



**T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI
FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**DİZ EKLEM HAREKET AÇIKLIĞI ÖLÇÜMÜNDE
GİYİLEBİLİR HAREKET SENSÖRLERİNİN GEÇERLİLİK VE
GÜVENİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Ayşegül KOÇAK**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Melek Güneş YAVUZER**

**İSTANBUL
HAZİRAN 2022**



**T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI
FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**DİZ EKLEM HAREKET AÇIKLIĞI ÖLÇÜMÜNDE
GİYİLEBİLİR HAREKET SENSÖRLERİNİN GEÇERLİLİK VE
GÜVENİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Ayşegül KOÇAK**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Melek Güneş YAVUZER**

**İSTANBUL
HAZİRAN 2022**

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim/Anasanat Dalı Yüksek Lisans Programı Öğrencisi Ayşegül KOÇAK tarafından hazırlanan “*Dir Eklem Hareket Açıklığı Ölçümünde Giyilebilir Hareket Sensörlerinin Geçerlilik ve Güvenilirliğinin İncelenmesi*” konulu çalışması jürimizce Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 23/06/2022

Jüri Üyesinin Ünvanı, Adı, Soyadı ve Kurumu:

İmzası

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Melek Güneş YAVUZER
Haliç Üniversitesi,
Sağlık Bilimleri Fakültesi
Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Nur TUNALI
Haliç Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi
Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Hilal DENİZÖĞLU KÜLLİ
Atlas Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi
Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü

Bu tez yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun kararıyla kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hatice YORULMAZ
Müdür

Turnitin Orijinallik Raporu

- İşleme konu: 30-May-2022 09:58 +03
- NUMARA: 1847019426
- Kelime Sayısı: 11403
- Gönderildi: 1

DİZ EKLEM HAREKET AÇIKLIĞI ÖLÇÜMÜNDE GİYİLEBİLİR HAREKET SENSÖRLERİNİN GEÇERLİLİK VE GÜVENİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ Ayşegül Koçak tarafından

Benzerlik Endeksi

%12

Kaynağa göre Benzerlik

Internet Sources:

%10

Yayımlar:

%1

Öğrenci Ödevleri:

%4

1% match (25-May-2021 tarihli öğrenci ödevleri)

[Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey \(TUBITAK\) on 2021-05-25](#)

1% match (02-May-2020 tarihli internet)

<http://earsiv.halic.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12473/282/435670.pdf?sequence=>

< 1% match (10-Şub-2022 tarihli internet)

https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/35296/yokAcikBilim_10136207.pdf?isAllowed=y&sequence=-1

< 1% match (07-Mar-2022 tarihli internet)

https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/91073/yokAcikBilim_422485.pdf?isAllowed=y&sequence=-1

< 1% match (06-Mar-2022 tarihli internet)

https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/594995/yokAcikBilim_10291557.pdf?isAllowed=y&sequence=-1

< 1% match (10-Şub-2022 tarihli internet)

https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/340185/yokAcikBilim_10143257.pdf?isAllowed=y&sequence=-1

< 1% match (29-Ara-2021 tarihli internet)

https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/90389/yokAcikBilim_10116018.pdf?isAllowed=y&sequence=-1

< 1% match (13-Mar-2022 tarihli internet)

https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/489136/yokAcikBilim_10154910.pdf?isAllowed=y&sequence=-1

< 1% match (07-Mar-2022 tarihli internet)

https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/99652/yokAcikBilim_10205650.pdf?isAllowed=y&sequence=-1

< 1% match (05-Nis-2022 tarihli internet)

https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/376859/yokAcikBilim_10330888.pdf?sequence=-1

< 1% match (17-Nis-2022 tarihli internet)

TEZ ETİK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "**Diz Eklem Hareket Açıklığı Ölçümünde Giyilebilir Hareket Sensörlerinin Geçerlilik ve Güvenilirliğinin İncelenmesi**" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Melek Güneş YAVUZER 'ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Ayşegül KOÇAK

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana değerli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan, samimiyetini ve güler yüzünü benden esirgemeyen ve mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalandığım kıymetli danışman hocam; Prof. Dr. Melek Güneş YAVUZER'e

Tezimin en başından beri bana destek olan, yardımlarını esirgemeyen, giyilebilir hareket sensör ölçümlerinin 2.değerlendiricisi öğretim görevlisi; Uzm. Fzt. Ayşenur Çetinkaya'ya

Çalışmamda desteklerini ve bana olan güvenlerini esirgemeyen sevgili Haliç Üniversitesi öğrencilerine, çalışmama katıldıkları ve ettikleri yardımlar için;

Mesleğe beraber adım attığımız ilk günden bu yana her an yanımda olan sevgisini ve desteğini daima hissettiren kıymetli dostum; Fzt. Öznur Çam'a

Her zaman yanımda olan ve beni destekleyip cesaretlendiren, nazımı çeken, benim için her şeyin her zaman en iyisini isteyen, bu tezin yazım aşamasında hep çok destek olan, beni her zaman çok şanslı hissettiren ve her konuda arkamda olduğunu bildiğim hayat arkadaşım; Mahir BÜYÜKYILMAZ'a,

Ve beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan annem Nevin KOÇAK ve babam Mahmut KOÇAK 'a ve diğer yarım, canım kız kardeşim Büşra KOÇAK 'a

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2022

Ayşegül KOÇAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

TEZ ETİK BEYANI	i
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Diz Eklemi Anatomisi.....	5
2.2. Diz Eklemi Oluşturan Kemikler.....	5
2.3. Dizdeki Eklemler.....	6
2.3.1. Patellafemoral Eklem.....	6
2.3.2. Tibiofemoral Eklem.....	6
2.4. Diz Eklem Kıkırdağı.....	6
2.5. Diz Eklem Kapsülü.....	7
2.6. Eklem içi yapılar.....	7
2.6.1. Menisküsler.....	7
2.6.2. Bursalar.....	8
2.6.2.1. Eklem ön tarafında bulunan bursalar.....	8
2.6.2.2. Eklem dış tarafında bulunan bursalar.....	8
2.6.2.3. Eklem iç tarafında bulunan bursalar.....	8
2.7. Dizdeki Ligamentler.....	8
2.7.1. Diz eklem dış ligamentleri.....	8
2.7.2. Diz eklem iç ligamentleri.....	9
2.8. Kaslar.....	9
2.9. Diz Eklem Sinirleri.....	11

2.10. Diz Eklemi Proprioseptif Duyu.....	11
2.11. Diz Eklemi Stabilizasyon	11
2.11.1. Dinamik Stabilite	12
2.11.2. Statik Stabilite	12
2.12. Diz Eklemının Biyomekaniği ve Hareketleri.....	12
2.13. Dizin Screw- Home Mekanizması	13
2.14. Eklem Hareket Açıklığı ve Değerlendirmesi.....	13
2.15. Eklem Hareket Açıklığı Değerlendirmenin Fizyoterapistler için Önemi.....	14
2.16. Diz Eklemi için Normal Eklem Hareket Açıklığı Değerleri	14
2.17. Eklem Hareket Açıklığı Ölçüm Yöntemleri	15
2.17.1. EasyAngle Dijital Gonyometre	19
2.17.2. MetaMotionRL Giyilebilir Hareket Sensörü.....	20
2.18. Geçerlilik ve Çeşitleri	22
2.19. Güvenilirlik ve Çeşitleri	24
3. GEREÇ VE YÖNTEM	27
3.1. Araştırmanın Amacı ve Tipi	27
3.2. Araştırmanın Yapıldığı Yer ve Zamanı.....	27
3.3. Araştırmanın Evren ve Örneklemi	27
3.4. Araştırmaya Dahil Edilme Kriterleri.....	27
3.5. Araştırmadan Dışlanma Kriterleri.....	27
3.6. Veri Toplama Yöntemi.....	28
3.7. Veri Toplama Araçları.....	29
3.8. Araştırmanın Etik Yönü	31
3.9. Verilerin İstatiksel Analizi.....	31
3.10. Araştırmanın Sınırlılıkları.....	31
4. BULGULAR.....	32
5. TARTIŞMA.....	39
6. SONUÇLAR	45
7. ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	52
ÖZGEÇMİŞ	60

KISALTMALAR

API	: Application Programming Interface
EA	: EasyAngle
EHA	: Eklem Hareket Açıklığı
Cm	: Santimetre
Ort	: Ortalama
OA	: Osteoartrit
ICC	: Intraclass Correlation
IMU	: Inertial Measurement Unit
IR	: Impulse Raddio
MEMS	: Mikro Elektrik -Mekanik Sistemler
Mm	: Milimetre
Min	: Minimum
Maks	: Maksimum
RGB	: Red, Green and Blue
ROM	: Range of Motion
SS	: Standart Sapma
UG	: Universal Gonyometre
UWB	: Ultra-Wide Band
VKI	: Vücut Kitle İndeksi
2D	: Two Dimensional
3D	: Three Dimensional

