

İzokinetik Testlerde Mekanik Terimlerin Atletik Performansla İlişkilendirilmesi: Spor Bilimciler İçin Bir Rehber

Doğa KURAL¹, Yunus Ziya ARSLAN²

Özet

Yayın Bilgisi

Gönderi Tarihi: 12.12.2023

Kabul Tarihi: 10.06.2024

Online Yayın Tarihi:

11.06.2024

Anahtar Kelimeler:

Güç, İş, İzokinetik test, Tepe tork

DOI:

10.55238/seder.1403739

İzokinetik testler, sporcuların atletik performansını mekanik yönleriyle ortaya koyar. Ancak mekanik terimlerin anlamı spor bilimciler tarafından net bir şekilde bilinmemektedir. Bu sebeple testten elde edilen mekanik çıktıların atletik performanstaki karşılığı da anlaşılammamaktadır. Kuvvet, tork, yapılan iş ya da üretilen güç gibi terimler birbiriyle bağlantılıdır; fakat birbirinden farklı atletik performans özelliklerini ifade eder. Bu terimlerin anlamı ve performanstaki yansımalarının bilinmemesi sporcuların performansının yanlış değerlendirilmesine sebep olmaktadır. Ayrıca terimlerin yanlış kullanılması biyomekanik ve spor bilimleri camiası arasında bir iletişim engeli oluşturmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada izokinetik testlerde kullanılan temel mekanik parametrelerin hem ölçüm hem de matematiksel hesaplama yöntemleri ile elde edilmeleri amaçlanmıştır. Ayrıca bu parametrelerin atletik performans açısından kullanımları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada bir sprinterden pilot ölçüm alınmıştır. İzokinetik test baskın bacakta ve oturur pozisyonda diz eklemine 60-120-240 der/s hızlarda uygulanmıştır. İzokinetik test ile eklem torkunun zamana, açığa ve hıza bağlı değişim grafikleri elde edilmiş ve bu veriler kullanılarak eklem hareket boyunca yaptığı iş, ürettiği güç ve tepe torka ulaştığı açı değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca birbirinden farklı birçok izokinetik test çıktısının beraber yorumlanarak performansın nasıl değerlendirileceği vurgulanmıştır. Patlayıcı kuvvet, çabukluk ve çabuk kuvvette devamlılık gibi atletik performans ölçümleri ile izokinetik test sonuçları arasındaki korelasyon ve anlamlı ilişkiler farklı spor disiplinleri içerisinde örneklendirilmiştir.

Relating Mechanical Terms to Athletic Performance in Isokinetic Testing: A Guide for Sports Scientists

Abstract

Article Info

Received: 12.12.2023

Accepted: 10.06.2024

Online Published:

11.06.2024

Keywords:

Power, Work, Isokinetic test, Peak torque

Isokinetic tests reveal the mechanical aspects of athletes' athletic performance. However, the meaning of mechanical terms is not clearly known by sports scientists. Therefore, the mechanical outputs obtained from the test are also not understood in terms of athletic performance. Terms like force, torque, work done, or power produced are associated with each other, however, they indicate different athletic performance characteristics. Lack of knowledge in the meaning of these terms and their reflections on performance leads to a misinterpretation of athletes' performance. Moreover, the misuse of terms creates a communication barrier between the biomechanics and sports science community. Therefore, this study aims to obtain the basic mechanical parameters used in isokinetic tests both through measurement and mathematical calculation methods. Additionally, the use of these parameters in terms of athletic performance has been evaluated. In this study, a pilot measurement was taken from a sprinter. The isokinetic test was applied to the dominant leg in a seated position at the knee joint at speeds of 60-120-240 deg/sec. Performing the isokinetic test, graphs showing the time-dependent, angle-dependent, and speed-dependent changes in joint torque were obtained, and using this data, the work done by the joint throughout its movement, the power produced, and the angle values at which peak torque was reached were calculated. Furthermore, it has been emphasized how performance can be evaluated by interpreting various isokinetic test outputs combinedly. Correlations and significant relationships between athletic performance measurements such as explosive strength, agility, and endurance strength with isokinetic test results have been exemplified within different sports disciplines.

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, İstanbul/Türkiye, E-posta: doga.kural@iuc.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3501-0391.

²Türk-Alman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Robotlar ve Akıllı Sistemler Anabilim Dalı, İstanbul/Türkiye, E-posta: yunus.arslan@tau.edu.tr ORCID: 0000-0002-1861-9368.

Giriş

İzokinetik test, eklemlerin sabit hızlarla hareketine olanak sağlayarak üretilen torkları veren bir ölçüm ve değerlendirme yöntemidir (Brown, 2000). Bu testler, eklem torkunun zamana ve eklem açısına bağlı değişimlerini ortaya koyarak yapılan iş, üretilen güç ve tepe torka ulaşma süresi gibi verilerin hesaplanmasına imkân verir (Baltzopoulos ve Brodie, 1989; Kannus, 1994). Bu test sayesinde sporcuların kuvvet, patlayıcı kuvvet, çeviklik, çabuk kuvvette devamlılık ve dayanıklılık gibi önemli parametrelerini ölçmek ve değerlendirmek mümkündür (Cepedal ve ark., 2023; Greig ve Naylor, 2017). Ayrıca ölçümlerin her biri konsantrik, eksantrik, izometrik ve izotonik fazlardaki kas kasılmalarında uygulanabilmektedir; bu nedenle testlerin yaralanmaların önceden tahmin edilmesi ve önlenmesinde önemi büyüktür (Aagaard ve ark., 1998; Dauty ve ark., 2020; Dauty ve ark., 2003). Fakat mekanik etkileşimlerin anlaşılması ve kantitatif olarak değerlendirilmesi açısından terimlerin ve kavramların standart bir biçimde ortaya konması gereklidir. Testler vasıtasıyla elde edilen biyomekanik çıktılarının doğru şekilde analiz edilmesi ile performans değerlendirmeleri ve yaralanmaların önceden kestirilmesi mümkün olabilmektedir (Dauty ve ark., 2020)

