



Genç Badmintoncularda Propriyoseptif Duyu ve 2d:4d Parmak Oranı İlişkisi

The Relationship Between Proprioceptive Sense and Digit Ratio (2d: 4d) in Young Badminton Players

**Pervil KARAOĞLAN¹, Tülay CEYLAN², Mehmet GÜL³,
Levent CEYLAN⁴, Burhan BAŞOĞLU⁵**

¹Malatya Gençlik ve Spor İl Müdürlüğü, Malatya
· pervil.444@gmail.com · ORCID > 0009-0005-0394-8715

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı, Samsun
· tulaykaymak17@hotmail.com · ORCID > 0000-0003-1884-4319

³Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Yöneticiliği Bölümü, Sivas
· mgulsivas@gmail.com · ORCID > 0000-0002-3080-5155

⁴Hitit Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Yöneticiliği Bölümü, Çorum
· leventceylan17@hotmail.com · ORCID > 0000-0002-3045-1211

⁵Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Beden Eğitimi ve Spor Bölümü, Nevşehir
· bburhan@nev.edu.tr · ORCID > 0000-0001-9498-671X

Makale Bilgisi/Article Information

Makale Türü/Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi/Received: 2 Şubat/February 2025

Kabul Tarihi/Accepted: 17 Nisan/April 2025

Yıl/Year: 2025 | **Cilt – Volume:** 16 | **Sayı – Issue:** 1 | **Sayfa/Pages:** 21-34

Atıf/Cite as: Karaoğlu, P., Ceylan, T., Gül, M., Ceylan, L., Başoğlu, B. "Genç Badmintoncularda Propriyoseptif Duyu ve 2d:4d Parmak Oranı İlişkisi" Ondokuz Mayıs Üniversitesi Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi, 16(1), Nisan 2025: 21-34.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Levent CEYLAN

Etik Kurul Beyanı/Ethics Committee Approval: "Araştırma için Cumhuriyet Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 18.04.2024 tarihli ve 2024/04-29 karar sayısı ile etik kurul izni alınmıştır."

Yazar Notu/Author Note: "Çalışma Karaoğlu (2024), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü "Badminton Sporcularında Propriyoseptif Duyu ile 2D-4D Parmak Uzunluk Oranı İlişkisi" yüksek lisans tezinden üretilmiştir."

GENÇ BADMİNTONCULARDA PROPRİYOSEPTİF DUYU VE 2D:4D PARMAC ORANI İLİŞKİSİ

ÖZ

Bu çalışma, badminton sporcularında proprioseptif duyu ile 2D:4D parmak uzunluk oranı arasındaki ilişkiyi inceleyerek, spor deneyiminin proprioseptif duyu üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışmaya yaş ortalaması $9,94 \pm 1,59$ yıl, spor tecrübesi ise $2,62 \pm 1,08$ yıl olan 60 badminton sporcusu (30 erkek, 30 kız) katılmıştır. Proprioseptif duyu sapma açısı, omuz eklemi için 90° fleksiyon hedef açısı kullanılarak ölçülmüştür. Parmak uzunluk oranları (2D:4D) dijital kumpas ile ölçülmüş ve prenatal hormon maruziyetinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, spor deneyimi arttıkça proprioseptif duyunun geliştiğini göstermiştir. Spor yaşı ile proprioseptif duyu sapma açısı arasında negatif yönde anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r = -0,372$; $p = 0,023$). Cinsiyetler arasında sağ ve sol el 2D:4D oranı açısından anlamlı fark bulunurken ($p = 0,001$; $p = 0,002$), proprioseptif duyu sapma açısı açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0,506$). Ayrıca, sağ ve sol el 2D:4D oranı ile proprioseptif duyu arasında anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir ($p = 0,156$; $p = 0,717$). Bu sonuçlar, spor deneyiminin proprioseptif duyunun gelişiminde kritik bir rol oynadığını, ancak cinsiyet ve 2D:4D oranının bu duyu üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Çalışma, özellikle genç sporcuların antrenman programlarına proprioseptif eğitimlerin dahil edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Gelecekteki çalışmaların, daha geniş örneklemlemlerle ve farklı spor branşlarında bu ilişkileri incelemesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: 2D:4D Parmak Oranı, Badminton, Proprioseptif Duyu, Spor Deneyimi.



THE RELATIONSHIP BETWEEN PROPRIOCEPTIVE SENSE AND DIGIT RATIO (2D: 4D) IN YOUNG BADMINTON PLAYERS

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect of sports experience on proprioceptive sense by investigating the relationship between proprioceptive sense and digit ratio (2D: 4D) in badminton athletes. The study included 60 badminton players (30 males, 30 females) with a mean age of 9.94 ± 1.59 years and 2.62 ± 1.08 years of sports experience. The deflection angle was measured at 90° shoulder flexion. The digit ratio (2D: 4D) was measured using digital calipers as an indicator of prenatal hormone exposure. The findings showed that proprioceptive sense improved with

increasing sports experience. A significant negative correlation existed between sports age and deflection angle ($r=-0.372$; $p=0.023$). While significant sex differences were found in both right and left-hand 2D: 4D ratios ($p=0.001$; $p=0.002$), no significant sex difference was detected in the deflection angle ($p=0.506$). Furthermore, no significant relationship was found between 2D: 4D ratios (right or left hand) and proprioceptive sense ($p=0.156$ and $p=0.717$). These findings indicate that sports experience is critical in proprioceptive development, while sex and digit ratio (2D: 4D) show no significant effect. The study emphasizes the importance of incorporating proprioceptive training into young athletes' training programs. Future studies should examine these relationships with larger samples and in different sports disciplines.

Keywords: Digit Ratio (2D: 4D), Badminton, Proprioceptive Sense, Sports Experience.