TABLO LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 2.1. Diz eklemi normal eklem hareket açıklığı değerleri	14
Tablo 4.1. Katılımcıların sosyodemografik özellikleri	32
Tablo 4.2. Katılımcıların sigara ve alkol kullanım durumları	32
Tablo 4.3. Katılımcıların spor yapma ve kaç gün spor yaptıklarının durumu.....	32
Tablo 4.4. Katılımcıların dominant ekstremitenin durumu	33
Tablo 4.5. Katılımcıların spor yaparken diz ağrılarının olup olmama durumu	33
Tablo 4.6. Katılımcıların kronik hastalık düzenli ilaç kullanma durumları	33
Tablo 4.7. Gonyometre ve MetaMotionRL cihazı ölçüm sonuçları	34
Tablo 4.8. Değerlendirici içi ve değerlendiriciler arası güvenilirlik	34
Tablo 4.9. MetaMotionRL cihazı ölçümleri ile dijital gonyometre ölçümleri arasındaki uyum geçerlilik	34
Tablo 4.10. MetaMotionRL cihazı ölçüm değeri ile haftalık spor yapma süresi arasındaki ilişki.....	35
Tablo 4.11. MetaMotionRL ölçümündeki kadın ve erkek katılımcılar arasındaki fark	35
Tablo 4.12. Sigara, alkol kullanan ve kullanmayan katılımcıların MetaMotionRL ölçümleri arasındaki fark.....	36
Tablo 4.13. Spor yapan ve yapmayan katılımcıların MetaMotionRL ölçümleri arasındaki fark	36
Tablo 4.14. MetaMotionRL cihazı ile sağ ve sol diz eklemi arasındaki ölçüm farkı.....	37
Tablo 4.15. Spor yaparken diz ağrısı olan ve olmayan katılımcıların ölçüm skoru arasındaki fark	37
Tablo 4.16. Kronik hastalığı olan ve olmayan katılımcılar arasındaki ölçüm farkı.....	37
Tablo 4.17. Düzenli ilaç kullanan ve kullanmayan katılımcılar arasındaki ölçüm farkı.....	38

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 2.1. Meloq EasyAngle dijital gonyometre	19
Şekil 2.2. MetaMotionRL giyilebilir hareket sensörü	20
Şekil 2.3. MetaMotionRL giyilebilir hareket sensörü	21
Şekil 2.4. MetaMotionRL için MetaROM akıllı telefon uygulaması.....	21
Şekil 3.1. Dijital gonyometre (Meloq EasyAngle) ile diz aktif fleksiyon aralığı ölçümü	28
Şekil 3.2. Giyilebilir hareket sensörü (MetaMotionRL) ile diz aktif fleksiyon aralığı ölçümü	29
Şekil 3.3. Dijital gonyometre (Meloq EasyAngle)	30
Şekil 3.4. Giyilebilir hareket sensörleri (MetaMotionRL).....	30

ÖZET

DİZ EKLEM HAREKET AÇIKLIĞI ÖLÇÜMÜNDE GİYİLEBİLİR HAREKET SENSÖRLERİNİN GEÇERLİLİK VE GÜVENİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Eklem hareket açıklığı (EHA), kas-iskelet sisteminin işlevini belirleyen faktörlerden biridir, doğru ve tekrarlanabilir bir yöntemle ölçülebilmeli ve kaydedilebilmelidir. Bu çalışmada; diz eklemde EHA'nın giyilebilir hareket sensörleri ile ölçülmesinin geçerli ve güvenilir bir ölçüm yöntemi olup olmadığını araştırılması amaçlanmaktadır.

Çalışma Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü'nde 15 Aralık 2021 – 15 Nisan 2022 tarihleri arasında, 18-25 yaş arası 70 sağlıklı üniversite öğrencisi ile yapılmıştır. Katılımcıların dominant diz eklemi EHA'ları hem dijital gonyometre (Meloq EasyAngle) hem de giyilebilir hareket sensörleri (MetaMotionRL) ile ayrı ayrı ölçüldü. Diz eklemi aktif fleksiyon açısı önce birinci değerlendirici tarafından; dijital gonyometre (Meloq EasyAngle) ile 3 kez ölçüldü ve en yüksek değer kaydedildi. İki adet giyilebilir hareket sensörü dominant alt ekstremitede tibia ve femur orta noktası hizasında uyluk ve bacak dış kenarına velkrolu bant ile sabitlendi. Birinci değerlendirici tarafından diz eklemi aktif fleksiyon açısı MetamotionRL ile 3 kez ölçüldü ve en yüksek değer kaydedildi. Sensörler çıkarıldı ve 10 dakika içinde tekrar takılarak aynı değerlendirici tarafından ikinci kez aynı yöntemle ölçüldü ve en yüksek değer kaydedildi. Sensörlerin çıkarılmasını takiben katılımcı aynı odada farklı bir muayene masasına alındı ve sensörlerin uygulanması sonrasında protokole uygun olarak ikinci değerlendirici tarafından ölçüm 3 kere gerçekleştirildi ve en yüksek değer kaydedildi. Değerlendirici içi ve değerlendiriciler arası güvenilirlik Sınıf İçi Korelasyon (ICC) testi ile; gonyometre ve giyilebilir hareket sensörü ölçümleri arasındaki uyum (geçerlilik) Spearman korelasyon testi ile değerlendirildi.

Giyilebilir hareket sensörü ile yapılan ölçümlerde değerlendirici içi (ICC $p=0,000$) ve değerlendiriciler arası (ICC $p=0,000$) güvenilirlik yüksek bulunmuştur. Dijital gonyometre ile ölçülen diz aktif fleksiyon açısı ile giyilebilir hareket sensörü ile yapılan ölçüm arasında yüksek korelasyon (Spearman $r_s=0,865$, $p=0,000$) gözlenmiştir.

Bu çalışmada, 18-25 yaş arası sağlıklı erişkinlerde MetaMotionRL marka giyilebilir hareket sensörleri ile yapılan diz aktif fleksiyon eklem hareket açıklığı ölçümünün geçerli ve güvenilir bir yöntem olduğu sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: *Diz Eklem Hareket açıklığı, Giyilebilir Hareket Sensörleri, MetamotionRL.*

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE VALIDITY AND RELIABILITY OF WEARABLE MOTION SENSORS IN KNEE JOINT MOVEMENT MEASUREMENT

Joint range of motion (ROM) is one of the factors that determine the function of the musculoskeletal system. It should be able to be measured and recorded with an accurate and repeatable method. In this study, it is aimed to investigate whether measuring ROM in the knee joint with wearable motion sensors is a valid and reliable measurement method.

The study was conducted with 70 healthy university students between the ages of 18-25 at the Department of Physiotherapy and Rehabilitation of the Faculty of Health Sciences of Haliç University between 15 December 2021 and 15 April 2022. Dominant knee ROM of the participants was measured separately with both digital goniometer (Meloq EasyAngle) and wearable motion sensors (MetaMotionRL). The first evaluator first evaluated knee joint active flexion angle; it was measured 3 times with a digital goniometer (Meloq EasyAngle) and the highest value was recorded. Two wearable motion sensors were fixed with velcro tape on the outer edge of the thigh and leg at the level of the midpoint of the tibia and femur in the dominant lower extremity. Active flexion angle of the knee joint was measured 3 times with MetaMotionRL by the first evaluator and the highest value was recorded. The sensors were removed and reinserted within 10 minutes and measured a second time by the same evaluator with the same method, and the highest value was recorded. Following the removal of the sensors, the participant was taken to a different examination table in the same room, and after the application of the sensors, the second evaluator in accordance with the protocol performed the measurement 3 times and the highest value was recorded. Intra-rater and inter-rater reliability with the Intraclass Correlation (ICC) test; the concordance validity between goniometer and wearable motion sensor measurements was evaluated with the Spearman correlation test.

Intra-rater (ICC $p=0.000$) and inter-rater (ICC $p=0.000$) reliability was found to be high in measurements made with the wearable motion sensor. A high correlation (Spearman $r_s=0.865$, $p=0.000$) was observed between the active flexion angle of the knee measured with a digital goniometer and the measurement with the wearable motion sensor.

In this study, it was concluded that active flexion angle range of motion measurement of the knee joint in healthy adults between 18-25 years of age by using MetaMotionRL brand wearable motion sensors was a valid and reliable method.

Keywords: *Knee Range of Motion, MetaMotionRL, Wearable Motion Sensors.*

1. GİRİŞ

Eklem hareket açıklığı (EHA), bir veya birkaç eklem çevresinde meydana gelen hareket miktarının ölçümüdür (Keleş ve ark., 2016). Eklem hareket açıklığı, kas-iskelet sisteminin işlevini belirleyen faktörlerden biridir. Bu parametre, doğru ve tekrarlanabilir bir yöntemle ölçülebilmeli ve kaydedilebilmelidir (Yaikwawongs et al., 2009).

Fizyoterapi alanında eklem hareket açıklığındaki kısıtlılığın belirlenmesinde bozukluğun anatomik ve fonksiyonel olarak değerlendirilmesi gerekliliğinden dolayı, teşhis konulması ve tedavi sonuçlarının izlenip ortaya konulması açısından eklem hareket açıklığı ölçümleri yapılmaktadır. Klinik ve bilimsel çalışmalarda, basit bir mezura, elektrogonyometre, manuel gonyometre, kinematik verileri de değerlendiren hareket analiz sistemleri ve inklinometre gibi ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır (Gajdosik et al.,1987).