Sportif performansın değerlendirilmesi, artırılması ya da yaralanmalara dair öngörüler gerçekleştirebilmek gibi çeşitli amaçlar için izokinetik test mekaniğinin anlaşılması gerekir. Ayrıca test çıktılarında tork, tepe tork, bağıl tork, tepe torka ulaşma süresi, tepe torka ulaşma açısı, yapılan iş ve üretilen güç gibi kavramların birbiriyle bağlantılarının bilinmesi, test sonuçlarının doğru değerlendirilmesi açısından çok önemlidir (Baltzopoulos ve Brodie, 1989). Ancak yapılan izokinetik test yorumlamasında ya da akademik çalışmalarda genellikle tepe tork veya bağıl tepe tork kullanılmaktadır (Dowson ve ark., 1998; Misjuk ve ark., 2013; Tatlıcioğlu ve ark., 2020). Bunun yanında sporcularda performansın belirlenmesi ya da yaralanma önceden tahmini için tepe tork ya da bağıl tepe tork ölçümleri yeterli değildir (Baltzopoulos ve Brodie, 1989; Amaral ve ark., 2014) Test çıktılarında biri olan “yapılan iş” eklemin hareketi boyunca yüksek kuvvet uyguladığı durumlar için yaralanma kestiriminde daha yüksek tahmin başarısı sağlamaktadır (Baltzopoulos ve Brodie, 1989). Bu parametre sayesinde sporcunun belli eklem açılarında güçlü veya zayıf olduğu çıkarımı elde edilmektedir (Kannus, 1994). “Üretilen güç” ise eklem kuvvetinin patlayıcı bir şekilde uygulanmasıyla yüksek değerlere ulaşmaktadır (Kannus, 1994). Bu da patlayıcı kuvvet içeren branşlarda oldukça sık gözönüne alınan yöntemlerden biridir (Amaral ve ark., 2014). Benzer şekilde “tepe torka ulaşma süresi”nin kısa olması da patlayıcı kuvvetin bir göstergesidir (Bračić ve ark., 2011). Sporda performansı belirlemede veya yaralanmaların önlenmesinde yukarıda geçen ve benzeri çeşitli parametreler kullanılması gerekirken sadece belli başlı kavramların (tork, bağıl tork) değerlendirmeye alınması değerlendirme ve öngörülerin doğrulukla yapılamamasına sebep olmaktadır (Baltzopoulos ve Brodie, 1989). Buna göre izokinetik test çıktılarının mekanik anlamlarının spor bilimciler tarafından net bir biçimde anlaşılması gereklidir. Böylelikle tüm izokinetik test sonuçlarının karşılık geldiği atletik performans daha iyi anlaşılacaktır. Bu sebeple bu çalışmada tepe tork, bağıl tepe tork, tepe torka ulaşma süresi/açısı, yapılan iş ve üretilen güç terimleri ve performanstaki karşılıkları mekanik açıdan açıklanması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma Grubu

Bu deneysel çalışma kapsamında bir aktif sprinterin pilot ölçümleri kaydedilmiştir. Yapılan ölçümler İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Etik Kurulu tarafından 2022/49 yıl ve sayıyla kabul edilen araştırma ölçümleridir. Gönüllü sağlıklı durumda olup testten önceki 6 ay boyunca hiçbir yaralanma geçirmemiş, baskın bacağı sağ bacak olan 182 cm boyunda ve 72 kg ağırlığında erkek bir sprinterdir.

Verilerin Toplanması

İzokinetik test sporcunun aktif olduğu yılın Eylül ayında (sezon sonunda) alınmıştır. Test oturur pozisyonda ve baskın diz için uygulanmıştır. Gönüllü test öncesi ısınmada 10 dk boyunca 5km/s hızda koşu bandında yürüme yapmıştır. Ardından 5 dk boyunca özellikle alt ekstremitte statik esneme hareketleri uygulanmıştır. İzokinetik test hızları 60-120-240 der/s olarak belirlenmiştir (Misjuk ve ark., 2013). Her hızda konsantrik diz fleksiyonu ve konsantrik diz ekstansiyonu uygulanmıştır. Gönüllü her izokinetik test hızı öncesinde hıza alışmak için 3 tekrar deneme ölçümü yapmıştır. Deneme ölçümleri sonrası 1 dakika, asıl test tekrarları sonrası da 2 dakika dinlenme süresi verilmiştir. Asıl test tekrarları 60 der/s'de 3 tekrar, 120 der/s hızda 5 tekrar v 240 der/s hızda 25 tekrar olarak literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olarak gerçekleştirilmiştir (Misjuk ve ark., 2013).

Veri Toplama Araçları

İzokinetik test İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Spor Bilimleri'nde bulunan izokinetik test "Isoforce, TUR GmbH, Berlin, Germany" marka ve model test cihazı ile yapılmıştır. Tüm testler Isoforce kullanım kılavuzundaki şekliyle uygulanmıştır. Sporcunun kilosu "Tanita BC-418" marka ve model tartı ile boyu ise "Seca 213" marka ve model boyu ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

Verilerin Analizi

Sporcudan toplanan veriler eklem açılarının zamana bağlı değişimi şeklinde tüm açısal hızlarda kaydedilmiştir. Verilere dair sayısal işlemler, verilerin görsel olarak tespiti vb ön işlemler Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup eklem torkunun açığa ve zamana bağlı değişimleri de elde edilmiştir. Bu sayede tepe tork, tepe torka ulaşılan açı ve tepe torka ulaşılan süre bulunmuştur. Eklem torkunun açığa bağlı değişim grafiğinin altında kalan alan (1. Mertebeden integral) hesaplanarak hareket boyunca "yapılan iş" bulunmuştur. Eklem torkunun hıza bağlı grafiği elde edilmiştir. Bu grafiğin altında kalan alan hesaplanarak "üretilen güç" hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar "Isoforce" izokinetik test sonuçlarıyla kıyaslanarak doğrulanmıştır.

Tork, Tepe Tork ve Bağlı Tepe Tork

Tork, bir nesnenin bir ekseninde döndürülmesini sağlayan kuvvet etkisidir. Tork ($\vec{\tau}$), kuvvet (\vec{F}) ile kuvvetin etkiye doğrultusu ile dönme merkezi arasındaki pozisyon vektörünün (\vec{r}) vektörel çarpımı ile bulunur (Denklem 1). Bir metre uzunluktaki bir moment kolunun ($|r|$) en son noktasına dik olarak uygulanan 1 Newtonluk kuvvetin ürettiği tork 1 Newton.metre(Nm) olarak ifade edilir.

$$(Denklem 1) \quad \vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Literatürde “izokinetik kuvvet testi terimi” izokinetik test kapsamındaki tork ölçümleri anlamında kullanılmaktadır (Yapıcı ve ark., 2016; Yılmaz ve ark., 2023). Ancak izokinetik testte kas kuvveti değil eklem momenti ölçülmektedir (Denklem 1). Buna bağlı olarak izokinetik testten elde edilen tork sonuçları eşit olan iki sporcunun ölçülen uzuv boyları farklı olabilmektedir (Ghena ve ark., 1991). Bu sebeple kuvvet ve tork kavramların nicel olarak gösterilmesi amacıyla hesaplanmıştır.

