



ISSN: 2636-848X

DOI: 10.46385/tsbd.1050575

**Türk Spor Bilimleri
Dergisi**
Türk Spor Bil Derg

Cilt 5, Sayı 2
Ekim 2022, 155-167

**The Journal of Turkish
Sport Sciences**
J Turk Sport Sci

Volume 5, Issue 2
October 2022, 155-167

 Muzaffer DOĞGÜN¹

¹ Girne Amerikan Üniversitesi
Spor Bilimleri Fakültesi

Sorumlu Yazar: M. Doğğün
e-mail: muzafferdoggun@gau.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.12.2021
Kabul Tarihi: 04.04.2022

DERLEME
REVIEW

Spor Branşına Yönlendirmede Genetik Testlerin Stratejik Rolü

Özet

Dünyada sporun gelişmesi ile birlikte özellikle sporcuların yapmış oldukları sporda gelişim sağlamaları için çok küçük yaşlarda spora başlamaları ve disipline edilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle çocuklara küçük yaşta spora yatkınlıklarının belirlenebilmesi için genetik testleri uygulanmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle genetik elementlerin belirli atletik özelliklerle ilişkilendirildiği ve buna bağlı olarak genetik değişikliklerin mümkün olduğu görülmektedir. Bu çalışmada spor yeteneğini etkileyen genetik polimorfizm incelenmiş ve genetik testlerin spor branşına stratejik olarak etkisinin ne olduğu yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çocuk, genetik testler, spor

Strategic Role of Genetic Testing in Direction to Sports Branch

Abstract

With the development of sports in the world, especially athletes need to start sports at a very young age and be disciplined in to develop their sports. For this reason, genetic tests are applied to children to determine their tendency to sports at an early age. When the studies in the literature are examined, it is seen that especially genetic elements are associated with certain athletic characteristics and genetic changes are possible accordingly. In this study, genetic polymorphism affecting sports ability was examined and the strategic effect of genetic tests on the sports branch was interpreted.

Keywords: Child, genetic tests, sport

GİRİŞ

Yaşadığımız yüzyıl içerisinde bir sporcunun iş üretme becerileri üzerine etkili olan psişik ve fiziksel olarak birden fazla mekanizmanın bulunduğu görölmektedir. Bu sebeple tüm olumlu etkenlerin yanında olumsuz etkenlerinde bulunduğu belirlenmiştir. Gerçekleşen sportif performansların işlevinde sporcuların fiziksel ya da olumsuz etkenlere rağmen gerçekleşen sportif performanslarının bir sporcunun fiziksel yada atletik iş üretme kabiliyetini, buna bağılı olarak üretim kapasite ya da kalitesinin bir bileşkesi olarak kabul etmenin en önemli tanım olacağı görölmektedir.

Burada yapılan değerlendirmeler ve tanımlar için performans bileşenlerini etkileyen ve belirleyen tüm olumsuz ve olumlu faktörlerin değerlendirilmesi gerekmektedir (Bayraktar vd., 2004).

Yetenek keşif çevrelerinde yapılan inceleme sonucunda adayların spor yeteneğinin doğuştan ya da yetiştirilerek ortaya çıktığı konusu tartışılmaktadır. Sporcuların performanslarının oluşmasında pratik yanında gelişmede de bir sınır olabileceği görölmektedir. Yetenek ve becerilerin kullanımın bu konuda kalıtsal nitelikleri ve genç yetenek yollarında hedeflenmiş olan kaynakların kullanımı ile önemli şekilde arttırılabilmekte ve etkinleştirilebilmektedir (Drozdovska vd., 2013: 163-164).

Genetik; canlılarda kalıtım olayını inceleyerek yorumlamaktadır. Genetik testler; kalıtsal bir bozuklukla ilgili anormallikleri tespit etmek için kullanılan DNA, RNA, kromozomlar ya da proteinlerin analizi olarak tanımlanmaktadır. Genetik testler bir geni oluşturan DNA ya da RNA'yı inceleyebilmektedir. Bunun yanında hastalığa neden olan bir genle eş kalıtsal olan belirteçlere bakabilmektedir. Genlerin protein ürünlerini ya da kromozomlarını incelemektedir. Bu genetik testleri, kan üzerinden ve tükürük üzerinden yapılabilmektedir (Holtzman, Watson, 1998; Richards, 2004: 11).

Sporda insanların performanslarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler incelendiğinde beslenme, motivasyon, çevre ekipmanları olarak sıralanmaktadır. Dünyada gerçekleşen ilerlemeler sonucunda birçok fizyolog spor performans sınırlarının genetiğimizle ilgili olduğunu, bununda özellikle kardiyovasküler dayanıklılığımız ve kas lifi tipimizi düzenleyen genlerle ilgili olabileceğini belirtmiştir.

Spor başarısından sorumlu olan genomun spor performansı ile çeşitli spor kodlarındaki spor başarısında bağılı şekilde düzinelere on milyon farklı tek nükleotid polimorfizmine sahip olduğu düşünülmektedir (Goldstein vd., 2005: 1241-1242).

Sporcu performansını ve atlet potansiyelini elit ortamlarda en üst düzeye çıkarma becerisi, spor biliminin en önde gelenleri arasındadır (Ortega vd., 2009: 523-527). Performansı arttırmak ve sporcuları elit seviye durumuna yükseltmek için sürekli olarak yeni teknoloji ve eğitim yöntemleri test edilmekte ve geliştirilmektedir (Castellano vd., 2012: 139-147). Atletik performans göz önüne alındığında, spor yeteneğini tanımlamak ve mevcut atletik kabiliyetin bir belirtisini sağlamak için çok sayıda genel ve özel değerlendirme yapılmaktadır (Mooney vd., 2011: 447-452).

Mevcut atletik tarama ve testlere kayda değer değerlendirmelerin dahil edilmesi, bir sporcunun, yarışta nasıl bir performans gösterebileceğini belirlemek için teknik ve taktiksel niteliklerin ölçülmesine izin verir (Mikolajec vd., 2013: 145-151). Spesifik olarak, maç günü istatistikleri de dahil olmak üzere, spora özgü beceri değerlendirmelerinin kullanımı, Avustralya Futbolu (AF), basketbol (Garcia vd., 2013:161-168), futbol ve Rugby Birliği'nde oyuncu performansını belirlemek için yaygın olarak kullanılır (Jacob vd., 2016). Bu değerlendirmeler, oyuncu beceri performansı ve maç günü etkisi hakkında bir değerlendirme yapılmasını sağlar (Lorenzo vd., 2010: 664-668).

Atletik performansın ek bileşenleri arasında bilişsel faktörler ve yararlanma duyarlılığı bulunmaktadır. Çevre ile ilgili özelliklerin birçoğu sporcuları etkilemektedir. Bouchard tarafından bir bireyin eğitilebilirliği de egzersiz eğitimine olan tepkisi de kısmen genetik faktörlere bağılıdır (Bouchard, 2012: 347).

Atletik başarı üzerindeki genetik faktörlere karşı çevrenin muhtemelen diğer sporlar arasında büyük farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Bu nedenle elit bir atlet üzerinde fiziksel ve zihinsel özelliklerin ideal

kombinasyonunun atlette başarı için ideal ortamla etkileşiminden kaynaklanmaktadır (Tucker ve Collins, 2012: 555).

Bireylerin yetenekleri belirlenmesi için belirli testler yapılması gerekmektedir. Özellikle yeteneklerine göre spor branşlarında bireylerin performanslarının yükseldiği belirlenmiştir. Spor alanında yetenek kavramı; farklı branşlarda sahip olduğu düşünülen kalıtsal özellikler nedeniyle o spor branşına özel veya üst düzey yetkinlik olarak tanımlanmaktadır. Bireylerin spor yeteneğinin amacı; uygun sporcuları seçmek olarak görülmektedir. Bireylere uygulanan spor genetik testleri sonucunda erken zamanda bireylerin spora başlaması sağlanmaktadır. Bu sayede bireyler sistematik ve uzun şekilde almış olduğu eğitimler sonucunda sporda iyi konuma gelmektedir (Özveren vd., 2014: 1).