Eklem hareket açıklarını ölçmek için gonyometrelerin kullanılması kas-iskelet sisteminin önemli bir parçasıdır. (Moeller et al., 2014) Gonyometre eklem hareket açıklığını ölçmek için kullanılan değerlendirme yöntemleri arasında altın standart olarak kabul edilir (Kim et al., 2014).

Evrensel gonyometre; ulaşılabilir ve ucuz olması sebebiyle klinikte en çok tercih edilen ölçüm yöntemidir. Fakat değerlendiren kişinin ölçüm esnasında her iki elini de kullanmak zorunda olması eklem stabilitesini zorlaştırdığı için ölçümde hata payını arttırır. Verilerin doğruluğunda ve tekrarlanabilirliğinde sınırlılık içerir (Yaikwawongs et al., 2009).

Eklem hareket açıklığının ölçümünde kullanılan bir diğer yöntem olan elektrogonyometrelerin de dezavantajları vardır. Ölçüm öncesinde kalibrasyon için zaman gerektirir ve manuel gonyometrelere göre daha pahalıdır. Kullanılan diğer eklem hareket açıklığı ölçüm yöntemleri ise; radyografi, fotoğrafik ve sinematografik yöntemler ve video hareket analiz sistemleridir. Fakat kullanım zorlukları, pahalı

olmaları ve ekstra eğitim gerektirmeleri nedeniyle evrensel gonyometrelere göre daha az tercih edilmektedir (Werner et al., 2014).

Elektrogonyometreler iki hareket düzlemi ile sınırlıdır ve açıları ölçen mekanik gerinim ölçer, sensör yerleşiminde fiziksel kısıtlamalar vardır. Üç boyutlu hareket yakalama kameraları, hareket yakalama için altın standarttır fakat bu yöntem; sabit bir laboratuvar, karmaşık yorumlama ve önemli ölçüde hasta zamanı gerektirir ve çok pahalıdır (Fennema et al., 2019).

Son zamanlarda yapılan çalışmalara göre akıllı telefon gonyometre uygulamalarının klinisyenler tarafından kullanılabilir hale gelmiş olduğu ve diğer gonyometrelerin kullanımından daha dikkatli olduğu gösterilmiştir. Akıllı telefon uygulamalarının klinik ölçümler için güvenilir olduğu ve temel olarak eklem hareket açıklığını ve eklem pozisyonunu değerlendirmek için kullanıldığı gösterilmiştir (Moeller et al., 2014).

IOS ve Android sistemlere uyarlanmış olan ölçüm uygulamaları geniş kitlelerin ulaşabileceği düşük bütçeli yöntemlerdir. Fakat bu uygulamalarında diğer yöntemler gibi geçerli ve güvenilir olması gerekmektedir (Milani et al., 2014).

Bir akıllı telefon uygulaması olan Diz Goniometresi Uygulaması (Ockendon (©)) ile altın standart olan evrensel gonyometre kullanılarak, diz eklem hareket açıklığı ölçümü değerlendirilip karşılaştırıldığında, Ockendon uygulamasının eş zamanlı geçerli bir yöntem olduğu bulunmuştur (Jansen et al., 2015).

Alt ekstremitenin ana eklemi olan diz eklemi yük taşıyan bir eklem olduğu için sıklıkla yaralanır ve dejenere olur. Diz eklemine eklem hareket açıklığı takibi tedavi öncesi ve sonrası sonucu belirleyen ana faktörlerden biridir. İdeal ölçüm cihazı; doğru güvenilir ve tekrarlanabilir veriler vermelidir. Hastaya uygulanması kolay ve pratik olmalıdır (Yaikwawang., 2009).

Diz eklem hareket açıklığının ölçülmesinde son dönemlerde giyilebilir özel sensörler de kullanılmaktadır. (Collins et al., 2014) Giyilebilir sensörler film animasyonu, video oyunu geliştirme, hareket yakalama ve tıbbi enstrümantasyon gibi birçok endüstride kullanılmaktadır. Giyilebilir sistemler küçük boyutlu olabilir ve hastaların çevrelerini kısıtlamadan cerrahi sonuçları değerlendirmek ve hareket

bozukluklarını tespit etmek için uygun bir enstrümantasyon yöntemi sağlar. Çeşitli giyilebilir sensör tipleri mevcuttur ve iki ana kategoriye ayrılabilir: esnek malzemeler ve atalet ölçüm birimleri (Bloomfield et al., 2019).

Atalet sensörleri olarak da bilinen atalet ölçüm birimleri (IMU), lineer ivmeyi, açısal hızı ve manyetik alan ve vektörünü kendi 3 boyutlu yerel koordinat sistemlerinde ölçmek için çoklu 3 eksenli (genellikle ivme ölçerler, jiroskoplar ve manyetometreler) içerir (Faisal, 2020). Atalet ölçüm birimleri (IMU'lar giyilebilir hareket sensörleri (MetaROM)), özellikle geleneksel altın standart hareket analiz sistemlerine (video tabanlı optik hareket yakalama ekipmanı) taşınabilir ve uygun maliyetli bir alternatif olarak kabul edilmektedir ve piyasaya sürülme potansiyeline sahiptir (Beange et al., 2019). Önceki çalışmalar, Mbiolab MetaMotionR IMU'larının (Mbiolab Inc., San Francisco, ABD) Vicon'a (Vicon Motion Sys tems Ltd., Oxford, İngiltere) göre kontrollü bir robotik platformda tekrarlayan, düzlemsel sinüzoidal hareketi izlemede iyi performans gösterdiğini göstermiştir (Beange et al., 2019).

Bu çalışmada kullanılacak olan MetaMotionRL sensörü, bluetooth aracılığıyla telefona bağlanıp, verileri MetaROM akıllı telefon uygulaması üzerinden göstermektedir. MetamotionRL; jiroskop, ivmeölçer, manyetometre ve sensör füzyonu içerir. Ağırlığı; 5.91 ml olup ultra hafiftir. Boyutları; 27 mm x 27 mm x 4 mm kutuda, şarj süresi 2 saat, sıçramaya dayanıklı, programlanabilir ve veri transferi Bluetooth düşük enerji 4.0 smart gibi teknik özelliklere sahiptir (URL-1).

Vücut hareketi ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi, günümüzde güncel konular olan teletıp ve uzaktan tıbbi hizmetlerin sağlanmasında esastır. Hareket algılamayı sağlayan çeşitli hareket sensörleri vardır. Bu tip sensörlerin dezavantajları; sabit kamera kullanımı ve oklüzyon nedeniyle sınırlı hareket özgürlüğüdür. MetamotionR; bir dış iskelet kullanarak hareket takibi sunar. Diğer hareket algılama teknolojileriyle karşılaştırıldığında, dış iskeleti önemli ölçüde daha ağırdır ve görsel biçimini gizlemek daha zordur. Sonuç olarak, dış iskeletlerin kullanımı rahat değildir (Ancans et al., 2021).

Giyilebilir sensörler, diz eklemi patolojilerinin karakteristik işlevselliği hakkında önemli bilgiler sağlamak için diz eklemi araştırmalarında kolaylıkla

uygulanabilir ve anında klinisyen etkileşimi ile veri yorumlama potansiyeline sahiptir. Giyilebilir sensörler kullanımda daha yaygın hale gelmekte ve eklem artroplastisinden önce ve sonra hasta fonksiyonunu ölçmek için potansiyel olarak basit ve düşük maliyetli bir araç sunmaktadır. Ameliyat öncesi diz artroplastisi hastalarında, eklem hareket açıklığının ameliyat sonrası eklem hareket açıklığını ölçtüğü gösterilmiştir ve hastanın iyileşmesini değerlendirmek için bir araç olarak kullanılabilir (Fennema et al, 2019).

Literatürde (MetaMotionRL) giyilebilir hareket sensörlerinin diz eklem hareket açıklığı ölçümünde 2 IMU'dan (Inertial Measurement Units) toplanan ivmeölçer ve jiroskop verilerinin kullanıldığı makaleler olmakla birlikte (Faisal, 2020), ölçüm geçerliliği ve güvenilirliğini bildiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı; diz eklem hareket açıklığının giyilebilir hareket sensörleri ile ölçülmesinin geçerli ve güvenilir bir ölçüm yöntemi olup olmadığının araştırılmasıdır.

Çalışmamızın hipotezleri şu şekildedir;

1. Diz eklem hareket açıklığının (MetaMotionRL) giyilebilir hareket sensörleri ile ölçülmesi geçerli bir yöntemdir.
2. Diz eklem hareket açıklığının (MetaMotionRL) giyilebilir hareket sensörleri ile ölçülmesi güvenilir bir yöntemdir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Diz Eklemi Anatomisi

Diz eklemi; bikondiler tipte olup vücudun en büyük ve en karmaşık eklemidir. Vücuttaki ağırlığı taşıması ve yüksek dozda kuvvetlerin etkisi altında kalmasından dolayı en sık yaralanan eklemlerden biridir. Diz eklemi; femur alt ucu, tibia üst ucu ve patelladan oluşur. Kapsülü gevşek, ince ve zayıftır. Stabilite; kas, tendon, kapsül ve bağlar tarafından sağlanır.

Diz eklemi; patellafemoral, medial tibiofemoral ve lateral tibiofemoral olmak üzere 3 eklemden oluşur.