Tepe Torka Ulaşma Süresi ve Açısı

Tepe Torka Ulaşma Süresi eklem torkunun zamana bağlı grafiğinde maksimum torka ulaşılan süreyi ifade ederken, tepe torka ulaşma açısı, eklem torkunun açığa bağlı değişiminde maksimum torka ulaşılan süreyi ifade eder. Tepe torka ulaşma süresi, eklem ürettiği en yüksek torka ulaşılan süre olarak da bilinmektedir. “Rate of torque development” terimi ile ani tork üretimi ifade edilirken, “acceleration time” ile eklem hareketindeki ivmelenme süresi kastedilir (Baltzopoulos ve Brodie, 1989; Kannus, 1994).

Yapılan İş

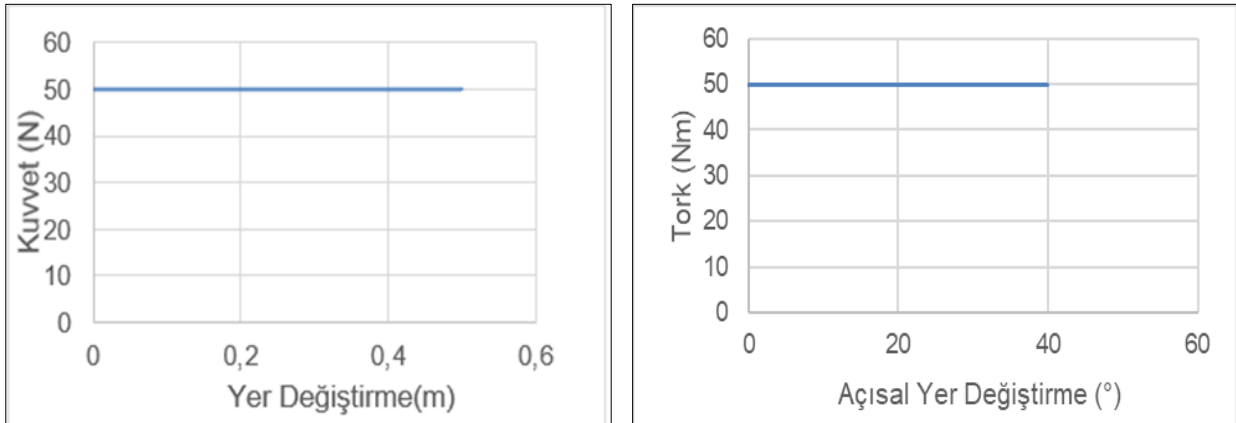
Mekanik olarak iş, belli bir yer değişimi boyunca bir cisme uygulanan kuvvetin etkisiyle aktarılan enerji miktarıdır. Başka bir ifade ile doğrusal olarak hareket yönüyle aynı doğrultuda sabit bir kuvvet ile yapılan iş (W), kuvvet (F) ve yer değişiminin (Δx) skaler çarpımına eşittir (Denklem 2). Ancak izokinetik testte doğrusal değil açısal bir hareket gerçekleştirilmektedir. Tanım ve formüldeki kuvvet yerine tork (τ), doğrusal yer değiştirme yerine açısal yer değiştirme ($\Delta\theta$) terimleri kullanılır. Aynı şekilde açısal harekette de bu sefer uygulanan tork ile açısal yer değiştirme skaler olarak çarpılır (Denklem 3).

$$\text{(Denklem 2)} \quad W = F \cdot \Delta x$$

$$\text{(Denklem 3)} \quad \delta W = \tau \cdot \Delta\theta$$

Şekil 2’te hem açısal hem lineer olarak iş tanımı gereği kuvvet-yer değiştirme ve tork-açısal yer değiştirme ilişkileri verilmiştir. Her iki grafikte de cisme uygulanan etki (kuvvet ve tork) sabittir ve yapılan işlem geometrik olarak Şekil 1’teki grafiğin sınırladığı alanın bulunmasıdır. Bu işlem esas olarak grafikteki eğrilerin altındaki alanın cebirsel olarak hesaplanmasıdır. Benzer biçimde şekil 2 ve 3’teki torkun eklem açısına bağlı değişim grafiğinde de eğrinin altındaki alanın hesabı gerçekleştirilir ve bunun matematiksel gösterimi aşağıda Denklem4’te gösterilmiştir:

$$\text{(Denklem 4)} \quad W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau \cdot d\theta$$



Şekil 1. Doğrusal (solda) ve açısal (sağda) hareketlerde yapılan iş

Üretilen Güç

Güç (P) mekanik olarak birim zamanda yapılan iş ya da aktarılan enerji olarak tanımlanmaktadır (Denklem 5) ve kuvvet ile hızın (v) skaler çarpımı şeklinde matematiksel olarak ifade edilmektedir. Bu tanıma göre kuvveti ve hızı yüksek olan sporcular daha yüksek güç üretebilmektedirler. Benzer şekilde açısız harekette üretilen güç, tork ve açısız hızın (ω) çarpımına eşittir (Denklem 6).

$$\text{(Denklem 5)} P = F \cdot v$$

$$\text{(Denklem 6)} P = \tau \cdot \omega$$

Yukarıda bahsedilen parametrelerin hesaplanması için kullanılan matematiksel ilişkiler aracılığıyla parametrelerin çeşitli girdilere göre (örneğin test sonuçları) sayısal olarak elde edilmeleri mümkün olmaktadır. Bu ilişkiler kullanılarak bulgular bölümünde parametrelerin nicel değerleri gösterilmiştir.