Yapılan genetik araştırmalar spor yeteneklerinin tespit edilmesinde bireyler için önemli ipuçları vermekte ve buna bağlı olarak çalışmalar yapılmasına olanak tanımaktadır. Genetiğin fiziksel performans üzerine etkisi ile ilgili olarak ilk güçlü olan kanıtlar ikizler ve onların çekirdek ailelerinin karşılaştırılması sonucunda çıkmıştır. Dias vd. (2007: 667-675) yapmış olduğu çalışmada ikizlerin aerobik zindelikleri ve kardiyak performansları ile ilişkili özelliklerinin genetik ve çevresel etkenlerle karşılaştırıldığı görülmektedir. Türkiye’de atletizm sporunda bir sporcunun üst düzey performans göstermesinin sağlanabilmesi için fizyolojik, psikolojik faktörler ve genetik faktörlerinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sporda genetik alt yapı açısından dayanıklılık, kuvvet, kas kütlesi, kas liflerinin tipi ve oranları, akciğer kapasitesi üzerinde büyük bir etki yarattığı görülmektedir. Bu nedenle literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle dayanıklılık sporları için kardiyopulmoner kapasite üzerinde etkisinin bulunduğu ilişkin çalışmalar bulunmaktadır (Perusse vd., 2003: 1248-1250). Yapmış olduğumuz bu çalışmada da bireyleri spor branşına yönlendirmede genetik testlerin stratejik rolü incelenerek yorumlanmıştır.

Genetik Çalışmalar

Dünyada genomik teknolojinin kullanımının artık tıp, nüfus sağlığı, eğlence amaçlı tüketicilik, polislik ve suç önlemeye kadar toplum içerisinde her zamankinden daha fazla ortamda kullanılmaktadır (Davies, 2017).

Genomik bilgi bizi akrabalarımızla bağlamaktadır. Bu nedenle yaptırmış olduğumuz testle akraba olduğumuz kişilerde bilgi sahibi olabilmektedirler. Genetik bilgiyi diğer tıbbi bilgilerden oldukça farklı kılan noktada budur. Bu sebeple genomik verilerin kullanımına rehberlik eden bir politika içerisinde hepimizin payı bulunmaktadır (Dinç ve Gökmen, 2019: 130).

Tüm genomu sorgulayan bir dizi farklı teknoloji bulunmaktadır. Yeni nesil dizileme bir bireyin genomunun yaklaşık olarak 3 milyar baz çiftinin tam bir kataloğu olan bütün genom dizisi oluşturmak için kullanılabilir. Bunun yanında tüm bir genoma bakan fakat tam genom dizisi oluşturmayan mikro diziler, SNP dizileri ve ekzom dizileri gibi bir dizi teknoloji de bulunmaktadır. Amaçlarımız doğrultusunda genom boyunca genomik olarak görünen tüm teknolojilerden bahsedilmektedir. Spesifik teknolojik sorunların olduğu yerlere (tüketiciye yönelik doğrudan genetik testlerdeki pozitif ve negatif tahmin değerleri gibi) atıfta bulunmaktadır (Subak, Özdemir ve Müniroğlu, 2017: 110).

Sporcuların güç performanslarını belirleyen temel faktörler; vücut yapısı, güç ve dayanıklılık olarak sıralanmaktadır. Bu özelliklerin genetik faktörler üzerindeki etkisinin aynı düzeyde olmadığı belirlenmiştir. Her spor dalının da kendine has özellikleri olmasından dolayı her spor dalıyla uğraşan sporcuların sahip olmaları gereken fiziksel özelliklerin birbirinden farkı bulunmaktadır. Örnek vermek gerekirse basketbol oynayan sporcularda boy önemli bir özelliktir ve genetik faktörlerin boy üzerindeki etkisinin fazla olduğu görülmektedir (%60-80 arasında). İnsan vücudu içerisindeki farklı sistemlerin (solunum, sinir, kalp-damar, iskelet ve kas sistemleri) fiziksel performans üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Örnek vermek gerekirse oksijenin dokulara düzenli olarak ulaşması kaslarının işlevlerini yerine getirmesi açısından önemlidir (Bayraktar ve Kurtoğlu, 2004: 269-270).

Bruaser ve diğerlerinin 2006 yılında yapmış olduğu çalışmada maksimal oksijen tüketimi olarak ifade edilen bu özellik üzerinde genetik faktörlerin etkisinin yaklaşık olarak %50 oranında olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde kalp tarafından pompalanan kan hacmi üzerinde genetik faktörlerin etkisinin %42-%46 arasında olduğu görülmektedir (Brutsaer vd., 2006: 110).

Bütün spor dalları için kas kuvveti ve kasılma hızına bağlı olarak üretilmiş olan güç bütün spor dalları için önem taşımaktadır. Bu spor dallarına örnek olarak kısa mesafe koşusu, yüksek atlama ve uzun atlama verilebilmektedir. Genetik faktörlerin kaslar tarafından üretilmiş olan güç üzerindeki etkilerinin kas ve kas yapısına bağlı olarak %30 ile %83 arasında olduğu belirlenmiştir (Davies, 2017).

Fiziksel performans üzerinde farklı genlerin etkisi bulunduğu görülmektedir. Son yıllarda bu genlerin özelliklerini belirlemek için yapılmış olan çalışmalarda iki genin daha etkisinin olduğu belirlenmiştir. Bu genlerden olan ACE kan damarlarının daralmasından, kan basıncı ile kanın dolaşım sistemi içerisindeki hareketinin kontrol edilmesinden sorumludur (Klossner, 2013).

ATCN-3 geninin kasların güçlü ve hızlı bir şekilde kasılmasından sorumlu olduğu görülmektedir. Bu gen içerisinde iki farklı şekil bulunmaktadır. Bunlar X ve R allelleridir. Araştırmalara göre gücün önemli olduğu spor dalları için R allele, dayanıklılık gerektiren spor dalları için ise X allele ihtiyaç olduğu belirlenmiştir (Brutsaer vd., 2006: 109).

Sporcuların genetik alt yapılarının uygun olması ve yeterli düzeyde antrenmanla sporcuların desteklenmesinin sporculara avantaj sağladığı görülmektedir. Genlerle fiziksel performans arasındaki ilişki; çocukluk döneminde uygulanacak olan genetik testlerle geleceğin yetenekli sporcuların belirlenmesine yetecek kadar güçlü olmadığı belirlenmiştir (Subak, Özdemir ve Müniroğlu, 2017: 109).

Sportif performans üzerinde genetik faktörlerin önemli etkileri bulunmaktadır. Sporcularda atletik performans için gerekli olan bileşenler; kas fibril boyutları, güç, kuvvet, dayanıklılık, kas fibril kompozisyonu, esneklik, sinir-kas koordinasyonu olarak sıralanmaktadır. Bu bileşenlerin genetik ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki sportif performansın %66'sının genetik ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Geri kalan ise genetik dışı faktörler, uyku, motivasyon, ekipman, beslenme ve antrenmanla ilişkilidir (Koku, 2015: 23).