2.2. Diz Eklemine Oluşturan Kemikler

Femur: Vücudumuzdaki en kalın, en uzun ve en dayanıklı kemiktir. Vücut boyunun 4'te 1'i kadar uzunluğa sahiptir. Yürüme, koşma, zıplama ve atlama sonucu kendine ulaşan güçten daha çok basınca dayanabilir. Femur; üst uç, alt uç ve gövde olmak üzere 3 bölümde incelenir. Femurun üst ucu; Femur başı; coxa kemiğindeki acetabulum ile eklem yapar. Femur başı, femur gövdesine collum ossis femoris ile bağlanır. Collum femoris ile corpus femoris arasındaki inklinasyon açısı 125-130 derecedir. Femur başının dış tarafındaki büyük çıkıntıya; trochanter majör, iç taraftaki çıkıntıya trochanter minördür. Femurun alt ucu; üst uca oranla daha kalın ve geniştir. 2'ye ayrılmış condylus lateralis ve condylus medialis'ten oluşur. Kondillerin anteroinferior eklem yüzeyleri, tibia üst ucu ve patella ile eklem yapar. (Yıldırım, 2014)

Tibia: Üst ucu kalın olup, bacağın iç yanında yer alan tibia, tubuler yapıda bir kemiktir. Vücut ağırlığını taşımaya destek olan tibia, bu ağırlığı ayak bileği eklemi yardımı ile femur kemiği üzerinden talusa aktarır. Tibia; üst, alt iki uç ve gövdeden oluşur. Üst ucu oldukça kalın olan tibia; femurun ucu ile eklem yapan Condylus lateralis ve Condylus medialis adında 2 kondilden oluşur (Yıldırım, 2014).

Condylus medialis; medial menisküsle uyumlu olup yapısı derin, oval ve konkavdır.

Condylus lateralis; hafif konveks ve yuvarlak yapıda olup femoral kondille uyum göstermemektedir (Kuzuoğlu, 2011).

Patella: Yassı ve trianguler yapıda olup, vücudumuzdaki en büyük sesamoid kemiktir. Diz eklemının önünde olup Quadriceps femoris kasının tendonu içinde yer alır. (Mehmet kitap) Dışardan gelebilecek darbelere karşı dizi korur ve tendonun eklemden ayrılmasını sağlayarak diz eklemindeki sürtünmeyi engeller (Kuzuoğlu, 2011).

2.3. Dizdeki Eklemler

2.3.1. Patellafemoral Eklem

Patellanın eklem yüzeyi ve femurun alt ucunda bulunan patellar yüzey arasında bulunur. Kıkırdak lezyonları bu eklemde sık görülmekle birlikte, ön diz ağrısının en önemli nedenlerinden biridir. Dizin fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerinin gerçekleşebilmesi için, femur ve patellanın anatomik özellikleri ile birbirleriyle uyumu çok önemlidir. Patella ve femur arasındaki uyumun bozulması, patellafemoral eklemdeki düzensiz yük dağılımı nedeniyle kıkırdak lezyonları oluşabilir (Esmer ve ark., 2011).

2.3.2. Tibiofemoral Eklem

Vücudun en güçlü ve en uzun kemiği olan femurun konveks kondilleri ve vücuttaki en uzun ikinci kemik olan tibianın hafif açıda konkav olan eklem yüzeyleri arasında yer alır (Ünver, 2012).

2.4. Diz Eklem Kıkırdağı

Dizdeki kıkırdak; sürtünmeyi azaltan, yük dağılımını verimli bir şekilde sağlayan özelleşmiş bir anatomik yapıdır. Bu özel yapı, kıkırdak dokusunun etkili aktivasyonu için gerekli olan mekanik ve viskoelastik özellikleri sağlar. Diz eklemi; hyalin kıkırdaktan oluşup, yapısında %70'ten daha fazla miktarda su bulunan hyalin kıkırdağın temel hücreleri ise kondrositlerdir.

2.5. Diz Eklem Kapsülü

Eklem kapsülü patellayı zarf gibi sarar. Önde, femurun üzerine yapışarak başlar ve tibianın kıkırdağının 0,5cm. distalinde sonlanır. Arkada kapsül; kıkırdak kenarına yakın bir noktaya yapışır. Yanlarda bulunan dış ve iç epikondiller eklem kapsülünün dışında bulunurlar. Eklem kapsülü fibröz bir dokuda olup; bazı bağ ve tendonların yapılarına katılarak daha da güçlenmiştir. Kapsülün her tarafına çevreden gelen lifler eşit olarak dağılmadığı için; kapsülün her tarafı aynı miktarda sağlamlıkta ve kalınlıkta değildir (Yazıcıoğlu ve Erbahçeci, 2020).

2.6. Eklem İçi Yapılar

2.6.1. Menisküsler

Diz eklemine lateral ve medial kısımlarında yer alan, diz eklem yüzeylerinin birbirine uyumunu sağlayan, semisirküler şekilli fibrokartilaj dokulardır. Menisküsler; pasif eklem stabilitesinde, kayganlaştırmada, yük aktarımında, eklemde temas yüzeyinin arttırılmasında, denge de ve diz eklem hareketlerinden; fleksiyon ve ekstansiyonun sınırlandırılmasında rol alırlar. Ön çapraz bağın yetersiz kaldığı durumlarda; ön arka plan stabilitesine yardımcı olurlar. Medial menisküs ve lateral menisküs birbirine önde transversum genus ligamenti ile, periferde ise koroner ligamentlerle bağlanırlar (Bamaç, 2016).

Medial Menisküs: Yarım daire şeklinde, daha geniş ve iç kollateral bağa yapışık bulunur. Yaklaşık 35 mm çapındadır. Medial menisküsün ön ve arka boynuz giriş yerleri lateral menisküsten daha büyük olup, arka boynuzları da ön boynuzlarından büyüktür. Medial menisküs, lateral menisküse göre daha az hareketli olup daha sık hasarlanır (Fox et al., 2012).

Lateral Menisküs: Daha küçük ve dairesel şekildedir. Medial menisküse göre daha hareketlidir. Her 2 boynuzu da tibiaya yapışiktir (Fox et al., 2012). Popliteus kasının tendonunun küçük bir parçası lateral menisküse yapışır (Bamaç, 2016).

2.6.2. Bursalar

2.6.2.1 Eklem Ön Tarafında Bulunan Bursalar

Bursa suprapatellaris: Distal femurun ön yüzeyi ile kuadriceps kasının alt ucu ve tendonu arasında yer alır.

Bursa subcutaneous infrapatellaris: Tibiannın tuberositası ile deri arasında yer alır.

Bursa infrapatellaris profundus: Patellar ligaman ile tibia arasında yer alır.

Bursa subcutaneous prepatellaris: Deri ile patella arasında yer alır. Diz ekleminde en çok enflamasyonu görülen bursadır.

2.6.2.2. Eklem Dış Tarafında Bulunan Bursalar

Bursa subtendinea musculi gastrocnemii lateralis: Gastrocnemius kasının lateral başı ile eklem kapsülü arasında yer alır.

Subpopliteal bursa: Femur lateral kondili ile popliteus kasının tendonu arasında yer alır.

Bursa subtendinous m.biceps femoris: biceps femoris kasının tendonu ve fibular kollateral ligament arasında yer alır.

2.6.2.3. Eklem İç Tarafında Bulunan Bursalar

Bursa subtendinea musculi gastrocnemii medialis: Gastrocnemius kasının medial baş kısmı ile eklem kapsülü arasında yer alır.

Bursa anserina: Tibial kollateral ligament ile gracilis, sartorius ve semitendinosus kaslarının birleşik tendonları arasında yer alır

Bursa musculi semimembranosi: Medial kollateral ligament ile semimembranosus kasının tendonu arasında yer alır (Bamaç, 2016).

2.7. Dizdeki Ligamentler

2.7.1. Diz eklemine dış ligamentleri

Patellar ligaman: Kuadriceps femoris kasının tendon uzantısıdır. Yaklaşık 6-8 cm uzunluğundadır. Üst ucunda patellaya, alt ucunda ise tibiannın tuberositasına tutunur. Diz eklemine stabilitesinin sağlanmasına yardımcı olur (Bamaç, 2016 ve Yıldırım, 2014).

Medial kollateral ligament: Dizin medialinde bulunan en güçlü yapıdır. Diz ekleminin medial ve hafif posteriorda yer alan geniş, düz, membranöz bir banttır. Derin ve yüzeysel liflerden oluşur. Dizi valgus stresine karşı korur.

Lateral kollateral ligament: Femurun lateral kondili ve fibula başı arasında yer alan bu bağ; dizi varus stresine karşı korur ve stabilitesini sağlar (Yakıt, 2015 ve Bamaç, 2016).

Popliteum obliquum ligamenti: Dizin arka bölümünde yer alan bu ligament dizin hiperekstansiyonunu sınırlar.

Popliteum arcuatum ligament: Dizin arkasında Y şeklinde yer alan bu ligament; dizin internal rotasyonunu kontrol eder.

2.7.2. Diz ekleminin iç ligamentleri:

Anterior cruciate ligament (ön çapraz bağ): Femurun lateral kondilinden, tibianın medialine doğru diz eklemini çaprazlayarak uzanır. Yaklaşık olarak uzunluğu 33 mm, genişliği 11mm dir. Ön çapraz bağ; anteromedial ve posterolateral demet olmak üzere 2 demetten oluşur. Anteromedial demet: Ön ve arka translasyonu engeller. Posterolateral demet: Rotasyonel stabiliteyi sağlar.