Bulgular

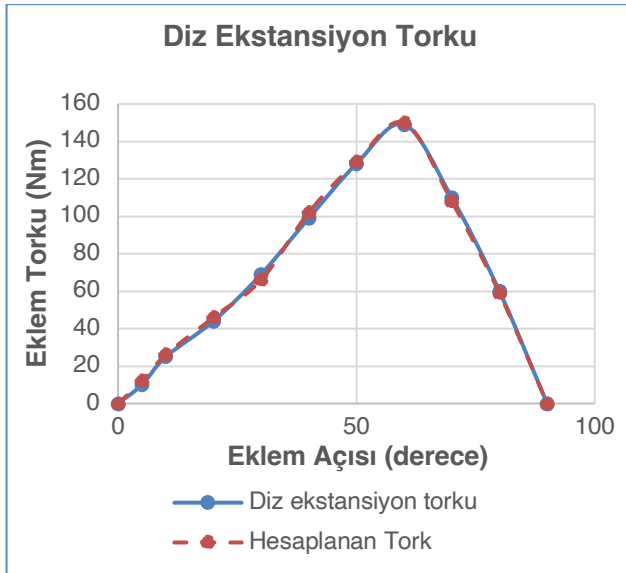
Performans göstergeleri testlerden alınan girdi değerlere göre hesaplanmıştır ve izokinetik test sonuçlarıyla birlikte gösterilmiştir. 60,120,240 der/s hızda dominant uzvun diz eklemine fleksiyon (Flks) ve ekstansiyon (Ekst) hareketlerinde yapılan izokinetik test sonuçlarından “tepe tork, bağıl tepe tork, tepe torka ulaşma açısı (TTUA), tepe torka ulaşma süresi (TTUS), yapılan iş, üretilen güç sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Dominant dizin 60,120,240 der/s hızlardaki izokinetik test sonuçları

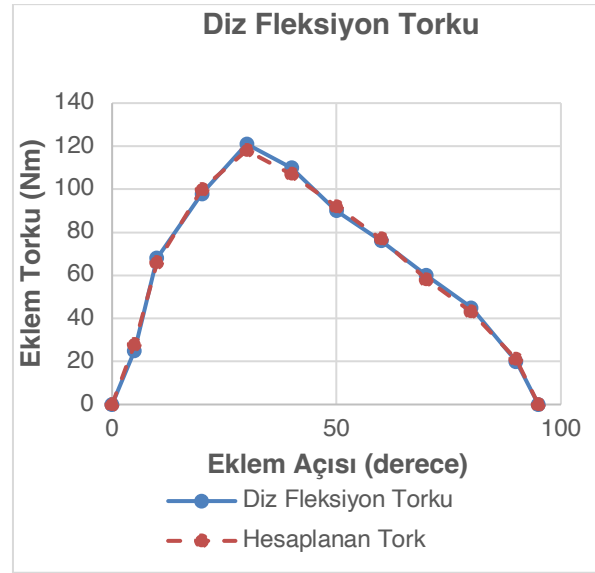
İzokinetik Test Hızı (der/s)	Tepe Tork (Nm)		Bağıl Tepe Tork Tork (Nm/kg)		TTUA (der)		TTUS (s)		Yapılan İş(Joule)		Üretilen Güç (Watt)	
	Ekst	Flks	Ekst	Flks	Ekst	Flks	Ekst	Flks	Ekst	Flks	Ekst	Flks
60	207	144	2.88	2	74	32	0.98	0.65	285	221	114	90
120	149	121	2.07	1.68	63	34	0,42	0,36	183	161	152	123
240	114	102	1.58	1.42	77	36	0,26	0,22	156	140	203	200

Ekst: Ekstansiyon Flks: Fleksiyon

120 der/s hızdaki izokinetik test(ölçüm) sonuçları ve bu sonuçların eklem torkunun zamana bağlı değişim(hesaplama) sonuçları grafiği Şekil 2 ve Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 2. 120 der/s hızdaki diz ekstansiyon torkunun eklem açısına bağlı değişimi ve hesaplanan sonuç



Şekil 3. 120 der/s hızdaki diz fleksiyon torkunun eklem açısına bağlı değişimi ve hesaplanan sonuç

Tartışma ve Sonuç

Performansın belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla aktif sporcu için izokinetik test ölçümleri ile kaydedilen veriler kullanılarak değerlendirme parametreleri sayısal olarak elde edilmiş ve aynı zamanda matematiksel olarak da bu parametreler analitik yöntemle hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen çıktıların mekanik karşılıklarının incelenmesi ve performans açısından değerlendirmeye katkıda bulunması amaçlanmıştır. Bu parametrelerin kavramsal karşılıkları ve spor bakımından kullanımları göz önüne alınmıştır.

Tork, Tepe Tork ve Bağlı Tepe Tork

Performansın belirlenmesi ve değerlendirilmesinde en yaygın başvuru prosedürü izokinetik test ölçümleri ve bunların çıktısı “tork” ölçümüdür (Manca ve ark., 2015). İzokinetik test kapsamında torkun zamana bağlı değişimi de elde edilebilmekte ve böylece sporcuların hangi eklem açısında daha yüksek ya da daha düşük tork ürettiği tespit edilebilmektedir (Baltzopoulos ve Brodie, 1989; Kannus, 1994) (Şekil 2-3). Buna göre sporcunun hangi aralıkta daha patlayıcı kuvvet (rate of torque production) ürettiği farklı uzuv hareketleri için belirlenebilmektedir (Gillen ve ark., 2020; Maciel ve ark., 2023; Simpson ve ark., 2019). Şekil 2 ve 3'te görüldüğü üzere diz fleksiyon torku ekstansiyona göre çok daha kısa sürede tepe torka ulaşmıştır. Ancak diz ekstansiyon tepe torku 150 Nm'ye ulaşırken, fleksiyon torku ise 100 Nm'ye ulaşmıştır. İki eklem ürettiği patlayıcı kuvvetin kıyaslaması için eklemde üretilen tork ve hız verilerinin kıyaslanması gerekmektedir. Bu sebeple tepe tork değerine ulaştığı süre ve açının da göz önüne alınması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca izokinetik test ile edilen en yüksek eklem momentinin üretildiği nokta ise “tepe tork” olarak adlandırılır. Yüksek tork üretimi birçok araştırmada sıçrama, sprint ve yön değiştirme gibi atletik performans özellikleriyle korelasyon göstermiştir (Dowson ve ark., 1998; Gillen ve ark., 2020). Bu gibi atletik

performansların değerlendirilmesi için test kapsamında yapılan hareket (diz fleksiyonu-ekstansiyonu, kalça fleksiyonu-ekstansiyonu vb.) için az tekrarlı (3-8 tekrar) ve yüksek açısal hızdaki testler (240-360 der/s) tercih edilmektedir (Kabacinski ve ark., 2022; Soslu ve ark., 2016). Performansın niteliğine (sıçrama, konma, sprint vb.) göre bu tekrarlardan elden edilen tepe torkların en iyisi ya da ortalaması dikkate alınır. Örneğin bir basketbolcunun ya da bir yüksek atlayıcının sıçrama performansı değerlendirilirken en iyi tepe tork göz önüne alınırken, bir futbolcunun ya da 400 m koşucusunun çabuk kuvvette devamlılık performansları değerlendirilmesi amacıyla ortalama tepe torkları dikkate alınmaktadır (Blazevich ve Jenkins, 2002; Cometti ve ark., 2001; Rouis ve ark., 2015).