GİRİŞ

Duyular, insan yaşamında çevre ile olan etkileşimi ve adaptasyonu sağlayan temel sistemlerdir (Rouby ve ark., 2016). Tat, koku, görme, işitme ve dokunma gibi beş temel duyu, bireylerin çevresel bilgiyi algılamasını sağlarken, denge ve hareket duygusu olarak bilinen vestibüler duyu ve derin duyu olarak adlandırılan proprioseptif duyu, motor kontrol ve vücut farkındalığı açısından kritik bir öneme sahiptir (Akay ve Murray, 2021; Özyazıcı ve ark., 2021). Özellikle proprioseptif duyu, kaslar, eklemler ve tendonlardaki mekanoreseptörlerin aktifleşmesiyle, vücut pozisyonunun, uzuvların hareketlerinin ve kas kasılmalarının algılanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Zill, 2019). Proprioseptif duyunun bu temel işlevleri, özellikle sportif performans söz konusu olduğunda daha da kritik bir hale gelmektedir. Nitekim, bu duyu; vücut pozisyonunun algılanması, hareketlerin koordinasyonu ve fiziksel aktivitelerin düzenlenmesinde temel rol oynar (Proske, 2015). Bu duyuyu etkileyen faktörler arasında yaş, yorgunluk, vücut ağırlığı, eklem ve kas sağlığı gibi değişkenler bulunmaktadır (Proske ve Gandevia, 2012). Örneğin, düşük sıcaklıklar proprioseptif duyuyu olumsuz etkilerken, düzenli egzersizler bu duyunun geliştirilmesinde pozitif katkılar sağlamaktadır (Racinais ve ark., 2017). Propriosepsiyonu yüksek olan sporcularda sakatlık oranlarının daha düşük olduğu, buna karşın düşük proprioseptif duylara sahip bireylerin yaralanmalara daha yatkın olduğu literatürde belirtilmektedir (Cho ve Kim, 2016; Riva ve ark., 2016). Propriosepsiyonun sakatlık riski üzerindeki bu belirleyici rolüne paralel olarak, son yıllarda sportif performansı etkileyen biyolojik faktörler arasında hormonal düzenlemeler de giderek daha fazla araştırılmaktadır. Bu bağlamda, prenatal dönemdeki hormon maruziyetinin bir göstergesi olarak kabul edilen 2D:4D parmak uzunluk oranı

dikkat çekmektedir (Handelsman ve ark., 2018; Sarıakçalı ve ark., 2021; Hunter ve ark., 2023; Kucuk ve Karakas, 2023; Miguel-Ortega ve ark., 2023; Yılmaz, 2023; Joyner ve ark., 2024; Miguel-Ortega ve ark., 2024). 2D:4D oranı, işaret parmağı (2D) ile yüzük parmağı (4D) uzunluklarının oranı olarak hesaplanır ve prenatal dönem hormon maruziyetinin bir göstergesi olarak kabul edilir. Literatürde, bu oranın kadınlarda genellikle erkeklerden daha yüksek olduğu (Manning ve ark., 2004) ve düşük 2D:4D oranının yüksek prenatal testosteron seviyeleriyle, özellikle de sağ elde daha belirgin şekilde ilişkili olduğu bildirilmiştir (Manning ve ark., 2013; Ventura ve ark., 2013). Son çalışmalar, bu oranın sportif performans ve motor becerilerle potansiyel ilişkisini incelemektedir (Crewther ve ark., 2022; Azam ve ark., 2024). Bu hormonal etkiler, özellikle badminton gibi yüksek düzeyde bilişsel ve motor beceri gerektiren sporlarda performansı şekillendiren önemli faktörlerden biridir. Badminton, hızlı düşünme, karar alma ve motor becerilerin etkin bir şekilde kullanıldığı rekabetçi bir spor dalıdır. Teknik, taktik ve fizyolojik faktörler, badminton performansında önemli rol oynamaktadır (Phomsoupha ve Laffaye, 2015; Bafirman ve ark., 2024; Edmizal ve ark., 2025). Sporcuların oyun sırasında rakibin hamlelerini öngörerek doğru zamanda doğru pozisyonda bulunmaları, proprioseptif duyularının gelişmiş olmasını gerektirir. Propriyosepsiyon duyusunun sportif performans ile ilişkisi yıllardır birçok çalışmaya konu olmuştur (Han ve ark., 2015; Kızılay ve Cengiz, 2023; Aydın, 2024; Fendri ve ark., 2024). Ancak propriyosepsiyon duyusu ve 2D-4D parmak uzunluğu ile ilgili çalışmaların gerek ulusal gerekse uluslararası literatürde kısıtlı sayıda olduğu görülmüştür (Akaras ve ark., 2024; Yılmaz ve ark., 2024; Zhang ve ark., 2024). Bu açıdan 2D-4D parmak uzunluğu ile propriyosepsiyon duyusunun sportif performans parametreleri ile ilişkisinin araştırmaya ihtiyaç olduğu kanısına varılmıştır. Özellikle parmak uzunluğunun baskın cinsiyet hormonları ile sportif performans arasındaki farklılıklarının anlaşılması literatüre katkı sunacaktır. Araştırma bu yönü ile elde edeceği teorik bulgularla literatüre önemli katkılar sunarken aynı zamanda da pratikte uygulanabilirliğiyle antrenörlerin ve sporcuların antrenman içeriklerini düzenlemelerine yardımcı olacaktır. Bu çalışmanın temel amacı, 8-13 yaş arası badminton sporcularında proprioseptif duyu ile 2D:4D parmak oranı arasındaki ilişkiyi incelemek ve bu ilişkinin spor deneyimiyle olan bağlantısını ortaya koymaktır. Çalışmanın hipotezleri: (1) spor yaşı arttıkça proprioseptif duyunun gelişeceği, (2) 2D:4D oranı ile proprioseptif duyu arasında anlamlı bir ilişki olmayacağı yönündedir. Bu bulguların, genç sporcuların antrenman programlarında proprioseptif eğitim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

YÖNTEM

Araştırma Grubu (Evren-Örneklem)

