergilerler⁷³⁻⁷⁵. Koşu ile ilgili araştırmalara göre, artan koşu hızı gövde ve baş dengesinin korunmasını zorlaştırabilmektedir, bu durumun koşu verimliliğinin bozulmasına neden olacağı düşünülmektedir. Bazı çalışmalar elit koşucuların dikey salınımı daha az yaptıklarını ve üst vücut dengesinin daha kolay koruduklarını göstermiştir⁷⁶.

Mesafe Koşuları ve Performans

Ultramaraton performansını etkileyen diğer unsurlar ise VO_2 maks, vVO_2 maks, koşu ekonomisi, koşucunun antropometrik özellikleri, yaş, diz ekstansör kaslarının gücü ve yorgunluğa direnci gibi faktörlerdir⁷⁷⁻⁷⁹. Elit ultramaraton koşucuları elit maraton koşucularına göre daha düşük VO_2 maks değerlerine sahiptir. Erkek koşucular 42.2 km yarışlarında ortalama %82 VO_2 maks, 84.64 km yarışlarında ise ortalama %67 VO_2 maks değerinde koşmaktadır⁸⁰.

Ayrıca ultramaraton koşucularının yaşları diğer koşu türlerini yapan koşuculara göre belirgin bazı özellikler göstermektedir. Ultramaraton koşucuları ortalama olarak 45 yaşındadır ve maraton koşularına göre daha yaşlıdır^{81,82}. Koşu süresi ve yarış bitirme sayısı arttıkça ultramaraton koşucusunun en iyi performans yaşı da artmaktadır⁸³. Nikolaidis ve ark.'nın 1975 ile 2016 yılları arasında 50 km ultramaraton koşucularını incelediği çalışmada 1 yıllık yaş gruplarında ilk 10'da bitiren sporcuların koşu hızının en yüksek olduğu yaş 41'dir⁸⁴. De Souza ve ark.'nın 2010-2020 yılları arasında 180 km'yi aşan ultramaraton yarışlarını incelediği çalışmada en yüksek performansların ortalama 45 yaşlarında olduğu gösterilmiştir⁸⁵. Yaşla birlikte VO_2 maks'da azalmalar görülsede^{86,87} antrenman hacminin fazla olması ve yüksek deneyim birikimi daha iyi bir bitiş performansı için önemli faktörler arasındadır⁸⁸. Maraton koşucuları ile 100 km ultramaraton koşucularının antrenman özellikleri karşılaştırıldığında ultramaraton koşucularının haftalık antrenman hacmi daha fazla olup haftalık koşu kilometresiyle yarış süresi ilişkili bulunmuştur⁸⁹.

Vücut kompozisyonu açısından bakıldığında, ultramaraton koşucuları diğer koşucularla karşılaştırıldığında daha düşük vücut yağ oranına sahiptir^{79,90}. Düşük yağ yüzdesi ultramaraton performansında avantaj sağlamaktadır^{89,91}. Ultramaraton koşucularının iskelet kaslarının Tip 1 liflerine özgü seçici bir hipertrofi olabilir. Tip 1 lifler daha zengin bir vaskülasyona sahiptir ve hem Tip 1 hem de Tip 2 liflerin çapı bu sporcularda daha genişlemiştir⁹².

Koşu sporunda özellikle maraton ve ultra maraton koşusu gibi uzun mesafeleri içeren koşuların solunum sistemini etkileyebileceği yönünde bulgular mevcuttur. Bu mesafe koşularının öncesi ve hemen sonrası yapılan spirometrik ölçümlerde solunum fonksiyonlarında %10-15 aralığında azalmalar olduğu ve maksimum statik ağız basıncı manevraları kullanılarak dolaylı olarak yapılan ölçümlerde ise %15-25 aralığında solunum kası yorgunluğu belirtileri gözlemlenmiştir⁹³. Solunum fonksiyonlarında spirometrik değerlerdeki azalma özellikle solunum sistemi rahatsızlığı olan koşucular için önemli olabilir ve performansı etkileyebilir. Solunum kası yorgunluğu açısından bakıldığında ise, oluşan yorgunluk belirtileri koşu performansını sınırlayıcı bir faktör olabilir.