Günümüzde literatürde yeni bir kavram ortaya çıkmıştır. Bu kavram spor genetiğidir. Spor genetiği; elit sporcuların genetik düzenlemeleri ve işleyişlerini inceleyen yeni bir bilim dalıdır. 2000 yılında Genom Projesi ile birlikte insanların DNA dizisinin ortaya konulmasıyla beraber sportif performans ile ilişkili genlerinde incelenmeye başladığı görülmektedir. 2000'li yıllarda atletik performans ile ilgili birkaç gen bulunmuşken günümüzde ise 120 genin atletik performansla ilişkili olduğu belirlenmiştir (Subak, Özdemir ve Müniroğlu, 2017: 109-110).

Sporcular üzerine yapılmış olan genetik çalışmaların üç ana metot kullanılarak yapıldığı görülmektedir. Bunlar;

- 1-Bireylerin belirli fiziksel özelliklerinin kalıtsal geçişinin araştırılması,
- 2-Bireylerde fiziksel özellikleri uyumlu olan büyük grupların gen haritalarının ortaya çıkarılması,
- 3-Bireylerin fiziksel özelliklerine etki ettiği düşünülen aday genlerin spesifik olarak araştırılmasıdır (Brutsaer vd., 2006: 109-111).

Sporcuların performans özelliklerini belirleyen genlerin lokalizasyonunu belirlemek için gen haritası çıkarılmaktadır. Gen haritası çıkarılmasının temelinde geniş topluluklarda spesifik olarak fenotip özelliklerin belirlenmesinin sağlanması, genetik belirleyicilerin saptanarak ortaya konması ve buna ilişkin yoğun istatistiksel çalışmaların yapılması bulunmaktadır. Genetik haritaların yapılmasının nedenlerinden biri de her bir genin performans üzerinde etkisinin büyük olmasıdır. Burada birden fazla genin etkisi altında olan fenotip özelliklerde belirlenmektedir.

Genetik ile spor arasındaki ilişkinin incelenmesi sonucunda genel sağlık hakkında bilgi edinilmesi sağlanmaktadır. Spor yapan bireyler incelendiğinde onların antrenmanlara olumlu bir yanıt vermesini

sağlayan genlerin spor yapmayan bireylerde spor yapmalarına rağmen metabolizmalarının diğer bireylere göre daha sağlıklı olmasını sağladıkları belirlenmiştir. Performans genetiği ile ilgili olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde bazı sonuçların insan sağlığı ile ilişkilendirildiği görülmektedir. Bazı genler maratoncular üzerinde enerjiyi koruyabilme kapasitesi oluştururken sedanter bireylerde ise kalp sorunları, diyabet ve obezite sorunlarına yatkınlık oluşabilmektedir (Perusse vd., 2003: 1248-1264).

Genetikle ilgili bilgiler; son zamanlarda yaralanmaları önlemek ve atletik performansı en üst düzeye çıkarmak için kullanılmaktadır (Tablo-1). Örnek olarak İngiltere Premier Ligi'ndeki profesyonel bir futbol takımı sporcuları spor performansları ile ilişkili genetik lokusları test ettirmiş ve İngiliz Spor Enstitüsü 2012 yılında İngiltere'nin Olimpik sporcularına genetik test sağlama konusunu gündeme getirmiştir (Watts, 2012; 36). Özbekistan Olimpik Yetenek Tanımlama Programı, Avustralya Ulusal Rugby Ligi Oyuncuları sprint ve patlayıcı powerlifting için egzersiz programlarını uyarlamak için DNA Testi kullanmaktadır. İngiltere'de bulunan İngiliz Premier Ligi Futbol Takımı (2 tane) oyuncularını için genetik testler başlatmıştır (Williamson, 2014; Synovitz ve Eshanova, 2014; Epstein, 2014). Amerika Birleşik Devletleri'nde şu anda NCAA genetik olarak belirlenmiş olan orak hücre özelliğinin varlığını test edebilmek için tüm NCAA kolej sporcularının kan alımı yapılarak test gerçekleştirilmiştir (Klossner, 2013).

Tablo 1. Sporda genetik testin genel zaman çizelgesi

| Yıllar | Sporda Genetik Testin Durumu |
|-----------|--|
| 1966-1991 | Uluslar arası Atletizm Federasyonları Birliği ve Uluslar arası Olimpiyat Komitesi'nin resmi cinsiyet ayrımı politikasının bir parçası olarak Y-kromozom testi (Foddy ve Savulescu, 2011: 1184) |
| 2001 | Victoria Profesyonel Boks ve Dövüş Sanatları Kurulu, boksörlerdeki APOE4 varyantı için zorunlu genetik taramayı değerlendirmiştir (Robotham, 2001: 43). |
| 2005 | On sekiz Avustralyalı erkek rugby oyuncusu 11 gen için test edilerek analiz yapılmıştır (Dennis, 2005). Chicago Bulls, hipertrofik kardiyomyopatiyi dışlamak amacıyla serbest ajan Eddy Curry'nin genetik testini denemiştir (Litke, 2005). |
| 2009 | 100 güncel ve eski NFL dizisinden DNA örnekleri analiz edilmektedir (Assael, 2012). Major Basketbol Ligi; Dominik Cumhuriyeti ve diğer Latin Amerika ülkelerinde oyunculara genetik testleri uygulanmaya başlamıştır (Schmidt ve Schwarz, 2009). |
| 2010 | Ulusal Atletizm Birliği zorunlu orak hücre özelliği taraması uygulamaktadır (Zarda, 2010). |
| 2011 | Bir İngiliz Premier Ligi Futbol takımı oyuncularının DNA örneklerini 100 genetik lokasyonda analiz ettirmektedir (Marsh, 2016). Ulusal Futbol Ligi, 2011 NFL toplu pazarlık sözleşmesi uyarınca (Siegel, Alvarez, 2010) Orak Hücre Özelliği ve G6DP genetik koşulları için taramaktadır. |
| 2012 | İngiliz Spor Enstitüsü, Britanya'nın Olimpik ve Paralimpik sporcularının eğitimini kondisyonunu ve hazırlığını uyarlamak için genetik teknolojilerin entegrasyonuna olan ilgisini ifade etmektedir (Watts, 2012). |
| 2014 | İki Barclayın Premier Futbol Takımı 45 varyant için oyuncularının DNA testini yaptırmaktadır (Williamson, 2014). |

Bazı Laboratuvarlar sporculara çok çeşitli genetik testler sunmaktadır. Bazı genomik işletmelerin yumuşak doku yaralanmaları ve sarsıntıları gibi spor yaralanmaları riskini gösteren genetik testler sunduğu görülmektedir. Spor performansı, kas lifi türü ve VO2 max hakkında bilgi sağlanmaktadır (Field, Gordon ve Pierce, 2011: 723).

Sporda halihazırda kullanılan DNA polimorfizmleri küçük atlet popülasyonları (tipik olarak birkaç yüz) kullanılarak az sayıda aday geni test eden çalışmalar içerisinde tanımlanmıştır. Genel popülasyon içerisindeki sağlık risklerini inceleyen genom çapındaki çalışmalarda sporcular tarafından kullanılabilir geniş ve zengin bir ek genetik bilgi kaynağı bulunmaktadır. Genomik çaplı ilişkilendirme çalışmaları 1 milyondan fazla farklı polimorfizmi test edebilmektedir ve genellikle on binlerce kişiyi içermektedir. Bu nedenle karmaşık fenotiplere katkıda bulunan önemli genetik varyantları keşfetmenin istatistiksel gücünün çok yüksek olduğu belirlenmiştir (Panagiotou, Willer ve Hirschorn, 2013: 441-442).

Genel popülasyondaki bu sağlık çalışmalarından elde edilen sonuçlar, sporculara yaralanma riskleri veya beslenme ihtiyaçları hakkında önemli bilgiler de sağlayabilmektedir. Örneğin, düşük kemik mineral yoğunluğu hem yaşlı bireyleri (osteoporoz ve iskelet kırığı) hem de sporcuları (stres kırığı) etkilemektedir (Bennell, Matheson ve Meeuwisse, 1999: 91; Fredericson, Jennings ve Beaulieu, 2006: 309-310).