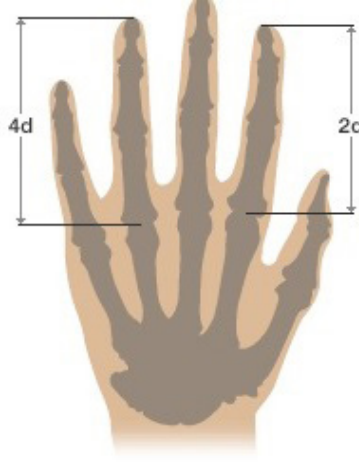
Bu çalışma, 8-13 yaş aralığında ve en az iki yıllık antrenman geçmişine sahip toplam 60 Gençlik Spor Kulübü badminton sporcusundan oluşmaktadır. Çalışmaya katılan sporcular, haftada en az üç gün düzenli olarak antrenman seanslarına katılan kişiler arasından seçilmiştir. Katılımcıların yaş ortalaması $9,94 \pm 1,59$ yıl, spor tecrübesi ortalaması ise $2,62 \pm 1,08$ yıl olarak belirlenmiştir. Sporcu yaşını belirlemek için branş antrenöründen bilgi alınarak sporcu lisanslarına bakılmıştır. Çalışmaya 30 kız ve 30 erkek sporcu olmak üzere toplam 60 kişi gönüllü olarak katılmıştır. Yapılan güç analizinde $\alpha=0,05$, güç=0,80, orta etki büyüklüğü ($d=0,5$) saptanmış ve iki grup için toplam katılımcı sayısı 50 kişi olarak bulunmuştur. Ancak hata payı düşünüldüğünde çalışmaya 60 kişi dahil edilmiştir.

Katılımcılara araştırmanın amacı, olası riskler ve ölçüm süreçleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmış; sözlü ve uygulamalı bilgilendirme yapılmıştır. Çalışmaya katılım öncesinde, Helsinki Bildirgesi etik ilkelerine uygun olarak, tüm katılımcılardan ve reşit olmayan bireylerin velilerinden yazılı bilgilendirilmiş onam alınmıştır. Ölçümler, uluslararası standart protokollere uygun şekilde gerçekleştirilmiş olup, katılımcıların sürece hazırlanmaları için gerekli talimatlar ve destek sağlanmıştır.

Veri Toplama Araçları

Vücut Bileşenleri Ölçümleri: Araştırmaya katılan sporcuların boy uzunlukları ve vücut ağırlıkları Seca 213 taşınabilir boy ölçer (Seca Corp., Hamburg, Almanya) ile ölçülmüştür. Sporcu üzerinde şort ve tişört ile çıplak ayaklı olacak şekilde iken vücut ağırlığı kg cinsinden alınmıştır. Vücut kitle indeksi (VKİ) hesaplamak için vücut ağırlığı/boy uzunluğu (m^2) formülü ile hesaplanmıştır.

Parmak Uzunluk Ölçümleri: Parmak uzunluğunu belirlemek için, ikinci parmak (2D) ve dördüncü parmak (4D) (Şekil 1), hassasiyeti 0,01 mm olan 0-150 mm (ABD, Cocraft) Vernier dijital kumpas kullanılarak milimetre (mm) cinsinden ölçülmüştür. Sol ve sağ el 2D ve 4D parmak uzunlukları, proksimal falanksın proksimal kıvrımının orta noktasından distal falanksın uç noktasına kadar doğrudan ölçülmüştür. 2D:4D oranı, 2D uzunluğunun 4D uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanmıştır. Milimetre (mm) cinsinden kaydedilen ölçümler, santimetreye (cm) dönüştürülmüştür. Ölçümler, araştırmacılar tarafından bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir (Eklund ve ark., 2020). Tüm ölçümler aynı araştırmacı tarafından ikişer kez olacak şekilde alınmıştır.



Şekil 1. İkinci ile dördüncü basamak (2D:4D) oranının ölçülmesi

Omuz Propriozeptiyonu Ölçüm Yöntemi: Propriozeptiyon ölçümlerinin birçok farklı yöntemi bulunmaktadır. Ancak Clear atışındaki tam hareket performansını ve omuzun propriozeptif kontrolünü incelemek amacıyla katılımcıların omuz eklemi için hedef açı 90° fleksiyon hareketi olarak belirlenmiştir. Omuz eklemi propriozeptiyonunu ölçmek için eklem pozisyon duyusu test yöntemi kullanılmıştır (Beynnon, 2000; Grob ve ark., 2002; Akseki ve ark., 2010; Küçük & Karakaş, 2023). Bu ölçüm yöntemi daha önce uzun süre boyunca diz, omuz, ayak bileği ve dirsek eklemleri için tercih edilmiş olup, tekrarlanabilirliği ve güvenilirliği kabul edilmiştir (Marks, 1995; Jerosch ve ark., 1996). Ölçümlerde 1° hassasiyete sahip gonyometre (Baseline marka) kullanılmıştır.

Ölçümler öncesinde tüm sporcuların dominant kolları belirlenmiş ve ölçümler dominant koldan alınmıştır. Değerlendirmede, katılımcılardan standart clear atışı yapmaları istenmiş ve omuz 90° fleksiyon pozisyonuna geldiğinde bu konumda duraksamaları sağlanmıştır. Atış tekniği; raketin sol omuz üzerinden yay çizerek, el bileğinin içe dönük pozisyonunda ve serçe parmağın yukarıyı gösterecek şekilde hareket ettirilmesi şeklinde standardize edilmiştir. Her katılımcı için hedef açı öncelikle üç kez öğretilmiş, ardından toplam beş ölçüm alınmıştır. Ölçümler arasında yeterli dinlenme süreleri verilmiştir (Sevrez & Bourdin, 2015).

Ölçümlerde öğretilen açıdan sapma miktarı, pozitif (ör. 98° derece = $+8^\circ$ ölçümde sapma açısı) ya da negatif (ör. 82° derece = -8° ölçümde sapma açısı) bir değer olarak kaydedilmiştir. Sapma miktarını belirleme sürecinde, bir sporcuya ait beş ölçüm alındıktan sonra bu beş sapma değeri ortalaması alınmıştır. Hedef açı olan 90° 'deki ortalama sapma değeri belirlendiğinde, bu ortalama sapma değeri karşılaştırmalarda kullanılmıştır (Kaynak ve ark., 2019).

