

Akgül, M., Ünlüişler Ş., Karaca D. (2018). "Genetik Yapının Sportif Performansa Etkisi", Vol:1, Issue:3; pp:424-437

Anahtar Kelimeler: Performans, ACE, ACTN3, Genetik, Spor, Nesil, Aktivite

Keywords: Performance; ACE; ACTN3, Genetics, Sports, Elite, Generation, Activity

Makale Türü: Araştırma Makalesi

GENETİK YAPININ SPORTİF PERFORMANSA ETKİSİ

The Effect Of Genetic Structures' On Sports Performance

Uzm. Dr. Mehmet Akgül

DNA LAB Kurucu ortağı, mehmet@dnalab.com.tr, İstanbul/ TÜRKİYE

Şebnem Ünlüişler

DNA LAB Kurucu ortağı, sebnem@dnalab.com.tr, İstanbul/ TÜRKİYE

Dinçer Karaca

NextGen CEO, dincer.karaca@nextgenprotech.com İstanbul/ TÜRKİYE

Makale Geliş Tarihi
15.10.2018

Revize Tarihi
27.10.2018

Yayınlanma Tarihi
30.10.2018

ÖZ

Seçkin spor kodlarının, gelecekteki sporcuların uzmanlık yeteneklerine göre tanımlanması ve tanıtılması, bireysel koç değerlendirmelerine ek olarak, nesnel fiziksel, teknik ve taktiksel özelliklere de büyük ölçüde bağlıdır. Yakın zamanlarda, birkaç tek nükleotid polimorfizmi (SNP) içeren genetik belirteçler artırılarak aerobik kapasite, güç ve atletik kabiliyette genel bir artış ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada, bir dizi aday genin atletik performans, tek yetenekli ve çok yönlü spor kodları üzerindeki etkilerini tartışmak ve motor beceri edinimi ve öğrenmesinin tanımlanması için ek belirteçler belirtilmiştir. Bazı tutarsızlıklar sergilendiğinde, hem ACE hem de ACTN3 polimorfizmleri, güç ve dayanıklılık spor takımlarında daha yaygın görünmekle birlikte fiziksel değerlendirmelerle de ilişkili olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla aday ile yapılan protokoller, genç yetenekler için hedeflenen kaynakların kullanımını önemli ölçüde artırabilir ve sonuç olarak etkinleştirilebilir.

ABSTRACT

In elite sporting codes, the identification and promotion of future athletes into specialised talent pathways is heavily reliant upon objective physical, technical, and tactical characteristics, in addition to subjective coach assessments. More recently, genetic markers, including several single nucleotide polymorphisms (SNPs), have been correlated with enhanced aerobic capacity, strength, and an overall increase in athletic ability. In this review, we discuss the effects of a number of candidate genes on athletic performance, across single-skilled and multifaceted sporting codes, and propose additional markers for the identification of motor skill acquisition and learning. While displaying some inconsistencies, both the ACE and ACTN3 polymorphisms appear to be more prevalent in strength and endurance sporting teams, and have been found to correlate to physical assessments. However, in elucidating the role of genetic markers in athleticism, existing talent identification protocols may significantly improve and ultimately enable targeted resourcing in junior talent pathways.

1. GİRİŞ

Yaşadığımız yüzyılda bir sporcunun, iş üretme becerileri üzerine etkili psikik ve fiziksel birden farklı mekanizmanın olduğu aşikârdır. Bu sebeptendir ki; tüm olumlu etkenlerle birlikte ve tabi ki olumsuz etkenlere rağmen gerçekleşen sportif performans işlevinde, bir sporcunun fiziksel veya atletik iş üretme kabiliyetini, buna bağlı olarak üretim kapasite ve kalitesinin bir bileşkesi olarak kabul etmek, en uygun tanımlama olacaktır. Genel olarak ifade ettiğimiz bu değerlendirme veya tanımlama için, performansın bileşenlerini etkileyen ve belirleyen tüm olumlu veya olumsuz faktörleri göz önünde bulundurmak gerekliliğini beraberinde getirmektedir (Bayraktar ve ark, 2004). Yetenek keşif (TID) çevrelerinde, adayın spor yeteneğinin "doğuştan veya yetiştirilerek ortaya çıktığı" tartışılır. Bu bağlamda, bir sporcunun performansının sadece pratik ile yapabileceği gelişmenin bir sınırı vardır; bu yetenek ve becerinin kullanımı en azından kısmen kalıtsal niteliklerin, genç yetenek yollarında hedeflenen kaynakların kullanımını önemli ölçüde artırabilir ve sonuç olarak etkinleştirilebilir (Drozdovska vd, 2013: 163-167).

Spor başarısından sorumlu insan genomunun, spor performansına ve çeşitli spor kodlarındaki spor başarısına bağlı düzinelerce 10 milyon farklı tek nükleotid polimorfizmine (SNP) sahip olduğu tahmin edilmektedir (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).

Bir sporda bireysel oyuncu başarısını belirlemenin birkaç yöntemi vardır (Burgess vd, 2012:561-567):

- Sezonda takım seçimi
- Kariyer başarısı
- Koç algısı
- Maç performansı (Piggott vd, 2015: 478-482).

AF bağlamında, atletik saha testleri (dikey sıçrama, 20 metrelik sprint ve dayanıklılık süresi denemeleri gibi), belirli bir sporda başarılı olma potansiyeline sahip sporcuları kabul etmek için yetenek tanımlama sürecinde sıklıkla kullanılır (Vaeyens vd, 2008: 703-714).

Bu testler, geliştirebilecek fiziksel yeteneklerin göstergelerini ortaya koymakta veya bir sporcunun belirli bir spor veya spor içindeki pozisyonunda performans göstermesini engelleyebilir. Benzer şekilde, beceri temelli değerlendirmeler, sporcuları teknik yeteneklerine göre sıralamak için bir yöntem olarak ek bir unsur olarak tanıtılmıştır (Coelho vd, 2008: 277-285). Bu testler genellikle olaylar sırasında veya test ile gerçekleştirilir. Taslak birleştirmeler gibi, bu testlerin sonuçları bir sporcunun beceri seviyesi hakkında bilgi verir ve bu nedenle yeteneklerini elit bir düzeye yükseltmek için gerekli olan bireysel işin bir göstergesidir.

Ortak genetik polimorfizmler (genetik sekanslardaki doğal varyasyonlar), fizyolojik süreçlerin düzenlenmesinde önemli olan birkaç anahtar genin ekspresyonundaki değişkenliği açıklar. Bunlar arasında, tekli nükleotid polimorfizmleri (SNP'ler) davranışsal, fizyolojik ve bilişsel değişkenliğe katkıda bulunmaları ile dikkat çekmiştir (Greenwood vd, 2003: 278-306).

Sporda arzu edilen fiziksel nitelikler ve insan genomunda yer alan birkaç polimorfizm yukarıda da bahsedildiği gibi Örneğin, anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) ve alfa-aktinin-3 (ACTN3) genleri, dayanıklılık ve / veya kuvvet / güç baskın sporlarda elit düzeylerde atletik performans ile bağlantılı olmuştur; güreş ve artistik patinaj da dahil olmak üzere uzun mesafe koşu ve yüzme (Vaz vd, 2010: 51-55) yol bisikleti, kürek çekme, kros kayağı, triatlon, sprint (Eynon vd, 2012: 7) voleybol, atletizm ve atlayış ve atma, halter, buz hokeyi gibi sporlar yine bunlarla ilişkilidir (Cieszczyk vd, 2011:55-61). Ek olarak, peroksizom proliferatörü ile aktive edilen reseptör gamma ko-aktivatör 1-alfa (PPARGC1A) geni ve beta-adrenerjik reseptörler 1/2/3 (ADRB 1/2/3) 'de spesifik homozigot genotipler daha yüksek maksimum oksijen ile bağlanmıştır (Eynon vd, 2009: 145-150). VO2max ise daha iyi dayanıklılık performansı ve buna daha uygun vücut kitlesi için uzun mesafe koşucular, uzun mesafe yüzücüler, uzun mesafe yol giden bisikletçiler, kros kayakçılar, triatletler, sprinters, sprint yüzücüler, ağırlık ve güç kaldırıcılar, atletizm ve atıcılar, atıcılar, boksörler ve kayakçılar için önem arz etmektedir (Santiago vd, 2011: 147-149). Bu çalışmaların ilginç doğasına rağmen, sporda yetenek performansı ile ilişkili güçlü aday genler yoktur. Beyin kaynaklı nörotropik faktör (BDNF), dopamin D2 reseptörü (DRD2) ve katekol-O-metiltransferaz (COMT) genleri içindeki polimorfizmlerin hepsi, motor kontrol

ve / veya öğrenme ile ilişkilendirilmiştir (Fritsch vd, 2010: 198-204). Bununla birlikte, bu genlerin hiçbiri daha önce spora özgü beceri analizi bağlamında araştırılmamıştır. AF'de standart beceri performans değerlendirmelerini kullanarak, oyuncu genotipi ve performans arasında bir ilişki tespit edilerek (Jacob vd, 2016) ve testlerin genetik çıkarımı daha önce araştırılmıştır (Huertas vd, 2012: 677-683).

