



SPORMETRE

The Journal of Physical Education and Sport Sciences
Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi

DOI: 10.33689/spormetre.1375297



Geliş Tarihi (Received): 12.10.2023 Kabul Tarihi (Accepted): 13.06.2024 Online Yayın Tarihi (Published): 30.06.2024

HIZ TEMELLİ ANTRENMANLARDA KULLANIM AMACIYLA GELİŞTİRİLEN BİR LİNEER TRANSDÜSERİN GÜVENİRLİĞİ VE GEÇERLİĞİ

İzzet İnce*^{ID}

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, ANKARA

Öz: Hız temelli kuvvet antrenmanları, son yıllarda büyük ilgi gören bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemin uygulanmasında en sık tercih edilen cihazlar lineer transdüserlerdir. Bu çalışmada, donanımı ve yazılımı yazar tarafından geliştirilen bir lineer transdüserin güvenilirlik ve geçerliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Optik kodlayıcı, bluetooth ve Wi-Fi modülü ile donatılmış bir mikrodenetleyiciden oluşan bu lineer transdüser, kriter cihaz Tendo Power Analyzer ile karşılaştırılmıştır. Araştırmaya 13 halterci gönüllü olarak katılmıştır. Silkme çekişi esnasında, farklı yüklerle (%40, %60, %90 ve %110 1RM) gerçekleştirilen eş zamanlı maksimum hız ölçümleri alınarak geçerlik değerlendirilmiştir; bir hafta arayla, aynı saatte ve aynı test prosedürleri uygulanarak test-tekrar test güvenirliliği incelenmiştir. Güvenirlilik analizi için sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC), varyasyon katsayısı (CV), ölçümlerin standart hatası (SEM) ve minimum tespit edilebilir değişim (MDC) hesaplanmıştır. Geçerlik, eşli örneklem t-testi, regresyon analizi ve Bland-Altman analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. ICC değerleri 0.85 ile 0.96 arasında değişmiş, CV değerleri %1.62 ile %4.12 arasında bulunmuştur. SEM değerleri $0.045 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ile $0.084 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ arasında hesaplanmış, MDC değerleri ise $0.137 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ile $0.236 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ arasında değişmiştir. Bland-Altman grafiklerine göre, farklar rastgele bir dağılım göstermiş ve sistematik (sabit veya oransal) bir sapma gözlenmemiştir. Regresyon analizleri sonucunda da sabit veya oransal sapma tespit edilmemiştir. Analiz sonuçları, geliştirilen cihazın silkme çekişi esnasında farklı yüklerle gerçekleştirilen maksimal hız ölçümlerinde güvenilir ve geçerli olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Halter, kuvvet antrenmanı, nöromusküler performans, kuvvet ve kondisyon

VALIDITY AND RELIABILITY OF A LINEAR TRANSDUCER DEVELOPED FOR USE IN VELOCITY-BASED TRAINING

Abstract: Velocity-based strength training (VBT) has gained significant attention in recent years. The most preferred devices for implementing this method are linear position transducers (LPT). This study aimed to evaluate the reliability and validity of an LPT developed by the author, which includes both hardware and software components. The LPT, consisting of an optical encoder, Bluetooth and Wi-Fi modules integrated into a microcontroller, was compared against the criterion device, the Tendo Power Analyzer. Thirteen weightlifters volunteered to participate in the study. Validity was assessed through simultaneous measurements of peak velocity during the clean pull at various loads (40%, 60%, 90%, and 110% of 1RM), while test-retest reliability was evaluated by repeating the same test protocols at the same time of day, one week apart. Reliability analysis included calculating the intraclass correlation coefficient (ICC), coefficient of variation (CV), standard error of measurement (SEM), and minimum detectable change (MDC). Validity was assessed using paired samples t-test, regression analysis, and Bland-Altman analysis. The ICC values ranged from 0.85 to 0.96, and the CV values ranged from 1.62% to 4.12%. The SEM values were calculated to be between $0.045 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and $0.084 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, while the MDC values ranged from $0.137 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to $0.236 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. The differences were randomly distributed, with no systematic (fixed or proportional) bias observed in Bland-Altman plots. Similarly, regression analyses revealed no fixed or proportional bias. The results of the analyses demonstrate that the developed LPT is reliable and valid for measuring peak velocity during clean pull exercises across different loads.

Key Words: Weightlifting, strength training, neuromuscular performance, strength and conditioning

* Sorumlu Yazar: İzzet İnce, Doç. Dr., E-mail: izzetince@aybu.edu.tr

GİRİŞ

Kuvvet odaklı egzersizlerde, yük ile hız arasında ters yönlü doğrusal bir ilişki sıkça gözlemlenmektedir. Bu ilişki, yük arttıkça egzersizin gerçekleştirilme hızının azaldığını, yük azaldıkça ise hızın arttığını ifade etmektedir (Perez-Castilla ve ark., 2019). Bu zıt ilişkiyi en aza indirmek amacıyla hareketlerin en kısa sürede gerçekleştirilmesine odaklanan antrenman yaklaşımı olarak hız temelli kuvvet antrenman sistemi (HTKA) büyük bir popülerlik kazanmıştır (Pérez-Castilla ve ark., 2019). HTKA'nın üç ana uygulama alanı bulunmaktadır. Birincisi, ortalama hız ile göreceli yük (bir tekrar maksimumunun yüzdesi) arasındaki doğrusal ilişkiye dayanarak, direnç egzersizi yoğunluğu günlük olarak belirlenmektedir (Conceição ve ark., 2016; García-Ramos ve ark.; Jidovtseff ve ark., 2011). İkincisi, hız kaybının büyüklüğü ile nöromüsküler yorgunluk derecesi arasındaki güçlü ilişkiye dayanarak antrenman hacmi belirlenmektedir (Pareja-Blanco ve ark., 2020; Sanchez-Medina ve González-Badillo, 2011). Üçüncüsü, bir lineer transdüser (LT) tarafından sağlanan gerçek zamanlı hız verisinin geri bildiriyle sporcular her tekrarda maksimum çaba göstermeye teşvik edilmekte ve böylece antrenman kalitesi artmaktadır (Randell ve ark., 2011).