Verilerin Analizi

Verilerin analizi için SPSS 24 paket program kullanılmıştır. Verilerin normal dağıldığı tespit edilmiştir. Cinsiyet grupları arasında demografik bilgiler, parmak oranları ve propriyoseptif duyu sapma açıları gibi sürekli değişkenlerdeki farkları belirlemek için İki Bağımsız Örneklem T-testi (Independent Samples T-test) kullanılmıştır. Propriyoseptif duyu sapma açısı ile yaş, spor yaşı ve parmak oranları (2D:4D oranı) arasındaki ilişkiyi incelemek için Pearson Korelasyon analizi kullanılmıştır.

BULGULAR

Çalışma kapsamında incelenen temel değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de özetlenmiştir. Veri setinin yapısını anlamak üzere [yaş, cinsiyet, VKİ vb.] gibi parametrelerin dağılımları incelenmiş ve bu özelliklerin üzerindeki olası etkileri kontrol edilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların fiziksel özellik, parmak oranı ve propriyoseptif duyu verileri (n=60)

Değişkenler	Ort.±S.s
Yaş (yıl)	9,94±1,59
Spor Yaşı (yıl)	2,62±1,08
Boy (cm)	136,48±10,37
Vücut Ağırlığı (kg)	31,91±7,51
VKİ (kg/m ²)	16,94±2,42
Sağ 2D (mm)	56,95±4,60
Sağ 4D (mm)	57,37±4,16
Sağ 2D:4D Parmak Oranı	0,99±0,02
Sol 2D (mm)	56,28±5,02
Sol 4D (mm)	56,91±4,41
Sol 2D:4D Parmak Oranı	0,98±0,04
Propriyoseptif Duyu Sapma Açısı (Derece)	15,43±7,39

Tabloya göre katılımcıların sağ 2D:4D parmak oranı 0,99±0,02, sol 2D:4D parmak oranı 0,98±0,04 ve propriyoseptif duyu sapma açısı (Derece) 15,43±7,39 olarak bulunmuştur.

Tablo 2. Katılımcıların cinsiyete göre fiziksel özellik, parmak oranı ve proprio-septif duyu verilerinin karşılaştırılması

Değişkenler	n	Ort.±S.s	t	p
Yaş	Erkek	9,71±1,52	-1,011	0,319
	Kız	10,25±1,69		
Spor Yaşı (yıl)	Erkek	2,71±1,14	0,587	0,561
	Kız	2,50±1,03		
Boy (cm)	Erkek	134,52±8,84	-1,332	0,191
	Kız	139,06±11,90		
Vücut Ağırlığı (kg)	Erkek	30,84±6,67	-0,99	0,329
	Kız	33,31±8,50		
VKİ	Erkek	16,92±2,60	-0,036	0,971
	Kız	16,95±2,24		
Sağ 2D:4D Oranı	Erkek	0,97±0,22	-4,339	0,001*
	Kız	1,00±0,18		
Sol 2D:4D Oranı	Erkek	0,97±0,42	-3,327	0,002*
	Kız	1,01±0,28		
Proprioseptif Duyu Sapma Açısı	Erkek	14,71±8,19	-0,671	0,506
	Kız	16,37±6,32		

*p<0,05

Katılımcıların cinsiyete göre sağ 2D:4D (p=0.001) ve sol 2D:4D (p=0.002) parmak oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Erkek sporcuların her iki eldeki 2D:4D oranları (sağ: 0.97±0.22; sol: 0.97±0.42), kız sporcuların oranlarına (sağ: 1.00±0.18; sol: 1.01±0.28) göre anlamlı derecede düşük bulunmuştur. Diğer parametrelerde ise cinsiyetler arasında anlamlı farklılık gözlenmemiştir (p>0.05).

Tablo 3. Proprioseptif duyu sapma açısı, yaş ve spor yaşı arasındaki ilişki (n=60)

	Proprioseptif Duyu Sapma Açısı (r)	p
Yaş	-0,160	0,344
Spor Yaşı	-0,372	0,023*

*Korelasyon p=0,05 düzeyinde anlamlıdır.

Tablo bulgularına göre sporcuların proprioseptif duyu sapma açısı ile spor yaşı arasında negatif yönde anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r=-0,372$; $p=0,023$). Bu korelasyon spor yaşının artmasıyla proprioseptif duyu sapma açısının azaldığını ifade etmektedir.

Tablo 4. Proprioseptif duyu sapma açısı ve parmak oranı arasındaki ilişki ($n=60$)

	Proprioseptif Duyu Sapma Açısı (r)	p
Sağ 2D:4D Oranı	0,238	0,156
Sol 2D:4D Oranı	0,062	0,717

Tabloya göre bulgular sağ 2D:4D ve sol 2D:4D oranı ile proprioseptif duyu sapma açısı arasında anlamlı bir ilişki olmadığını göstermektedir ($p>0,05$).

TARTIŞMA

Bu çalışma, badminton sporcularında proprioseptif duyu ile 2D:4D parmak uzunluk oranı arasındaki ilişkiyi inceleyerek, sportif performansı etkileyen biyolojik ve fizyolojik faktörlerin anlaşılmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Proprioseptif duyu, sporcuların vücut pozisyonunu algılamak, hareketlerini koordine etme ve motor kontrol becerilerini geliştirmede kritik bir rol oynarken, 2D:4D parmak uzunluk oranı ise prenatal hormon maruziyetinin bir göstergesi olarak kabul edilmekte ve sportif performansla ilişkilendirilmektedir. Bu bağlamda, iki faktör arasındaki ilişkinin araştırılması, özellikle badminton gibi hızlı karar alma ve ince motor becerilerin önemli olduğu spor dallarında, sporcuların performansını artırmaya yönelik yeni stratejiler geliştirilmesine olanak tanıyabilir. Çalışmanın bulguları, literatüre hem teorik hem de pratik anlamda önemli katkılar sunarken, antrenörlerin ve sporcuların antrenman programlarını daha etkili bir şekilde planlamalarına yardımcı olacaktır.

Mevcut çalışmadaki veriler incelendiğinde, proprioseptif duyu sapma açısı (Derece) $15,43 \pm 7,39$ olarak ölçülmüştür (Tablo 1). Clear atışındaki sapma açısının sporcularda yüksek çıkması mevcut çalışmadaki sporcuların deneyimlerinin ($2,62 \pm 1,08$) düşük seviyede olmasından kaynaklanabilir.