2. YETENEK ALGILAMA VE TANIMLAMA

Atlet gelişiminde tüm geleneksel yollar, elit rekabette başarı için uzun vadeli potansiyeli olan bireyleri tanımlamak ve geliştirmek için ortak bir hedefe sahiptir (Vaeyens vd, 2008:703-714).

Birçok sporcu kodunun ortak gelişim süreci, sporcuların tespiti, tanımlanması, seçilmesi ve gelişmesi sürecini içeren (Williams vd, 2000: 657-667) tarafından önerilen model yansıtmaktadır. Bu modelde, sporcular tespit edilmeye dayalı geliştirme programlarına (söz konusu spora katılmayan potansiyel elit sanatçıların ortaya çıkma süreci) veya tanımlanmadan (potansiyeli sahip olanların farkına varılarak) seçilmektedir. Sporcuların tespiti ve tanımlanması, atlet gelişim süreci için kritik öneme sahiptir. Tanımlama ve tespit sürecinde kullanılan değerlendirmeler, genellikle spora özgü olarak kabul edilir. Örneğin, Avustralya Futbol Ligi (AFL), Ulusal Futbol Ligi (NFL) ve Ulusal Basketbol Birliği (NBA) ulusal taslaklarında kullanılan test, her bir spor için son derece spesifik olarak kabul edilebilir. Her spor, o sporun fiziksel taleplerini en iyi şekilde temsil ettiği düşünülen performans testlerini benimser (Vaeyens vd, 2008: 703-714). Çoğu takım sporunun çok disiplinli yapısı nedeniyle testler genellikle yüksek veya elit seviye seçimine rehberlik etmek için kullanılan sonuçlarla birlikte (Till vd, 2015-310-314) aerobik kapasite, anaerobik güç ve teknik beceri gibi bir dizi fiziksel performans ölçümünü inceler. Bununla birlikte, her spora özel, genellikle beceriye özgü bir test olmasına rağmen, bu testler kapalı ortam ortamlarında gerçekleştirilir.

3. SPOR PERFORMANSI ÖLÇÜMLERİ

Gen adaylarının sporcu performansı, beceri performansı ve maç performansı ile olası ilişkilerini tartışmadan önce, bu atletik performans alanlarını ve dolayısıyla ölçtükleri nitelikleri ölçmek için mevcut değerlendirmeleri belirlemek ve tanımlamak önemlidir.

3.1. Atletik Performansın Ölçümü

3.1.1. Aerobik Değerlendirme

Bir sporcunun yüksek çaba göstermeleri arasında kurtarma yeteneği, aerobik kapasiteleriyle bağlantılıdır (Glaister vd, 2005-757-777). Aerobik kapasite maksimum oksijen alımı (VO₂max) (Stanula vd, 2014: 193-199) ölçüsü olarak en doğru şekilde değerlendirilir. Ancak takım spor ortamlarında gerçek VO₂max testi yaygın değildir. Çünkü uzman ekipman gereksinimleri ve maliyeti açısından sınırlıdır (Bangsbo vd, 2008: 37-51). Bu sınırlamalar nedeniyle, tahmin edilen VO₂max ölçümleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Grant vd, 1999: 346-352). Dolaylı ölçümler arasında zamanlanmış sürekli çalışma ya da aralık tabanlı testler yer almaktadır (Leger, 1982: 1-12) Son zamanlarda, Yo-Yo'ya doğru bir geçiş olmuştur. Aralıklı ve 30:15 Aralıklı İyileştirme testlerinin dağılım süreleri daha çok spora özgüdür. Yo-Yo testinin bir versiyonunun, Yo-Yo IR2'nin, bir AF oyunu sırasında yüksek hızlı koşu ve maç performansı ile güçlü bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (Mooney vd, 2011: 447-452).

3.1.2. Güç ve Güç Değerlendirmeleri

Pek çok spor kodunda, bir sporcunun rakiplerinden daha yükseğe zıplayabilme yeteneği, onları farklı bir rekabet avantajına sokabilir. Bu nedenle, dikey sıçrama (VJ) testi (Matthys vd, 2013: 325-334), alt ekstremitelerin patlayıcı anaerobik gücünün bir ölçüsü olarak TID değerlendirmesine dahil edilir (Woods vd, 2015: 225-229).

Bir sporcunun VJ yeteneğini değerlendirmek için, genellikle iki farklı test yapılır, sabit bir karşı atlama atlaması ve dinamik bir karşı atlama atlaması yapılır. Her iki durumda da testin amacı, sporcunun maksimum dikey yer değiştirmeye ulaşmasıdır. Dinamik dikey sıçrama, birçok sporun test barajına dahil edilir ve takım sporlarında güç değerlendirmesi için daha fazla yansıtıcı bir test olarak kabul edilir. Bununla birlikte, VJ anaerobik gücün iyi bir ölçüsü olsa da, çoğu zaman Avustralya Futbolundaki başarı ile ilgili değildir (Burgess vd, 2012: 561-567)

İzometrik orta uyluk çekme (IMTP) kuvvet testi sırasında üretilen tepe kuvveti de VJ ile ilişkilendirilmiştir. En yüksek kuvvet, genç erkek ve dişi sörfçülerde karşı çıkma ve çömelme atlama performansı ile önemli ölçüde ilişkilidir (Secomb vd, 2015: 691-697).

IMTP, Amerikan Futbolu oyuncularını ve güreşçileri değerlendirmek için kullanılmış ve izometrik güç ölçmenin etkili ve hızlı bir tekniği olduğu görülmüştür (McGuigan vd, 2008: 101-105).

Kadın olimpiik haltercilerde test edildiğinde, IMTP ve VJ pik gücü sırasında tepe kuvveti arasında mükemmel bir yakın ilişki görülmüştür (Haff vd, 2005: 741-748). İzometrik tepe kuvveti ile VJ performansı arasında kuvvetli bir korelasyon olduğu için, eski kolligate düzeyindeki erkek halteriste benzer sonuçlar görülmüştür (Kawamori vd, 2006: 483-491). IMTP ayrıca, dayanıklılık bilgilerini iletirken, halterciler gibi sporcuları izlemek için de kullanılabilir (Beckham vd, 2013: 573-581) ; AF dahil olmak üzere birçok sporda anahtar alanlardandır.

3.1.3. Hızlanma ve Maksimum Doğrusal Sprint Hızları

Bir sporcunun sprint kapasitesini, maksimum ivmeyi ve hızı değerlendirmek ve tekrarlanan yüksek hızlı çabaları gerçekleştirme yeteneği, yetenek izlemede yaygın olarak kullanılır (Little vd, 2005: 76-78). Sıklıkla, hızlanma ve maksimum hız eşzamanlı olarak değerlendirilir, sporcunun 20 ila 60 metreden daha fazla bir çizgisel hızını değerlendirmek için kullanılır (Carling vd, 2009: 3-9).

Avustralya Futbolu'nda (AF), 20 metrelik sprint, reşit olmayan temsilci ve profesyonel kıdemli kadro (Robertson vd, 2015: 225-229) ve AFL başarısı seçimini öngörmektedir (Burgess vd, 2012: 561-567). Böyle bir değerlendirme, hızlanmanın iyi bir göstergesidir (Young vd, 2007: 110-118) ve genellikle Amerikan futbolu gibi güç tabanlı sporlarda işe alım yapan kişiler için önemli performans bilgileri sağlar (Fernandez vd, 2014: 22-31).