Posterior cruciate ligament (arka çapraz bağ): Ön çapraz bağa göre daha dayanıklı ve uzun bir ligamenttir. Femurun medial kondili ile tibianın posterior kondiline yapışır. Yaklaşık olarak uzunluğu; 38 mm ve genişliği; 13 mm dir. Posterior cruciate ligament; anterolateral bant ve posteromedial bant olmak üzere 2 banttandır. Arka çapraz bağın en önemli görevi: diz fleksiyon açısının tüm derecelerinde tibianın posterior translasyonunu önlemektir.

2.8. Kaslar

M.Quadriceps Femoris: Diz eklemine ekstansiyon yaptıran 4 başlı büyük bir kastır. M.Vastus Lateralis, M.Vastus Medialis, M.Vastus Intermedius ve M.Rectus Femoristen oluşur.

M.Vastus Lateralis: Femurun trokanter majörü, proximal linea aspera ve gluteal tuberositadan başlayarak tuberositas tibiaya yapışır. Femoral sinir, L2-L4 innerve eder.

M.Vastus Medialis: Distal femur linea asperanın iç kenarı ve intertrokanterik çizgisinden tuberositas tibiaya yapışır. Femoral sinir, L2-L4 innerve eder.

M.Vastus Intermedius: Femur shaftının ön yüzünün 3'te 2 proksimalinden başlayarak tuberositas tibiaya yapışır. Femoral sinir, L2-L4 innerve eder.

M.Rectus Femoris: Spina iliaca anterior superiorından başlayarak tuberositas tibiaya yapışır. Femoral sinir, L2-L4 innerve eder.

M. Hamstring: Diz eklemine fleksiyon yaptırır. M.Semimembranosus, M.Semitendinosus ve M.Biceps Femoristen oluşur.

M.Semimembranosus: İskial tuberositastan başlayarak, tibiyanın condylus medialisinin posteromedial parçasına yapışır. Siyatik sinirin tibial dalı, L5-S2 innerve eder.

M.Semitendinosus: İskial tuberositastan başlayarak, tibiyanın condylus medialisinde sonlanır. Siyatik sinirin tibial dalı, L5-S2 innerve eder.

M.Biceps Femoris: Uzun başı: İskial tuberositas, kısa başı: Linea asperanın lateral dudağına yapışır ve fibula başında, tibiyanın lateral kondilinde sonlanır. Uzun başını; N.tibialis, kısa başını ise N. peroneus communis innerve eder.

İç Rotatorler: M. Popliteus, M. Semitendinosus, M.Semimembranosus, M.Sartorius ve M.Gracilistir.

M. Popliteus: Femurun lateral femoral kondilden başlayarak, tibiyanın proksimal arka yüzeyine yapışır. N. tibialis tarafından innerve edilir.

M. Sartorius: Anterior superior iliaca spinadan başlayarak, tibiyanın medial shaftına yapışır. N. femoralis tarafından innerve edilir.

M. Gracilis: Inferior ramus pubisten başlayarak tuberositas tibia ve medial kondile yapışır. N. obturatorius tarafından innerve edilir.

Dış Rotatorler: M. Biceps Femoris ve M.Tensor Fascia Latadır.

M.Tensor Fascia Latae: Spina iliaca anterior superiorından başlayarak, tibiyanın lateral kondiline yapışır. N. gluteus superior tarafından innerve edilir (Cael, 2010).

2.9. Diz Eklemine Sinirleri

Diz eklemi; femoral, peroneal, obturator ve tibial sinirler tarafından innerve edilir. Siyatik sinirin dalı olan; tibialis fossa poplitea siniri, gastrocnemius kasının baş kısmında en derine yerleşmiş olarak bulunur. Tibialis fossa poplitea siniri dışı doğru, medial cutaneus surae sinir dalını verir. Medial cutaneus surae da nervus fibularis communis ile birleşerek suralis sinirini oluşturur. Ramus infrapatellaris, saphenus sinirden ayrılarak dizin önünde bulunan deriden duyu alır. Saphenus sinir, gracilis ve sartorius kaslarının derinlerinde yüzeyelleşir. Derinleşen bu dal ise, anteromedial cilt duyusunu ve patellar tendonu innerve eder (Elek, 2020).

2.10. Diz Eklemi Proprioseptif Duyu

Eklemde bulunan bağlar ve kapsüller; küçük sinir yolları içerdiklerinden dolayı nöromusküler işlevleri de vardır. Eklem yapılarında yer alan bu reseptörlere; proprioseptör adı verilip 4 tipi bulunmaktadır. Tip I. Ruffini cisimcikleri: Gerilmeye karşı duyarlı olup, eklem kapsülünde ve yüzeyel tabakalarda yer alır.

Tip II. Vater Pacini cisimcikleri: Eklem hareketinin hızlanmasına ya da yavaşlamasına neden olur. Eklem kapsülünün tamamında ve damarların çevrelerinde bulunur.

Tip III. Golgi cisimcikleri: Ligamentlerde yer alır.

Tip IV. Serbest sinir uçları: Ağrı duyusunu oluşturan bu sinir uçları; Hoffa yağ yastığında, perivasküler dokuda ve ligamentlerde bulunur (Yazıcıoğlu ve Erbahçeci, 2020).

2.11. Diz Eklemine Stabilizasyonu

Diz eklemi; oturma, ayakta durma gibi statik aktivitelerde, koşma, yürüme, zıplama ve merdiven inip çıkma gibi dinamik aktiviteleri yerine getirirken stabilizasyonunu bozmadan gerçekleştirmek zorundadır. Diz eklemine gerçekleştirilen tüm hareketler; diz eklemine oluşturan kemikler, diz eklemine iç ve dış bağları, lateral ve medial menisküsler, kaslar ve sinirler gibi birçok yapının bir arada hareket etmesi ve uyumu ile kontrol edilir. Bu yapılardan herhangi biri zarar gördüğünde diz eklemi hareketi bozulur.

2.11.1. Dinamik Stabilite

Quadriceps femoris, hamstringler, gastrocnemius, tensor fascia lata, gracilis, popliteus ve sartorius kasları; diz eklemindeki bağlarla beraber çalışarak dizin dinamik stabilizasyonlarını sağlarlar.

2.11.2. Statik Stabilite

Lateral ve medial menisküs, medial kollateral ligament, lateral kollateral ligament, eklem kapsülü, ön ve arka çapraz bağlar, posterior oblik ligament ve ön ve arka meniskofemoral bağlar tarafından dizin statik stabilitesi sağlanır (Bamaç, 2016).

2.12. Diz Eklemine Biyomekaniği ve Hareketleri

Diz ekleminde meydana gelen hareketler; fleksiyon ve ekstansiyon, internal ve eksternal rotasyon, anterior ve posterior translasyon, proximal ve distal translasyon, medial ve lateral translasyon, varus ve valgus açılanmasıdır.

Diz eklemine fleksiyon ve ekstansiyon hareketinin gerçekleştiği düzlem; sagittal düzlemdir. Fleksiyon ve ekstansiyon hareketi sabit bir dönme merkezi etrafında olmadığı için değişkenlik gösterir. Fleksiyon ve ekstansiyon hareketinin her aşamasında bu değişken dönme merkezi birleştiğinde J şeklinde bir eğri ortaya çıkar. Bu duruma ‘instant center’ anlık hareket merkezi denir. Bu anlık hareket merkezi sayesinde, dize aktarılan yük her zaman diktir ve bu sayede bağlar aşırı yük altında kalmamış olur. Diz aktif fleksiyonu 140 derece, pasif diz fleksiyonu 160 derecedir. Kalça fleksiyonda iken diz fleksiyonu 140 derece, kalça ekstansiyonda iken diz fleksiyonu 120 derecedir. Diz eklemine ekstansiyonu; 5-10 derece hiperekstansiyon şeklindedir.

Transvers düzlem; diz eklemine eksternal ve internal rotasyon hareketlerinin gerçekleştiği düzlemdir. Rotasyon diz ekleminde iki şekilde gerçekleşebilir. İlki, fleksiyon hareketinin başlangıcında ya da ekstansiyon hareketinin sonunda gerçekleşen zorunlu rotasyon hareketidir. İkincisi ise en az 30 derece diz fleksiyonu yapmış ekleminde gerçekleşen rotasyondur. Diz ekleminde oluşan rotasyonel hareket ortalama 15-20 derecedir (Yazıcıoğlu ve Erbahçeci, 2020).

2.13. Dizin “Screw-Home” Mekanizması

Ekstansiyon hareketinin son aşamasında, hafif hiperekstansiyon oluşur ve kollateral bağlar ve çapraz bağlarla stabilize edilir. Lateral femoral kondilin, medial femoral kondilden daha küçük olması nedeniyle, tam ekstansiyonda kilitleyebilmek için; ekstansiyonunun son 20 derecelik açısında femur 15 derecelik bir dış rotasyon yapar. Bu mekanizmaya vida-yuva (screw-home) mekanizması denir (Bamaç, 2016).