Mevcut çalışmada cinsiyete göre fiziksel özellik, parmak oranı ve proprioseptif duyu verilerini değerlendirdiğimizde Sağ 2D:4D ve Sol 2D:4D parmak oranı cinsiyete göre karşılaştırmasında anlamlı fark saptanmıştır ($p<0,05$) (Tablo 2). Erkek sporcuların parmak oranı kızlara göre daha düşük çıkmıştır. 2D:4D oranı, prenatal hormon seviyeleri ile ilişkilendirilen bir biyolojik işaretçi olarak kabul edilir (Fonseca ve ark., 2022; Richards ve ark., 2022). Daha düşük bir 2D:4D oranı, genellikle daha yüksek prenatal testosteron seviyeleri ile ilişkilendirilirken, daha yüksek

bir oran daha yüksek prenatal östrojen seviyeleri ile ilişkilendirilir (Vladeanu ve ark., 2014; Ernsten ve ark., 2023; Sorokowski ve Kowal, 2024). Mevcut çalışmanın bulgusu, cinsiyet farklılıklarının biyolojik temellerine dair bilgi verebilir. Ayrıca cinsiyetler arasındaki biyolojik bu farklılıklar, özellikle 2D:4D oranı gibi biyolojik belirteçlerde belirgin olabilir. Hormonal farklılıklar, prenatal dönemdeki gelişimsel süreçlere bağlı olarak bu farklılıkları açıklayabilir. Bu çalışmadaki diğer bir bulgu olan cinsiyete göre proprioseptif duyu sapma açısı değerlendirildiğinde anlamlı bulgu çıkmamıştır (Tablo 2). Proprioseptif duyu sapma açısından cinsiyetler arasında anlamlı bir fark bulunmaması, cinsiyetin bu duyuyu belirlemede kritik bir rol oynamadığını göstermektedir. Yine erkeklerin proprioseptif duyu sapma açısı ortalamasının kızlara göre daha düşük olması erkek sporcuların daha iyi proprioepsiyon duyusuna sahip olduğu anlamına gelmektedir. Benzer olarak Yu ve ark. (2022) çalışmasında kadınların iç rotasyon yönünde proprioepsiyon hassasiyetinin erkeklere göre daha düşük olduğunu bulmuştur. Kadınların iç rotasyon hassasiyeti $1,70^{\circ} \pm 0,79^{\circ}$ iken, erkeklerde bu değer $1,12^{\circ} \pm 0,32^{\circ}$ olarak ölçülmüştür ($p=0,011$). Başka benzer çalışmada kadınlar, erkeklere kıyasla iç rotasyon yönünde daha düşük proprioepsiyon hassasiyetine sahip olduğu bulunmuştur (Muaidi, 2017). Nagai ve ark. (2012) proprioseptif geri bildirim eksikliği, nöromüsküler kontrolün değişmesine yol açarak kadın sporcularda erkeklere göre daha fazla bulmuşlardır. Cuğ ve ark. (2016) cinsiyet farklılığı uzuv baskınlığı, pasif yeniden konumlandırma kullanılarak açık bir kinetik zincirde test edildiğinde diz eklemi proprioepsiyonunu etkilemediğini belirtmişlerdir. Mevcut çalışmanın literatürle benzer ve farklı bulgulara sahip olduğu söylenebilir.

Yaş ile proprioseptif duyu sapma açısı arasındaki ilişkiye bakıldığında; yaş ile proprioseptif duyu sapma açısı arasında negatif yönde bir ilişki gözlemlenmiş olsa da, bu ilişki istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($r=-0,160$, $p=0,344$) (Tablo 3). Bu sonuç, yaşın artmasıyla proprioseptif duyunun (vücut pozisyonunu ve hareketlerini algılama yeteneği) değişiminde belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Yaş grubu, proprioseptif duyunun önemli bir faktör olarak belirlenmesi için yeterince geniş bir aralıkta olmayabilir. Benzer şekilde, Kalicinski ve ark. (2015) çalışması da yaş ile proprioseptif hassasiyet arasında belirgin bir ilişki bulamamıştır; ancak yaşla birlikte fiziksel aktivite düzeylerindeki farklılıkların bu durumu etkileyebileceği öne sürülmüştür. Bununla birlikte Liutsko ve ark. (2014) yaşa bağlı olarak proprioseptif duyunun ve ince motor becerilerinin genç yaşta daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Proprioepsiyonunun etkilerindeki yaşa bağlı farklılıklar, proprioepsiyonunun yaşlı yetişkinlerde dengeyi korumak için daha önemli olduğunu vurgulanmıştır (Chen ve Qu, 2019).

Bu çalışmanın önemli bulgularından spor yaşı ile proprioseptif duyu sapma açısı arasındaki ilişkiye bakılacak olursa, spor yaşı ile proprioseptif duyu sapma açısı arasında negatif yönde anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r=-0,372$, $p=0,023$)

(Tablo 4). Bu, spor yaşının artmasıyla propriyoseptif duyu sapma açısının azaldığını, yani bireylerin spor yapma süreleri arttıkça propriyoseptif duyularının daha hassas hale geldiğini göstermektedir. Spor yapmak, propriyoseptif duyunun gelişimini teşvik eden bir faktör olabilir. Spor aktiviteleri, vücut farkındalığını artırarak ve koordinasyonu geliştirerek propriyoseptif duyunun güçlenmesine katkıda bulunabilir. Özellikle denge, koordinasyon ve vücut kontrolü gerektiren sporlar, bu duyunun gelişiminde önemli bir rol oynayabilir. Bu nedenle, daha uzun süre spor yapmış bireylerde propriyoseptif duyu sapma açısının daha düşük olması beklenir. Mevcut çalışmayla benzer bulgular taşıyan birçok çalışma mevcuttur (Han ve ark., 2013; Riva ve ark., 2016; Yılmaz ve ark., 2024; Bao, 2025). Örneğin bir çalışmada sporcuların propriyoseptif duyularının spor deneyimi arttıkça geliştiğini ortaya koymuştur. Özellikle uzun süreli antrenman yapan sporcuların, eklem pozisyonunu algılama ve hareket kontrolünde daha başarılı olduğu belirtilmiştir (Han ve ark., 2013). Başka bir çalışmada ise propriyoseptif eğitimin sporcuların sakatlık riskini azalttığını ve spor deneyimi arttıkça propriyoseptif duyuların daha iyi hale geldiğini göstermiştir. Özellikle uzun süreli antrenman yapan basketbolcuların, propriyoseptif duyularının daha gelişmiş olduğu belirtilmiştir (Riva ve ark., 2016).