Tepe tork, sporcu dayanıklılığının değerlendirilmesinde başvurulan bir parametredir (Kocahan ve Akinoğlu, 2018). Bunun için genellikle 10-25 tekrarlı orta (120-240 der/s) ya da yüksek açısal hızdaki testler tercih edilmektedir (McLeland ve ark., 2016). Bazı araştırmalarda 30-45s'lik süre boyunca yüksek açısal hızlarda da dayanıklılık ölçümleri yapılmaktadır (Baltzopoulos ve Brodie, 1989). Ancak dayanıklılık ölçümlerinde daha çok ortalama tepe tork sonuçları ile değerlendirme yapılmaktadır. Bunun sebebi, dayanıklılık gerektiren branşlarda (800 m-1500 m koşusu, futbol) yüksek tepe torkları yerine optimal tepe torkların uygulanmasıdır. Çok tekrarlı(10-30 tekrar veya 30-45 saniye) yapılan dayanıklılık testlerinde tüm tekrarlarda üretilen tepe torkların birbirine yakın büyüklüklerde devam etmesi sporcunun daha dayanıklı olduğunun göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Ratamess ve ark., 2016).

Bağıl tepe tork ise tepe torkun vücut kütlesine bölünmesiyle elde edilen bir göstergedir ve birimi Nm/kg'dır. Ulaşılan tepe torkun normalize edilmesinde sıklıkla kullanılır. Bu tarz parametreler genellikle benzer branşlardaki sporcuların eklem torklarının karşılaştırılması amacıyla kullanılmaktadır (Jones ve Bampouras, 2010). Ancak bu değerlendirmeler farklı branşlar için sporcuların kas kitlesi, yağ-kas oranı, vücut kompozisyonu gibi değişkenler sebebiyle o branşa özgün biçimde gerçekleştirilmelidir (Dowson ve ark., 1998). Zira bazı branşlar (cirit atma, disk atma vb.) sporcuların hem ağır hem de kuvvetli olmasını gerektirirken bazıları (sprint, rugby, futbol) ise hafif ve kuvvetli olmasını gerektirmektedir (Maeda ve ark., 1999; Tatlıcıoğlu ve ark., 2020; Loturco ve ark.,2021). Hatta rugby, hentbol, futbol veya basketbol gibi oyuncuların vücut kompozisyonlarının ve demografik yapılarının mevkilere göre farklılık gösterdiği branşlarda bağıl tepe tork değerlendirmeleri aynı mevkiler arasında yapılmalıdır (Dowson ve ark., 1998; Tourny-Chollet ve ark., 2000).

Özellikle sprint gibi yüksek kas, yağ kütlesi oranı ya da vücut kitle indeksi, yüksek güç ve çabukluk gerektiren branşlarda (sprint, basketbol, futbol) bu tarz ölçümler hatalı değerlendirmelere sebep olabilmektedir (Dowson ve ark., 1998; Tatlıcıoğlu ve ark.,2020). Kas oranı yüksek 100 kg kütlesindeki elit bir sprinter kas oranı düşük elit-altı ve 80 kg kütlesindeki bir sprintere göre yüksek tork üretebilmektedir. Ancak bağıl tepe tork değerlendirmesi yapıldığında elit-altı sprinterin sonucu hatalı bir biçimde daha "iyi" olarak değerlendirilebilecektir (Dowson ve ark., 1998).

Tepe Torka Ulaşma Süresi ve Açısı

Tepe torka ulaşılan sürenin ve tepe torka ulaşılan açının bilinmesi kasın mekanik özelliğinin saptanabilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu parametreler patlayıcı kuvvet gerektiren branşlar için performans ölçümü olarak kullanılmaktadır (Bračić ve ark., 2011). Bir sporcunun Tepe torka ulaşma süresi

ne kadar kısa olursa o kadar kısa sürede ani tork üretebiliyor demektir. Aynı şekilde tepe torka ne kadar küçük eklem açısında ulaşıyorsa kişinin ani tork üretme kapasitesi yüksektir (Maciel ve ark., 2023). Fakat tepe torka çok hızlı ve küçük eklem açılarında ulaşım sonrasında düşük kuvvet üretmek performans açısından verimsiz olmakta ve yaralanmalara yol açabilmektedir (Clark ve ark., 2022).

Sporcuların tork ve eklem açısı grafiklerinin ilk kısmı eksponansiyel olarak artıp tepe torka ulaşırken bazıları da daha geç tepe torka ulaşabilmektedir (Şekil 2-3). Bu durum sporcuların kas kontraksiyonundaki özelliğini ortaya koymakta ve eğrinin ilk kısmının eksponansiyel artması sporcunun kas kasılma hızının eklem hareketinin başında daha hızlı olduğunu göstermektedir (Şekil 3). Fakat hareketin başlangıç kısmındaki hareket değişimini yavaş oluyorsa bu da eklem hareketinin orta veya son kısımlarında kasların daha yüksek tork üretme eğiliminde olduğunu gösterir (Şekil 2). Bu şekilde sporcuların zayıf olan eklem açıları tespit edilebilmektedir. Antrenmanlardaki egzersizler, zayıf olan eklem açılarındaki kas kuvvetini ve koordinasyonunu geliştirmeye yöneliktir. Aynı şekilde belirlenen eklem açılarındaki düşük eklem torku, izokinetik cihazının egzersiz modunda kullanılarak da geliştirilebilmektedir (Coburn ve ark., 2006).