Spirometre ile yapılan solunum fonksiyon değerlendirmelerine ek olarak, farklı yöntemlerle incelenen inspiratuar ve/veya ekspiratuar solunum kaslarının kuvvet üretme kapasitesindeki değişim, solunum kası yorgunluğunu gösterebilmektedir⁹⁴. Ayrıca, solunum kas yorgunluğu daha kısa koşu mesafelerinde de görülebilmektedir. Toshiyuki ve ark.'nın⁹⁵ yapmış oldukları çalışmada 400 m ve 800 m koşularından sonra da inspiratuar kas yorgunluğu gelişebileceği gösterilmiştir. Bu açıdan bakıldığında solunum kaslarını güçlendiren antrenmanlar, solunum kası yorgunluğunu azaltarak koşu performansını artırmaya fayda sağlayabilir.

Koşu Performansı ile Genetik İlişkisi

Farklı koşu türlerinde genetik özelliklerin rolünün incelenmesinde alfa aktinin ve bu proteini kodlayan alfa- aktinin-3 (ACTN3) genindeki değişimler sıklıkla incelenmiştir. Alfa aktinin, aktinler arası bağlantı sağlayan, iskelet kasında miyofibril kontraksiyonunu düzenleyici yapısal bir proteindir⁹⁶. ACTN3 geninin R alelinde alfa aktinin üretimi olurken X alelindeki genetik değişiklikler alfa aktinin üretimini durdurmaktadır. Bu nedenle homozigot X aleli olan bireylerde alfa aktinin ifadesi eksiktir ve popülasyonlar arası farklılık olsa da bireylerin %16'sında alfa aktinin eksikliği olduğu düşünülmektedir⁹⁷. Alfa aktinin eksikliği glikojen fosforilaz aktivitesini azaltır ve enerji kullanımını daha çok oksidatif metabolizma yönünde artırır. Bu durumun dayanıklılık performansını artırabileceği belirtilmiştir⁹⁸. Yang ve ark.'nın yaptığı çalışmada Avustralyalı sprint koşucularında kontrole göre ACTN3 geninin RR genotipi sıklığı daha yüksek, XX genotipinin sıklığı ise daha düşük bulunmuştur⁹⁹. Benzer şekilde Yunan ve Finli sprinterlerde yapılan çalışmalarda XX aleli yaygınlığı az bulunmuştur^{100,101}. Bu bulgulara rağmen genotipin koşu performansı üzerine etkisi ile ilgili bulgular kesin bir yönü işaret etmekte yeterli gibi görünmemektedir. Yapılan bazı çalışmalarda, XX genotipinin dayanıklılık performansına avantaj sağlayabileceği düşünülse de performansın bu durumla ilişkili olmadığını gösteren çalışmalar da mevcuttur^{102,103}.

İncelenen bir diğer gen anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) genidir. ACE geninin "I" ve "D" olmak üzere iki aleli olup "D" aleli yüksek ACE aktivitesi gösterir¹⁰⁴. "I" aleli dayanıklılık "D" aleli ise güç odaklı sporlar ile ilişkilendirilmiştir¹⁰⁵. Zhang ve ark. yaptığı çalışmada "I" aleli artışının Tip 1 kas lifi yüzdesini artırdığını ve "D" aleli artışının da Tip 2 kas lifi yüzdesini artırdığını göstermiştir¹⁰⁶. D genotipi ile artan anjiyotensin 2 kas büyümesini uyarıcı bir etkiye sahip olabilir. Bu etki güç odaklı sporlarda faydalı olabilecek kas kütesinin gelişimini destekleyebilirken "I" aleli kas verimliliğini artırarak dayanıklılık

sporlarında performansa katkıda bulunabilir¹⁰⁷. Türk sporcularda yapılan çalışmada DD genotipinin kısa süreli aerobik dayanıklılık performansı ile ilişkili olabileceği bulunmuştur¹⁰⁸. ACE genotipi performans ile ilişkisinin gösterilemediği sonuçlar da mevcuttur^{103,109,110}.