Bu çalışma bulgularına göre sağ 2D:4D ve sol 2D:4D parmak oranı ile propriyoseptif duyu sapma açısı arasındaki ilişki anlamlı değildir ($p>0,05$). Bu durum, sağ ve sol el parmak oranının propriyoseptif duyuyu etkileyen önemli bir faktör olmadığını veya bu çalışmanın örnekleminde bu ilişkinin tespit edilemediğini gösterir. 2D:4D oranı, prenatal hormon seviyeleri ile ilişkilendirilmiş bir biyolojik belirteçtir ve bazı biyolojik ve davranışsal özelliklerle ilişkilendirilmiştir (Manning ve ark., 2014; Font-Jordà ve ark., 2018). Ancak, propriyoseptif duyunun gelişimi üzerinde doğrudan bir etkisi olup olmadığını belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Bu çalışma, literatürde ilk kez 2D:4D oranı ile propriyoseptif duyu arasında anlamlı ilişki olmadığını göstererek ($p>0,05$) önemli bir katkı sağlamaktadır. Bulgular, propriyosepsiyonun gelişiminde prenatal hormon maruziyetinden çok spor deneyimi gibi sonradan kazanılan faktörlerin etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Fakat, 2D:4D oranının daha önce motor performans ve diğer biyolojik özelliklerle ilişkili bulunduğu çalışmalarda da bu tarz zayıf veya önemsiz korelasyonlar tespit edilmiştir (Beaton ve ark., 2011; Zamani Sani ve ark., 2022; Azam ve ark., 2024). Bu bulgular, cinsiyetin ve prenatal hormon seviyelerinin bazı biyolojik özellikler üzerindeki etkisine dair yeni bilgiler sunmakla birlikte, propriyoseptif duyunun gelişiminde yaş, cinsiyet ve 2D:4D oranından ziyade spor deneyiminin daha etkili olduğunu göstermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, genç badmintoncularda proprioseptif duyu gelişiminin temel belirleyicisinin spor deneyimi olduğunu ortaya koymuştur. Spor yaşı arttıkça proprioseptif duydaki anlamlı iyileşme ($r=-0,372$; $p=0,023$), antrenman süresinin motor kontrol becerilerini geliştirmedeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Özellikle dikkat çekici bulgu, prenatal hormon maruziyeti göstergesi olan 2D:4D oranı ile proprioepsiyon arasında anlamlı ilişki bulunmamasıdır ($p>0,05$). Literatürde bu ilişkiyi inceleyen ilk çalışma olarak önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Bu çalışmanın bulguları doğrultusunda, antrenörlerin haftalık programlara denge tahtası çalışmaları, göz kapalı pozisyonlama egzersizleri ve diğer proprioseptif eğitim yöntemlerini dahil etmeleri önerilmektedir. Bu tür uygulamalar, özellikle genç sporcuların eklem pozisyon hissi ve hareket kontrolünü geliştirmede etkili olacaktır. Araştırmacılar için, bu çalışmanın bulgularını genişletmek amacıyla farklı yaş gruplarını (ergen ve yetişkin sporcular) ve çeşitli spor branşlarını (raket sporları, takım sporları vb.) kapsayan benzer çalışmaların yapılması önemli katkılar sağlayacaktır. Bu tür araştırmalar, proprioseptif gelişimin spor branşlarına özgü dinamiklerini ortaya çıkarabilir.

Sınırlılıklar

Yalnızca 8-13 yaş aralığındaki 60 badminton sporcusu ile çalışılmış olup, bulguların diğer yaş gruplarına ve spor branşlarına genellenmesi sınırlıdır.

Proprioseptif duyu yalnızca omuz 90° fleksiyon hareketiyle ölçülmüştür. Badminton gibi kompleks bir sporda diz/ayak bileği gibi diğer eklemlerin ihmal edilmesi, sonuçların kapsamını daraltmaktadır.

2D:4D oranı prenatal hormon maruziyetinin dolaylı bir göstergesi olmasına rağmen, çalışmada doğrudan hormon seviyeleri ölçülmemiştir. Bu nedenle, hormon-proprioepsiyon ilişkisi net değildir.

Bilgi Beyanı

Çalışma Karaoğlu (2024), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü "Badminton Sporcularında Proprioseptif Duyu İle 2D-4D Parmak Uzunluk Oranı İlişkisi" yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Çıkar Çatışması

Makalenin yazarları arasında, çalışma kapsamında herhangi bir kişisel ve finansal çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkı Oranları

Çalışmanın Tasarlanması (Design of Study): PK(%50), LC(%50)

Veri Toplanması (Data Acquisition): PK(%50), BB(%50)

Veri Analizi (Data Analysis): LC(%100)

Makalenin Yazımı (Writing Up): PK(%25), MG(%25), TC(%25), LC(%25)

Makale Gönderimi ve Revizyonu (Submission and Revision): PK(%25), MG(%25), TC(%25), LC(%25)