3.1.4. Kas Lif Bileşimi

İskelet kas liflerinin yapısı ve bileşimi, atletik performans için öngörücü bir ölçüm olarak kullanılmaya potansiyeline sahiptir. Örneğin, yavaş bükülmüş lifler (tip I) dayanıklılık olaylarıyla ilişkilendirilirken, hızlı bükülme lifleri (tip II) kısa, patlayıcı olaylarla bağlantılıdır. Tip I lifler daha yüksek bir aerobik kapasiteye ve miyogloblin depolarına sahiptir, bu sayede daha fazla kan akışı ve kaslara oksijen iletimi sağlar (Kanatous vd, 2010: 2741-2747). Aksine, tip II lifler hızlı bir kas kısalması döngüsüne ve daha fazla kuvvet üretimine neden olarak ATP'yi hızla yıkar (Canepari vd, 2010: 10-19). Hızlı seğirme lifleri, bol miktarda glikolitik enzime sahiptir ve büyük bir anaerobik kapasite sağlar (Evertsen vd, 1999: 247-257). Sonuç olarak, tip II lifler, tip I liflerden daha yorulabilir. Kas lif değerlendirmesi için bir başka yöntem, çevre, eğitim veya diyet tarafından kolayca etkilenemeyen bir kas metaboliti olan kas karnosinin ölçümünü içerir (Baguet vd, 2012: 13-20).

Sporcularda, kontrol grubuna kıyasla, kas karnosin seviyeleri sprinterlerde ve kısa süreli sporcularda yaklaşık % 30, dayanıklılık sporcularında ise yaklaşık% 20 daha düşüktür (Baguet vd, 2011). Alfa-aktin-3 ve alfa-aktin-2'nin nispi miktarları da kas lif bileşimini etkileyebilir. Alfa aktin-3 (hızlı-bükülme) ve alfa-aktin-2 (yavaş-bükülme) bireysel kaslardaki lif özelliklerini etkileme yeteneğine sahiptir. Alfa-aktin genotipi, lif tipi düzenlemeyi, metabolik profili ve kasılma özelliklerini etkileyebilir (Seto vd, 2013: 4255-4263).

3.2. Beceri Performansı Ölçümleri

Spora özgü spesifik değerlendirme, TID sürecinin esas ve incelenen bir bileşenidir (Malina vd, 2005: 515-522). Örneğin, masa tenisinde, göz-el koordinasyonu, TID sürecindeki ilk beceri değerlendirmesidir (Faber vd, 2014). Benzer şekilde; motor koordinasyonunun, kadın voleybolcularında, sporcunun potansiyelinin bir göstergesi olması arasında güçlü bir ilişki olduğu da ortaya çıkmıştır (Pion vd, 2015:1480-1485). Bununla birlikte, beceri değerlendirmesi genellikle öznel bir değerlendirme değildir ve bu nedenle önyargılı bir görüş alanı vardır. Sıklıkla, beceri değerlendirmesi beceriye özgü ölçütlere göre derecelendirilir ve bir Likert ölçeğinde derecelendirilir, ancak değerlendirmeyi yapan gözlemcilerin öznelliği nedeniyle, güvenilirlik sorgulanabilir. Rugby liginde mücadele gibi bazı spora özgü becerilerin, diğer becerilere kıyasla, güvenilir bir şekilde değerlendirilmesinin daha zor olduğu belirtilmelidir (Waldron vd, 2014: 471-477).

3.3. Maç Performansının Ölçülmesi

Maçın performansı bir oyuna yapılan katkıların bir ölçüsüdür ve istatistikleri oyun günü olarak rapor edilir. Bireysel olarak, oyuncu başarısını belirleme yöntemleri öznel olarak tamamlanabilir. Hentbol ve vuruşlu gibi maçlarda eş zamanlı istatistikler kullanarak, AF için oyuncuların maç performansının objektif ölçümü hesaplanabilir (Young vd, 2007: 110-118). Maç istatistikleri, ticari bir analiz şirketi (Champion) tarafından AF'de toplanır. Data, South Bank, Avustralya)% 99 doğruluk raporları ile (O'Shaughnessy vd, 2006: 533-540) daha önce kullanılmıştır. Doğrudan oyun katılımı (DGI) hentbolun toplamı olarak kullanılabilir. Oyun etkisinin ölçümünde (Piggott vd, 2015: 478-482).

Tekme, işaret ve istatistiklerle mücadele etmek bir AF oyunu olduğundan, dakika başına DGI (DGI / min) olarak kullanılabilir. Performans ve uygunluk sıklıkla, yetenek tanımlaması ve sezon öncesi testi potansiyel eşleşmenin bir göstergesi olarak kullanılır. Sezon öncesi spor önlemleri de, daha önce geliştirilmiş maç performansı ile ilişkilendirilmiştir. Yüksek performanslı yöneticiler, fiziksel ölçümleri daha doğru ve verimli bir şekilde isteyebilirler. Genetik profiller için belli sporlarda test uygulanması ve sezon öncesi eğitim sırasında kapasiteleri belirleyebilmeye fırsat açmaktadır.

4. GENETİK VARYASYONUN SPORCU GÜCÜNE VE DAYANIKLILIĞINA KATKISI

Bir oyuncunun genetiği, spor başarısını belirlemede önemli bir rol oynayabilir; çünkü atletizm, diğer birçok bireysel özellik gibi, kısmen de olsa kalıtsal bir özellik taşımaktadır (Drozdovska vd, 2013:163-167). Genler içinde, elit dayanıklılığa veya elit güce yatkın bireyler olarak tanımlanmış olan varyantlar vardır (Gayagay vd, 1998: 48-50).

ACE ve ACTN3 genlerinin her ikisi de bireyleri güce ve bir diğeri dayanıklılığa yönlendiren homozigot bir varyasyona sahiptir (Alvarez vd, 2000: 117-120). Dayanıklılık performansını etkileyen ADRB 1/2/3 ve PPARGC1A genleri olmasına karşın, homozigot bir varyasyon dayanıklılık performansını olumlu yönde etkilerken, diğeri dayanıklılık performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Charos vd, 2012: 166-/1679). Dayanıklılık, güç ve güç gibi atletik özelliklerin yanı sıra, beceri edinimi ve gelişimi gibi diğer özellikler de bir kişinin spordaki başarısını, özellikle de AF gibi takım sporlarını etkilemektedir. Motor koordinasyonunu ve / veya gelişimini etkilediğini gösteren birkaç genin (BDNF, DRD2, COMT) kanıtı vardır (Wagoner vd, 2002: 840-846).

4.1. ACE'nin Rolü

İnsan ACE geni, renin-anjiyotensin-aldosteron sisteminin (RAS) önemli bir parçasıdır. Bu sistem dolaşımdaki homeostaziste (Puthuchearry vd, 2011: 433-448), iskelet kas büyümesinde (Mustafina vd, 2014: 1042-1052) ve kardiyovasküler fonksiyonda (Gineviciene vd, 2014: 289-295) yer almaktadır. ACE geni, kromozom 17 üzerinde bulunur ve intron 16 içine sokulduğu gösterilen Alu tekrar dizisinden kaynaklanan 287 baz çiftinin bir ekleme / çıkarma polimorfizmine sahiptir (Goh vd, 2009: 99-1003). Bu, iyi belgelenmiş üç ACE ekleme / delesyon genotipi üretir; II homozigot, DD homozigot ve ID heterozigotu. Önceki çalışmalar, ACE polimorfizminin kardiyovasküler hastalık riski ve komplikasyonlarıyla (Niu vd, 2002: 977-993), proliferatif diyabetik retinopatide (Rabensteiner vd, 1999: 1530-1535), Alzheimer hastalığında (Miners vd, 2009: 163-177) ve akut maküler dejenerasyonla ilişkili olduğunu göstermiştir (Tuo vd, 2004: 229-249).

ACE I / D genotipinin sıklığı etnik populasyonlar arasındaki değişimi gösterir (Kim vd, 2010: 67-71) ve ayrıca bir dizi elit spor kodunda atletik özellikler ile korelasyon gösterir (Amir vd, 2007: 881-886). Ancak, bazı kısa atlayış ya da karşı atlama gibi basit hareketlerde, homozigot ACE genotipi (DD ya da II) performans ile korelasyon göstermemektedir (Micheli vd, 2011: 2084-2091).