1980'li yıllardan bu yana, maraton ya da ultramaraton gibi uzun mesafe koşuları sırasında veya sonrasında sersemleme, yorgunluk, bulantı, kusma, konfüzyon, koma gibi bulguların görülmesinin önemli bir nedeninin egzersizle ilişkili hiponatremi olabileceği anlaşılmıştır⁷². Egzersizle ilişkili hiponatremi, yarışma ya da etkinlik sırasında terlemeye bağlı sodyum eksikliğinden kaynaklanabileceği gibi yarışma öncesinde ve sırasında fazla sıvı alımına bağlı göreceli bir sodyum azlığından da kaynaklanabilmektedir¹¹¹. Farklı uzun mesafe koşularında, egzersizle ilişkili hiponatremiye bağlı ölümler de görülmüş olup bu ciddi durumun gelişimini önlemek açısından bilgilendirici rehberler hazırlanmıştır¹¹¹. Bu rehberler ile koşu öncesi ve sırasında aşırı sıvı alımı tehlikesine ve vücut sodyum düzeyinin önemine dikkat çekilmektedir. Atletlerin aktiviteler sırasında vücut ağırlığı değişimine çok dikkat etmesi önerilmekte, aktivite sırasında kilo alımının tehlikeli olabileceği belirtilmektedir. Aşırı dehidratasyonu önlemek için yeterli sıvı alımı sağlanmalıdır ancak bu noktada aşırı sıvı alımından da kaçınmak gerekir. Uygun sıvı alımı için sporcuların susadığı zaman su içmeleri önerilmektedir^{112,113}.

Sonuç

Sonuç olarak bu derlemede vurgulandığı gibi koşu yarışlarında sporcunun performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Koşu sporu 100 m'den başlayan sprint koşularından 100 km ve daha üzeri mesafeleri içeren ultramaraton yarışlarına kadar çok çeşitli mesafeleri içermektedir. Koşucunun performansını etkileyen faktörlerde bu yarış mesafelerine göre değişiklik göstermektedir.

Sprint koşucularında performans bloktaki hızlı başlangıç şekli ve yüksek koşu hızıyla ilişkili olup metabolik olarak anaerobik metabolizmaya bağlıdır. Fazla kas kütlesi ve Tip 2a kas lifi oranı ayrıca uzun kas lifi sprint performansına katkı sağlamaktadır. Sprint koşucuları için başlangıç performansını iyileştirebilecek taktiklerin ve koşu hızını artıracak kas adaptasyonları sağlayan antrenmanların daha fazla incelenmesine ihtiyaç vardır. Orta mesafe koşularında hızlı olmak kadar koşuyu ekonomik koşmak da önemlidir. Yarışma sırasındaki koşu mesafesi arttıkça aerobik metabolizmanın katkısı artmaktadır. Koşu mesafesinin uzamasıyla performans ilişkisi değişse de VO₂maks, koşu ekonomisi ya da ASR, orta mesafe koşularında performansı belirlemede kullanılan önemli parametrelerdir. Mesafe artışına bağlı olarak

VO₂maks ve koşu ekonomisinde artış görülmektedir. Ancak performans için koşu ekonomisinin daha önemli olduğu düşünülebilir. Ultramaraton koşucuları uzun mesafe koşucularından farklı olarak daha yaşlı olup koşu deneyimleri performansı artırabilmektedir. Tüm bu faktörler göz önüne alındığında, genel olarak mesafe koşucularının koşu ekonomilerini iyileştirmeye yönelik fizyolojik ve antrenman özelliklerinin araştırılması ve bu konudaki bilgilerin artması koşu performansının gelişmesi açısından yarar sağlayabilir.

Son yıllardaki araştırma bulgularına göre koşu performansının genetik özellikleri ile ilgili çalışmalarda çelişkili sonuçlar olduğu görülmektedir. Performansa tek bir gen yerine çoklu gen varyasyonlarının katkı sağladığını düşünülebilir. Yapılacak ileri araştırmalarda birden fazla genin incelenmesine ve daha büyük kohort çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok kişinin yaptığı bir spor olan koşuda, yarışlar esnasında ortaya çıkabilecek sakatlıklar, sıvı dengesizlikleri, sodyum iyon bozuklukları, beslenme bozuklukları gibi durumlarda yarış performansı olumsuz etkilediğinden dikkat edilmesi ve koşucuların bilgilendirilmesi gereken önemli konulardır.

Etik Kurul Onay Bilgisi:

Derleme türü bu makalede etik kurul onayı alınması gerekmemektedir.