Genom çapı ile kemik mineral yoğunluğu ile ilişkili altmış üç SNP tanımlanmıştır. Bu 63 SNP'nin her birinin ağırlıklı katkıları, bir genetik skorda birleştirilmiştir. En yüksek risk kategorisindeki yaşlı bireyler, 1.56 osteoporoz olasılığına ve 1.60 kırık oranına sahiptir. Tersine, en düşük kategorideki yaşlı bireyler osteoporoz ve kırılmaya karşı korunmaktadır (sırasıyla 0.62 ve 0.46 düşük olasılık) Birinci olarak, kemik

mineral yoğunluğu, özellikle dayanıklı sporcular arasında, stres kırıkları için önemli bir belirleyici olarak görülmektedir (Bennell, Matheson ve Meeuwisse, 1999: 91; Fredericson, Jennings ve Beaulieu, 2006: 309-310). İkincisi, yaşlı kadınlarda daha yüksek osteoporoz oranları ve genç, aktif kadınlarda daha yüksek stres kırıkları oranları aynı ailede birlikte görünme eğilimindedir (Field, Gordon ve Pierce, 2011: 723-724; De Souza, Nattiv ve Joy, 2014: 96-97). Bu nedenle, yaşlılarda düşük kemik mineral yoğunluğu için geliştirilen genetik skor, atletler, özellikle dayanıklılık sporcuları için de güçlü bir araç olabilmektedir.

Stanford Üniversitesi'ndeki spor genetiği programı, kemik mineral yoğunluğu ile ilişkili genetik varyantların yanı sıra osteoporoz, astım, vitamin ve mineral seviyeleri, kırmızı kan hücresi fenotipleri, kafein metabolizması ve disk dejenerasyonu gibi diğer patolojik veya predispozan durumları kullanmaktadır. Bunlar yaralanma riskini azaltmak için kullanılmaktadır (Wagner, 2013: 2-3). Stanford Sports Genetics Programı, GWA çalışmalarından elde edilen sonuçları dahil ederek, spor yaralanma riskini azaltmak için kullanılacak DNA polimorfizmi setini, daha önce bilinen yaklaşık 13 polimorfizmden şu anda kullanılan 195 polimorfizme kadar genişletmiştir (Panagiotou, Willer ve Hirschhorn, 2013: 441-442).

Genetik testin yaralanma vakalarını azaltma veya sağlığı geliştirecek ve/veya yaralanmayı önleyecek davranış değişikliklerini tetikleme üzerindeki etkisini ölçmek için henüz çok erkendir. Sporla ilgili yaralanmalar ve performansla ilgili koşullar hakkında bilgi sağlayan birçok genetik polimorfizm olduğu görülmektedir. Sporcular, antrenörler ve tıp pratisyenleri, sporcular için kişiselleştirilmiş antrenman rejimleri oluşturmak için bu bilgileri kullanabilmektedir. Bununla birlikte, bu kişiselleştirilmiş rejimlerin, standart eğitime kıyasla yaralanma insidansını azaltmadaki etkinliğini ölçmek için henüz çok erkendir. Bununla birlikte, performansla ilgili herhangi bir ek bilgi, genellikle yaralanmalardan kurtulmayı hızlandırmak ve/veya ağrıyı azaltmak için tasarlanmış birçok tıbbi tedaviyi erken benimseyen seçkin sporcular arasında yaralanmaları azaltmaya ve performansını en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olmak için yararlı olabilmektedir, böylece kısa sürede oyuna geri dönebilmektedirler (Lehrer, 2012; Mishra, Skrepnik ve Edwards, 2014: 463-463).

Rekreasyon amaçlı sporcular için, standart antrenman yaklaşımlarına artan katılımın sonuçlarına kıyasla genetik testin faydalarının küçük olacağı görülmektedir (59). Sporcuları antrenmanlarına veya diyetlerine yeni modifikasyonlar dahil etmeye yönlendirmenin yanı sıra, genetik bilgi halihazırda öngörülen 'önhabilitasyon' stratejilerine uyumu artırmayı sağlamaktadır (Schneider ve Schmidtke, 2014: 31-32).

Sporda genetik testler hız kazandıkça, sporcunun yasal, etik ve sosyal haklarını korumak için en iyi uygulamaları geliştirmek önemlidir. Sporcuların genetik testleri ile ilgili mevcut yönergeler şu anda belirsizdir. 2008 Genetik Bilgi Ayrımcılık Yapmama Yasası, çalışanları korumalı bir yasal sınıfa yerleştirmektedir ve genetik bilgi ve aile tıbbi geçmişine dayalı işveren ayrımcılığını yasaklamaktadır. Bu yasanın, üniversitelerin çalışanı olarak nitelendirilmeyen üniversite sporcularını koruyup korumadığı açık değildir. Öte yandan, büyük lig sporlarındaki toplu pazarlık anlaşmaları, sporcuların zorunlu genetik testlerine izin verebilmektedir. Genetik testler, sporcuları rekabet üstünlüklerini artırabilecek yeni bilgilerle güçlendirme potansiyeline sahiptir. Takımlar genetik programları benimsemeye başladığında, oyuncuların atletik uygunluğu veya oyun süresini belirleyen bir tarama sürecinin bir parçası olarak katılmaya zorlanmamasını sağlamak için dikkatli adımlar atılmalıdır (Schneider ve Schmidtke, 2014: 31-32).

Genetik bilgi olağanüstü bir hızla büyümektedir ve yeni bilgileri Moore Yasasından daha hızlı üretmektedir. Bu da genel işlem gücünün her 2 yılda bir ikiye katlanacağını öngörmektedir. Sporcular tarafından maruz kalınan sporla ilgili yaralanma olasılığını tahmin etmek için genetik testin gücünün hızla artacağını tahmin edilmektedir. Bu yeni çalışma alanı heyecan verici; her seviyedeki sporcular için yaralanmayı önleme konusunda büyük bir potansiyele sahiptir (Schneider ve Schmidtke, 2014: 31-32).

Egzersiz profil testi

Bireyler incelendiğinde atletik performansların birçok farklı faktörden etkilendiği görülmektedir. Bu etkilendikleri faktörlerden bazıları ise genler olarak sıralanmaktadır. İnsan vücudu içerisinde genler; kas lifi kompozisyonu ya da oksijen kapasitesi gibi birçok farklı metabolik olaylar içerisinde önemli görevler

üstlenmektedirler. Egzersiz profil testi; hangi genetik varyasyonların ne tip sporcularda bulunmasının belirlenmesinin sağlanması, aynı varyasyonlara sahip olan bireyler arasında da benzer sportif branşlara yatkın olma ihtimalini ölçen test olarak tanımlanmaktadır (Choudhary ve Choudhary, 2008: 112-113).

Aerobik potansiyel testi

Bu test bireylerin vücutlarının aerobik antrenmanlara yatkınlığını belirleyen test olarak tanımlanmaktadır. Dayanıklılık performansının ölçülebilmesi ve buna bağlı olarak mevcut potansiyelin ne olduğu hakkında bilgi vermektedir. Birçok spor dalında edinilen bu becerinin başarıyı doğrudan etkilediği görülmektedir. Bu nedenle her bir ekstremitte grubu için özel olarak tasarlanmış, geçerli ve güvenilir testlere ihtiyaç duyulmaktadır (Nunan, 2006).

Kardiofitness potansiyel testi

Kardiofitness potansiyel testi; bireylerin iyi ve sağlıklı yaşamları, fiziksel durumları, uygun beslenme ve egzersiz ile bağlantılı olduğu görülmektedir. Kardiofitness potansiyel testi ile egzersizin kan akımı, HDL seviyesi ve glikoz dengesini ölçmektedir (Bacon ve diğerleri, 2013).