Homozigot insersiyon alleli (I), daha düşük plazma ACE enzim seviyeleri ile ilişkilidir ve Alzheimer hastalığının başlangıcı ve ilerlemesi ile ilişkilendirilmiştir (Hassanin vd, 2014: 355-360). Bununla birlikte, daha az sayıda çelişkili çalışma, (I) allel ve dayanıklılık atletleri (Shahmoradi vd 2014) veya maksimum oksijen tüketimi (VO₂max) (Collins vd, 2004: 1314-1320), aerobik kapasitenin bir ölçüsü ile hiçbir ilişki göstermemiştir. Bu çelişkilerin olası nedenleri arasında, az sayıda dayanıklılık atleti olan, elit ve alt elit sporcuların muayenesi ve çevresel faktörler bulunan farklı grup atletler yer almaktadır. ACE geninin dayanıklılık performansında küçük bir rol oynadığını, hatta ACE polimorfizminin güç ile daha büyük bir ilişki olduğunu ortaya çıkarmıştır (Orysiak vd, 2013: 249-253). Yüksek ACE seviyeleri, bazı kalp hastalığına ve anjiyotensin sisteminin aktivasyonunun artmasından

kaynaklanan diğer komplikasyonlara katkıda bulunabilir (Ma vd, 2010: 1273-1292). Bununla birlikte, delesyon genotipi (DD), kuvvetle ilişkili bireysel sporlarda artmış kas iskelet sistemi ile ilişkili bulunmuştur (Vancini vd, 2014: 123-127).

Farklı spor kodunun güç ve güç unsurlarına sahip olduğu, etnik köken ve ek faktörlerin de olabileceği düşünülmektedir. Benzer çalışmalar, ACE I / D allelleri ve bireysel (Scott vd, 2010: 107-112) ve takım sporları (Tablo 1) arasında (Sessa vd, 2011, 15, 285-290) korelasyon olmadığını da ortaya koymuştur.

4.2. ACTN3'ün Rolü

Aktin ailesinin bir üyesi olan actini-alfa-3 (ACTN3), kasta yüksek oranda eksprese edilen bir proteindir. Hızlı bükülme (tip II) iskelet kası liflerinde aktin filamentleri çapraz bağlama işlevi gören doku olarak bilinmektedir. Glikolitik iskelet kasındaki ekspresyon, bu proteinin güçlü kaslara katkıda bulunmasını ve koordine edilmesini sağlar. Bu proteini kodlayan ACTN3 geni, polimorfizmin tanımlanmasını takiben genetik çalışmaların ön plana itilmesi 577 (rs1815739) pozisyonu, prematüre durma nedeniyle ACTN3 protein seviyelerini önemli ölçüde etkiler.

Farelerde bir ACTN3 knock out etkisini inceleyen çalışmada alfa-aktin 2 seviyeleri artar, fonksiyonel ACTN3 proteininin yokluğu lif tipinin yorulma direncine doğru bir geçişi ile sonuçlanır (Seto vd, 2013: 4255-4263). In vivo çalışmalarda olduğu gibi, XX genotipli sporcular artan sıklıkta gösterildiği gibi dayanıklılık sporları yapma eğiliminde artış eğilimi gösterir (Tablo 1). Halihazırda, ACTN3'ün homozigot R alleli ve kuvvet / güç atletik fenotipleri arasında güçlü bir ilişki vardır (Alfred vd, 2011: 1008-1018). Yavaş seğirme kas liflerinin daha yüksek bir oranının X allel genotip ve elit dayanıklılık durumu ile ilişkili olduğuna dair kanıtlar da mevcuttur (Kim vd, 2014: 347-353). Takım sporlarında, RR genotipine sahip Brezilyalı futbolcuların bir kohortu, RX ve XX genotipleri olan sporcularla karşılaştırıldığında kısa mesafeli sprintlerde ve sıçrama testlerinde anlamlı olarak daha iyi performans göstermektedir (Pimenta vd, 2012: 1495-1503).

4.3. Güç Unsurlara Dahil Edilen Ek Aday Genler

Bir dizi ek gen, atletik durumun güçlü göstergeleri olarak tanımlanmıştır (bkz. Tablo 1). Bu genlerin çoğunluğu, kas dokusu veya kardiyovasküler fonksiyonla ilişkili proteinleri kodlarlar (Bouchard vd, 2011: 1603-1648). RAS sistemi ile ilişkili olan anjiyotensin II reseptör tip 2 (AGTR2) geni, hızlı twitch kas lifi bileşimi ile ilişkisi nedeniyle güç sporlarında rol oynamaktadır. Bu gendeki bir polimorfizm (rs699) daha sık görülmüştür. Kadınlar (A allel) erkeklere göre (C allel) ilginç bir şekilde, A alleli, kontrol veya C allel gruplarına kıyasla, güç ve güç sporları seçimiyle ilişkilidir. Benzer şekilde, oksijen dağıtımından sorumlu genlerle ilgili bir dizi polimorfizm, güç ve güç performansı için belirteçler olarak tanımlanmıştır (Mustafina vd, 2014: 1042-1052).

Endotelial PAS domain protein 1 (EPAS1) geni, hipoksi indüklenebilir faktör 1 A (HIF1A) ve nitrik oksit sentaz 3 (NOS3) genlerindeki iki varyasyon, sprint ve güç sporları ile kıyaslandığında bir ilişki göstermiştir (Gomez vd, 2009: 565-569). Bir grup Polonyalı ve Rus sporcu, iki homozigot genotipi Sprint ve güç atletlerinde EPAS1 varyantlarının yetersiz temsil edildiği bulunmuştur ve HIF1A geninin CC genotipi güreşçiler ve haltercilerde daha sık görülürken ve NOS3 geninin T allelinin güç sporları ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. (Gabbasov vd, 2013: 2055-2058).

4.4. Dayanıklılık ve Aerobik Kapasitede Yer Alan Ek Aday Genler

ACE insersiyon / delesyon polimorfizminin rolüne odaklanmasına rağmen, aerobik / dayanıklılık performansında rol oynayan genlerden biridir (bkz. Tablo 1).

ADRB 1/2/3 genleri bunun bir örneğidir ve kardiyak ve adipoz dokuda G-bağlı reseptörleri kodlamak, kalp fonksiyonlarını ve metabolizmayı düzenlemek için işlev görür (Taylor vd, 2007: 29-37). Spesifik olarak, ADRB1'deki (rs1801253) tek baz varyasyonu VO₂max'ı, egzersiz süresini ve dayanıklılığını (C allel) büyük ölçüde artırabilir veya azalmaya neden olabilir (Wagoner vd, 2002: 840-846). Benzer şekilde, ADRB2'de (rs1042713) G alleli, artmış VKİ ve azalmış VO₂max ile kuvvetle ilişkilidir (Moore vd, 2001: 1391-1392).

Son olarak, İspanyol atletler üzerinde yapılan bir çalışmada, ADRB3'te nadir bir C allelinin (rs4994) elit dayanıklılık performansı ile kuvvetle ilişkili olduğu gösterilmiş ve bu da ideal bir belirteç olmuştur. PPARGC1A geni metabolizmada önemli bir rol oynar. PPARGC1A, oksidatif fosforilasyon genlerinin bir

aktivatörü olarak işlev görür, sonuçta glikoz ve lipid metabolizmasını kontrol eder. Ayrıca iskelet kas lifi oluşumu ve lif tipinin belirlenmesi ile ilişkilendirilmiştir (Lin vd, 2002: 797-801). Farklı popülasyonlarda tek bir baz varyasyonu (rs8192678) farklı sonuçlarla ilişkili olabilir. Örneğin, çalışmalar A alleli için homozigot olan Avrupalı erkeklerin (AA genotipi) daha yüksek VO₂max ve dayanıklılık ile son derece güçlü bir korelasyona sahip olduğunu göstermektedir (Eynon vd, 2009: 145-150). Buna karşılık, G alleli (GG genotipi) için homozigot olan Çinli erkekler daha yüksek VO₂max ve dayanıklılık ile güçlü bir ilişki göstermektedir (Maciejewska vd, 2012: 101-113).