Araştırmacı Katkı Beyanı:

Fikir ve tasarım: S.Y., S.A.V.; Veri toplama ve işleme: S.Y.; Analiz ve verilerin yorumlanması: S.Y., S.A.V.; Makalenin önemli bölümlerinin yazılması: S.Y., S.A.V.

Destek ve Teşekkür Beyanı:

Bu çalışmamıza finansal destek sağlanmamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı:

Makale yazarlarının çıkar çatışması beyanı yoktur.

Kaynaklar

1. Pedisic Z, Shrestha N, Kovalchik S, et al. Is running associated with a lower risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality, and is the more the better? A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2020; 54(15): 898-905.
2. 45'incisi yapılan Türkiye İş Bankası İstanbul Maratonu 5.11.2023. <https://www.taf.org.tr/Haber/Detay/45incisi-yapilan-turkiye-is-bankasi-istanbul-maratonu-kosuldu> (accessed 03.07.2024).
3. İstanbul Maratonu Hakkında. 2020. <https://maraton.istanbul/istanbul-maratonu-hakkinda/> (accessed 03.07.2024).
4. Thompson MA. Physiological and Biomechanical Mechanisms of Distance Specific Human Running Performance. *Integr Comp Biol* 2017; 57(2): 293-300.
5. Kakouris N, Yener N, Fong DTP. A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. *J Sport Health Sci* 2021; 10(5): 513-22.
6. Spittler J, Oberle L. Current Trends in Ultramarathon Running. *Current Sports Medicine Reports* 2019; 18(11): 387-93.