Performans değerlendirmesi yapılırken tepe torka ulaşma süresi ve tepe torka ulaşılan eklem açısı, tepe torkla birlikte değerlendirilmelidir. Çünkü eklemlerin yüksek tepe tork üretmesi her zaman atletik performansının iyi olduğu anlamına gelmemektedir (Amaral ve ark.,2014). Patlayıcı kuvvet gerektiren branşlarda (futbol, basketbol, hentbol, atletizm vb.) yüksek torkun çok kısa sürede uygulanması daha da önem kazanmaktadır (Bračić ve ark., 2011; Dowson ve ark., 1998). Örneğin bir vücut geliştirmecinin diz ekstansiyonunda ulaştığı tepe tork bir futbolcuya göre daha yüksektir (Vrabas ve ark., 1998; Yılmaz ve ark., 2023). Fakat futbolcularda da yüksek açısal hızlarda yapılan testlerde tepe torka ulaşma süreleri çok daha kısadır (Maciel ve ark., 2023). Tepe torka ulaşma süresi değerlendirilirken yüksek açısal hızlardaki izokinetik testler uygulanmalıdır (Bračić ve ark., 2011). Zira düşük açısal hızlardaki (30-60 der/s) testlerde yüksek tork üretemeyen sporcular tepe torka erken ulaşabilmekte ve bu sebeple düşük hızlardaki tepe torka ulaşma süresi yöntemi hatalı tespitlere yol açabilmektedir.

Yapılan İş

Eklem açısının torka bağlı değişim grafiğinin (Şekil 2-3) altında kalan alanın büyük olması, başka bir ifadeyle yapılan işin fazla olması için kasın her eklem açısında yüksek tork üretmesi gerekir. Bu sebeple sporcunun zayıf olduğu eklem açılarının tespit edilmesinde “yapılan iş” önemli bir yer tutmaktadır (Charteris, 1999). Ayrıca, “yapılan iş” değerlendirmeleri ile antagonist kas gruplarının farklı kasılma fazlarında (konsantrik, eksantrik) dengeli bir şekilde tork üretme yetenekleri incelenebilmektedir (Remaud ve ark., 2009). Sportif hareketlerde birçok kas kasılması tipi ani olarak değiştiği için bu özellik yaralanmanın önlenmesinde ve performans değerlendirmesinde de sıklıkla kullanılmaktadır (Grygorowicz ve ark., 2010). Bu anlamda, dengeli bir şekilde tork üretemeyen agonist ve antagonist kaslar sporcuları yaralanmalara açık hale getirebilmektedir(Dauty ve ark., 2020).

Hamstring yaralanmaları sprinterlerde sıklıkla karşılaşılan yaralanma tiplerindedir. Bu yaralanmalar genellikle koşunun geç salınım fazında konsantrik diz torkunun ani artışıyla ilişkilendirilmektedir (Chumanov ve ark., 2012). Ayrıca diz eklemine konsantrik ekstansiyonu, eksantrik

fleksiyonuna göre fazla iş yaptığı durumlarda sporcuların hamstring yaralanmalarına daha açık oldukları düşünülmektedir (Bulat ve ark., 2019; Dauty ve ark., 2003). Fakat böyle bir ihtimalin güçlenerek bir hipoteze dönüşmesi için farklı izokinetik verilere de ihtiyaç duyulmaktadır. Böylesi bir durumda sporcunun bahsedilen kasılma fazlarındaki tepe torkları ve tepe torka ulaşma açıları farklı kas kasılma tipleri için test edilmelidir (Dauty ve ark., 2020; Dauty ve ark., 2003). Konsantrik diz ekstansiyonu sırasında torkun en yüksek değere ulaştığı eklem açısında eksenrik diz fleksiyonunun düşük olduğu durum için sporcunun hamstring yaralanmalarına açık olduğu düşüncesi desteklenmiş olur (Aagaard ve ark., 1998). Yaralanmanın ihtimal dahilinde olduğu hareket durumlarında izokinetik testteki bilgilerin beraber kullanılması sporcular hakkında yaralanmanın kestirimi ve değerlendirilmesine dair etkili bir araç olarak kullanılabilir.

Yapılan iş kuvvette devamlılık ve dayanıklılığın ölçüğü olarak göz önüne alınmasından dolayı da kritik öneme sahiptir. Fazla tekrarlı (12-25 tekrar ya da 30 sn üzeri) yapılan izokinetik testlerde yapılan işin ortalamasının yüksek olması ve sporcunun ürettiği maksimum torkların daha geniş bir zamana (30 saniye-1 dakika) yayılarak azalmakta olması sporcunun kuvvette devamlılığının bir göstergesi olarak kabul edilir (Burdett ve van Swearingen, 1987). Tepe tork ölçümlerindeki gibi çok tekrarlı ancak orta ve yüksek hızlardaki (180-300 der/s) izokinetik testler de çeşitli branşlardaki sporcuların çabuk kuvvette devamlılık özelliğinin değerlendirilmesine imkan vermektedir. Yapılan işin göz önüne alınarak dayanıklılığın değerlendirildiği durumlarda testin açısal hızı orta ve yüksek olarak seçilmelidir (Kannus, 1994). Zira düşük hızda (30-60 der/s) yüksek tork üretileceği için çok tekrarlı testlerde bu daha çok yüksek kuvvette devamlılığı test edebilmektedir (Baltzopoulos ve Brodie, 1989).

Üretilen Güç

İzokinetik testte ortalama güç ve tepe güç (peak power) ölçümleri yapılmaktadır. Hareket sırasındaki ortalama güç, birim zamanda tüm eklem hareketlerinde üretilen toplam iş olarak tanımlanmaktadır. Genellikle ortalama güç yüksek açısal hızlarda ve çok tekrarlı hareketlerde performans kriteri olarak kullanılmaktadır (Taylor ve ark., 1991); ayrıca sporcularda çabuk kuvvette devamlılığın bir göstergesidir. Tepe güç ise hareket sırasında yapılan en büyük işin, hareketin süreye bölünmesiyle bulunan bir parametredir. Bu değere de sıklıkla çok kısa sürede yüksek güç gerektiren branşları değerlendirmede başvurulmaktadır (Amaral ve ark., 2014).

Güç ölçümleri patlayıcı kuvvet gerektiren branşlar için gereklidir. Zira, tepe torkun aksine izokinetik test hızı arttırıldığında güç üretimi de artar (Kannus, 1994). Bundan dolayı patlayıcı kuvvet gerektiren branşlar için yüksek hızlarda yapılan izokinetik testler performansla daha yakından ilişkilidir (Taylor ve ark., 1991). Çünkü sporcular düşük açısal hızlarda (30, 60, 90 der/s) gerçekleştirilen testlerdeki test hızına çok erken ulaşırlar. Daha fazla güç üretmeleri için devam eden eklem hareketinde ise fazla kuvvet üretmeleri gerekir. Yüksek açısal hızlarda (240, 300, 360 der/s) yapılan testlerde sporcular test hızına erken ulaşır yüksek açısal hızlarda yüksek tork üreterek yüksek güç üretebilirler. Zira patlayıcı kuvvet gerektiren branşlarda bu özellik performansını yansıtmaktadır (Dowson ve ark., 1998).