Tablo 1. Atletik Performansın Belirlenmesinde Gen (ACE) Rolünü Değerlendiren Çalışma Çıktıları

Gen	Spor / Disiplin	Çalışmanın Çıktıları
ACE	Basketbol	Sporcular arasında allel sıklığı, D allelinde daha yüksek
	Kros kayağı	Hiçbir önem bildirilmemiştir
	Bisiklet	Uzun mesafe erkek elit bisikletçilerde İspanyollarda önemli ölçüde yüksek allel sıklığı
		D allel frekansının atletler arasında daha yüksek oranda olması
	Dayanıklılık Sporları	Dayanıklılık sporcularında DD genotipinin artan sıklığı sporculara güç vermekte
		İspanyol erkek elit hentbolcular (milli takım) arasında allel frekansı önemli derecede yüksek
	Güç Sporları	Bir kontrol grubuna kıyasla Seçkin Kore güç sporcularında DD genotipinin sıklığı az
	Uzun mesafe koşu	Seçkin İngiliz ve İspanyol koşucularında artan yarış mesafeleri ile allel frekansı artar
		Hiç önem bildirilmedi
	Kısa mesafe koşu	Sprinterlerde artan DD genotip ve D allel sıklığı
		Hiç önem bildirilmedi
	Ritmik Jimnastik	D allel elit sporcular ve kontrol grubu karşılaştırıldığında allel düzeyi jimnastikte daha sık

Tablo 2.Dayanıklılık ile İlişkili Genlerden Bazıları

ACE	ADRB1
<p>Anjiotensin I converting enzim, 17. Kromozom üzerinde yer alan ACE gen bölgesi tarafından kodlanır. ACE gen bölgesinin atletik performans üzerindeki pozitif etkisi kanıtlanmıştır. Buna bağlı olarak kişinin spor performansı ve yatkın olduğu spor dalları değişken olabilir (Gayagay ve ark., 1998; Myerson ve ark., 1999; Alvarez ve ark., 2000).</p> <p>ACE geninde 3 varyasyon mevcuttur;</p> <p>Homozigot insersiyon (I/I): Düşük ACE aktivitesine bağlı olarak "artmış dayanıklılık performansı" gözlenir.</p> <p>Homozigot delesyon (D/D): Yüksek ACE aktivitesine bağlı olarak "power performans" gözlenir.</p> <p>Compound heterozigot (D/I): Ortalama ACE aktivitesine bağlı olarak her iki özellik için kısmi avantaj sağlar.</p>	<p>ADRB1 geninde rs1801253 mutasyonu; Arg389Gly; C->G dönüşümüne neden olur. Bu gendeki C allelini taşıyan sporcularda VO2 max artışı ile egzersiz zamanı ve dayanıklılıkla korele olduğu (p=0.002); G allelindeki varyasyon ise VO2 max azalışı ile ilişkili olduğu saptanmıştır (p=0.006) (Wagoner ve ar., 2002).</p>

4.5. Dayanıklılık ve Sürat ile İlişkili Genlerden ACTN3

ACTN3: Kas yapısı içerisinde distrofin, aktin ve aktinin gibi kas kasılmasında önemli rolleri olan yapı taşları mevcuttur. Aktinin, özellikle hızlı güç elde edilmesinden sorumludur ve "HIZ" geni olarak adlandırılmaktadır. Alfa-aktinin, 11. Kromozom üzerinde bulunan ACTN3 gen bölgesi tarafından kodlanır. ACTN3, gen bölgesinde meydana gelen değişimler kas yapısının özelliğini etkiler (Günel ve ark., 2014). Polonyalı atletler üzerinde yapılan bir çalışmada ACTN 3 genindeki R577X polimorfizminin aktin bağlayıcı proteinin daha fazla üretilmesiyle yüksek oranda glikolitik fiber içeriği ve bunun sayesinde de hızlı ve kuvvetli kasılmaların sağlandığı belirtilmektedir (Orysiak ve ark., 2014). ACTN3 ACTN3 geninde varyasyon gözlenmeyen kişilerin patlayıcı güç, kısa koşu gerektiren spor dalları için avantajlı, dayanıklılık gerektiren sporlarda ise dezavantajlı oldukları gösterilmiştir (Alfred ve ark., 2011). Araştırmalar sonrasında ACTN3 geninin her iki kopyasında genetik değişim saptanan kişilerin, dayanıklılık gerektiren maraton, triatlon ile uzun mesafeli yüzme ve bisiklet vb. sporlar için daha avantajlı bir kas yapısına sahip oldukları belirlenmiştir (Montgomery ve ark., 1998).

5. Epigenetik Modifikasyonların Sportif Performansa Etkisi

Akut aerobik egzersiz sonrasında (PPARGC1A), (PPARD) ve (TFAM) genlerinde DNA metilasyonlarındaki azalış ile bu genlerin aktivasyonu söz konusudur. Bu sayede iskelet kasının fiber yapısında ki formasyon oluşumu ile dayanıklılıkta artışa neden olduğu belirtilmektedir (Barres ve ark., 2012).

6. SPORDA BECERİ VE BECERİ İÇİN GENETİK BAĞLANTILAR

6.1. BDNF Polimorfizm ve Motor Beceri Toplama

Beynin; omurilik, iskelet kası gelişimi ve rejenerasyonunun yanı sıra beyin kaynaklı nörotropik faktör (BDNF) proteininin vasküler ve nöronal büyüme üzerinde etkisi vardır (Bker vd, 2004: 48-55). Yapısal ve BDNF genindeki farklı SNP'ler nedeniyle fonksiyonel değişiklikler meydana gelebilir (Sanchez vd, 2011: s 51). (Fritsch vd, 2010: 198-204), katılımcılar motor beceri eğitimi sırasında BDNF düzeylerin yükseldiğini bulmuşlardır.

Dopamin Reseptörleri ve Kompleks Becerilerin Prosedürel Öğreniminde ise; Dopamin polimorfizmleri birçok nörolojik ve mental bozuklukla ilişkili olup bilişsel ve duygusal süreçlerdeki değişimlerle karakterizedir (Huertas vd, 2012: 677-683).

7. ETİK DÜŞÜNCELER

Potansiyel sporcuların genetik testlerinden ortaya çıkabilecek etik sorunları göz önünde bulundurmak önemlidir. Halk sağlığı açısından bakıldığında, tıbbi genotipleme varsayımsal, bölücü ve ayrımcı olarak görülür (Wackerhage vd, 2009: 1109-1116). Bu nedenle, bir spor bağlamında, sporcuların sadece kendi genomlarına dayanarak elit eğitim yollarından dışarıda bırakılması gerektiği önerisinin, pek çoğu tarafından etik dışı olarak kabul edilmesi muhtemeldir. Bununla birlikte, genotipine dayanan bir gelişim programında genç bir sporcu da dahil olmak üzere, daha kapsamlı bir TID ölçümü yapılarak uygun koçluğu almasına izin verebilir. Genetik tarama tam atletik potansiyelin bir ölçüsü olarak kullanılmamalı, sporcu potansiyelinde öngörücü bir araç olarak kullanılmalıdır (Guth vd, 2013: 653-658).

7.1. Diğer Etik Kaygılar

TID amaçları için genetik test nosyonundan ortaya çıkan, katılım seçeneklerinin kısıtlanması, erken uzmanlık riskleri ve zevk yaratabilecek diğer fırsatların potansiyel olarak eksik olmasıdır (Webborn vd, 2015: 1486-1491). Ancak, belirlenen test, hasarı azaltabilecek ve bir bireyin sağlığını iyileştirebilecek müdahalelere yol gösterici olmaktadır (Vlahovich vd, 2017: s 818).

8. SONUÇ

Mevcut TID süreçleri, yıllardır beceriye dayalı, spora özgü görevleri içerecek şekilde genişletilmiş temel uygulamalarla birlikte kullanılmıştır. Modern teknolojiyle, bir sporcunun genetik yapısını incelemek ve belirli bir genotipin atletik performansa katkıda bulunup bulunmadığını araştırmak için de potansiyel oluşturmaktadır.

ACE ve ACTN3 genleri, hem diğer dayanıklılık hem de güç ve kuvvete dayalı sporlarda atletik eforu tahmin etmede güçlü bir potansiyel göstermişlerdir, diğer birçok gen ise bir diğeriyle ilişkilendirilmiştir.