Mesafe Koşuları ve Performans

7. Casado A, Hanley B, Jiménez-Reyes P, Renfree A. Pacing profiles and tactical behaviors of elite runners. *J Sport Health Sci* 2021; 10(5): 537-49.
8. Mero A, Komi PV, Gregor RJ. Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Med* 1992; 13(6): 376-92.
9. Slawinski J, Dumas R, Cheze L, et al. Effect of postural changes on 3D joint angular velocity during starting block phase. *J Sports Sci* 2013; 31(3): 256-63.
10. Cavedon V, Bezodis NE, Sandri M, et al. Effect of different anthropometry-driven block settings on sprint start performance. *Eur J Sport Sci* 2023; 23(7): 1110-20.
11. Bezodis NE, Salo AI, Trewartha G. Relationships between lower-limb kinematics and block phase performance in a cross section of sprinters. *Eur J Sport Sci* 2015; 15(2): 118-24.
12. Graham-Smith P, Colyer SL, Salo AI. Differences in ground reaction waveforms between elite senior and junior academy sprinters during the block phase and first two steps. *International Journal of Sports Science & Coaching* 2020; 15(3): 418-27.
13. Rabita G, Dorel S, Slawinski J, et al. Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scand J Med Sci Sports* 2015; 25(5): 583-94.
14. Morin JB, Bourdin M, Edouard P, et al. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol* 2012; 112(11): 3921-30.
15. Paradisis GP, Bissas A, Pappas P, et al. Sprint mechanical differences at maximal running speed: Effects of performance level. *J Sports Sci* 2019; 37(17): 2026-36.
16. Vellucci CL, Beaudette SM. A need for speed: Objectively identifying full-body kinematic and neuromuscular features associated with faster sprint velocities. *Front Sports Act Living* 2022; 4: 1094163.
17. Tønnessen E, Haugen T, Shalfawi SA. Reaction time aspects of elite sprinters in athletic world championships. *J Strength Cond Res* 2013; 27(4): 885-92.
18. Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events. *J Sci Med Sport* 2004; 7(3): 302-13.
19. Santos JA, Affonso HO, Boullosa D, et al. Extreme blood lactate rising after very short efforts in top-level track and field male sprinters. *Res Sports Med* 2022; 30(5): 566-72.
20. Sahlin K. Muscle energetics during explosive activities and potential effects of nutrition and training. *Sports Med* 2014; 44 Suppl 2(Suppl 2): S167-73.
21. Medbø JI, Mohn AC, Tabata I, et al. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J Appl Physiol (1985)* 1988; 64(1): 50-60.
22. Korhonen MT, Suominen H, Mero A. Age and sex differences in blood lactate response to sprint running in elite master athletes. *Can J Appl Physiol* 2005; 30(6): 647-65.
23. Korhonen MT, Mero AA, Alén M, et al. Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41(4): 844-56.
24. Kumagai K, Abe T, Brechue WF, et al. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol (1985)* 2000; 88(3): 811-6.
25. Handsfield GG, Knaus KR, Fiorentino NM, et al. Adding muscle where you need it: non-uniform hypertrophy patterns in elite sprinters. *Scand J Med Sci Sports* 2017; 27(10): 1050-60.
26. Miller R, Balshaw TG, Massey GJ, et al. The Muscle Morphology of Elite Sprint Running. *Med Sci Sports Exerc* 2021; 53(4): 804-15.
27. Andersen JL, Klitgaard H, Saltin B. Myosin heavy chain isoforms in single fibres from m. vastus lateralis of sprinters: influence of training. *Acta Physiol Scand* 1994; 151(2): 135-42.
28. Abe T, Kumagai K, Brechue WF. Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(6): 1125-9.
29. Lin YC, Pandy MG. Predictive Simulations of Human Sprinting: Effects of Muscle-Tendon Properties on Sprint Performance. *Med Sci Sports Exerc* 2022; 54(11): 1961-72.
30. Trowell D, Phillips E, Saunders P, Bonacci J. The relationship between performance and biomechanics in middle-distance runners. *Sports Biomech* 2021; 20(8): 974-84.
31. Casado A, Renfree A. Fortune Favors the Brave: Tactical Behaviors in the Middle-Distance Running Events at the 2017 IAAF World Championships. *Int J Sports Physiol Perform* 2018; 13(10): 1386-91.
32. Mytton GJ, Archer DT, Turner L, et al. Increased variability of lap speeds: differentiating medalists and nonmedalists in middle-distance running and swimming events. *Int J Sports Physiol Perform* 2015; 10(3): 369-73.
33. Cunningham R, Hunter I, Seeley MK, Feland B. Variations in running technique between female sprinters, middle, and distance runners. *International journal of exercise science* 2013; 6: 6.
34. Chapman RF, Laymon AS, Wilhite DP, et al. Ground contact time as an indicator of metabolic cost in elite distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44(5): 917-25.
35. Hanley B, Merlino S, Bissas A. Biomechanics of World-Class 800 m Women at the 2017 IAAF World Championships. *Front Sports Act Living* 2022; 4: 834813.
36. Ward-Smith AJ. The bioenergetics of optimal performances in middle-distance and long-distance track running. *J Biomech* 1999; 32(5): 461-5.
37. Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *J Sports Sci* 2005; 23(3): 299-307.
38. Spencer MR, Gastin PB. Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(1): 157-62.
39. Hill AV, Lupton H. Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen. *QJM: An International Journal of Medicine* 1923; os-16(62): 135-71.
40. Legaz-Arrese A, Munguia-Izquierdo D, Nuviala A, et al. Average VO₂max as a function of running performances on different distances. *Science & Sports* 2007; 22: 43-9.
41. Blondel N, Berthoin S, Billat V, Lensele G. Relationship between run times to exhaustion at 90, 100, 120, and 140% of vVO₂max and velocity expressed relatively to critical velocity and maximal velocity. *Int J Sports Med* 2001; 22(1): 27-33.
42. Sandford GN, Allen SV, Kilding AE, Ross A, Laursen PB. Anaerobic Speed Reserve: A Key Component of Elite Male 800-m Running. *Int J Sports Physiol Perform* 2019; 14(4): 501-8.
43. Sandford GN, Rogers SA, Sharma AP, et al. Implementing Anaerobic Speed Reserve Testing in the Field: Validation of vVO₂max Prediction From 1500-m Race Performance in Elite Middle-Distance Runners. *Int J Sports Physiol Perform* 2019; 14(8): 1147-50.
44. Costill DL, Thomason H, Roberts E. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports* 1973; 5(4): 248-52.
45. Ingham SA, Whyte GP, Pedlar C, et al. Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40(2): 345-50.
46. Brandon LJ. Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Med* 1995; 19(4): 268-77.
47. Yoshida T, Udo M, Iwai K, et al. Significance of the contribution of aerobic and anaerobic components to several distance running performances in female athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990; 60(4): 249-53.