Yüksek güç üretimi ile tepe torka ulaşma süresini birlikte değerlendirmek gerekir; zira üretilen tork ve açısal hızın skaler çarpımı gücü vermektedir (Denklem 6). İzokinetik testte açısal hız sabit olduğu için testin açısal hızına ulaşıldıktan sonra yüksek tork uygulanması gücü arttıracaktır. Ancak test hızına

ulaşmadan önceki kısımda hem açısal hız artışı hem de tork artışıyla güç arttırılabilir. Bundan dolayı yüksek güç gerektiren branşlarda, test başlangıcında tepe torka ulaşma süresinin kısa olması ve yüksek tork üretmek kritik önemdedir.

İzokinetik test sporculara antrenman, performans değerlendirme ya da yaralanma önleme gibi birçok olanak sunmaktadır. Ancak testin sunduğu bu mekanik özelliklerin analiz edilebilmesi için mekanik kavramların iyi düzeyde bilinmesi ve kastettikleri bağlamı yeterli bir biçimde yansıtmaları gerekmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada izokinetik test çıktılarının biyomekanik açıdan değerlendirilmesi ve spor bilimlerinde kullanılan yönlerini açıklanmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada sözü edilen parametrelerin her biri ele alınmış ve izokinetik ölçüm parametrelerinin karşılık geldiği atletik performanslar şöyledir:

Tepe Tork: Eklem hareketi boyunca ulaşılan en yüksek torku ifade etmektedir. Yüksek tork üretimi gereken branşlar için dikkate alınması gereken bir parametredir.

Bağıl Tepe Tork: Üretilen en yüksek torkun vücut ağırlığına bölünmesi ile hesaplanan bir parametredir. Torkun normalize edilmesi için kullanılmaktadır. Ancak kas, yağ ve su oranı farklı sporcuları değerlendirirken gözönüne alınmalıdır.

Tepe Torka Ulaşma Açısı/Süresi: Üretilen en yüksek torka ulaşma süresini ya da en yüksek tepe torka ulaşılan açıyı ifade etmektedir. Patlayıcı kuvvet gerektiren branşlarda sadece yüksek tepe tork üretmek yeterli değildir aynı zamanda tepe torka çok kısa sürede de ulaşılmaması gereklidir.

Yapılan İş: Eklem torkunun tüm açılarda yüksek ve birbirine yakın değerlerde olmasını ifade eder. Bu sayede sporcunun zayıf olan eklem açıları tespit edilerek hem performans gelişimi sağlanır hem de yaralanmalardan korunmuş olunur.

Üretilen Güç: Tüm eklem hareketlerinde birim zamanda üretilen toplam iştir. Yüksek açısal hızlarda, hızlı ve yüksek tork üretimini gösterir. Çabukluk gerektiren branşlarda yüksek değere ulaşılması beklenir.

Kaynaklar

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Magnusson, S. P., Larsson, B., & Dyhre-Poulsen, P. (1998). A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *The American Journal of Sports Medicine*, 26(2), 231-237.
- Amaral, G. M., Marinho, H. V., Ocarino, J. M., Silva, P. L., Souza, T. R. D., & Fonseca, S. T. (2014). Muscular performance characterization in athletes: a new perspective on isokinetic variables. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 18, 521-529.
- Baltzopoulos, V., & Brodie, D. (1989). Isokinetic dynamometry: applications and limitations. *Sports Medicine*, 8, 101-116.
- Blazevich, A. J., & Jenkins, D. G. (2002). Effect of the movement speed of resistance training exercises on sprint and strength performance in concurrently training elite junior sprinters. *Journal of Sports Sciences*, 20(12), 981-990.
- Bračič, M., Hadžič, V., Čoh, M., & Dervišević, E. (2011). Relationship between time to peak torque of hamstrings and sprint running performance. *Isokinetics and Exercise Science*, 19(4), 281-286.
- Brown, L. E. (2000). *Isokinetics in human performance*. Human Kinetics: Champaign

- Bulat, M., Can, N. K., Arslan, Y. Z., & Herzog, W. (2019). Musculoskeletal simulation tools for understanding mechanisms of lower-limb sports injuries. *Current Sports Medicine Reports*, 18(6), 210-216.
- Burdett, R. G., & van Swearingen, J. (1987). Reliability of isokinetic muscle endurance tests. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 8(10), 484-488.
- Cepedal, M. Q., Suárez, B. M., Sánchez, M. M., Fernández, H. O., & del Valle Soto, M. (2023). Isokinetic thigh muscles strength in semi-professional athletics:: A one season prospective cohort study. *Apunts: Medicina De L'esport*, 58(220), 1-7.
- Charteris, J. (1999). Effects of velocity on upper to lower extremity muscular work and power output ratios of intercollegiate athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 33(4), 250-254.
- Clark, N. C., Heebner, N. R., Lephart, S. M., & Sell, T. C. (2022). Specificity of isokinetic assessment in noncontact knee injury prevention screening: A novel assessment procedure with relationships between variables in amateur adult agility-sport athletes. *Physical Therapy in Sport*, 53, 105-114.
- Coburn, J. W., Housh, T. J., Malek, M. H., Weir, J. P., Cramer, J. T., Beck, T. W., & Johnson, G. O. (2006). Neuromuscular responses to three days of velocity-specific isokinetic training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(4), 892-898.
- Cometti, G., Maffiuletti, N., Pousson, M., Chatard, J.-C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 22(01), 45-51.
- Dauty, M., Potiron-Josse, M., & Rochcongar, P. (2003). Identification of previous hamstring muscle injury by isokinetic concentric and eccentric torque measurement in elite soccer player. *Isokinetics and Exercise Science*, 11(3), 139-144.
- Dauty, M., Menu, P., & Fouasson-Chailloux, A. (2020, Jan). Hamstring Muscle Injury Prediction by Isokinetic Ratios Depends on the Method Used. *Clin J Sport Med*, 30(1), 40-45.
- Dowson, M., Nevill, M. E., Lakomy, H., Nevill, A. M., & Hazeldine, R. (1998). Modelling the relationship between isokinetic muscle strength and sprint running performance. *Journal of Sports Sciences*, 16(3), 257-265.
- Ghena, D., Mayhew, J., Kurth, A., & Thompson, C. B. (1991). Prediction of isokinetic leg strength from anthropometric dimensions in male college athletes. *Isokinetics and Exercise Science*, 1(4), 187-192.
- Gillen, Z. M., Shoemaker, M. E., McKay, B. D., Bohannon, N. A., Gibson, S. M., & Cramer, J. T. (2020). Leg extension strength, explosive strength, muscle activation, and growth as predictors of vertical jump performance in youth athletes. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 2, 336-348.
- Greig, M., & Naylor, J. (2017). The efficacy of angle-matched isokinetic knee flexor and extensor strength parameters in predicting agility test performance. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 12(5), 728.
- Grygorowicz, M., Kubacki, J., Pilis, W., Gieremek, K., & Rzepka, R. (2010). Selected isokinetic tests in knee injury prevention. *Biology of Sport*, 27(1).
- Jones, P. A., & Bampouras, T. M. (2010). A comparison of isokinetic and functional methods of assessing bilateral strength imbalance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(6), 1553-1558.
- Kabacinski, J., Szozda, P. M., Mackala, K., Murawa, M., Rzepnicka, A., Szewczyk, P., & Dworak, L. B. (2022). Relationship between isokinetic knee strength and speed, agility, and explosive power in elite soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 671.
- Kannus, P. (1994). Isokinetic evaluation of muscular performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15(S 1), S11-S18.
- Kocahan, T., & Akınoğlu, B. (2018). Determination of the relationship between core endurance and isokinetic muscle strength of elite athletes. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 14(3), 413.