HTKA, egzersiz yüklerini hız temelinde değerlendiren bir yaklaşımdır. Bu nedenle, antrenman yükünün hassas bir şekilde ayarlanabilmesi için hareket hızının gerçek zamanlı olarak izlenmesi gerekmektedir (Courel-Ibanez ve ark., 2019). HTKA'nın etkili biçimde uygulanabilmesi, güvenilir ve geçerli ölçüm araçlarının kullanımına bağlıdır. Hız ölçümü için çeşitli teknolojiler bulunmaktadır. Kuvvet platformları, zemine uygulanan kuvveti ölçerek hız ve güç hesaplamalarında kullanılsa da, genellikle pahalıdır, uygulama alanı sınırlıdır ve taşınabilirliği daha düşüktür (Beckham ve ark., 2014). GPS tabanlı hız sensörleri, koşu gibi sporlar için uygun olmasına rağmen, kapalı alanlarda veya ağırlık antrenmanlarında kullanıma elverişli değildir (S. W. Thompson ve ark., 2020). Akselerometreler ise ivmeyi ölçerek hız hesaplamalarında kullanılabilir, ancak doğruluk ve güvenilirlik açısından düşük performans sergilerler (Martinez-Cava ve ark., 2020). Video analiz sistemleri ise performans değerlendirmelerinde kullanılır ancak bu sistemler genellikle zaman alıcıdır ve gerçek zamanlı geri bildirim sağlayamazlar, bu nedenle anlık düzeltme yapma konusunda sınırlıdır (Pérez-Castilla ve ark., 2019). En yaygın ve güvenilir sonuçlar veren ölçüm araçlarından biri LT'lerdir. (Garnacho-Castaño ve ark., 2015; Martínez-Cava ve ark., 2020). LT'ler hareketin hızını ve mesafesini milimetrik hassasiyetle ölçme yetenekleri sayesinde antrenmanın etkisini ve ilerlemeyi doğru bir şekilde izlemek için kritik öneme sahiptir. Bu cihazlar, sporculara ve antrenörlere antrenman sırasında hızlı geri bildirim sağlayarak, performansın anlık değerlendirilmesini ve gerekli düzeltmelerin yapılmasını mümkün kılmaktadır (Courel-Ibanez ve ark., 2019). LT'ler, optik kodlayıcı teknolojisi kullanarak, halter barına bağlı bir ip veya benzeri bir materyal aracılığıyla hız ölçümü yapmaktadır (Harris ve ark., 2010). Pratik ve taşınabilir bir cihaz olan LT'ler, ip veya kablonun konumundaki değişiklikleri optik kodlama teknolojisiyle ölçerek bu verileri metrik değişkenlere dönüştürmektedir. LT'ler, hareketlerin hız ve mesafe analizinde sağladığı yüksek doğruluk ve antrenman performansının anında değerlendirilmesine olanak tanıyan gerçek zamanlı geri bildirim avantajı nedeniyle, HTKA uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır.

Spor performansının nesnel bir şekilde değerlendirilmesi, spor bilimciler, antrenörler ve sporcular için kritik bir veri toplama sürecini içermektedir (Hopkins, 2000; İnce ve ark., 2020). Fiziksel performansın doğru bir biçimde ölçülmesi, kişisel antrenman programlarının tasarlanmasına yardımcı olurken, ayrıca ilerlemeyi izlemek ve antrenmanlar ile yarışmalardaki beklenen sonuçları değerlendirmek açısından da büyük öneme sahiptir (Hopkins, 2000; İnce ve Ulupinar, 2020). Ancak, Türkiye'de spor ve klinik uygulamalarda

kullanılan birçok ticari test cihazı ve yazılım, yüksek maliyetleri nedeniyle genellikle büyük bütçeli üniversiteler ve spor kulüpleri tarafından tercih edilmektedir. Bu tür cihazların çoğu ithal edilmektedir; ithalat vergileri, dağıtıcı kar marjları, döviz kurları gibi faktörlerin yanı sıra teknik destek sorunları ve yedek parça temini gibi konular da kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma, yazar tarafından geliştirilen düşük maliyetli bir LT'nin güvenilirliğini ve geçerliğini incelemeyi amaçlamaktadır.

YÖNTEM

Araştırma Tasarımı

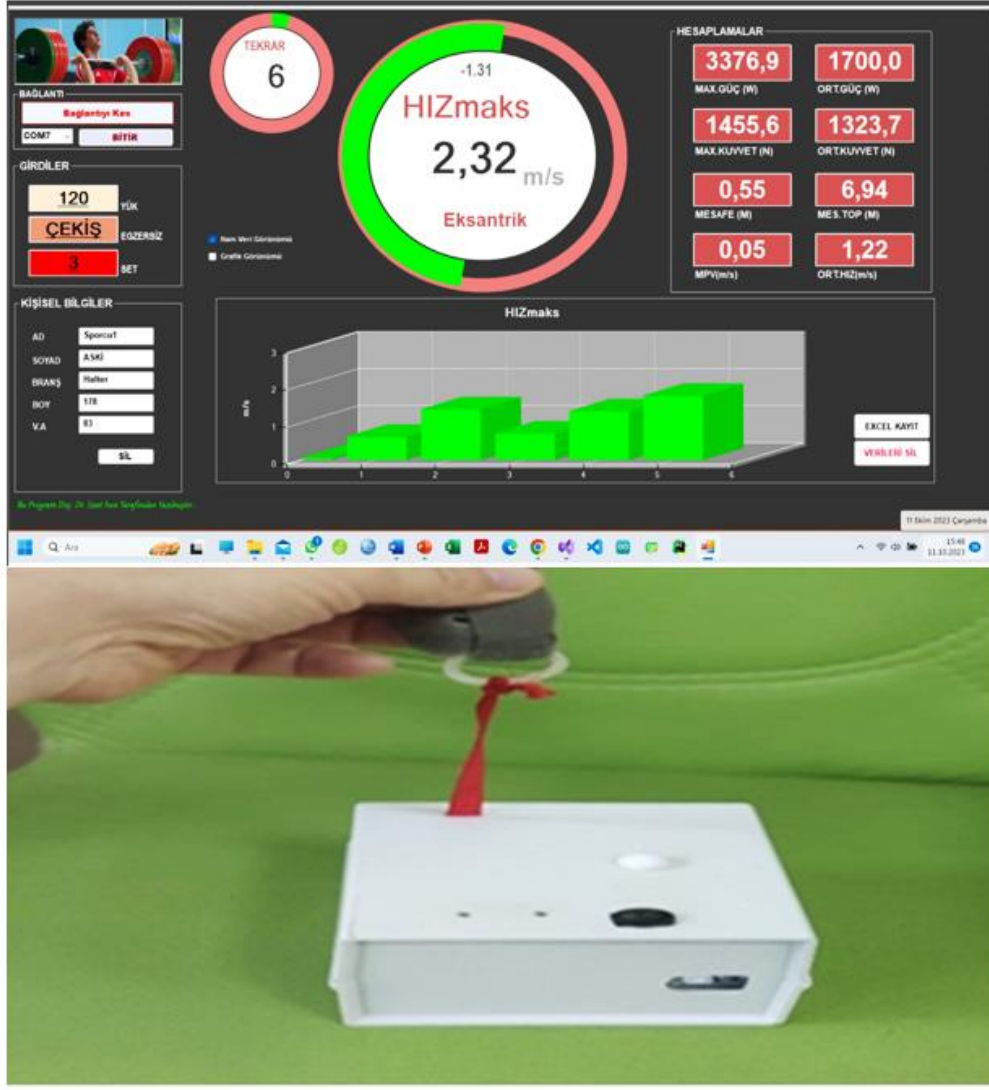
Olimpik halter türevlerinden silkme çekişinin (SÇ) farklı yük seviyeleriyle (%40, %60, %90, %110 1TM) gerçekleştirilen 2 tekrarlı ve eş zamanlı maksimum hız (MH) ölçümleri, cihazların geçerliliğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Aynı zamanda, test-tekrar test güvenilirliği için, bir hafta arayla aynı saat ve ortamda, aynı test prosedürleri uygulanmıştır. Bu metodoloji, önceki araştırmalarda kullanılan ölçüm cihazlarının teknik hatalarını değerlendiren yöntemlere paralel olarak tasarlanmıştır (A. M. Gonzalez ve ark., 2019; Suchomel ve ark., 2023). Çalışmada, cihazların teknik kapasitesini maksimum düzeyde sınavabilmek için SÇ gibi çok yüksek hızların sergilendiği bir egzersiz tercih edilmiş ve farklı yükleri kapsayan bir ölçüm aralığı kullanılarak düşük ve yüksek hızlara göre cihazların güvenilirlik ve geçerliğinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Araştırma Grubu