48. Londeree BR. The use of laboratory test results with long distance runners. *Sports Med* 1986; 3(3): 201-13.
49. Stachoń A, Pietraszewska J, Burdukiewicz A. Anthropometric profiles and body composition of male runners at different distances. *Sci Rep* 2023; 13(1): 18222.
50. Sánchez Muñoz C, Muros JJ, López Belmonte Ó, Zabala M. Anthropometric Characteristics, Body Composition and Somatotype of Elite Male Young Runners. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17(2).
51. Costill DL, Daniels J, Evans W, et al. Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J Appl Physiol* 1976; 40(2): 149-54.
52. Bellinger P, Derave W, Lievens E, et al. Determinants of last lap speed in paced and maximal 1500-m time trials. *Eur J Appl Physiol* 2021; 121(2): 525-37.
53. Casado A, Hanley B, Santos-Concejero J, Ruiz-Pérez LM. World-Class Long-Distance Running Performances Are Best Predicted by Volume of Easy Runs and Deliberate Practice of Short-Interval and Tempo Runs. *J Strength Cond Res* 2021; 35(9): 2525-31.
54. Díaz JJ, Fernández-Ozcorta EJ, Santos-Concejero J. The influence of pacing strategy on marathon world records. *Eur J Sport Sci* 2018; 18(6): 781-6.
55. Haney TA Jr., Mercer JA. A Description of Variability of Pacing in Marathon Distance Running. *Int J Exerc Sci* 2011; 4(2): 133-40.
56. di Prampero PE, Atchou G, Brückner JC, Moia C. The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1986; 55(3): 259-66.
57. Conley DL, Krahenbuhl GS. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1980; 12(5): 357-60.
58. Morgan DW, Baldini FD, Martin PE, Kohrt WM. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO₂max among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 1989; 21(1): 78-83.
59. Conley DL, Krahenbuhl GS, Burkett LN. Training for Aerobic Capacity and Running Economy. *Phys Sportsmed* 1981; 9(4): 107-46.
60. Maldonado S, Mujika I, Padilla S. Influence of body mass and height on the energy cost of running in highly trained middle- and long-distance runners. *Int J Sports Med* 2002; 23(4): 268-72.
61. Di Michele R, Merni F. The concurrent effects of strike pattern and ground-contact time on running economy. *J Sci Med Sport* 2014; 17(4): 414-8.
62. Ogueta-Alday A, Rodríguez-Marroyo JA, García-López J. Rearfoot Striking Runners Are More Economical Than Midfoot Strikers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2014; 46(3): 580-5.
63. Kim HK, Mirjalili SA, Fernandez J. Gait kinetics, kinematics, spatiotemporal and foot plantar pressure alteration in response to long-distance running: Systematic review. *Hum Mov Sci* 2018; 57: 342-56.
64. de Ruiter CJ, Verdijk PW, Werker W, Zuidema MJ, de Haan A. Stride frequency in relation to oxygen consumption in experienced and novice runners. *Eur J Sport Sci* 2014; 14(3): 251-8.
65. Moore IS. Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy. *Sports Med* 2016; 46(6): 793-807.
66. Costill DL. Physiology of marathon running. *Jama* 1972; 221(9): 1024-9.
67. Nikolaidis PT, Knechtle B. Predictors of half-marathon performance in male recreational athletes. *Excli j* 2023; 22: 559-66.
68. Ogueta-Alday A, Morante JC, Gómez-Molina J, García-López J. Similarities and differences among half-marathon runners according to their performance level. *PLoS One* 2018; 13(1): e0191688.