2.14. Eklem Hareket Açıklığı ve Değerlendirmesi

Eklem hareket açıklığı, bir veya birkaç eklem çevresinde meydana gelen hareket miktarının ölçümüdür (Keleş ve ark., 2016). Birinci Dünya savaşından sonra, yaralanan askerlerin sakatlık derecelerine karar verebilmek için ya da emekli olması gerekenleri ayırt edebilmek için bir değerlendirme yöntemine gerek duyulmuş ve hatasız bir şekilde ölçüm yapabilmek için o zamanlardan günümüze kadar çok çeşitli ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir (Otman ve Köse, 2014).

Eklem hareket açıklığı, kas-iskelet sisteminin işlevini belirleyen faktörlerden biridir. Bu parametre, doğru ve tekrarlanabilir bir yöntemle ölçülebilmeli ve kaydedilebilmelidir (Yaikwawongs et al., 2009). Araştırmalar, insan aktivitelerini tanıma ve eklem hareket açıklığı ölçümü içeren insan aktivitelerinin takibinin; hastalara sağlanan sağlık hizmetinin kalitesini etkili bir şekilde arttırdığını göstermiştir (Nwaizu et al., 2016).

Fizyoterapi alanında eklem hareket açıklığındaki kısıtlılığın belirlenmesinde bozukluğun anatomik ve fonksiyonel olarak değerlendirilmesi gerekliliğinden dolayı, teşhis konulması ve tedavi sonuçlarının izlenip ortaya konulması açısından eklem hareket açıklığı ölçümleri yapılmaktadır (Gajdosik and Bohannon et al., 1987). Gonyometrik ölçüm, eklem hareket açıklığının değerlendirilmesinde kullanılan objektif bir yöntemdir. Gonyometre, basit, kullanımı ve taşınması kolay, her eklem için hareket açıklığını ölçmek için kullanılabilen güvenilir yöntemdir. Universal, gravite, klinik ve elektrogonyometre gibi birçok çeşitleri vardır (Otman ve Köse, 2014).

Gonyometre ile ölçüm dezavantajı olarak; hastalar üzerinde konumlandırma zorluğu, verilerin doğruluğunda ve tekrarlanabilirliğinde bir sınırlama içerir. İdeal ölçüm cihazı; doğru ve tekrarlanabilir veriler vermelidir (Yaikwawongs et al., 2009).

Eklem hareket açıklığı; aktif ya da pasif olarak ölçülüp değerlendirilir. Gonyometrik ölçümlerin güvenilirliğini; ölçüm yapan kişinin ölçümü aktif ya da pasif yapıyor olması, fiziksel, psikolojik ve sosyal durumları etkiler. Eklem hareket açıklığı ölçümü için başvurulan en çok kullanılan kaynak; Amerikan Ortopedik Cerrahlar Akademisi El kitabıdır (Macedo et al., 2008).

2.15. Eklem Hareket Açıklığı Değerlendirmesinin Fizyoterapistler için Önemi

Eklem hareket açıklığı ölçümleri, bir fizyoterapistin günlük çalışmasının bir parçasıdır. EHA, eklem hareketindeki sınırlamaları keşfetmek ve hastanın bir müdahale veya rehabilitasyon programında kaydettiği ilerlemeyi değerlendirmek için ölçülür. Günlük yaşam aktiviteleri ve egzersizler EHA'nın sınırlı olduğu durumlarda yapılması karmaşık olabilir ve günlük yaşamdaki taleplere bağlı olarak diz eklemi farklı EHA gerektirir. Fizyoterapistlerin hedefleri, bir yaralanma sonrası hastaların tam EHA, hareketlilik, güç ve işlevi yeniden kazanmalarına yardımcı olmaktır. Bu nedenle, fizyoterapistlerin çalışmalarını mümkün olduğunca kesin kılmak için ölçümlerin güvenilirlik ve geçerlilik açısından kesin olması büyük önem taşımaktadır (Svensson et al., 2019).

Tablo 2.1. Diz Eklemi Normal Eklem Hareket Açıklığı Ortalama Değerleri (Derece)

Hareket	KENDALL McCREARY	AAOS	HOPPENFELD	AMA	KAPANDJİ
Aktif Fleksiyon	140	135	135	150	160
Aktif Ekstansiyon	-	10	-	-	-

Eklem hareket açıklığı ölçümü için en sık başvurulan kaynak; Amerikan Ortopedik Cerrahlar Akademisi el kitabıdır (Macedo et al., 2008). Sağlıklı bir diz; 0-140 derece arası pasif fleksiyon ve ekstansiyon hareketi, 0-120 derece arası ise aktif fleksiyon ve ekstansiyon hareketi yapabilir (Özer ve Şenol, 2016).

2.17. Eklem Hareket Açıklığı Ölçüm Yöntemleri

Evrensel gonyometre eklem hareket açıklığını ölçmek için en yaygın kullanılan araçtır (Gajdosik and Bohannon, 1987). Gonyometre eklem hareket açıklığını ölçmek için kullanılan değerlendirme yöntemleri arasında altın standart olarak kabul edilir (Kim et al.,2014). Evrensel gonyometrenin avantajı; düşük maliyetli olması, dezavantajı ise ölçümleri yapabilmek için her iki elin de kullanılıyor olmasıdır (Gajdosik and Bohannon, 1987). Klinik ve bilimsel çalışmalarda, basit bir mezura, elektrogonyometre, manuel gonyometre, kinematik verileri de değerlendiren hareket analiz sistemleri gibi ölçüm yöntemleri de kullanılmaktadır (Gajdosik and Bohannon, 1987).

Son zamanlarda yapılan çalışmalara göre akıllı telefon gonyometre uygulamalarının klinisyenler tarafından kullanılabilir hale gelmiş olduğu ve diğer gonyometrelerin kullanımından daha dikkatli olduğu gösterilmiştir. Akıllı telefon uygulamalarının klinik ölçümler için güvenilir olduğu ve temel olarak eklem hareket açıklığını ve eklem pozisyonunu değerlendirmek için kullanıldığı gösterilmiştir (Moeller et al., 2014).

Klinometre kamera kullanarak eğim açılarını değerlendirmek için kullanılan bir araçtır. Yapılan bir çalışmada, diz eklem hareket açıklığının değerlendirilmesinde kullanılan dijital klinometrenin; geçerli ve güvenilir bir yöntem olduğu gösterilmiştir (Mohammad et al., 2021).

Mevcut diz fleksiyon ve ekstansiyon açısı ölçüm yöntemleri optik, ultrasonik, manyetik veya atalet izlemeye dayalıdır. Optik sistemler, maliyeti ve karmaşıklığı nedeniyle rutin uygulamalar için genellikle yasak olan vücut bölümleri üzerindeki belirli anatomik bölgelere yerleştirilmiş işaretleri izlemek için bir veya daha fazla kamera kullanır. Ek olarak, aydınlatma, dağınıklık ve gölgedeki değişikliklere karşı hassastırlar. Son yıllarda, mikro-elektromekanik sistemlerdeki (MEMS) gelişmeler, birçok araştırma grubunu bir laboratuvarın içinde ve dışında insan hareketini izlemek için giyilebilir atalet ve manyetik sensörleri kullanmaya yöneltmiştir. Bu giyilebilir sensörlerin (ivme ölçerler, açı ölçerler, jiroskoplar) avantajları arasında küçük boyutlu olmaları, doğal harekete çok az engel olmaları ve uzun süreli izleme yeteneklerinin olması yer alır (Qi et al., 2013).

Impulse-Radio Ultra-wideband (IR-UWB), yüksek zamansal çözünürlüğü, düşük güç tüketimi nedeniyle insan eklem açılarını sürekli olarak tahmin etmek için giyilebilir sağlık sistemi için umut verici bir tekniktir. Özellikle giyilebilir UWB telsizleri çok uygundur. Özellikle kapalı alanlarda yüksek menzil ve konumlandırma doğruluğu sağlayabildiklerinden, doktorların motor bozukluğun derecesini izlemesi ve hastaların tedaviye yanıtını incelemesi için kullanılır (Qui et al., 2013).

Ölçüm yöntemlerinin daha hızlı, daha doğru ve daha uygun hale getirilmesi amacıyla dijital açı ölçer geliştirme konusunda çok çaba sarf edilmektedir. Akıllı telefon uygulamaları giderek daha popüler hale gelmektedir. Akıllı telefon donanım bileşenlerindeki gelişmeler nedeniyle, şu anda telefonların çoğu, EHA ölçümünü gerçekleştirebilen atalet ölçüm birimleri (IMU) ile donatılmaktadır. Akıllı telefonların genel kullanılabilirliği göz önüne alındığında, herhangi bir yerde veya zamanda EHA ölçümleri, özel aletler ve gonyometreler gerektirmeden ölçüm yapmak mümkündür. Geleneksel cihazlarla yapılan ölçümler ile mobil uygulama arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bazı EHA ölçümleri için verimli ve kullanımı kolay olduğu ve geleneksel gonyometrelere göre daha iyi bir alternatif olarak kabul edilebileceği gösterilmiştir (Nijirjak et al., 2020).

Dijital görüntüleme yöntemi kullanılarak diz eklem hareket açıklığının ölçülmesinin güvenilir ve tekrarlanabilir bir yöntem olduğu gösterilmiştir (Bennett et al., 2008). Diz eklem hareket açıklığı ölçmek için dijital pusula açı ölçer tasarlanmıştır ve evrensel gonyometre ile karşılaştırıldığında; geçerli ve güvenilir bir yöntem olduğu gösterilmiştir (Yaikwawongs et al., 2009).