Bu çalışmaya yaşlarının ortalaması 15.23 ± 1.23 yıl ve haftada en az 4 gün olimpik halter antrenmanı yapan 13 erkek sporcu gönüllü olarak katılmıştır. Atletik performans test deneyimi bulunan sporcular çalışmaya dahil edilmiştir. Her katılımcıdan, deney prosedürleri ile potansiyel riskler ve faydaların açıklandığı, kurumsal onay almış bilgilendirilmiş ebeveyn onay belgesini okuyup, imza almaları talep edilmiştir. Helsinki Deklarasyonu 2008 prensiplerine göre yürütülen çalışmanın etik kurul onayı ilgili üniversite etik kurulundan alınmıştır (Belge No: 2023-303).

Veri Toplama Araçları

Araştırma kapsamında kullanılan cihaz, çok düşük maliyetli bileşenler (1200 TL) kullanılarak el yapımıyla geliştirilmiştir. Bu bileşenler arasında bir optik kodlayıcı, Bluetooth ve Wi-Fi modülü entegre edilmiş mikrodenetleyici, geri sarım mekanizması olarak kullanılan bir şerit metre, bir proje kutusu ve çeşitli sarf malzemeleri bulunmaktadır. Visual Studio 2022 editöründe C# yazılım diliyle cihaza özelleşmiş Windows tabanlı masaüstü uygulaması geliştirilmiştir. Bu uygulamada, maksimum hız, konsantrik evre başlama hızı, mesafe, kuvvet, güç ve bu değişkenlerin ortalamalarını hesaplayan ve tüm verileri Microsoft Excel'e aktarma yeteneğine sahip bir algoritma oluşturulmuştur. Cihaza, 'izKod' adı verilmiştir ve yazılım sürümü 'izKod v1' olarak adlandırılmıştır (Resim 1). Çalışmada, ticari olarak bulunabilen Tendo Power ve Speed Analyzer (TENDO, Trencin, Slovakia) adlı bir lineer transdüser kriter cihaz olarak kullanılmıştır (Resim 2). Bu cihaz, farklı egzersiz tiplerinde sergilenen MH ölçümleri için güvenilir ve geçerli bir cihaz olarak raporlanmıştır (Garnacho-Castaño ve ark., 2015; Adam M Gonzalez ve ark., 2019; Suchomel ve ark., 2023).



Resim 1: izKod cihazı ve Windows uyumlu yazılımı

Test Prosedürleri

Ölçümler öncesi tüm sporcuların bar yüklerinin (1TM %40-60-90-110) hesaplanması için son iki hafta boyunca kaydedilen maksimum silkme kaldırış verileri baz alınıp, ölçüm formuna kaydedilmiştir. Antropometrik ölçümler tamamlandıktan sonra, katılımcılar günlük antrenman rutinlerine göre ısınma hareketlerini gerçekleştirmeleri istenmiştir. Bu ısınma yaklaşık 10 dakika sürmüştür ve hafif koşular, açma germe egzersizleri ve bazı mobilite hareketlerinden oluşmuştur. Her sporcu, ısınma sonrasında kendi çalışma platformunda kademeli olarak bir tekrar maksimumun %30'una kadar birkaç silkme kaldırışı gerçekleştirmiştir. Bir başka ölçüm platformu da ayrıca hazırlanmış ve bu platforma barın sol tarafına her iki cihazın bağlanarak eş zamanlı ölçümler alınmıştır (Resim 2). Bar ağırlığı kademeli olarak artırılırken, katılımcılardan maksimum hızla hareketi gerçekleştirmeleri istenmiş ve sürekli sözlü teşvik edilmişlerdir. Yorgunluğun etkisini azaltmak amacıyla her yüzde aralığına karşılık gelen ilk ölçüm sonrası ikinci ölçüm için 30-40 saniyelik bir dinlenme aralığı verilmiştir. Her iki cihazın arayüzleri aracılığıyla ham veriler toplanmıştır. Tüm testler, son öğünden en az 3 saat sonra, 16.30 ile 19.00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Güvenirlik analizleri için bir hafta sonra aynı saatte tüm test prosedürleri aynı şekilde uygulanmıştır.