Egzersiz sonrası toparlanma testi

Egzersiz sonrası toparlanma, sporcuların programlarının en önemli unsurlarından biri olarak görülmektedir. Egzersiz sonrası toparlanma testinin amacı; vücudun düzenli olarak antrenman ya da yarışmalarda zorlanan kaslarının onarımı ile tükenen molekül oranını ölçmek olarak belirlenmiştir (Ostojic, 2016).

Alfa Actinin-3 (ACTN3) R577X Polimorfizmi

Atletlerin başarısını çeşitli faktörlerin etkilediği belirlenmiştir. Bunlardan biri de genetik olarak görülmektedir. Araştırmacılar uzun yıllar boyunca fiziksel performansla ilişkili olan genleri incelemişlerdir. Şu an 200'den fazla genin fiziksel performans üzerinde potansiyel bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Bray vd., 2009: 34-35). En çok çalışılan genlerden biri olarak α -aktin-3 geninin (ACTN3) R577X polimorfizmidir. ACTN3 geni, insan iskelet kaslarında Z diskinin baskın bileşenlerinden biri olan aktin bağlayıcı protein α -aktin-3'ü kodlamaktadır. ACTN3 proteini, aktin içeren incin filamentleri birbirine tutturmaktadır ve kas kasılma aparatını stabilize etmektedir (MacArthur ve North, 2004: 786-787). Örnek olarak sprint ve halterde bu proteinin ekspresyonu, hızlı, kuvvetli kasılmalar oluşturmaktan sorumlu olan hızlı glikolitik liflerle sınırlıdır (MacArthur ve North, 2004: 788).

ACTN3 genindeki bir R577X polimorfizmi, 577 konumunda arginin (R) için kodonun bir erken durdurma kodonuna (X) dönüştürülmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu nedenle ACTN3 geninin iki farklı versiyonu bulunduğu görülmektedir. Bunlar;

- Fonksiyonel bir R alleli,
- X alleli.

Yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde dayanıklılık performansına fayda sağlayan XX genotipinin aksine, ACTN3 geninin RR genotipinin sıklığının sprint atletlerde kontrollere ve dayanıklılık sporcularına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Yang vd., 1999: 353,354; Ciesczyk vd., 2011: 55; Eynon vd., 2009: 695).

Hayvan modelleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde α -aktinin-3 eksikliği olan farelerin anaerobik glikolitik yolda enzim aktivitesinde önemli bir düşüşe ve aerobik oksidatif yolda artmış aktiviteye sahip olduğu görülmektedir (Eynon vd., 2009: 695).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde güç/sprint sporcularının, dayanıklılık sporcularına ve kontrol grubuna oranla Alfa actinin-3 R577X poliformizmi içerisinde RR genotip sıklığına sahip olduğu görülmektedir. Bu sporcularda dayanıklılığın XX genotip sıklığı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kim, Song, Kim, 2016).

ACTN3 RR özellikle yüksek hızda kasılmalar ve yüksek güç üretimi için belirleyici bir faktör olduğu görülmektedir. ACTN RR, RX ile XX olarak üç genotipe ayrılmaktadır (Macarthur ve North, 2004; Roth ve Guth, 2013). Literatür içerisinde yapılan çalışmalar incelendiğinde yüksek kas kasılma gücü ile R allel arasında pozitif bir ilişki olduğu; iyi dayanıklılık performansını ise X allel dağılımının sağladığı görülmektedir (Ulucan, 2015, Ahmedov vd., 2013).

Yapılan bir çalışmada ACTN3 geninin sakatlık ve kas hasarı üzerinde yapılan çalışmalarda incelendiğinde özellikle 1 yıl 139 atlet üzerinde spor yaralanmalarının türü ve koşullarına bağlı olarak çalışılmıştır. Çalışmada sonrasında ACTN3 genotiplenmesi gerçekleştirilerek; XX, RX ve RR genotipleri arasında yaralanma epidemiyolojisinin karşılaştırıldığı belirlenmiştir. Elde edilen genotipler incelendiğinde RR/RX/XX-%28,8/%42,8/%23,5 olarak ortaya çıkmaktadır.

XX atletlerinde genel olarak daha fazla yaralanma insidansının bulunmadığı bu atletlerde özellikle kas tipi yaralanmaların RX ve RR'nin daha üstün olduğu görülmektedir. Atletlerde özellikle ani bir şekilde oluşan kas yaralanması olma olasılığı incelendiğinde XX'nin RR'deki dayanıklılık atletlerinden iki kat daha fazla olduğu belirlenmiştir (Moreno, Areces, Del Coso, Ruiz-Vicente ve Ordovas, 2020).

Literatür içerisinde yapılmış olan benzer bir çalışma incelendiğinde atletlerin ACTN3 genotipinin egzersizle bağlı şekilde kas hasarı üzerindeki etkisini incelemek için atletler üzerinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada alınan kan örnekleri doğrultusunda ölçüm yapılan maddeler şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar; ACTN3 genotipi, serum kreatin kinaz ve miyogloblin konsantrasyonlarıdır. Atletlerin yarıştan sonra X allel taşıyıcılarında RR homozigotlarına göre daha yüksek şekilde kreatin kinaz ve miyogloblin konsantrasyonları olduğu görülmektedir. Atletlerin X allel taşıyıcılarının yarış sonunda RR homozigotlarından daha yüksek seviyelerde alt ekstremitenin kas ağrısı olduğu tespit edilmiştir. X alleli tarafından üretilmiş olan fonksiyonel ACTN3 geninin bulunmaması sonucunda uzun zamanlı çalışma olayları sonucunda daha yüksek bir şekilde kas yıkımına sebep olacağı görülmektedir (De Coso vd., 2017).

Papadimitriou ve diğerlerinin 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada ACTN3 geninin Yunan atletler arasındaki genetik farklılıkları incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda kontrol grubu ile sprinterler grubu karşılaştırıldığında büyük farklılıkların olduğu görülmektedir. Atletlerin genotipleri ve alleleri arasında önemli farklılıklar bulunduğu, özellikle sprinterlerin atletik performansları ile ilişkisi olduğu görülmektedir (Ben-Zaken vd., 2015).

Japonya'da yapılmış olan bir çalışmada elit atletlerin ACTN2 R577X genotipi ile atletlerin performansı arasındaki ilişki incelenmiştir. Elit sprinterlerin RR+RX genotiplerinin sedanter bireylerden daha yüksek bir frekansa sahip oldukları görülmektedir (Kikuchi vd., 2016).

10 farklı ülkede yaşayan Kafasya yada Afrika kökenli sprinterlerden oluşan bir çalışma incelendiğinde ACTN3 577 RR genotipine sahip olan Kafkas atletlerin 577XX'lere göre en iyi sprint süresine sahip oldukları belirlenmiştir (Papadimitriou vd., 2016).

Tayvan'da gerçekleştirilen bir çalışmada atletlerde ACE I/D ile ACTN3 R577X polimorfizmi incelendiğinde, bireysel sporlar ya da takım sporları katılımlarına göre sınıflandırılarak incelenmiştir. Tayvanlı genel popülasyondan kontrol grubu seçilmiştir. Yapılmış olan çalışmada hiçbir sporcunun hem ACTN3 577XX ve ACE DD genotiplerine sahip olmadığı, sürat ve dayanıklılık performansının genetik özellikleriyle olabileceği belirtilmiştir (Chiu, Hsieh, Yen ve Hsieh, 2005).