69. Legaz Arrese A, Serrano Ostáriz E, González Carretero M, Lacambra Blasco I. Echocardiography to measure fitness of elite runners. *J Am Soc Echocardiogr* 2005; 18(5): 419-26.
70. Legaz-Arrese A, González-Carretero M, Lacambra-Blasco I. Adaptation of left ventricular morphology to long-term training in sprint- and endurance-trained elite runners. *Eur J Appl Physiol* 2006; 96(6): 740-6.
71. Christou GA, Pagourelis ED, Deligiannis AP, Kouidi EJ. Exploring the Anthropometric, Cardiorespiratory, and Haematological Determinants of Marathon Performance. *Front Physiol* 2021; 12: 693733.
72. Knechtle B, Nikolaidis PT. Physiology and Pathophysiology in Ultra-Marathon Running. *Front Physiol* 2018; 9: 634.
73. Bossi AH, Matta GG, Millet GY, et al. Pacing Strategy During 24-Hour Ultramarathon-Distance Running. *Int J Sports Physiol Perform* 2017; 12(5): 590-6.
74. Suter D, Sousa CV, Hill L, et al. Even Pacing Is Associated with Faster Finishing Times in Ultramarathon Distance Trail Running-The "Ultra-Trail du Mont Blanc" 2008-2019. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17(19).
75. Lambert MI, Dugas JP, Kirkman MC, Mokone GG, Waldeck MR. Changes in Running Speeds in a 100 KM Ultra-Marathon Race. *J Sports Sci Med* 2004; 3(3): 167-73.
76. Lin SP, Sung WH, Kuo FC, Kuo TB, Chen JJ. Impact of Center-of-Mass Acceleration on the Performance of Ultramarathon Runners. *J Hum Kinet* 2014; 44: 41-52.
77. Garbisu-Hualde A, Santos-Concejero J. What are the Limiting Factors During an Ultra-Marathon? A Systematic Review of the Scientific Literature. *J Hum Kinet* 2020; 72: 129-39.
78. Lazzer S, Salvadego D, Rejc E, et al. The energetics of ultra-endurance running. *Eur J Appl Physiol* 2012; 112(5): 1709-15.
79. Knechtle B, Rüst CA, Knechtle P, Rosemann T. Does Muscle Mass Affect Running Times in Male Long-distance Master Runners? *Asian J Sports Med* 2012; 3(4): 247-56.
80. Davies CT, Thompson MW. Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979; 41(4): 233-45.
81. Hoffman MD, Fogard K. Demographic characteristics of 161-km ultramarathon runners. *Res Sports Med* 2012; 20(1): 59-69.
82. Hoffman MD, Wegelin JA. The Western States 100-Mile Endurance Run: participation and performance trends. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41(12): 2191-8.
83. Knechtle B, Valeri F, Zingg MA, Rosemann T, Rüst CA. What is the age for the fastest ultra-marathon performance in time-limited races from 6 h to 10 days? *Age (Dordr)* 2014; 36(5): 9715.
84. Nikolaidis PT, Knechtle B. Age of peak performance in 50-km ultramarathoners - is it older than in marathoners? *Open Access J Sports Med* 2018; 9: 37-45.
85. de Souza RF, Santos MMS, Thuany M, et al. Ultramarathon Evaluation above 180 km in relation to Peak Age and Performance. *Biomed Res Int* 2022; 2022: 1036775.
86. Pimentel AE, Gentile CL, Tanaka H, Seals DR, Gates PE. Greater rate of decline in maximal aerobic capacity with age in endurance-trained than in sedentary men. *J Appl Physiol (1985)* 2003; 94(6): 2406-13.
87. Higginbotham MB, Morris KG, Williams RS, Coleman RE, Cobb FR. Physiologic basis for the age-related decline in aerobic work capacity. *Am J Cardiol* 1986; 57(15): 1374-9.
88. Tanda G, Knechtle B. Effects of training and anthropometric factors on marathon and 100 km ultramarathon race performance. *Open Access J Sports Med* 2015; 6: 129-36.