Resim 2: Ölçüm kurulumu örneği

Verilerin Analizi

Veri dağılımının normallik varsayımları Shapiro-Wilks testiyle doğrulanmıştır. Tüm değişkenler ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (SS) olarak sunulmuştur. Mutlak güvenilirliği değerlendirmek için iki yönlü karışık etki modeli sınıf içi korelasyon katsayıları (ICC) ve %95 güven aralığı (GA) sınırları hesaplanmıştır. Elde edilen ICC değerleri, <0.50 (zayıf), 0.50-0.74 (orta), 0.75-0.90 (iyi) ve >0.90 (mükemmel) olarak yorumlanmıştır (Koo ve Li, 2016). Ölçümlerin Standart Hatası (SEm) varyasyon analizinden elde edilen hataların ortalama karelerinin karekökü ($SEm = \sqrt{MS_E}$) eşitliğiyle, varyasyon katsayısı ise ($CV = 100 SEm / ortalama$) eşitliğiyle hesaplanmıştır (Atkinson ve Nevill, 1998). Duyarlılık, tespit edilebilir değişim (MDC) tarafından tahmin edilmiş ve ($MDC = SEm \times 1,96 \times \sqrt{2}$) eşitliğiyle hesaplanmıştır (Beckerman ve ark., 2001). Değişkenler arasındaki sistemik farkları belirlemek için eşli örneklem t-testi kullanılmıştır. Cihazlar arasındaki pratik anlamlılığı değerlendirmek amacıyla Hedge's g etki büyüklükleri hesaplanmıştır. Etki büyüklüğü (EB) değerleri sırasıyla 0.00-0.19 (önemsiz), 0.20-0.59 (küçük), 0.60-1.19 (orta), 1.20-1.99 (büyük), 2.00-3.99 (çok büyük) ve ≥ 4.00 (mükemmel) olarak yorumlanmıştır (Hopkins, 2014). TENDO verileri bağımlı değişken olarak alınmış ve iki cihazdan elde edilen maksimal hız sonuçlarının arasındaki bağımlılığını ve doğrusal ilişkileri değerlendirmek için regresyon analizi (Ordinary Least Products Regression) yapılmıştır. Kesim noktasının %95 GA için "0" değerini içermiyorsa bu "sabit sapma" olarak; eğimin %95 GA için "1" değerini içermiyorsa ise bu "oransal sapma" olarak değerlendirilmiştir (Ludbrook, 1997; Suchomel ve ark., 2023; Steve W. Thompson ve ark., 2020). İki ölçüm cihazı analizi arasındaki tutarlılığı ve farkları belirlemek, ölçümlerin güvenilirliğini değerlendirmek ve karşılaştırılan ölçüm yöntemlerinin arasındaki uyumu görmek için Bland-Altman analizi yapılmıştır. Tüm analizler için güven sınırları %95, Tip-I hata oranı ise $\alpha < 0.05$ olarak alınmıştır.

BULGULAR

Tablo 1'de sunulan bulgulara göre; en yüksek ICC değerleri, izKod %60 ve 90 yükte sırasıyla 0.96 ve 0.91 olarak hesaplanırken; en düşük ICC değerleri TENDO %90 yükte 0.78 olarak hesaplanmıştır. Diğer yüklerde ise ICC değerleri 0.85 ile 0.90 aralığındadır. Bu sonuçlar görece güvenilirliğin kabul edilebilir sınırlarda olduğunu göstermektedir. CV değerleri ise %1.65 ile %4.12 arasında değişmektedir ve bu değerler mutlak güvenilirlik için belirlenen %5 sınır değerinin altında bulunmaktadır. Farklı yüklerdeki SEm hesaplamaları, 0.045 ile 0.084 $m \cdot s^{-1}$ arasında değişiklik göstermektedir. Bu farklılık sadece %60 yükte, izKod (0.45), TENDO ise (0.85), olmak üzere daha belirgindir. Bu sonuçlar, izKod ölçümlerinin mutlak değişimlerinin diğer ölçümlere kıyasla daha düşük olduğunu göstermektedir. Farklı

yüklerdeki MDC değerleri 0.045 ile 0.236 m.s⁻¹ arasında hesaplanmıştır. İki cihazında yüksek hızlardaki duyarlılıklarının daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 1: izKod ve TENDO cihazlarıyla farklı yükler altında ölçülen maksimal hızların (m.s⁻¹) test-tekrar test güvenilirlik analizleri

Yük (%)	Cihaz	ICC (%95GA)	CV (%)	MDC (m.s ⁻¹)	SEm (m.s ⁻¹)
40	izKod	0.90 (719 - 967)	4.12	0.232	0.084
	TENDO	0.90 (724 - 968)	3.76	0.193	0.077
60	izKod	0.96 (880 - 987)	1.65	0.236	0.045
	TENDO	0.86 (625 - 954)	3.05	0.203	0.084
90	izKod	0.91 (734 - 972)	3.15	0.063	0.063
	TENDO	0.78 (422 - 927)	3.60	0.070	0.070
110	izKod	0.85 (601 - 950)	3.47	0.055	0.055
	TENDO	0.90 (722 - 967)	2.82	0.045	0.045

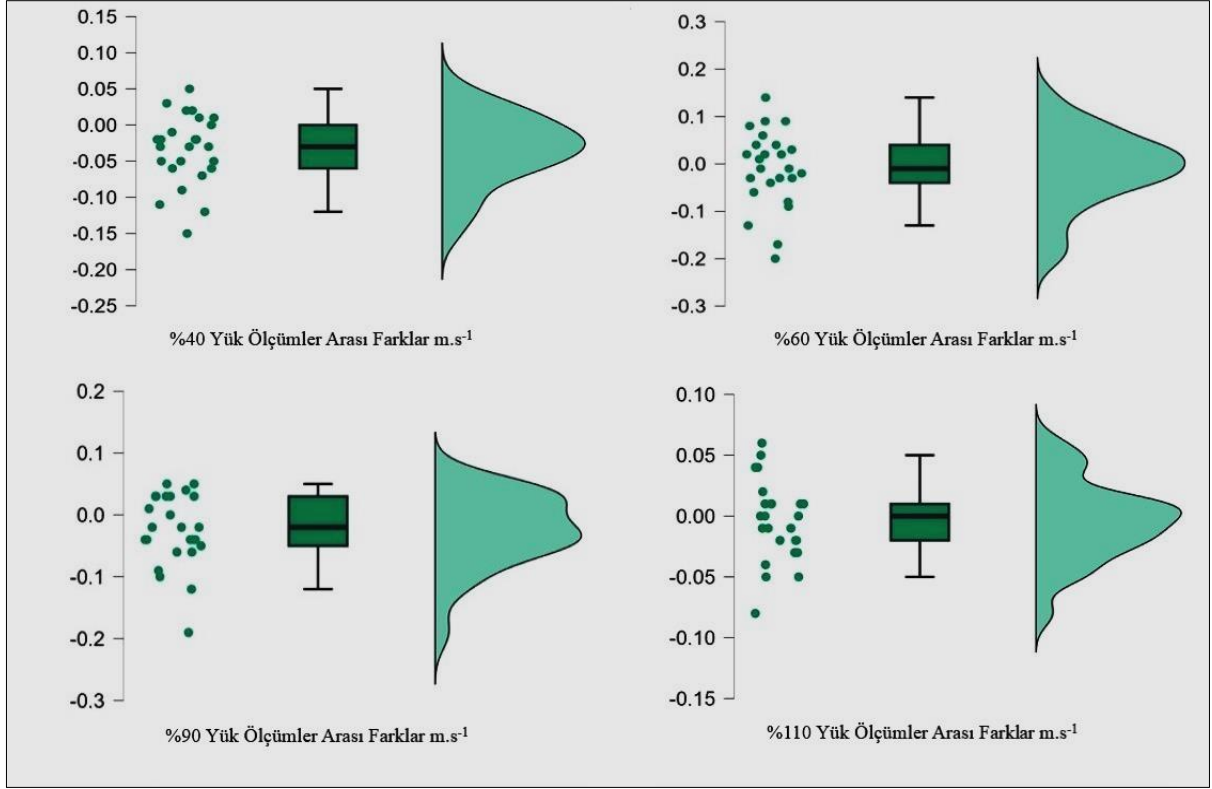
ICC: Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı; **%95GA:** %95 Güven Aralığı; **SEm:** Ölçümlerin Standart Hatası; **MDC:** Minimal Tespit Edilebilir Değişim; **CV:** Varyasyon Katsayısı.