Japon atletleri arasında genotip ve sportif performansları arasındaki ilişki incelendiğinde ACTN2 R577X polimorfizminin sprint/güç sporcuları RR+RX genotiplerinin kontrol grubundan daha yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir (Mikami vd., 2014). Japonyada gerçekleştirilen benzer bir çalışma incelendiğinde ACTN3 genindeki R577X genotipinin R alleli, Japon atletlerin dayanıklılık durumu ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Saito vd., 2011).

Finli atletler üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada dayanıklılık ve sprint sporcularının genotip dağılımlarının incelendiğinde, dayanıklılık sporcularının ACTN3 XX genotipinin sıklığının RR'nin sıklığından daha yüksek

olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak Finlandiyalı sprinterlerin hiç birinde XX genotipinin bulunmadığı görülmektedir (Niemi ve Majamaa, 2005).

ACTN3 R577X polimorfizmi ile sportif performans arasında olan ilişki incelendiğinde performans ve polimorfizm ilişkisini destekleyen benzer çalışmaların bulunmadığı görülmektedir (Eynon vd., 2012; Yang vd., 2017; Grealı vd., 2013).

Afrika popülasyonlarında ACTN3 R577X polimorfizminin R alleli ve X alleli sıklığının belirlenmesi için Doğu Afrika dayanıklılık koşucusu ile Batı Afrika sprinterlerinin başarıları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, R577X polimorfizmi Etiyopyalı sedanter ve sporcu, Kenyalı sedanter ve sporcu ve son olarak da Nijeryalı sedanter ve sprinterler genotiplenmiştir. X allelinin sıklığı Kenyalılar ve Nijeryalılar arasında %1'ken, Etiyopyalılarda ise %11 daha yüksek olduğu görülmektedir. Bulgularda α -actinin-3 eksikliğinin Afrikalı sporcularda performans üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir (Yang vd., 2007). ACTN3 R577X genotipleri ve sportif performans arasındaki ilişkiyi desteklemeyen benzer çalışmaların bulunduğu görülmektedir (Papadimitriou vd., 2018; Döring vd., 2010; Saunders vd., 2007).

Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim (ACE)

Anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) geninin bulunması ile birlikte sportif performans yada spor genetiği ile ilgili önemli araştırmalar başlamıştır. ACE geninin 17q23 konumu içerisinde bulunduğu belirlenmiştir. Gen içerisindeki bir varyasyondan dolayı dokular içerisinde ACE proteinin farklı oranlarda bulunduğu görülmektedir (Ulucan vd., 2015; Guth ve Roth, 2013). ACE incelendiğinde 16. İntronu içerisinde bir tekrar dizisinin bulunmamasına göre genin kısa ve uzun allellerinin bulunduğu belirlenmiştir (Nurten ve Gökmen, 2019; Ulucan ve Göle, 2014). ACE genotipi üzerine yapılan araştırmalar sonucunda üç adet varyansı bulunduğu görülmektedir. Bunla; I/I homozigotları, D/D homozigotları ve I/D heterozigotlarıdır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde D allelinin yüksek kan ya da doku ACE enzim seviyeleri sebebiyle kan basıncında artış ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Buradaki I alleli incelendiğinde ters bir etkisinin bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmalar içerisinde I allel, tip I kas lifleri oranında görülen artışın kas dayanıklılığı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Zhang vd., 2003; Süel ve Pehlivan, 2015).

Günümüze kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde ACE D/D genotipi olan bireylerin hız, kuvvet ve patlayıcı güç gerektiren sprinter, atma, atlama veya kısa mesafeli yüzmede başarılı oldukları belirlenmiştir (De Mello Costa ve Slocombe, 2012; Woods, Humphries ve Montgomery, 2000).

Amir vd. 2007 yılında yapmış olduğu araştırmada maraton koşucuları ve sprinterleri incelenmiştir. Bu incelemede 121 İsrail üst düzey atletinin ACE ID alleleri sıklığı incelenmiş ve bu kişilerde ACE D alleli ile ACE DD genotipi sıklığının sprinterlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. D allelinin bazı etnik gruplar içerisinde elit bir dayanıklılık atleti olma olasılığı oranında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir (Amir vd., 2007).

Collins'in 2004 yılında yapmış olduğu çalışmada ise Güney Afrika Ironman Triatlonlarının performansı ile ID polimorfizmi arasındaki ilişki incelenerek yorumlanmıştır. Burada ACE geni I allelinin triatlon sporunda başarılı olan 100 Güney Afrika doğumlu dayanıklılık performansı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Collins vd., 2004).

Myerson ve arkadaşlarının 1999 yılında yapmış olduğu çalışmada 91 İngiliz Olimpiyat koşucusu ile 79 Kafkasyalı allelinin performans ilişkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda I allelinin elit dayanıklılık performansı ile pozitif bir ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Myerson vd., 1999).

Varoshin ve Astatenkova'nın 2008 yılında yapmış olduğu çalışmada ACE geninin farklı allellerini taşıyan 400 metre koşucuları, egzersiz öncesi, sırası ve sonrasında kalp atış hızının ölçümünün alındığı bir egzersiz programına katılmışlardır. II genotipine sahip olan koşucuların ID ve DD genotiplerine sahip olan koşuculardan daha uzun mesafe koştukları belirlenmiştir. Yapılan egzersiz sonrasında ise kalp atım hızının

toplanması için en hızlı olan II genotipinin koşucularda olduğu görülmektedir (Varoshin ve Astratenkova, 2008).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sporcuları etkileyen bir diğer faktör ise genetik faktörlerdir. Genetik faktörler sonucunda; sporcuların ne tip fizyolojik özelliklere yatkın oldukları, hangi antrenman programından daha fazla verim alabilecekleri, hangi spor branşına yatkın oldukları genetik özelliklerle belirlenmektedir. Genetik ve sportif performans üzerine bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu genetik olarak önemli olan genlerden ikisi ACE ve ACTN3 genidir.

Yapılmış olan araştırmalara göre sporcular üzerinde çevresel faktörler ve genetik faktörlerin mi etkili olduğunun belirlenmesinin oldukça güç olduğu görülmektedir. Sportif başarı ile gen ilişkisinin atletlerin başarıları açısından önemli bir yere sahip olduğu belirlenmiştir. Sportif performanstan sorumlu önemli genetik değişkenlerden olan ACTN3 ve ACE genlerinin sporcu olmaya aday bireylerin yetenek taramasında, kas hasarı düzeyine, spor branşlarının belirlenmesinde, branş içi yönlendirmelerde, uygun antrenman programlarının kullanılmasında etkili olacağı düşünülmektedir (Bulgay, Çetin, Orhan, Ergün, 2020).

Elit sporcular üzerine yapılan çalışmalarda özellikle güç sporları ve dayanıklılık sporları ile uğraşan sporcularda birbirinden farklı genetik özelliklerinin bulunduğu görülmektedir. Bu bireylerde özellikle doğuştan belli olan ve değiştirilemeyen kas fibril tipleri oranları ise genetiğin önemini göstermektedir. Bu bakış açısına göre sporcu olunmaz sporcu doğulur sözünün ne kadar doğru olduğu görülmektedir. Sporun genetik temellerle büyük bir ilişkisi bulunmaktadır.

Sporla ilgili olan bazı genler üzerine birçok çalışma yapılmışken, bazı genlerle ilgili olarak hiçbir çalışma olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle az çalışılan genlerle ilgili olarak çalışma yapmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Spor genetiği ile ilgili olan çalışmaların son beş yıl içerisinde yapıldığı görülmektedir. Bu nedenle yapılmış olan çalışmalarla ilişkisi olan genlerle ilgili kanıtların artması yada ilişkisi olmayan genlerin aradan çıkarılması ile daha net bilgilere ulaşım sağlanmış olacaktır. Bu araştırmalar sonucunda varılan ortak sonuç ise, genetik bilginin bireylerin spor performansı hakkında önemli bilgiler vermesi ve bunun da özellikle yetenek seçimine büyük bir katkı sağlayacağıdır.