- Loturco, I., Pereira, L. A., Freitas, T. T., Bishop, C., Pareja-Blanco, F., & McGuigan, M. R. (2021). Maximum strength, relative strength, and strength deficit: relationships with performance and differences between elite sprinters and professional rugby union players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(8), 1148-1153.
- Maciel, D. G., Dantas, G. A. F., Cerqueira, M. S., Barboza, J. A. M., Caldas, V. V. D. A., de Barros, A. C. M., Varela, R. R., Magalhães, D. H., & de Brito Vieira, W. H. (2023). Peak torque angle, acceleration time and time to peak torque as additional parameters extracted from isokinetic test in professional soccer players: a cross-sectional study. *Sports Biomechanics*, 22(9), 1108-1119.
- Maeda, M., Shamoto, E., Moriwaki, T., & Nomura, H. (1999). Measurement of applied force and deflection in the javelin throw. *Journal of applied biomechanics*, 15(4), 429-442.
- Manca, A., Solinas, G., Dragone, D., & Deriu, F. (2015). Isokinetic testing of muscle performance: new concepts for strength assessment. *Isokinetics and Exercise Science*, 23(2), 69-75.
- McLeland, K. A., Ruas, C. V., Arevalo, J. A., Bagley, J. R., Ciccone, A. B., Brown, L. E., Coburn, J. W., Galpin, A. J., & Malyszczek, K. K. (2016). Comparison of knee extension concentric fatigue between repetition ranges. *Isokinetics and Exercise Science*, 24(1), 33-38.
- Misjuk, M., Rannama, I., & Niglas, E. (2013). Relationship between lower limb isokinetic strength and 60m sprint running time. *Lase J Sport Sci*, 4(2), 159-167.
- Ratamess, N. A., Beller, N. A., Gonzalez, A. M., Spatz, G. E., Hoffman, J. R., Ross, R. E., Faigenbaum, A. D., & Kang, J. (2016). The effects of multiple-joint isokinetic resistance training on maximal isokinetic and dynamic muscle strength and local muscular endurance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(1), 34.
- Remaud, A., Cornu, C., & Guével, A. (2009). Agonist muscle activity and antagonist muscle co-activity levels during standardized isotonic and isokinetic knee extensions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(3), 449-458.
- Rouis, M., Coudrat, L., Jaafar, H., Filliard, J., Vandewalle, H., Barthelemy, Y., & Driss, T. (2015). Assessment of isokinetic knee strength in elite young female basketball players: correlation with vertical jump. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(12), 1502-1508.
- Simpson, D., Ehrensberger, M., Nulty, C., Regan, J., Broderick, P., Blake, C., & Monaghan, K. (2019). Peak torque, rate of torque development and average torque of isometric ankle and elbow contractions show excellent test-retest reliability. *Hong Kong Physiotherapy Journal*, 39(01), 67-76.
- Soslu, R., Özkan, A., & Göktepe, M. (2016). The Relationship Between Anaerobic Performances, Muscle Strength, Hamstring/Quadriceps Ratio, Agility, Sprint Ability And Vertical Jump In Professional Basketball Players. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 10(2), 164-173.
- Tatlıcıoğlu, E., Atalağ, O., Kurt, C., & Acar, M. F. (2020). Investigation of the Relationships between Isokinetic Leg Strength, Sprint and Agility Performance in Collegiate American Football Players. *Spor Hekimliği Dergisi/Turkish Journal of Sports Medicine*, 55(3).
- Taylor, N. A., Cotter, J. D., Stanley, S. N., & Marshall, R. N. (1991). Functional torque-velocity and power-velocity characteristics of elite athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 62, 116-121.
- Tourny-Chollet, C., Leroy, D., Léger, H., & Beuret-Blanquart, F. (2000). Isokinetic knee muscle strength of soccer players according to their position. *Isokinetics and Exercise Science*, 8(4), 187-194.
- Vrabas, I. S., Christoulas, K., Kesidis, N., & Mandroukas, K. (1998). Isokinetic strength and joint mobility in bodybuilders and Olympic weightlifters. *Medical Science Research*, 26, 669-671.
- Yapıcı, A., Maden, B., & Fındıkoğlu, G. (2016). The effect of a 6-week land and resistance training of 13-16 years old swimmers groups to lower limb isokinetic strength values and to swimming performance 13-16 yaş grubu yüzücülerde 6 haftalık kara ve direnç antrenmanlarının alt ekstremitte izokinetik kuvvet performansına ve yüzme derecelerine etkisi. *Journal of Human Sciences*, 13(3), 5269-5281.

Yılmaz, H. H., Seren, K., & Atasever, G. (2023). The relationship between isokinetic strength and anaerobic performance in elite youth football players. *Journal of ROL Sport Sciences*, 4(2), 457-468.

Makale Alıntısı

Kural, D., Arslan, Y.Z. (2024). İzokinetik Testlerde Mekanik Terimlerin Atletik Performansla İlişkilendirilmesi: Spor Bilimciler İçin Bir Rehber [Relating Mechanical Terms to Athletic Performance in Isokinetic Testing: A Guide for Sports Scientists], *Spor Eğitim Dergisi*, 8(2), 49-61.



Bu eser Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.