Değişkenler arasındaki sistemik farklılıkları belirlemek amacıyla yapılan t-testi sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre; TENDO ve izKod cihazlarının %40-60-90-110 yüklerine ait ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (sırasıyla p=0.080, EB=0.088; p=0.369, EB=0.068; p=0.090, EB=0.051; p=0.167, EB=0.060). Hesaplanan etki büyüklüklerinin tüm yüklerde “önemsiz” olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, cihaz ölçümleri arasında sistematik farkın bulunmadığını göstermektedir.

Tablo 2: izKod ve TENDO cihazlarıyla farklı yükler altında ölçülen maksimal hızların (m.s⁻¹) T - Testi sonuçları

Yük (%)	Cihaz	\bar{X}	SS	t	p	Hedge’s g	Etki Büyüklüğü
40	izKod	2.0014	0.25	-1.900	0.080	0.088	Önemsiz
	TENDO	2.0257	0.25				
60	izKod	1.8012	0.20	-915	0.369	0.068	Önemsiz
	TENDO	1.8158	0.21				
90	izKod	1.3285	0.16	-1.765	0.090	0.051	Önemsiz
	TENDO	1.3488	0.15				
110	izKod	1.0481	0.14	-1.425	0.167	0.060	Önemsiz
	TENDO	1.0569	0.15				

\bar{X} : Ortalama; SS: Standart Sapma



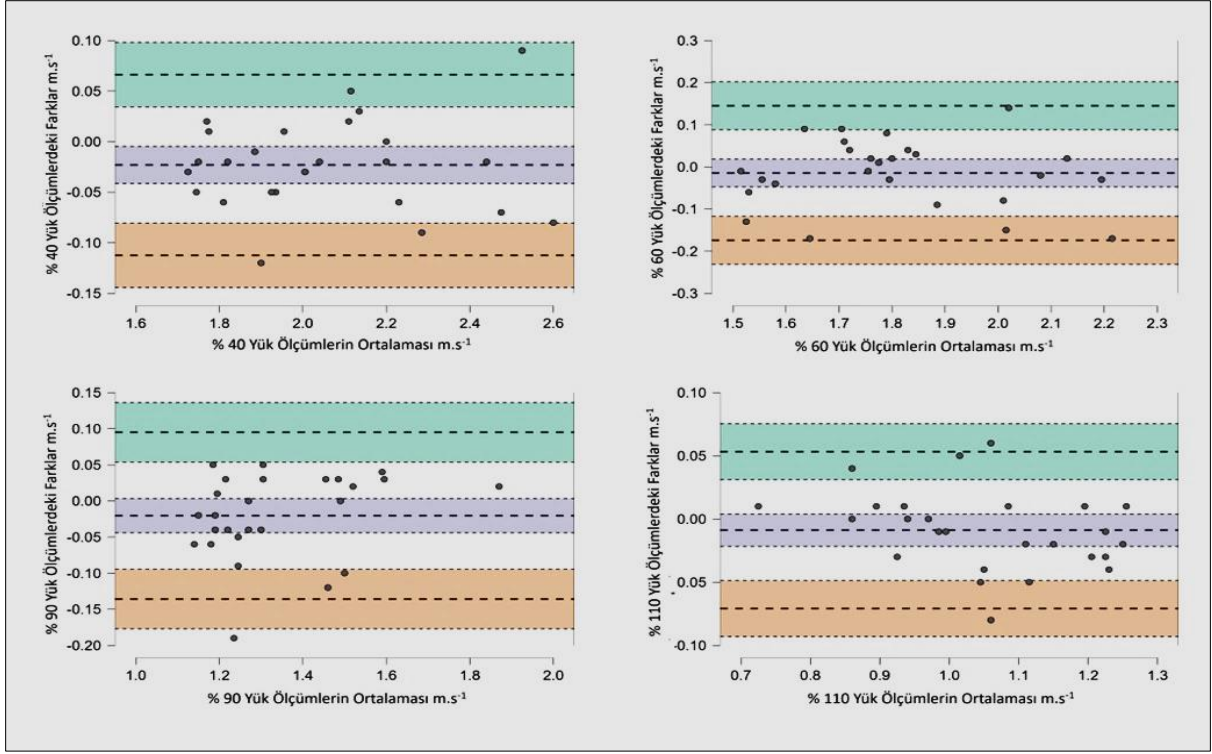
Grafik 1: izKod ve TENDO ile ölçülen maksimal hız ($m.s^{-1}$) verilerinin fark grafikleri

Tablo 3'te sunulan Blant-Altman analizi sonuçlarına göre; %40-60-90-110 yüklerinde uyum sınırlarının sırasıyla 0.066 (-0.023-0.112), 0.015 (0.145-0.174), -0.020 (0.095-0.136) ve -0.009 $m.s^{-1}$ (0.053-0.071) olduğu gözlenmiştir.

Tablo 2: izKod ve TENDO cihazlarıyla farklı yükler altında ölçülen maksimal hızların ($m.s^{-1}$) Blant-Altman Analiz sonuçları

Yük (%)	Sapma ve Limitler	Farklar	%95GA Alt Sınırları	%95GA Üst Sınırları
40	Ortalama + 1.96 SS	0.066	0.034	0.098
	Ortalama	-0.023	-0.041	-0.005
	Ortalama - 1.96 SS	-0.112	-0.144	-0.081
60	Ortalama + 1.96 SS	0.145	0.088	0.202
	Ortalama	-0.015	-0.048	0.018
	Ortalama - 1.96 SS	-0.174	-0.231	-0.117
90	Ortalama + 1.96 SS	0.095	0.054	0.0136
	Ortalama	-0.020	-0.044	0.003
	Ortalama - 1.96 SS	-0.136	-0.177	-0.095
110	Ortalama + 1.96 Ss	0.053	0.031	0.075
	Ortalama	0.009	-0.022	0.004
	Ortalama - 1.96 Ss	-0.071	0.093	-0.049