Mesafe Koşuları ve Performans

89. Rüst CA, Knechtle B, Knechtle P, Rosemann T. Similarities and differences in anthropometry and training between recreational male 100-km ultra-marathoners and marathoners. *J Sports Sci* 2012; 30(12): 1249-57.
90. Hoffman MD, Lebus DK, Ganong AC, Casazza GA, Van Loan M. Body composition of 161-km ultramarathoners. *Int J Sports Med* 2010; 31(2): 106-9.
91. Knechtle B, Knechtle P, Rosemann T, Senn O. What is associated with race performance in male 100-km ultra-marathoners--anthropometry, training or marathon best time? *J Sports Sci* 2011; 29(6): 571-7.
92. Crenshaw AG, Fridén J, Thornell LE, Hargens AR. Extreme endurance training: evidence of capillary and mitochondria compartmentalization in human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991; 63(3-4): 173-8.
93. Tiller NB. Pulmonary and Respiratory Muscle Function in Response to Marathon and Ultra-Marathon Running: A Review. *Sports Med* 2019; 49(7): 1031-41.
94. NHLBI Workshop summary. Respiratory muscle fatigue. Report of the Respiratory Muscle Fatigue Workshop Group. *Am Rev Respir Dis* 1990; 142(2): 474-80.
95. Ohya T, Yamanaka R, Hagiwara M, Oriishi M, Suzuki Y. The 400- and 800-m Track Running Induces Inspiratory Muscle Fatigue in Trained Female Middle-Distance Runners. *J Strength Cond Res* 2016; 30(5): 1433-7.
96. Blanchard A, Ohanian V, Critchley D. The structure and function of alpha-actinin. *J Muscle Res Cell Motil* 1989; 10(4): 280-9.
97. North KN, Yang N, Wattanasirichaigoon D, et al. A common nonsense mutation results in alpha-actinin-3 deficiency in the general population. *Nat Genet* 1999; 21(4): 353-4.
98. Berman Y, North KN. A gene for speed: the emerging role of alpha-actinin-3 in muscle metabolism. *Physiology (Bethesda)* 2010; 25(4): 250-9.
99. Yang N, MacArthur DG, Gulbin JP, et al. ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *Am J Hum Genet* 2003; 73(3): 627-31.
100. Niemi AK, Majamaa K. Mitochondrial DNA and ACTN3 genotypes in Finnish elite endurance and sprint athletes. *Eur J Hum Genet* 2005; 13(8): 965-9.
101. Papadimitriou ID, Papadopoulos C, Kouvatzi A, Triantaphyllidis C. The ACTN3 gene in elite Greek track and field athletes. *Int J Sports Med* 2008; 29(4): 352-5.
102. Eynon N, Duarte JA, Oliveira J, et al. ACTN3 R577X polymorphism and Israeli top-level athletes. *Int J Sports Med* 2009; 30(9): 695-8.
103. Papadimitriou ID, Lockey SJ, Voisin S, et al. No association between ACTN3 R577X and ACE I/D polymorphisms and endurance running times in 698 Caucasian athletes. *BMC Genomics* 2018; 19(1): 13.
104. Rigat B, Hubert C, Alhenc-Gelas F, et al. An insertion/deletion polymorphism in the angiotensin I-converting enzyme gene accounting for half the variance of serum enzyme levels. *J Clin Invest* 1990; 86(4): 1343-6.
105. Puthuchery Z, Skipworth JR, Rawal J, et al. The ACE gene and human performance: 12 years on. *Sports Med* 2011; 41(6): 433-48.
106. Zhang B, Tanaka H, Shono N, et al. The I allele of the angiotensin-converting enzyme gene is associated with an increased percentage of slow-twitch type I fibers in human skeletal muscle. *Clin Genet* 2003; 63(2): 139-44.
107. Jones A, Montgomery HE, Woods DR. Human performance: a role for the ACE genotype? *Exerc Sport Sci Rev* 2002; 30(4): 184-90.
108. Cam FS, Colakoglu M, Sekuri C, et al. Association between the ACE I/D gene polymorphism and physical performance in a homogeneous non-elite cohort. *Can J Appl Physiol* 2005; 30(1): 74-86.
109. Ash GI, Scott RA, Deason M, et al. No association between ACE gene variation and endurance athlete status in Ethiopians. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43(4): 590-7.
110. Scott RA, Irving R, Irwin L, et al. ACTN3 and ACE genotypes in elite Jamaican and US sprinters. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42(1): 107-12.
111. Hew-Butler T, Loi V, Pani A, Rosner MH. Exercise-Associated Hyponatremia: 2017 Update. *Front Med (Lausanne)* 2017; 4: 21.
112. Hew-Butler T, Rosner MH, Fowkes-Godek S, et al. Statement of the Third International Exercise-Associated Hyponatremia Consensus Development Conference, Carlsbad, California, 2015. *Clin J Sport Med* 2015; 25(4): 303-20.
113. Costa RJS, Knechtle B, Tarnopolsky M, Hoffman MD. Nutrition for Ultramarathon Running: Trail, Track, and Road. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2019; 29(2): 130-40.