KAYNAKLAR

- Ahmetov, I.I., Gavrilov, D.N., Astratenkova, I.V., Druzhevskaya, A.M., Malinin, A.V., Romanova, E.E., & Rogozkin, V.A. (2013). The association of ACE, ACTN3 and PPARA gene variants with strength phenotypes in middle school-age children. *The Journal of Physiological Sciences*, 63(1), 79-85.
- Assael S. (2012). Cheating is so 1999: A reporter spends a year searching for the athletic holy grail - A sports gene. [Accessed April 26, 2021]; *ESPN The Magazine*. 2012 Jul 10; <http://m.espn.go.com/general/story?storyId=8153641&wjb=&pg=3>.
- Bacon, A. P., Carter, R. E., Ogle, E. A., Joyner, M. J. (2013). VO2max Trainability and high intensity interval training in humans: A meta analysis, *Plos One*, 8(9), e73182.
- Bayraktar B, Kurtoglu M. (2004). Sporda performans ve performans artırma yöntemleri. Atasü T, Yücesir İ, eds. Doping ve futbolda performans artırma yöntemleri, İstanbul.
- Bennell, K, Matheson G, Meeuwisse W, et al. (1999). Risk factors for stress fractures. *Sports Medicine*, 28, 91-122.
- Ben-Zaken, S., Eliakim, A., Nemet, D., Rabinovich, M., Kassem, E., & Meckel, Y. (2015). ACTN3 polymorphism: comparison between elite swimmers and runners. *Sports Medicine-Open*, 1(1), 13.
- Bouchard, C. (2012). Genomic predictors of trainability. *Experimental Physiology*. Mar 13, 97(3), 347-352.
- Bray, M.S., Hagberg, J.M., Perusse, L., Rankinen, T., Roth, S.M., Wolfarth, B., et al. (2009). The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: The 2006–2007 update. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 41(1), 35-73.
- Brutsaert, T.D., & Parra, E.J. (2006). What makes a champion? Explaining variation in human athletic performance. *Respiratory Physiology and Neurobiology*. 151, 109-123.

- Bulgay, C., Çetin, E., Orhan, Ö., Ergün, M.A. (2020). Koşucularda actn3 ve ace genlerinin sportif performansa etkisi. *İnönü Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 7(1), 1-12.
- Chiu, L.L., Hsieh, L.L., Yen, K.T., & Hsieh, S.S. (2005). ACE I/D and ACTN3 R577X polymorphism in elite athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), 167.
- Choudhary, S.S., Choudhary, S. (2008). Exercise testing in assessment and management of patients in clinical practice-present situation, *Lung India*, 25(3), 111-117.
- Cieszycki, P., J. Eider, M. Ostanek, A. Arczewska, A. Leońska-Duniec, S. Sawczyn, et al. (2011). Association of the ACTN3 R577X polymorphism in Polish power-orientated athletes. *Journal of Human Kinetics*, 28, 55-61.
- Collins, M., Xenophontos, S.L., Carolou, M.A., Mokone, G.G., Hudson, D.E., Anastasiades, L., & Noakes, T.D. (2004). The ACE gene and endurance performance during The South African ironman triathlons. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(8), 1314-1320.
- Copley, B.B. (1980). Morphological and physiological study of tennis players with special reference to the effects of training. *South African Journal for Research in Sports, Physical Education and Recreation* 3, 33-44.
- De Mello Costa, M.F., & Slocombe, R. (2012). The use of angiotensin-I converting enzyme I/D genetic polymorphism as a biomarker of athletic performance in humans. *Biosensors*, 2(4), 396-404.
- De Souza, M.J., Nattiv, A., Joy, E., et al. (2014) Female Athlete Triad Coalition Consensus Statement on Treatment and Return to Play of the Female Athlete Triad: 1st International Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *Clin J Sport Med.*, 24, 96-119.
- Del Coso, J., Valero, M., Salinero, J.J., Lara, B., Diaz, G., Gallo-Salazar, C., Ruiz-Vicente, D. et al. (2017) ACTN3 genotype influences exercise-induced muscle damage during a marathon competition. *European journal of applied physiology*, 117(3), 409-416.
- Dennis C. (2005). Rugby team converts to give gene tests a try. *Nature*. 434,260.
- Dias, Luiz, A., & Tavares, Mara G. (2007). Genetic divergence between populations of the stingless bee urucu amarela. *Genetics and Molecular Biology*. 30(3), 667-675.
- Dinç, N. ve Gökmen, M.H. (2019). Atletik performans ve spor genetiği, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 127-137.
- Döring, F.E., Onur, S., Geisen, U., Boulay, M. R., Pérusse, L., Rankinen, T., & Bouchard, C. (2010). ACTN3 R577X and other polymorphisms are not associated with elite endurance athlete status in the Genathlete study. *Journal of sports sciences*, 28(12), 1355-1359.
- Eynon, N., Ruiz, J. R., Femia, P., Pushkarev, V. P., Cieszycki, P., Maciejewska-Karłowska, A. & Birk, R. (2012). The ACTN3 R577X polymorphism across three groups of elite male European athletes. *PloS one*, 7(8).
- Eynon, J.A., Duarte, J., Oliveira, M., Sagiv, C., Yamin, Y. et al. (2009). ACTN3 R577X polymorphism and Israeli top-level athletes *Int J Sports Med*, 30, 695-698.
- Field, A.E., Gordon, C.M., Pierce, L.M., et al. (2011). Prospective study of physical activity and risk of developing a stress fracture among preadolescent and adolescent girls. *Arch Pediatr Adolesc Med.*, 165, 723-728.
- Foddy, B., Savulescu, J. (2011). Time to re-evaluate gender segregation in athletics? *Br J Sports Med.*, 45, 1184-1188.
- Fredericson, M., Jennings, F., Beaulieu, C., et al. (2006). Stress fractures in athletes. *Top Magn Reson Imaging*; 17, 309-325.
- Gene Doping. [Accessed April 25, 2021]; *World Anti-Doping Agency website*. <http://www.wada-ama.org/en/Science-Medicine/Science-topics/Gene-Doping/>
- Grealy, R., Smith, C. L., Chen, T., Hiller, D., Haseler, L. J., & Griffiths, L. R. (2013). The genetics of endurance: frequency of the ACTN3 R577X variant in Ironman World Championship athletes. *Journal of science and medicine in sport*, 16(4), 365-371.
- Gullikson, T. (2003). Teniste, fiziksel uygunluk testleri. *Spor Araştırmaları Dergisi*. 7(1), 23-25.
- Holtzman, N.A., Watson, M.S. (1998). Promoting Safe and Effective Genetic Testing in the United States. Final Report of the Task Force on Genetic Testing. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Kikuchi, N., Miyamoto-Mikami, E., Murakami, H., Nakamura, T., Min, S. K., Mizuno, M. & Fuku, N. (2016). ACTN3 R577X genotype and athletic performance in a large cohort of Japanese athletes. *European journal of sport science*, 16(6), 694-701.
- Kim, H., Song, K. H., & Kim, C. H. (2014). The ACTN3 R577X variant in sprint and strength performance. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*, 18(4), 347.
- Koku, F.E. (2015). Sportif performansın genetik ile ilişkisi, *Spor Hekimliği Dergisi*, 50, 21-30.
- Lehrer J. (2012). Why did Kobe go to Germany? [Accessed April 25, 2021]; *Grantland*. 2012 Apr 16; <http://grantland.com/features/kobe-bryant-dr-chris-renna-regenokine-knee-treatment/>
- Litke J. Curry's DNA fight with Bulls 'bigger than sports world' [Accessed April 25, 2021]; *Associated Press ESPN*. 2005 Sep 29; <http://sports.espn.go.com/nba/news/story?id=2174877>.
- MacArthur, D.G., North, K.N. (2004). A gene for speed? The evolution and function of alpha-actinin-3. *BioEssays*, 26, 786-795.