Optik bir 3D hareket analiz sistemi ve elektronik açı ölçerler araştırma çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerin rehabilitasyonda kullanım açısından bazı eksiklikleri vardır. Çoğu sistem laboratuvar kullanımı için uygundur, kurulum süreci gerektirir ve pahalıdır (Watanabe and Saito, 2011).

Microsoft, video görüntüsüne dayalı insan hareket bilgilerini analiz edebilmek için Kinect derinlik somatosensör kamerasını geliştirmiştir. Kinect ile; eklem noktalarının 3 boyutlu derinlik verileri, duruş tespiti, kemik takibi ve eklem hareket açıklığı ölçümü gibi çeşitli alanlarda kullanılabilirliği gösterilmiştir (Gao et al., 2021).

Rosique et al., 2021 yılında yaptıkları çalışma; insan hareketlerini, 2D olarak tahmin etmeye dayalı, eklem hareket açıklığını ölçmek için alternatif bir sistem olan ROMCam'i tanıtmaktadır (Rosique et al., 2021). Bunun için yapay görme kitaplıklarından ve RGB web kamerası tipi kameradan yararlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ROMCam'in telerehabilitasyon tedavilerinde ve eklem hareket açıklığı ölçümlerinde kaynak olarak bile kullanılabilir düşük maliyetli, erişilebilir bir araç olarak kullanımının geçerliliğini desteklediğini bulmuştur.

Giyilebilir sensörler şu anda film animasyonu, video oyunu geliştirme, hareket yakalama ve tıbbi enstrümantasyon dahil olmak üzere birçok endüstride kullanılmaktadır. Giyilebilir sistemler küçük boyutlu olabilir ve hastaların çevrelerini kısıtlamadan cerrahi sonuçları değerlendirmek ve hareket bozukluklarını saptamak için uygun bir enstrümantasyon yöntemi sağlar. Çeşitli giyilebilir sensör tipleri mevcuttur ve esnek malzemeler ve atalet birimleri olmak üzere 2 kategoriye ayrılır. Esnek malzemeler: Hastalar sıkı oturan kumaş giyebiliyorsa, esnek algılama malzemeleri eklem açılarını elde etmek için mükemmel bir seçenek sunar. Çoklu boyutlarda eklem açılarını doğru bir şekilde ölçmek için vücut eklemlerinin etrafına çoklu algılama lifleri yerleştirilebilir. Bir atalet ölçüm birimi (IMU), bir jiroskop ve bir ivme ölçerden oluşan bir mikro-elektromekanik sistemdir (MEMS). Modern IMU'ların çoğu, üç boyutlu çalışmaya izin veren üç eksenli bileşenler içerir. Sensör füzyon algoritmaları ham jiroskop alır ve ivme ölçer kalibre edilmiş bir koordinat sistemine göre bir oryantasyon tahmini okumaları ve çıktılarını içerir. Genellikle, bu cihazların ham değerleri, özel algoritmaları uygulamak veya bir gövde segmentine bağlı ortak kural gibi tanımlanmış bir yerel koordinat çerçevesi ayarlamak için bağımsız olarak sorgulanabilir. Genel olarak, IMU'lar, gerçek bir yerçekimi okumasının elde edilmesine izin verecek şekilde dinlenmeye geri dönmezlerse, uzun süreli kullanımda kayma üretirler (Bloomfield et al., 2019).

Son yıllarda ivme ölçer ve jiroskop gibi giyilebilir sensörler insan hareketinin ölçümünde ve yürüyüş analizinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu atalet sensörleri; düşük maliyet, küçük boyutlu ve sağlam olması, kurulum kolaylığı ve yürüyüş parametrelerinin tahminini sağlayan bir dizi verimli algoritma özelliklerine sahiptir. Bu nedenle klinik uygulama için uygundur. Ayak segmentlerine yerleştirilen atalet sensörleri, yürüyüş parametresi tahmini için kullanılabilir. Bacak bölümlerine sensörler eklenerek eklem açıları gibi daha fazla bilgi elde edilebilir.

Atalet sensörleri, entegrasyon gibi sayısal işlemde sonra biriken sürüklenme ile sonuçlanan ofsetleriyle bilindiğinden, bu sorunu en aza indirmeye veya çözmeye çalışan literatürde çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve açıklanmıştır (Alonge et al., 2014).

Atalet ölçüm birimleri (IMU'lar), kinematik verileri yakalama yöntemi olarak giderek daha popüler hale gelmiştir. Bu sensörler genellikle uzayda ivme, hız ve yönelimleri ölçer ve geleneksel bir 3D hareket yakalama kamera sisteminden çok daha ucuza mal olur. IMU'lar, iki ayrı sensörden toplanan uzaydaki oryantasyonları kullanarak eklem açılarını hesaplamak için kullanılabilir. Maliyetin yanı sıra, IMU'ların küçük fiziksel yapısı ve kablosuz kapasitesi, giyilebilir sensörler olarak nesnelere dikkat çekmeden eklenebilecekleri ve daha sonra dinamik fonksiyonun özelliği olan ortak nitelikleri değerlendirmek için fiziksel aktiviteler sırasında uygulanabilecekleri anlamına gelir. Bu sensörler ayrıca fonksiyonel testleri veya günlük aktiviteleri izleyerek laboratuvar ortamının dışında da büyük bir değerlendirme potansiyeline sahiptir. Giyilebilir sensörler, diz eklemi patolojilerinin karakteristik işlevselliği hakkında önemli bilgiler sağlamak ve anında klinisyen etkileşimi ve veri yorumlama potansiyeline sahip olmak için diz eklemi araştırmalarına kolaylıkla uygulanabilir (Fennema et al., 2019).

Mevcut teknolojik gelişmelerle beraber, piyasada mekanik ölçümü terk eden ve sensörlerin ve elektronik cihazların kullanımı ve genel olarak BİT kullanımı yoluyla ölçüme dayanan bazı profesyonel dijital ölçüm cihazları bulunmaktadır. Literatürde bahsedilen alternatiflerden bazıları şunlardır:

1. Potansiyometrik Elektrogonyometreler, mekanik gonyometrelere benzer cihazlar, ancak iki potansiyometrik sensör kullanarak ölçüm yaparlar ve bir bilgisayar sisteminde ölçümü kaydeden yazılımlar.

2. Esnek Elektrogonyometreler yine sensörlere dayalıdır, ancak esnek tiptedir, bu nedenle fiyatları potansiyometrik olanlardan daha yüksek olmasına rağmen, daha küçük boyutları nedeniyle kullanımı daha kolaydır.

3. Fiber optik açı ölçerler: Eklemlerdeki değişikliklerin optik fiber boyunca hareket eden ışığın yönünü değiştirmesi ve böylece ışık kaybının optik fiberin eğriliğine göre değişmesi prensibine dayanırlar.

4. Atalet sensörlerine (IMU) dayalı gonyometreler, bir nesnenin 6 serbestlik derecesindeki değişiklikleri yakalamak için atalet sensörlerinin kullanımına dayanır.

5. Yapay görme sistemlerine dayalı Optik Gonyometreler; bazıları işaretleyiciler kullanarak, bazıları ise pasif insan duruşunu analiz ederek ölçüm gerçekleştirirler (Rosique et al., 2021).

Yüksek hassasiyetli bir işaretleyici ve IMU'yu birleştiren sağlam bir konum ve oryantasyon ölçüm sistemi; kamerayı sabitlemeden hareket halindeyken insanın eklem hareketlerini ölçen sistem geliştirilmiştir. İşaretleyiciyi IMU ile birleştiren cihaz; 'Marker IMU' adlı sistemdir (Ogata et al., 2021).

2.17.1. EasyAngle Dijital Gonyometre

Eklem hareket açıklığı ölçümünde en yaygın olarak kullanılan yöntem manuel evrensel açı ölçer, zaman alıcı ve kullanımı zor olarak kabul edilir. Dijital açı ölçer EasyAngle (EA), EHA'nın değerlendirmesini iyileştirmek ve basitleştirmek için geliştirilmiştir. EA, ölçülen eklem açısının derecelerini gösteren plastik bir cetvelin ortasında bir ekrana sahip el tipi bir alettir. EA, küresel bir koordinat sistemi kullanarak eklem açısını analiz eder. EA ile ölçümler herhangi bir düzlemde ve vücudun tüm eklemleri için yapılabilir.

EasyAngle (EA, Meloq©, Stockholm, İsveç), ROM ölçümlerini sayısallaştırmak, geçerlilik ve güvenilirliği optimize etmek için tasarlanmış piyasada nispeten yeni bir dijital açıölçerdir. Diz eklemi hareket açıklığı ölçümünde geçerli ve güvenilir bir yöntem olduğu bulunmuştur (Lind et al., 2021).