BDNF, DRD2 ve COMT genlerindeki varyantlar, farklı sporlarda bu tür olasılıkları araştırmayı amaçlayan gelecekteki araştırmalar için olası adaylardır. Ancak, sporcu yeteneğinin tanımlanmasının, az sayıda genetik varyantın bir sonucu olarak ortaya çıkmasının mümkün olmadığı vurgulanmalıdır. Bilindiği gibi ihtiyaç duydukları alanlara göre sporcular için özel olarak hazırlanmış antrenman programları geliştirebilme kabiliyeti oldukça mantıklıdır. Antrenörlerin çoğu "alıştırmalar mükemmel" ifadesini kullanmakta ve birçok antrenör ve spor bilimcisi, eğitim süresinin birçok nedenden dolayı sınırlı olduğunu söylemektedir. Bu alandaki araştırmalar, belirli bir genotipin, antrenmanların belirli antrenman uyarılarına daha iyi performans göstermesine ve tepki vermesine izin verip vermediğini belirlemek için kullanılabilir. Yapılan ileri araştırmalar, bir oyuncunun genotipinin eğitim çıktılarına ve adaptasyonlarına nasıl katkıda bulunabileceğini araştırmalıdır. Belirli bir spor kulübüne veya enstitüye olası sporculara yönelik önemli bir çekim, eğitim programlarını bireysel sporcuya hitap etme ve bireyselleştirme becerisidir. Bu programlar baz alınarak genetik test yapılması, atletlere özel antrenman rejimlerinin atletik, yetenek ve maç performanslarını geliştirmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Alfred, T.; Ben-Shlomo, Y.; Cooper, R.; Hardy, R.; Cooper, C.; Deary, I.J.; Gunnell, D.; Harris, S.E.; Kumari, M.; Martin, R.M.; et al. Actn3 genotype, athletic status, and life course physical capability: Meta-analysis of the published literature and findings from nine studies. *Hum. Mutat.* 2011, 32, 1008-1018.
- Alvarez, R.; Terrados, N.; Ortolano, R.; Iglesias-Cubero, G.; Reguero, J.R.; Batalla, A.; Cortina, A.; Fernandez-Garcia, B.; Rodriguez, C.; Braga, S.; et al. Genetic variation in the renin-angiotensin system and athletic performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000, 82, 117-120.
- Amir, O.; Amir, R.; Yamin, C.; Attias, E.; Eynon, N.; Sagiv, M.; Sagiv, M.; Meckel, Y. The ace deletion allele is associated with israeli elite endurance athletes. *Exp. Physiol.* 2007, 92, 881-886.
- Baguet, A.; Everaert, I.; Achten, E.; Thomis, M.; Derave, W. The influence of sex, age and heritability on human skeletal muscle carnosine content. *Amino Acids* 2012, 43, 13-20.

- Baguet, A.; Everaert, I.; Hespel, P.; Petrovic, M.; Achten, E.; Derave, W. A new method for non-invasive estimation of human muscle fiber type composition. *PLoS ONE* 2011, 6, e21956.
- Bangsbo, J.; Iaia, F.M.; Krstrup, P. The yo-yo intermittent recovery test: A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med.* 2008, 38, 37–51.
- Baker-Herman, T.L.; Fuller, D.D.; Bavis, R.W.; Zabka, A.G.; Golder, F.J.; Doperalski, N.J.; Johnson, R.A.; Watters, J.J.; Mitchell, G.S. Bdnf is necessary and sufficient for spinal respiratory plasticity following intermittent hypoxia. *Nat. Neurosci.* 2004, 7, 48–55.
- Barres, R., Yan, J., Egan, B., et al. (2012). Acute exercise remodels promoter methylation in human skeletal muscle. *Cell Metabolism*, 15:405–11.
- Bayraktar, B., Kurtoğlu M. (2009). Sporda Performans, Etkili Faktörler, Değerlendirilmesi ve Artırılması. *Klinik Gelişim*, 22(1): 16-24.
- Beckham, G.; Mizuguchi, S.; Carter, C.; Sato, K.; Ramsey, M.; Lamont, H.; Hornsby, G.; Haff, G.; Stone, M. Relationships of isometric mid-thigh pull variables to weightlifting performance. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 2013, 53, 573–581.
- Bouchard, C.; Rankinen, T.; Timmons, J.A. Genomics and genetics in the biology of adaptation to exercise. *Compr. Physiol.* 2011, 1, 1603–1648.
- Burgess, D.; Naughton, G.; Hopkins, W. Draft-camp predictors of subsequent career success in the australian football league. *J. Sci. Med. Sport* 2012, 15, 561–567.
- Canepari, M.; Pellegrino, M.A.; D'Antona, G.; Bottinelli, R. Single muscle fiber properties in aging and disuse. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2010, 20, 10–19.
- Carling, C.; le Gall, F.; Reilly, T.; Williams, A.M. Do anthropometric and fitness characteristics vary according to birth date distribution in elite youth academy soccer players? *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2009, 19, 3–9.
- Castellano, J.; Casamichana, D.; Lago, C. The use of match statistics that discriminate between successful and unsuccessful soccer teams. *J. Hum. Kinet.* 2012, 31, 139–147.
- Charos, A.E.; Reed, B.D.; Raha, D.; Szekely, A.M.; Weissman, S.M.; Snyder, M. A highly integrated and complex ppargc1a transcription factor binding network in hepg2 cells. *Genome Res.* 2012, 22, 1668–1679.
- Cieszczyk, P.; Eider, J.; Ostanek, M.; Arczewska, A.; Leonska-Duniec, A.; Sawczyn, S.; Ficek, K.; Krupecki, K. Association of the actn3 r577x polymorphism in polish power-orientated athletes. *J. Hum. Kinet.* 2011, 28, 55–61.
- Coelho E Silva, M.J.; Figueiredo, A.J.; Moreira Carvalho, H.; Malina, R.M. Functional capacities and sport-specific skills of 14- to 15-year-old male basketball players: Size and maturity effects. *Eur. J. Sport Sci.* 2008, 8, 277–285.
- Collins, M.; Xenophontos, S.L.; Cariolou, M.A.; Mokone, G.G.; Hudson, D.E.; Anastasiades, L.; Noakes, T.D. The ace gene and endurance performance during the south african ironman triathlons. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004, 36, 1314–1320.
- Drozdovska, S.B.; Dosenko, V.E.; Ahmetov, I.I.; Ilyin, V.N. The association of gene polymorphisms with athlete status in ukrainians. *Biol. Sport* 2013, 30, 163–167.
- Evertsen, F.; Medbo, J.I.; Jebens, E.; Gjoavaag, T.F. Effect of training on the activity of five muscle enzymes studied on elite cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand.* 1999, 167, 247–257.
- Eynon, N.; Meckel, Y.; Sagiv, M.; Yamin, C.; Amir, R.; Sagiv, M.; Goldhammer, E.; Duarte, J.A.; Oliveira, J. Do ppargc1a and pparalpha polymorphisms influence sprint or endurance phenotypes? *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2009, 20, e145–e150.