KAYNAKLAR

- Akaras, E., Çobanoğlu, G., Suner-Keklik, S., Gökdoğan, Ç. M., Zorlular, A., Polat, E. A., ... et al. (2024). Changes in physical fitness parameters with increasing age. *Research in Sport Education and Sciences*, 26(3), 88-97.
- Akay, T., & Murray, A. J. (2021). Relative contribution of proprioceptive and vestibular sensory systems to locomotion: Opportunities for discovery in the age of molecular science. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), 1467.
- Akseki, D., Erduran, M., Özarslan, S., & Pinar, H. (2010). Patellofemoral ağrı sendromu saptanan hastalarda, dizde vibrasyon duyusu, propriyosepsiyon duyusu ile paralel olarak algılanmaktadır: Pilot çalışma. *Eklem Hastalıkları ve Cerrahisi*, 21(1), 23-30.
- Aydin, E. B. (2024). Investigation of proprioceptive sense in team and individual athletes. *Journal of ROL Sport Sciences*, 5(3), 397-409.
- Azam, Z., Sanuddin, N. D., Isa, K. A., Kassim, N. A. M., Kosni, N. A., Yazid, U. M., ... et al. (2024). Digit ratio (2D:4D) and relative age effect (RAE) in physical fitness testing performance on male and female adolescents. *Malaysian Journal of Sport Science and Recreation*, 20(2), 1-13.
- Bafirman, B., Hidayat, R. A., Sabillah, M. I., Rahman, D., Zarya, F., Ockta, Y., ... et al. (2024). The role of sport psychology in improving the performance of badminton athletes: A systematic review. *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 61, 1126-1137.
- Bao, Y. (2025). The relationship between proprioception and badminton player shot landing accuracy. *Revista de Psicología del Deporte (Journal of Sport Psychology)*, 34(1), 112-120.
- Beaton, A. A., Rudling, N., Kissling, C., Taurines, R., & Thome, J. (2011). Digit ratio (2D:4D), salivary testosterone, and handedness. *Laterality*, 16(2), 136-155.
- Beynnon, B. D. (2000). *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. Human Kinetics.
- Chen, X., & Qu, X. (2019). Age-related differences in the relationships between lower-limb joint proprioception and postural balance. *Human Factors*, 61(5), 702-711.
- Cho, S. H., & Kim, S. H. (2016). Immediate effect of stretching and ultrasound on hamstring flexibility and proprioception. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(6), 1806-1808.
- Crewther, B. T., Pastuszak, A., Sadowska, D., Górski, M., & Cook, C. J. (2022). The digit ratio (2D:4D) and testosterone co-predict vertical jump performance in athletic boys: Evidence of organizational and activational effects of testosterone on physical fitness. *Physiology & Behavior*, 251, 113816.
- Edmizal, E., Donie, D., Barlian, E., Welis, W., Sin, T. H., Umar, U., ... et al. (2025). Effect of psychological skills training on reaction time and strategic thinking in competitive badminton: A systematic review. *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 62, 439-453.
- Eklund, E., Ekström, L., Thörngren, J. O., Ericsson, M., Berglund, B., & Hirschberg, A. L. (2020). Digit ratio (2D:4D) and physical performance in female Olympic athletes. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 292.
- Ernsten, L., Körner, L. M., Schaper, M. L., Lawrenz, J., Richards, G., Heil, M., ... et al. (2023). The association of prenatal amniotic sex hormones and digit ratio (2D:4D) in children aged 5 to 70 months: A longitudinal study. *PLOS ONE*, 18(3), e0282253.
- Fendri, T., Beaune, B., Kasmi, S., Chaari, F., Sahli, S., & Boyas, S. (2024). Relationship between postural stability and proprioception, pain, quadriceps strength, and muscle tightness in athletes with patellar tendinopathy. *Sports Health*. <https://doi.org/10.1177/19417381241231617>

- Fonseca de AD, C., Martelli, D. R., Maia, C. M., Dias, V. O., Carvalho, A. A., & Júnior, H. M. (2022). Digital biomarker 2D:4D as a predictor of cancer: A systematic review. *Early Human Development*, 164, 105521.
- Font-Jordà, A., Gamundí, A., Llobera, M. C. N., & Aguilar-Mediavilla, E. (2018). Use of the 2D:4D digit ratio as a biological marker of specific language disorders. *Anales de Pediatría (English Edition)*, 89(6), 361-368.
- Grob, K. R., & Kuster, M. S. (2002). Lack of correlation between different measurements of proprioception in the knee. *The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume*, 84(4), 614-618.
- Han, J., Anson, J., Waddington, G., & Adams, R. (2013). Proprioceptive performance of bilateral upper and lower limb joints: Side-general and site-specific effects. *Experimental Brain Research*, 226, 313-323.
- Han, J., Waddington, G., Anson, J., & Adams, R. (2015). Level of competitive success achieved by elite athletes and multi-joint proprioceptive ability. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(1), 77-81.
- Handelsman, D. J., Hirschberg, A. L., & Berman, S. (2018). Circulating testosterone as the hormonal basis of sex differences in athletic performance. *Endocrine Reviews*, 39(5), 803-829.
- Hunter, S. K., Angadi, S. S., Bhargava, A., Harper, J., Hirschberg, A. L., Levine, B. D., ... et al. (2023). The biological basis of sex differences in athletic performance: Consensus statement for the American College of Sports Medicine. *Translational Journal of the American College of Sports Medicine*, 8(4), 1-33.
- Jerosch, J., Prymka, M., & Castro, W. H. (1996). Proprioception of knee joints with a lesion of the medial meniscus. *Acta Orthopaedica Belgica*, 62(1), 41-45.
- Joyner, M. J., Hunter, S. K., & Senefeld, J. W. (2024). Evidence on sex differences in sports performance. *Journal of Applied Physiology*.
- Kalicinski, M., Kempe, M., & Bock, O. (2015). Motor imagery: Effects of age, task complexity, and task setting. *Experimental Aging Research*, 41(1), 25-38.
- Kaynak, H., Altun, M., Özer, M., & Akseki, D. (2019). Effect of hot and cold applications on elbow proprioception. *Edizioni Minerva Medica*, 178, 177-181.
- Kızılay, F., & Cengiz, D. U. (2023). A comparison of functional vestibulo-ocular reflex and proprioception in athletes of combat sports and ball sports. *Heliyon*, 9(7).
- Küçük, H., & Karakaş, F. (2023). The effect of elbow joint proprioception sense on shooting hit in basketball. *Journal of ROL Sport Sciences*, 4(3), 1153-1168.
- Liutsko, L., Muiños, R., & Tous-Ral, J. M. (2014). Age-related differences in proprioceptive and visuo-proprioceptive function in relation to fine motor behaviour. *European Journal of Ageing*, 11, 221-232.
- Manning, J. T., Fink, B., Neave, N., & Caswell, N. (2005). Photocopies yield lower digit ratios (2D:4D) than direct finger measurements. *Archives of Sexual Behavior*, 34, 329-333.
- Manning, J. T., Kilduff, L. P., & Trivers, R. (2013). Digit ratio (2D:4D) in Klinefelter's syndrome. *Andrology*, 1(1), 94-99.
- Manning, J. T., Kilduff, L., Cook, C., Crewther, B., & Fink, B. (2014). Digit ratio (2D:4D): A biomarker for prenatal sex steroids and adult sex steroids in challenge situations. *Frontiers in Endocrinology*, 5, 9.
- Manning, J. T., Stewart, A., Bundred, P. E., & Trivers, R. (2004). Sex and ethnic differences in 2nd to 4th digit ratio of children. *Early Human Development*, 80(2), 161-168.
- Marks, R. (1995). Repeatability of position sense measurements in persons with osteoarthritis of the knee: A pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 9(4), 314-319.
- Miguel-Ortega, Á., Calleja-González, J., & Mielgo-Ayuso, J. (2024). Interactions between stress levels and hormonal responses related to sports performance in a pro women's basketball team. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 9(3), 133.
- Miguel-Ortega, Á., Fernández-Landa, J., Calleja-González, J., & Mielgo-Ayuso, J. (2023). Stress levels and hormonal coupling and their relationship with sports performance in an elite women's volleyball team. *Applied Sciences*, 13(20), 11126.
- Muaidi, Q. I. (2017). Does gender make a difference in knee rotation proprioception and range of motion in healthy subjects? *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 30(6), 1237-1243.
- Nagai, T., Sell, T. C., Abt, J. P., & Lephart, S. M. (2012). Reliability, precision, and gender differences in knee internal/external rotation proprioception measurements. *Physical Therapy in Sport*, 13(4), 233-237.
- Özyazıcı, K., Boğa, E., Alagöz, N., Varlıklıöz, K., Arslan, Z., Akto, S., ... et al. (2021). Duyuların gelişimi ve duyu bütünleme. *Gelişim ve Psikoloji Dergisi*, 2(4), 209-226.
- Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2015). The science of badminton: Game characteristics, anthropometry, physiology, visual fitness, and biomechanics. *Sports Medicine*, 45, 473-495.
- Proske, U. (2015). The role of muscle proprioceptors in human limb position sense: A hypothesis. *Journal of Anatomy*, 227(2), 178-183.
- Proske, U., & Gandevia, S. C. (2012). The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews*.