%95GA: %95 Güven Aralığı; SS: Standart Sapma



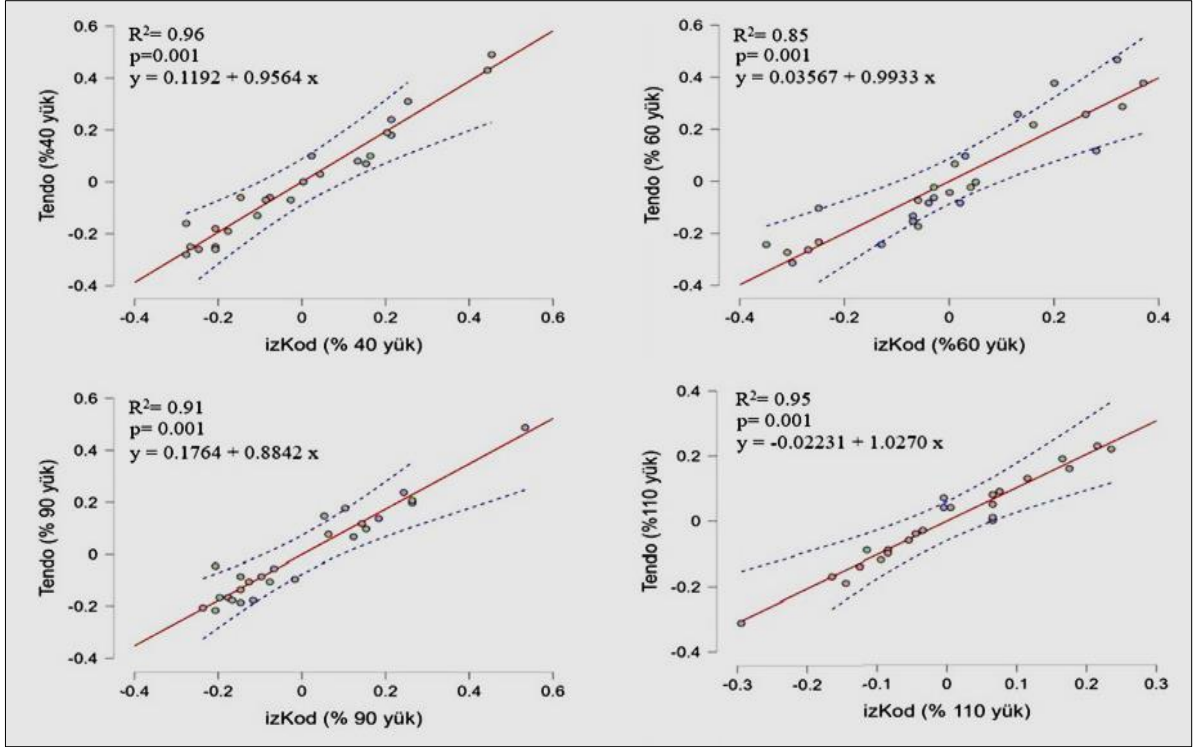
Grafik 2: izKod ve TENDO ile ölçülen maksimal hız ($m.s^{-1}$) verilerine ait Blant-Altman grafikleri. Blant-Altman grafiklerinde, kesikli çizgiler farkların ortalamasını ve uyum sınırlarını (%95 güven aralığında) göstermektedir. Nokta çizgileri ise referans çizgilerinin %95 güven aralıklarını ifade etmektedir.

Bland-Altman grafikleri incelendiğinde (Grafik 2), SÇ'nin tüm yüklerindeki farklarda sistemik (sabit veya oransal) bir sapma olmadığı ve rastgele bir dağılım gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 4 Regresyon analizi sonuçlarına göre; %40-60-90-110 yükleri için R^2 değerleri sırasıyla 0.96, 0.85, 0.91 ve 0.95 olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda tüm yüklerde kesim noktası "0", eğim ise "1" değerlerini içermektedir. Regresyon analizi grafiklerine göre (Grafik 3), sabit ve oransal sapma gözlenmemiştir.

Tablo 3: izKod ve TENDO ile farklı yükler altında ölçülen maksimal hızların ($m.s^{-1}$) regresyon analizi sonuçları

Yük (%)	R^2	%95 Güven Aralığında Kesim Noktası	%95 Güven Aralığında Eğim	Model Eşitliği
40	0.96	0.04476 - 0.2832	0.8761 - 1.0366	$y = 0.1192 + 0.9564 x$
60	0.85	-0.2753 - 0.3466	0.8225 - 1.1641	$y = 0.03567 + 0.9933 x$
90	0.91	0.02512 - 0.3277	0.7343 - 1,096	$y = 0.1764 + 0.8842 x$
110	0.95	-0.1191 - 0.07453	0.9357 - 1.1182	$y = -0.02231 + 1.0270 x$



Grafik 3: izKod ve TENDO ile ölçülen maksimal hız ($m.s^{-1}$) verileri arasındaki ilişkiler. Regresyon grafiğindeki kırmızı doğru eğimi, kesikli çizgiler ise %95 güven aralıklarını temsil etmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Ölçüm cihazlarının temel gerekliliği, aynı koşullar altında güvenilir ve geçerli sonuçlar sağlayabilme kabiliyetidir. Aksi halde, elde edilen sonuçların biyolojik değişkenlikten mi yoksa teknik hatalardan mı kaynaklandığı belirsiz olabilir (Hopkins, 2000). Diğer yandan, bu cihazlarla elde edilen ölçümler, tutarlılık veya bir veya daha fazla ölçüm sistemiyle uygunluk kriterlerine dayandırılmalıdır (Suchomel ve ark., 2023). Bu çalışmada, HTKA için geliştirilen izKod'un, ticari alternatifi TENDO ile karşılaştırılarak güvenilirlik ve geçerlik analizi yapılmıştır. Çalışmanın bulguları, SÇ egzersizinde farklı yükler altında gerçekleştirilen MH ölçümleri için izKod'un güvenilir ve geçerli bir ölçüm aracı olarak kabul edilebileceğini göstermektedir.

Cihazların test-tekrar test güvenilirlikleri, tüm yük aralıklarında kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. izKod'un mutlak güvenilirliği, %60 ve %90 yüklerde sırasıyla 0.96 ve 0.91 olarak ölçülmüştür. Bu değerler, TENDO cihazının mutlak güvenilirliğinden (sırasıyla 0.86 ve 0.78) daha yüksektir. Benzer teknik özelliklere sahip iki LT'nin karşılaştırıldığı bir çalışmada, kabul edilebilir ICC değeri 0.70 olarak belirlenmiştir (Pareja-Blanco ve ark., 2020). Bench press hareketi için %45, %65 ve %85 yükleri için bir cihaz için ICC değerleri sırasıyla 0.87, 0.72 ve 0.86 olarak raporlanırken, diğer cihaz için bu değerler sırasıyla 0.87, 0.93 ve 0.94 olarak kaydedilmiştir. Başka bir çalışmada ise TENDO ile farklı bir LT ile karşılaştırılmış ve ICC değeri 0.79 ile 0.98 arasında hesaplanmıştır (Courel-Ibanez ve ark., 2019). Ancak, bu çalışmalarda hareket mekaniği neredeyse tamamen dikey düzlemde gerçekleştirilen egzersizler üzerinden değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise izKod'un teknik kapasitesini zorlamak amacıyla, en yüksek hız egzersizleri arasında yer alan ve bireysel kaldırış tekniğinin de bozucu etkisi olduğu SÇ tercih edilmiştir. Bununla beraber, MH ölçümleri tercih edilerek diğer çalışmalardan farklı bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu tercih, MH yönteminin OH yöntemine kıyasla daha yüksek hassasiyet gerektirmesinden kaynaklanmaktadır. Buna