- Eynon, N.; Ruiz, J.R.; Femia, P.; Pushkarev, V.P.; Cieszczyk, P.; Maciejewska-Karłowska, A.; Sawczuk, M.; Dyatlov, D.A.; Lekontsev, E.V.; Kulikov, L.M.; et al. The actn3 r577x polymorphism across three groups of elite male european athletes. *PLoS ONE* 2012, 7, e43132.
- Faber, I.R.; Oosterveld, F.G.; Nijhuis-Van der Sanden, M.W. Does an eye-hand coordination test have added value as part of talent identification in table tennis? A validity and reproducibility study. *PLoS ONE* 2014, 9, e85657.
- Fernandez, J.; Ulbricht, A.; Ferrauti, A. Fitness testing of tennis players: How valuable is it? *Br. J. Sports Med.* 2014, 48 (Suppl. 1), i22–i31.
- Fritsch, B.; Reis, J.; Martinowich, K.; Schambra, H.M.; Ji, Y.; Cohen, L.G.; Lu, B. Direct current stimulation promotes bdnf-dependent synaptic plasticity: Potential implications for motor learning. *Neuron* 2010, 66, 198–204.
- Gabbasov, R.T.; Arkhipova, A.A.; Borisova, A.V.; Hakimullina, A.M.; Kuznetsova, A.V.; Williams, A.G.; Day, S.H.; Ahmetov, I.I. The hif1a gene pro582ser polymorphism in russian strength athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2013, 27, 2055–2058.
- Garcia, J.; Ibanez, S.J.; De Santos, R.M.; Leite, N.; Sampaio, J. Identifying basketball performance indicators in regular season and playoff games. *J. Hum. Kinet.* 2013, 36, 161–168.
- Gayagay, G.; Yu, B.; Hambly, B.; Boston, T.; Hahn, A.; Celermajer, D.S.; Trent, R.J. Elite endurance athletes and the ace i allele—The role of genes in athletic performance. *Hum. Genet.* 1998, 103, 48–50.
- Gineviciene, V.; Jakaitiene, A.; Tubelis, L.; Kucinskas, V. Variation in the ace, ppar γ 1a and ppara genes in lithuanian football players. *Eur. J. Sport Sci.* 2014, 14 (Suppl. 1), S289–S295.
- Glaister, M. Multiple sprint work: Physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med.* 2005, 35, 757–777.
- Goh, K.P.; Chew, K.; Koh, A.; Guan, M.; Wong, Y.S.; Sum, C.F. The relationship between ace gene id polymorphism and aerobic capacity in asian rugby players. *Singap. Med. J.* 2009, 50, 997–1003.
- Goldstein, D.B.; Cavalleri, G.L. Genomics: Understanding human diversity. *Nature* 2005, 437, 1241–1242.
- Gomez-Gallego, F.; Ruiz, J.R.; Buxens, A.; Artieda, M.; Arteta, D.; Santiago, C.; Rodriguez-Romo, G.; Lao, J.I.; Lucia, A. The -786 t/c polymorphism of the nos3 gene is associated with elite performance in power sports. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2009, 107, 565–569.
- Grant, J.A.; Joseph, A.N.; Campagna, P.D. The prediction of vo₂max: A comparison of 7 indirect tests of aerobic power. *J. Strength Cond. Res.* 1999, 13, 346–352
- Greenwood, P.M.; Parasuraman, R. Normal genetic variation, cognition, and aging. *Behav. Cognit. Neurosci. Rev.* 2003, 2, 278–306.
- Guth, L.M.; Roth, S.M. Genetic influence on athletic performance. *Curr. Opin. Pediatr.* 2013, 25, 653–658.
- Haff, G.G.; Carlock, J.M.; Hartman, M.J.; Kilgore, J.L.; Kawamori, N.; Jackson, J.R.; Morris, R.T.; Sands, W.A.; Stone, M.H. Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters. *J. Strength Cond. Res.* 2005, 19, 741–748.
- Hassanin, O.M.; Moustafa, M.; El Masry, T.M. Association of insertion–deletion polymorphism of ace gene and alzheimer’s disease in egyptian patients. *Egypt. J. Medical Hum. Genet.* 2014, 15, 355–360.
- Huertas, E.; Buhler, K.M.; Echeverry-Alzate, V.; Gimenez, T.; Lopez-Moreno, J.A. C957t polymorphism of the dopamine d2 receptor gene is associated with motor learning and heart rate. *Genes Brain Behav.* 2012, 11, 677–683.

- Jacob, Y.; Cripps, A.; Evans, T.; Chivers, P.T.; Joyce, C.; Anderton, R.S. Identification of genetic markers for skill and athleticism in sub-elite australian football players: A pilot study. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 2016.
- Kanatous, S.B.; Mammen, P.P. Regulation of myoglobin expression. *J. Exp. Biol.* 2010, 213, 2741–2747.
- Kawamori, N.; Rossi, S.J.; Justice, B.D.; Haff, E.E.; Pistilli, E.E.; O'Bryant, H.S.; Stone, M.H.; Haff, G.G. Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities. *J. Strength Cond. Res.* 2006, 20, 483–491.
- Kim, C.; Cho, J.Y.; Jeon, J.Y.; Koh, Y.G.; Kim, Y.M.; Kim, H.J.; Park, M.; Um, H.S.; Kim, C. Ace dd genotype is unfavorable to korean short-term muscle power athletes. *Int. J. Sports Med.* 2010, 31, 65–71.
- Kim, H.; Song, K.H.; Kim, C.H. The actn3 r577x variant in sprint and strength performance. *J. Exerc. Nutr. Biochem.* 2014, 18, 347–353.
- Leger, L.A.; Lambert, J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict vo2 max. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1982, 49, 1–12.
- Lin, J.; Wu, H.; Tarr, P.T.; Zhang, C.Y.; Wu, Z.; Boss, O.; Michael, L.F.; Puigserver, P.; Isotani, E.; Olson, E.N.; et al. Transcriptional co-activator pgc-1 alpha drives the formation of slow-twitch muscle fibres. *Nature* 2002, 418, 797–801.
- Little, T.; Williams, A.G. Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 2005, 19, 76–78.
- Lorenzo, A.; Gomez, M.A.; Ortega, E.; Ibanez, S.J.; Sampaio, J. Game related statistics which discriminate between winning and losing under-16 male basketball games. *J. Sports Sci. Med.* 2010, 9, 664–668.
- Ma, T.K.; Kam, K.K.; Yan, B.P.; Lam, Y.Y. Renin-angiotensin-aldosterone system blockade for cardiovascular diseases: Current status. *Br. J. Pharmacol.* 2010, 160, 1273–1292.
- Maciejewska, A.; Sawczuk, M.; Cieszczyk, P.; Mozhayskaya, I.A.; Ahmetov, I.I. The ppar α gene gly482ser in polish and russian athletes. *J. Sports Sci.* 2012, 30, 101–113.
- Malina, R.M.; Cumming, S.P.; Kontos, A.P.; Eisenmann, J.C.; Ribeiro, B.; Aroso, J. Maturity-associated variation in sport-specific skills of youth soccer players aged 13-15 years. *J. Sports Sci.* 2005, 23, 515–522.
- Matthys, S.P.; Vaeyens, R.; Franssen, J.; Deprez, D.; Pion, J.; Vandendriessche, J.; Vandorpe, B.; Lenoir, M.; Philippaerts, R. A longitudinal study of multidimensional performance characteristics related to physical capacities in youth handball. *J. Sports Sci.* 2013, 31, 325–334.
- McGuigan, M.R.; Winchester, J.B. The relationship between isometric and dynamic strength in college football players. *J. Sports Sci. Med.* 2008, 7, 101–105.
- Micheli, M.L.; Gulisano, M.; Morucci, G.; Punzi, T.; Ruggiero, M.; Ceroti, M.; Marella, M.; Castellini, E.; Pacini, S. Angiotensin-converting enzyme/vitamin d receptor gene polymorphisms and bioelectrical impedance analysis in predicting athletic performances of italian young soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 2011, 25, 2084–2091.
- Mikolajec, K.; Maszczyk, A.; Zajac, T. Game indicators determining sports performance in the nba. *J. Hum. Kinet.* 2013, 37, 145–151.
- Miners, S.; Ashby, E.; Baig, S.; Harrison, R.; Tayler, H.; Speedy, E.; Prince, J.A.; Love, S.; Kehoe, P.G. Angiotensin-converting enzyme levels and activity in alzheimer's disease: Differences in brain and csf ace and association with ace1 genotypes. *Am. J. Transl. Res.* 2009, 1, 163–177.
- Montgomery, H.E., Marshall, R., Hemingway, H., et al. (1998). Human gene for physical performance. *Nature*, 393:221-222.
- Moore, G.E.; Shuldiner, A.R.; Zmuda, J.M.; Ferrell, R.E.; McCole, S.D.; Hagberg, J.M. Obesity gene variant and elite endurance performance. *Metabolism* 2001, 50, 1391–1392.