- Racinais, S., Gaoua, N., Mtibaa, K., Whiteley, R., Hautier, C., & Alhammoud, M. (2017). Effect of cold on proprioception and cognitive function in elite alpine skiers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 69-74.
- Richards, G., Aydin, E., Tsompanidis, A., Padaigaitė, E., Austin, T., Allison, C., ... et al. (2022). Digit ratio (2D:4D) and maternal testosterone-to-estradiol ratio measured in early pregnancy. *Scientific Reports*, 12(1), 13586.
- Richards, G., Medland, S. E., & Beaton, A. A. (2021). Digit ratio (2D:4D) and handedness: A meta-analysis of the available literature. *Laterality*, 26(4), 421-484.
- Riva, D., Bianchi, R., Rocca, F., & Mamo, C. (2016). Proprioceptive training and injury prevention in a professional men's basketball team: A six-year prospective study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 461-475.
- Robertson, J., Zhang, W., Liu, J. J., Muir, K. R., Maciewicz, R. A., & Doherty, M. (2008). Radiographic assessment of the index to ring finger ratio (2D:4D) in adults. *Journal of Anatomy*, 212(1), 42-48.
- Rouby, C., Fournel, A., & Bensafi, M. (2016). The role of the senses in emotion. In *Emotion measurement* (pp. 65-81). Woodhead Publishing.
- Sarıakçalı, B., Duman, G., Ceylan, L., Polat, M., Hazar, S., & Eliöz, M. (2021). Spor Bilimleri Fakültesinde uygulama eğitiminin biyokimyasal ve hematolojik parametrelere etkisi. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 12(3), 222-232.
- Sevrez, V., & Bourdin, C. (2015). On the role of proprioception in making free throws in basketball. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 86(3), 274-280.
- Sorokowski, P., & Kowal, M. (2024). Relationship between the 2D:4D and prenatal testosterone, adult level testosterone, and testosterone change: Meta-analysis of 54 studies. *American Journal of Biological Anthropology*, 183(1), 20-38.
- Ventura, T., Gomes, M. C., Pita, A., Neto, M. T., & Taylor, A. (2013). Digit ratio (2D:4D) in newborns: Influences of prenatal testosterone and maternal environment. *Early Human Development*, 89(2), 107-112.
- Vladeanu, M., Giuffrida, O., & Bourne, V. J. (2014). Prenatal sex hormone exposure and risk of Alzheimer disease: A pilot study using the 2D:4D digit length ratio. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 27(2), 102-106.
- Yılmaz, C. (2023). 2D/4D parmak oranının solunum sistemi ile ilişkisi: Futbolcular örneği: Tanımlayıcı araştırma. *Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*, 15(1), 153-158.
- Yılmaz, O., Soylu, Y., Erkmən, N., Kaplan, T., & Batalik, L. (2024). Effects of proprioceptive training on sports performance: A systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 16(1), 149.
- Yu, S., Lin, L., Liang, H., Lin, M., Deng, W., Zhan, X., ... et al. (2022). Gender difference in effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on flexibility and stiffness of hamstring muscle. *Frontiers in Physiology*, 13, 918176. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.918176>
- Zamani-Sani, S. H., Sadeghi-Bahmani, D., Fathirezaie, Z., Aghdasi, M. T., Abbaspour, K., Badicu, G., ... et al. (2022). Gender differences and relationship of 2D:4D ratio, mental toughness, and dark triad traits among active young adults. *Biology*, 11(6), 864.
- Zhang, T., Zhao, Y., Wang, S., Luan, L., Adams, R., Ganderton, C., ... et al. (2024). Ankle proprioception and functional performance in patients with Achilles tendinopathy. *European Journal of Sport Science*.
- Zill, S. N. (2019). Mechanoreceptors: Exteroceptors and proprioceptors. In *Cockroaches as models for neurobiology: Applications in biomedical research*. CRC Press.