rağmen, izKod için elde edilen ICC değerlerinin diğer cihazlara benzer olması, izKod'un önemli bir avantajı olarak değerlendirilebilir. Biyomekanik değişkenlerde CV değerinin yaklaşık %10 civarında olması, önceki çalışmalarda kabul edilebilir sınır olarak belirlenmiştir (Garnacho-Castaño ve ark., 2015; Perez-Castilla ve ark., 2019; Suchomel ve ark., 2023). Yapılan karşılaştırmalarda bir cihazın %45-65-85 yükleri için CV değerlerinin sırasıyla %2.31, %6.24 ve %5.65 olarak raporlanmıştır (Perez-Castilla ve ark., 2019). Ancak bazı çalışmalar, klinik cihaz güvenilirliği için CV sınır değerinin daha düşük olması gerektiğini ve %5'in altında tutulması gerektiğini savunmaktadır (Courel-Ibanez ve ark., 2019). izKod CV değerlerinin %1.67 ile %4.62 arasında değiştiği görülmektedir; bu aralık, göreceli güvenilirliğin yüksek olduğunu ifade edebilir.

Skuat egzersizinde sergilenen MH'nin TENDO ve farklı bir LT ile karşılaştırıldığı bir çalışmada, maksimum SEm 0.119 m.s^{-1} olarak raporlanmıştır. izKod maksimum 0.84 m.s^{-1} SEm değeri ile bu cihazlardan daha avantajlı görünmektedir. Yük aralıklarına göre izKod ve TENDO'nun MDC'lerinde yüksek hızlarda artışlar tespit edilmiştir. MDC, bir ölçümün veya testin hassasiyetini ölçmekte ve bu hassasiyetin arkasındaki ölçüm hatası veya varyasyonu temsil etmektedir (Courel-Ibanez ve ark., 2019; ULUPINAR ve İzzet, 2021). SÇ balistik ve bireysel tekniğe duyarlı bir egzersizdir (İnce ve Ulupinar, 2020; İnce ve ark., 2020). LT'lerin teknik olarak yatay yer değiştirmeyi tespit edebilecek bir sensörü olmaması, bunun yanı sıra balistik egzersizler sırasında algoritmalarının da değişebileceği olasılığı, daha düşük MDC elde etmeyi sınırlıyor olabilir.

Eşli örneklem t-testi sonuçlarına göre, ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bununla birlikte, farkların büyüklüğü pratik açıdan önemsiz görünmektedir. Ancak, izKod'un tüm yük aralıklarında ortalama skorlarının, küçük farklarla da olsa düşük olduğu gözlemlenmiştir. Blant-Altman analizinde de bu farklar, bazı yüklerde gözlenmektedir (Grafik 2). Önceki bir çalışmada TENDO'nun geçerli ve güvenilir bir cihaz olarak değerlendirildiği, ancak ortalama hız ve MH ölçümlerinde bir miktar yüksek ölçme eğilimi olduğu raporlanmıştır (Suchomel ve ark., 2023). Bizim ölçümlerimizde benzer durum yaşanmış olabilir fakat bunu doğrulamak için üçüncü bir cihazla eşzamanlı ölçümler yapılmalıdır. Tendo referans cihaz olarak varsayıldığında Blant-Altman grafiklerinde, farkların rastgele dağıldıkları ve hiçbir yük aralığında herhangi bir sistemik sapma ve sabit veya orantılı sapma bulunmadığı görülmektedir. Regresyon analizi sonuçları da bu görünümü desteklemektedir. TENDO ile başka bir LT'nin karşılaştırıldığı bir çalışmada skuat ve bench press egzersizleri için uyum sınırlarının maksimum 0.29 m.s^{-1} olduğu tespit edilmiştir (Adam M Gonzalez ve ark., 2019). Başka bir çalışmada ise, bar OH üzerinden 1TM belirlemeyi baz alarak maksimum uyumsuzluk sınırlarının bench press için 0.14 ile 0.18 ; tam skuat için 0.15 ile 0.20 ve prone bench pull için 0.14 - 0.16 m.s^{-1} arasında alınması önerilmiştir (Courel-Ibanez ve ark., 2019). Analiz sonuçları izKod ve TENDO uyum sınırlarının farklı yüklerde $0,06$ - 0.174 m.s^{-1} arasında değiştiği göstermektedir. Dolayısıyla, cihazlar arası uyum literatür önerilerini aşmamaktadır.

Laboratuvar ortamlarında hareket hızını ölçmek amacıyla genellikle kuvvet platformları ve üç boyutlu video analiz sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. HTKA ile uygulama pratiği olmasa da bu yöntemler, diğer ölçüm araçlarıyla karşılaştırma yapmak için referans yöntemler olarak kabul edilmektedir (Perez-Castilla ve ark., 2019). Bu durum, mevcut çalışmanın potansiyel bir sınırlılığı olarak değerlendirilebilir. Çalışmada, izKod'un teknik yeteneklerini zorlamak amacıyla SÇ egzersizi gibi balistik özelliklere sahip ve yüksek hızlı bir hareket seçilmiştir. Ancak, serbest ağırlık ve makine ile yapılan diğer egzersizlerin daha yaygın olarak kullanıldıkları ve farklı hareket mekanikleri göz önüne alındığında, cihazın

güvenilirlik ve geçerlik analizlerinin kapsamının genişletilmesi önemlidir. Benzer şekilde, ortalama hız, konsantrik faz başlama hızı, kuvvet, güç ve bu ölçümlerin ortalamaları için güvenilirlik ve geçerlik analizlerine ihtiyaç vardır. izKod'un yazılım tarafıyla mobil uygulama geliştirilmesi ve antrenman bilimlerindeki güncel yaklaşımlara paralel olarak güncellenmesiyle spor ve klinikte kullanım kapsamı da genişletilebilir. Donanım tarafıyla biraz daha yüksek bütçeyle uygulamada daha fonksiyonel ve standartlaşmış bir yapıya, estetiğe kavuşturulabilir. Bu bağlamda, izKod'un kullanım alanını artırmak ve kullanımını optimize etmek için ileriye dönük yazılım ve donanım geliştirmeleri önemli rol oynayacaktır.