- Marsh B. (2011). DNA clue to football injuries. [Accessed April 25, 2021]; *The Sunday Times*. 2011 Oct 16; http://www.thesundaytimes.co.uk/sto/news/uk_news/article799536.ece.
- Mishra A.K., Skrepnik N.V., Edwards, S.G., et al. (2014). Efficacy of platelet-rich plasma for chronic tennis elbow: a double-blind, prospective, multicenter, randomized controlled trial of 230 patients. *Am J Sports Med.*; 42, 463-471.
- Moreno, V., Areces, F., Ruiz-Vicente, D., Ordovás, J. M., & Del Coso, J. (2020). Influence of the ACTN3 R577X genotype on the injury epidemiology of marathon runners. *PLoS one*, 15(1), e0227548.
- Myerson, S., Hemingway, H., Budget, R., Martin, J., Humphries, S., Montgomery, H., & (With the Technical Assistance of Maj Mutch and Helen McGloin). (1999). Human angiotensin I-converting enzyme gene and endurance performance. *Journal of applied physiology*, 87(4), 1313-1316.
- Niemi, A.K., & Majamaa, K. (2005). Mitochondrial DNA and ACTN3 genotypes in Finnish elite endurance and sprint athletes. *European Journal of Human Genetics*, 13(8), 965- 969.
- Nunan, D. (2006). Development of sports specific aerobic capacity test for karate-A pilot study, *J. Sports Sci Med*. 5(1), 47-53.
- Ostojic, S.M. (2016). Post-Exercises Recovery: Fundamental and Interventional Physiology, *Front Physiol*, 7, 3.
- Özveren, Y., Özçaldiran, B., Durmaz, B., Oral O. (2014). Talent Selection and Genetics in Sport, *Turkish Journal of Sport and Exercise*, 16, 2, 1-8.
- Panagiotou, O.A., Willer, C.J., Hirschhorn, J.N., et al. (2013). The power of meta-analysis in genome-wide association studies. *Annu Rev Genomics Hum Genet.*, 14, 441-465.
- Papadimitriou, I.D., Lockey, S.J., Voisin, S., et al. (2018). No association between ACTN3 R577X and ACE I/D polymorphisms and endurance running times in 698 Caucasian athletes. *BMC Genomics*, 19(1), 13.
- Papadimitriou, I.D., Lucia, A., Pitsiladis, Y.P., Pushkarev, V.P., Dyatlov, D.A., Orekhov, E.F. & Cieszczyk, P. (2016). ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study. *BMC genomics*, 17(1), 285.
- Perusse, L., Rankinen, T., Rauramaa, R., Rivera, S.M., Bouchard, C., & Wolfarth, B., (2003). The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes. *The Med. Sci. Sports Exerc.* 35(8), 1248-1264.
- Puthuchery, Z. Skipworth, J.R.A., Rawal, J., Loosemore, M., Van Someren, K., Montgomery, H.E. (2011). Genetic Influences in Sport and Physical Performance, *Sports Medicine*, 41(10), 845-859.
- Richards, M. (2004). DNA Families. *Biological Sciences Review*, 8(April), 11.
- Robotham, J. (2001). The Sydney Morning Herald. Jun 1, 2001. Pro boxers face going down for the gene count; p. A3.
- Saito, D., Fuku, N., Mikami, E., et al. (2011). The ACTN3 R577X nonsense allele is under-represented in elite-level Japanese endurance runners. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 60(4), 443-451.
- Saunders, C.J., September, A.V., Xenophontos, S.L., Cariolou, M.A., Anastasiades, L.C., Noakes, T.D., & Collins, M. (2007). No association of the ACTN3 gene R577X polymorphism with endurance performance in Ironman Triathlons. *Annals of Human Genetics*, 71(6), 777-781.
- Schmidt, M., Schwarz, A. (2009). *New York Times*. Jul 22, 2009. Baseball's use of DNA tests on prospects finds controversy, too; p. A1.
- Schneider, K.I., Schmidtke, J. (2014). Patient compliance based on genetic medicine: a literature review. *J Community Genet*, 5, 31-48.
- Siegel, A., Alvarez, F. (2010). Sick-cell testing and the implications of GINA. [Accessed April 25, 2021]; *Sports Litig Alert*. 2010 9 http://www.sportslitigationalert.com/archive/2010_05_21.php.
- Subak, G.E., Özdemir, F.N.Ş., Müniroğlu, R.S. (2017). Sporcuların Başarısında Genetik Faktörlerin Önemi, *Sportmetre*, 15(3), 109-118.
- Süel, E., & Pehlivan, A. (2015). Angiotensin dönüştürücü (Converting) Enzim (ACE) gen polimorfizminin elit basketbolcu ve voleybolcularda karşılaştırılması. *Uluslararası Spor Egzersiz ve Antrenman Bilimi Dergisi*, 1(1), 40-50.
- Tarakçoğlu, S. (2013). Genetik mühendisliği ve spor, *Türkiye Klinikleri J Sports Sci.*, 5(1), 48-54.
- Tucker, R., Collins, M. (2012). What makes champions? A review of the relative contribution of genes and training to sporting success. *British Journal of Sports Medicine*. 46(8), 555-561.
- Ulucan, K., Nurdan, Ç.A.M., Sercan, C., Akbaş, B., Uyumaz, F., & Yalcın, S. (2015). Genç basketbolcularda anjiotensin dönüştürücü enzim (ACE I/D) ve alfa-aktinin-3 (ACTN3 R577X) gen polimorfizmlerinin belirlenmesi için pilot bir çalışma. *Spor Bilimleri Dergisi*, 26(2), 44-50.
- Voroshin, I.N., & Astratenkova, I.V. (2008). Dependence of endurance performance on ACE gene polymorphism in athletes. *Human physiology*, 34(1), 117-119.
- Wagner, J.K. (2013). Playing with heart and soul...and genomes: sports implications and applications of personal genomics. *PeerJ*. 1, e120.

- Watts, S. (2012). Olympic Team GB trials gene tests for injury. [Accessed April 25, 2021]; *BBC News*. 2012 Jul 25; www.bbc.com/news/health-18970982.
- Williamson, L. (2014). Two Premier League clubs sign up with top genetics company to learn DNA profiles of players. [Accessed April 25, 2021]; *Daily Mail*. 2014 Mar 17; <http://www.dailymail.co.uk/sport/football/article-2582714/Two-Premier-League-clubs-sign-genetics-company-learn-DNA-profiles-players.html>.
- Woods, D.R., Humphries, S.E., & Montgomery, H.E. (2000). The ACE I/D polymorphism and human physical performance. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 11(10), 416-420.
- Yang, N., MacArthur, D.G., Gulbin, J.P., et al. (2003). ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance, *Am J Hum Genet*, 73, 627-631.
- Yang, R., Shen, X., Wang, Y., et al. (2017). ACTN3 R577X gene variant is associated with muscle-related phenotypes in elite Chinese sprint/power athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 1107-1115.
- Zarda, (2010). Lawsuit Prompts NCAA to Screen Athletes for Sickle Cell. [Accessed April 25, 2021]; *USA Today*. 2010 Jul 2; http://usatoday30.usatoday.com/sports/college/2010-06-30-sickle-cell-ncaa-cover_N.htm.
- Zhang, B., Tanaka, H., Shono, N., et al. (2003). 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. *Clinical Genetics*, 63(2), 139-144.