- Mooney, M.; O'Brien, B.; Cormack, S.; Coutts, A.; Berry, J.; Young, W. The relationship between physical capacity and match performance in elite Australian football: A mediation approach. *J. Sci. Med. Sport Sports Med. Aust.* 2011, 14, 447–452.
- Mustafina, L.J.; Naumov, V.A.; Cieszczyk, P.; Popov, D.V.; Lyubaeva, E.V.; Kostryukova, E.S.; Fedotovskaya, O.N.; Druzhevskaya, A.M.; Astratenkova, I.V.; Glotov, A.S.; et al. Agtr2 gene polymorphism is associated with muscle fibre composition, athletic status and aerobic performance. *Exp. Physiol.* 2014, 99, 1042–1052.
- Niu, T.; Chen, X.; Xu, X. Angiotensin converting enzyme gene insertion/deletion polymorphism and cardiovascular disease: Therapeutic implications. *Drugs* 2002, 62, 977–993.
- Orysiak, J.; Zmijewski, P.; Klusiewicz, A.; Kaliszewski, P.; Malczewska-Lenczowska, J.; Gajewski, J.; Pokrywka, A. The association between ace gene variation and aerobic capacity in winter endurance disciplines. *Biol. Sport* 2013, 30, 249–253.
- Ortega, E.; Villarejo, D.; Palao, J.M. Differences in game statistics between winning and losing rugby teams in the six nations tournament. *J. Sports Sci. Med.* 2009, 8, 523–527.
- O'Shaughnessy, D.M. Possession versus position: Strategic evaluation in AFL. *J. Sports Sci. Med.* 2006, 5, 533–540.
- Piggott, B.G.; McGuigan, M.R.; Newton, M.J. Relationship between physical capacity and match performance in semiprofessional Australian rules football. *J. Strength Cond. Res.* 2015, 29, 478–482.
- Pimenta, E.M.; Coelho, D.B.; Cruz, I.R.; Morandi, R.F.; Veneroso, C.E.; de Azambuja Pussieldi, G.; Carvalho, M.R.; Silami-Garcia, E.; De Paz Fernandez, J.A. The actn3 genotype in soccer players in response to acute eccentric training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012, 112, 1495–1503.
- Pion, J.A.; Franssen, J.; Deprez, D.N.; Segers, V.I.; Vaeyens, R.; Philippaerts, R.M.; Lenoir, M. Stature and jumping height are required in female volleyball, but motor coordination is a key factor for future elite success. *J. Strength Cond. Res. Natl. Strength Cond. Assoc.* 2015, 29, 1480–1485.
- Puthuchery, Z.; Skipworth, J.R.; Rawal, J.; Loosemore, M.; Van Someren, K.; Montgomery, H.E. The ace gene and human performance: 12 years on. *Sports Med.* 2011, 41, 433–448.
- Rabensteiner, D.; Abrahamian, H.; Irsigler, K.; Hermann, K.M.; Kiener, H.P.; Mayer, G.; Kaider, A.; Prager, R. Ace gene polymorphism and proliferative retinopathy in type 1 diabetes: Results of a case-control study. *Diabetes Care* 1999, 22, 1530–1535.
- Robertson, S.; Woods, C.; Gastin, P. Predicting higher selection in elite junior Australian rules football: The influence of physical performance and anthropometric attributes. *J. Sci. Med. Sport.* 2015, 18, 225–229.
- Sanchez, M.M.; Das, D.; Taylor, J.L.; Noda, A.; Yesavage, J.A.; Salehi, A. Bdnf polymorphism predicts the rate of decline in skilled task performance and hippocampal volume in healthy individuals. *Transl. Psychiatry* 2011, 1, e51.
- Santiago, C.; Ruiz, J.R.; Buxens, A.; Artieda, M.; Arteta, D.; Gonzalez-Freire, M.; Rodriguez-Romo, G.; Altmae, S.; Lao, J.I.; Gomez-Gallego, F.; et al. Trp64arg polymorphism in adrb3 gene is associated with elite endurance performance. *Br. J. Sports Med.* 2011, 45, 147–149.
- Scott, R.A.; Irving, R.; Irwin, L.; Morrison, E.; Charlton, V.; Austin, K.; Tladi, D.; Deason, M.; Headley, S.A.; Kolkhorst, F.W.; et al. Actn3 and ace genotypes in elite Jamaican and US sprinters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2010, 42, 107–112.
- Secomb, J.L.; Nimphius, S.; Farley, O.R.; Lundgren, L.E.; Tran, T.T.; Sheppard, J.M. Relationships between lower-body muscle structure and, lower-body strength, explosiveness and eccentric leg stiffness in adolescent athletes. *J. Sports Sci. Med.* 2015, 14, 691–697.

- Sessa, F.; Chetta, M.; Petito, A.; Franzetti, M.; Bafunno, V.; Pisanelli, D.; Sarno, M.; Iuso, S.; Margaglione, M. Gene polymorphisms and sport attitude in italian athletes. *Genet. Test. Mol. Biomark.* 2011, 15, 285–290.
- Seto, J.T.; Quinlan, K.G.; Lek, M.; Zheng, X.F.; Garton, F.; MacArthur, D.G.; Hogarth, M.W.; Houweling, P.J.; Gregorevic, P.; Turner, N.; et al. Actn3 genotype influences muscle performance through the regulation of calcineurin signaling. *J. Clin. Investig.* 2013, 123, 4255–4263.
- Shahmoradi, S.; Ahmadalipour, A.; Salehi, M. Evaluation of ace gene i/d polymorphism in iranian elite athletes. *Adv. Biomed. Res.* 2014, 3.
- Stanula, A.; Rocznio, R.; Maszczyk, A.; Pietraszewski, P.; Zajac, A. The role of aerobic capacity in high-intensity intermittent efforts in ice-hockey. *Biol. Sport* 2014, 31, 193–199.
- Taylor, M.R. Pharmacogenetics of the human beta-adrenergic receptors. *Pharmacogenomics J.* 2007, 7, 29–37.
- Till, K.; Cogley, S.; O'Hara, J.; Morley, D.; Chapman, C.; Cooke, C. Retrospective analysis of anthropometric and fitness characteristics associated with long-term career progression in rugby league. *J. Sci. Med. Sport* 2015, 18, 310–314.
- Vaeyens, R.; Lenoir, M.; Williams, A.M.; Philippaerts, R.M. Talent identification and development programmes in sport: Current models and future directions. *Sports Med.* 2008, 38, 703–714.
- Tuo, J.; Bojanowski, C.M.; Chan, C.C. Genetic factors of age-related macular degeneration. *Prog. Retin. Eye Res.* 2004, 23, 229–249.
- Vancini, R.L.; Pesquero, J.B.; Fachina, R.J.; Andrade Mdos, S.; Borin, J.P.; Montagner, P.C.; de Lira, C.A. Genetic aspects of athletic performance: The african runners phenomenon. *Open Access J. Sports Med.* 2014, 5, 123–127.
- Vaz, L.; Rooyen, M.V.; Sampaio, J. Rugby game-related statistics that discriminate between winning and losing teams in irb and super twelve close games. *J. Sports Sci. Med.* 2010, 9, 51–55.
- Vlahovich, N.; Hughes, D.C.; Griffiths, L.R.; Wang, G.; Pitsiladis, Y.P.; Pigozzi, F.; Bachl, N.; Eynon, N. Genetic testing for exercise prescription and injury prevention: AIS-Athlome consortium-FIMS joint statement. *BMC Genom.* 2017, 18 (Suppl. 8), 818.
- Wackerhage, H.; Miah, A.; Harris, R.C.; Montgomery, H.E.; Williams, A.G. Genetic research and testing in sport and exercise science: A review of the issues. *J. Sports Sci.* 2009, 27, 1109–1116.
- Wagoner, L.E.; Craft, L.L.; Zengel, P.; McGuire, N.; Rathz, D.A.; Dorn, G.W., II; Liggett, S.B. Polymorphisms of the beta1-adrenergic receptor predict exercise capacity in heart failure. *Am. Heart J.* 2002, 144, 840–846.
- Waldron, M.; Worsfold, P.; Twist, C.; Lamb, K. The reliability of tests for sport-specific skill amongst elite youth rugby league players. *Eur. J. Sport Sci.* 2014, 14 (Suppl. 1), S471–S477.
- Webborn, N.; Williams, A.; McNamee, M.; Bouchard, C.; Pitsiladis, Y.; Ahmetov, I.; Ashley, E.; Byrne, N.; Camporesi, S.; Collins, M.; et al. Direct-to-consumer genetic testing for predicting sports performance and talent identification: Consensus statement. *Br. J. Sports Med.* 2015, 49, 1486–1491.
- Williams ve Reilly Williams, A.M.; Reilly, T. Talent identification and development in soccer. *J. Sports Sci.* 2000, 18, 657–667.
- Woods, C.T.; Raynor, A.J.; Bruce, L.; McDonald, Z.; Collier, N. Predicting playing status in junior australian football using physical and anthropometric parameters. *J. Sci. Med. Sport* 2015, 18, 225–229.
- Young, W.B.; Pryor, L. Relationship between pre-season anthropometric and fitness measures and indicators of playing performance in elite junior australian rules football. *J. Sci. Med. Sport* 2007, 10, 110–118.