Sonuç olarak; bu çalışma kapsamında geliştirilen LT'nin maksimal hız ölçümlerindeki güvenilirliği ve geçerliği, kriter cihaz ve bir hafta arayla yapılan tekrar test ölçümleriyle doğrulanmıştır. Cihazın düşük maliyeti, el yapımı olması, taşınabilirliği ve basit kurulumu gibi belirgin avantajları bulunmaktadır. Ayrıca, son yıllarda popülerlik kazanan hız temelli kuvvet antrenmanlarında etkin bir biçimde kullanılabilmesi görülmüştür. Araştırma bulgularının, kapsamlı güvenilirlik ve geçerlilik analizleriyle desteklenerek daha sağlam bir temele oturtulması büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde ticari olarak satılan benzer cihazlar, yüksek maliyetleri nedeniyle hala sınırlı bir seçenek olarak kalmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen cihaz ve yazılım, maliyet-fayda açısından dengeli bir çözüm sunarak spor bilimleri laboratuvarlarının altyapısını güçlendirebilir. Bununla beraber, üniversitelerin temel ihtiyaçlarını karşılama ve teknoloji geliştirme misyonlarını destekleme açısından da önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical Methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826040-00002>
- Beckerman, H., Roebroek, M., Lankhorst, G., Becher, J., Bezemer, P. D., & Verbeek, A. (2001). Smallest real difference, a link between reproducibility and responsiveness. *Quality of Life Research*, 10, 571-578.
- Beckham, G., Suchomel, T., & Mizuguchi, S. (2014). Force plate use in performance monitoring and sport science testing. *New Studies in Athletics*, 29(3), 25-37.
- Conceição, F., Fernandes, J., Lewis, M., González-Badillo, J. J., & Jimenez-Reyes, P. (2016). Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *Journal of sports sciences*, 34(12), 1099-1106.
- Courel-Ibanez, J., Martinez-Cava, A., Moran-Navarro, R., Escribano-Penas, P., Chavarren-Cabrero, J., Gonzalez-Badillo, J. J., & Pallares, J. G. (2019). Reproducibility and repeatability of five different technologies for bar velocity measurement in resistance training. *Ann Biomed Eng*, 47(7), 1523-1538. <https://doi.org/10.1007/s10439-019-02265-6>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & Haff, G. G. (2018). Differences in the Load-velocity profile between 4 bench-press variants. *International journal of sports physiology and performance*, 13(3), 326-331. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0158>
- Garnacho-Castaño, M. V., López-Lastra, S., & Maté-Muñoz, J. L. (2015). Reliability and validity assessment of a linear position transducer. *Journal of sports science & medicine*, 14(1), 128.
- Gonzalez, A. M., Mangine, G. T., Spitz, R. W., Ghigiarelli, J. J., & Sell, K. M. (2019). Agreement between the Open Barbell and Tendo Linear Position Transducers for Monitoring Barbell Velocity during Resistance Exercise. *Sports (Basel)*, 7(5). <https://doi.org/10.3390/sports7050125>

- Gonzalez, A. M., Mangine, G. T., Spitz, R. W., Ghigiarelli, J. J., & Sell, K. M. (2019). Agreement between the Open Barbell and Tendo linear position transducers for monitoring barbell velocity during resistance exercise. *Sports*, 7(5), 125.
- Harris, N. K., Cronin, J., Taylor, K.-L., Boris, J., & Sheppard, J. (2010). Understanding position transducer technology for strength and conditioning practitioners. *Strength & Conditioning Journal*, 32(4), 66-79.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30, 1-15.
- Hopkins, W. G. (2014). A scale of magnitudes for effect statistics. 2002. *A new view of statistics from <http://sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>*. Accessed, 1.
- Ince, I., & Ulupinar, S. (2020). Prediction of competition performance via selected strength-power tests in junior weightlifters. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 60(2), 236-243.
- İnce, İ., Ulupinar, S., & Özbay, S. (2020). Body composition isokinetic knee extensor strength and balance as predictors of competition performance in junior weightlifters. *Isokinetics and Exercise Science*, 28(2), 215-222.
- Jidovtseff, B., Harris, N. K., Crielaard, J.-M., & Cronin, J. B. (2011). Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 267-270.
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of chiropractic medicine*, 15(2), 155-163.
- Ludbrook, J. (1997). Special article comparing methods of measurement. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 24(2), 193-203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.1997.tb01807.x>
- Martinez-Cava, A., Hernandez-Belmonte, A., Courel-Ibanez, J., Moran-Navarro, R., Gonzalez-Badillo, J. J., & Pallares, J. G. (2020). Reliability of technologies to measure the barbell velocity: Implications for monitoring resistance training. *PLoS One*, 15(6), e0232465. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232465>
- Martínez-Cava, A., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2020). Reliability of technologies to measure the barbell velocity: Implications for monitoring resistance training. *PLoS One*, 15(6), e0232465.
- Pareja-Blanco, F., Alcazar, J., Cornejo-Daza, P. J., Sánchez-Valdepeñas, J., Rodríguez-Lopez, C., Hidalgo-de Mora, J., Sánchez-Moreno, M., Bachero-Mena, B., Alegre, L. M., & Ortega-Becerra, M. (2020). Effects of velocity loss in the bench press exercise on strength gains, neuromuscular adaptations, and muscle hypertrophy. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 30(11), 2154-2166.
- Perez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(5), 1258-1265.
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Garrido-Blanca, G., Delgado-García, G., Balsalobre-Fernández, C., & García-Ramos, A. (2019). Precision of 7 Commercially available devices for predicting bench-press 1-repetition maximum from the individual load-velocity relationship. *International journal of sports physiology and performance*, 14(10), 1442-1446. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0801>
- Randell, A. D., Cronin, J. B., Keogh, J. W., Gill, N. D., & Pedersen, M. C. (2011). Effect of instantaneous performance feedback during 6 weeks of velocity-based resistance training on sport-specific performance tests. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 87-93.
- Sanchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(9), 1725-1734.

Suchomel, T. J., Techmanski, B. S., Kissick, C. R., & Comfort, P. (2023). Reliability, Validity, and comparison of barbell velocity measurement devices during the jump shrug and hang high pull. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 8(1), 35.

Thompson, S. W., Rogerson, D., Dorrell, H. F., Ruddock, A., & Barnes, A. (2020). The reliability and validity of current technologies for measuring barbell velocity in the free-weight back squat and power clean. *Sports*, 8(7), 94. <https://www.mdpi.com/2075-4663/8/7/94>

Uluþınar, S., & İzzet, İ. (2021). Spor bilimlerinde etki büyüklüğü ve alternatif istatistik yaklaşımları. *Spormetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 19(1), 1-17.