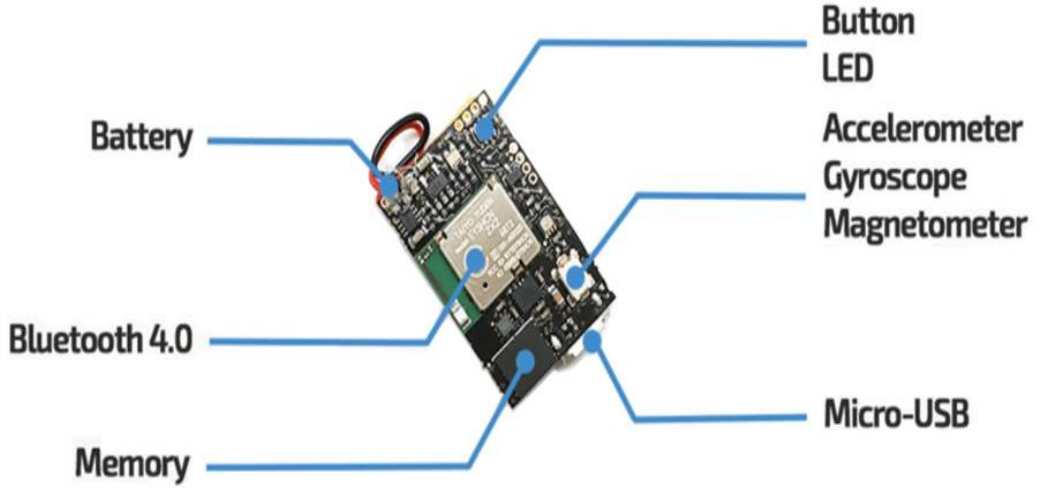
Şekil 2.1. Meloq EasyAngle dijital gonyometre

Kaynak: (URL-1).

2.17.2. MetamotionRL Giyilebilir Hareket Sensörü

MetamotionRL IMU s (MBientlab Inc., San Francisco, USA); 9 eksenli IMU ve ortam izleme sensörü içerir. Jiroskop, ivme ölçer, manyetometre ve sensör füzyonu bulunur. Bluetooth LE aracılığıyla gerçek zamanlı iletişim sağlanır. Veriler ayrıca 8MB NOR flash belleğe kaydedilebilir. Hızlı veri toplamak için ücretsiz, açık kaynaklı API'ler ve uygulamalar vardır.

Ağırlığı: 5,66 gram olup ultra hafiftir. Boyutları: 27mm x 27mm x 4mm kutuda, şarj süresi 2 saat, sıçramaya dayanıklı, programlanabilir ve veri transferi Bluetooth düşük enerji 4.0 smart gibi teknik özelliklere sahiptir (URL-2).



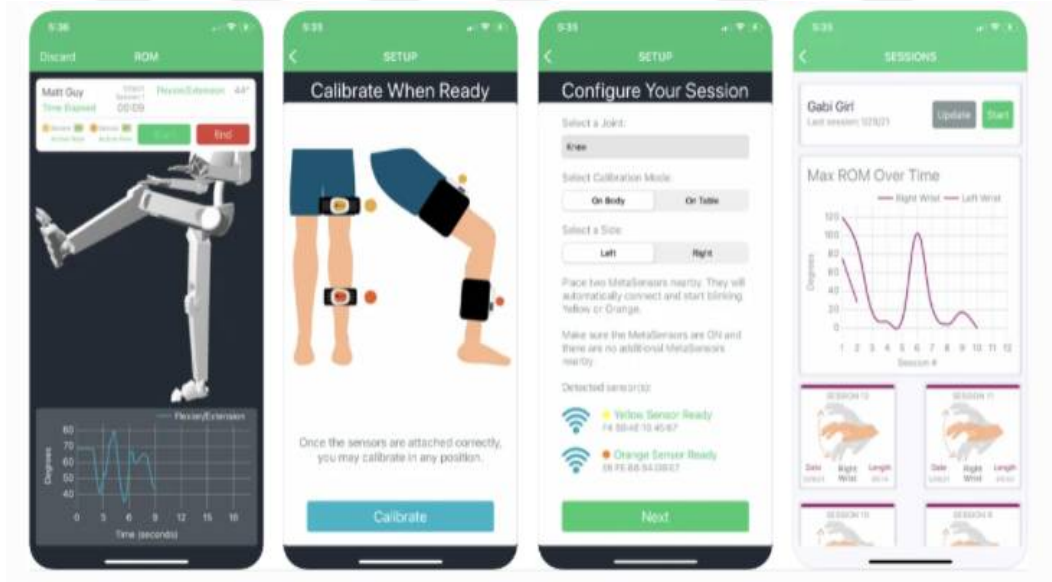
Şekil 2.2. MetaMotionRL Giyilebilir hareket sensörü

Kaynak: (URL-2).



Şekil 2.3. MetaMotionRL Giyilebilir hareket sensörü

Kaynak: (URL-2).



Şekil 2.4. MetaMotionRL için MetaROM Akıllı telefon uygulaması

2.18. Geçerlilik ve Çeşitleri

Bir ölçme aracının; ölçmeyi amaçladığı değişkeni ya da özelliği, başka özelliklerle karıştırmadan doğru bir şekilde ölçebilme derecesidir. Bir ölçme aracında bulunması gereken en önemli özellikler; geçerli ve güvenilir olmasıdır. Geçerlilik; güvenilirliğe bağlı olup, ölçme aracının geçerliliği, güvenilirliğini garanti ettiği anlamına gelir. Bir ölçüm ya da test geçerli olmasa da güvenilir olabilir ama güvenilir olmaz ise geçerlide olamaz. Güvenilirlik; geçerlilik için gerekli olup, tek başına yeterli bir kriter değildir (Dursun, 2013).

Yüzey, içerik, ölçüt ve yapı geçerlilik olmak üzere 4 tip geçerlik yöntemi vardır.

- 1. Yüzey geçerliliği:** Bir testin ya da ölçüm aracının araştırılan eylemi ölçüp ölçemediğine bağlı olarak, en yakınında bulunan arkadaşlarının, konuda uzman olmayan kişilerin, pilot araştırmaya katılan kişilerin ve kendisinin görüşlerini belirtmesi olarak tanımlanır. Araştırmacı yüzey geçerliliği yaparken; ifadelerin ölçüm aracına uygun olmasına ve ölçek maddelerinin anlamlı ve akıcı şekilde ifade edilmesine, doğru cümlelerin kullanılmasına ve net olmasına önem verilir. Yüzey geçerliliğinde, terimlerin anlaşılır olmasının analizi, cümlelerin uzunluk analizi ve ölçüğün okunurluk analizlerinin yapılması çok önemlidir. Yüzey geçerliliği; yorum yapan kişilerin kendilerini mağdur göstermek istemediklerinden, testte istenilen cevapları vermemelerinden ötürü ve araştırmacıların istedikleri cevapları verdiklerinden dolayı yüksek oranda ölçüm hatası içerip artık çok fazla kullanılmamaktadır.
- 2. İçerik geçerliliği:** Ölçek içeriğinin belirlenen amaca uygun olup olmadığını, hedeflenen amaca yönelik yeterli seviyede değerlendirip değerlendiremediğini belirler. Bazı araştırmacılar tarafından, geçerlilik güvenilirlik analizlerinin; içerik geçerliliği yapılmadığı takdirde araştırmalarının anlam kazanmadığı belirtilmiştir. Ölçek geliştirme çalışmalarında; içerik geçerliliği, yapılması gereken önemli bir aşamadır (Meral, 2010). Farklı bir dilde geliştirilen ölçme aracını, Türkçe'ye uyarlamak isteyen araştırmacıların da bu ölçütü kullanarak, içerik geçerliliğini sınaması gereklidir. Farklı bir dile çevrilen ölçek, alanında uzman kişilere sunulurken; anlamlı, anlaşılır ve sade bir uyarlama

yapılmaya çalışılmalıdır. İçerik geçerliliği süreci testin birçok kez düzenlenmesini gerektirir (Dursun, 2013).

3. Ölçüt geçerliliği: Pratik ve objektif geçerlilik sınamasıdır. Ölçekten elde edilen sonuç ile başka bir ölçme aracıyla arasındaki ilişkiyi inceler. Ölçme aracının ölçmeyi hedeflediği özelliği ne kadar başarı ile yordadığını ortaya çıkarır. Hem geçerlilik için hem de güvenilirlik için katkıda bulunan ölçüt geçerliliği, doğru korelasyon tekniği ile bulunan ilişkinin derecesi; ‘geçerlilik katsayısı’ olarak isimlendirilir. Tüm geçerlilik sınama analizleri arasında tek geçerlilik katsayısı veren yöntemdir. Yordama geçerliliği ve eş zaman geçerliliği olmak üzere iki alt gruba ayrılır (Dursun, 2013).

a. **Yordama geçerliliği:** Bu geçerlilik yönteminde test uygulaması yapıldıktan sonra bir süre beklenilir. Bu bekleme süresi değişken olup, 6 ay ile 5 yıl arasında değişiklik göstermektedir. Yordama yöntemi tahmindir fakat her tahmin yordam değildir. Yordama; istatistiksel analizleri kullanarak, belirli bilgiler temelinde geleceğe yönelik tahminde bulunulmasıdır (Meral, 2010).

b. **Eş zaman geçerliliği:** Üzerinde ölçüm gerçekleştirilen ölçme aracından elde edilen puanlar ile daha önceden aynı ölçümü ya da benzer ölçümü gerçekleştiren başka bir ölçme aracının puanları arasındaki korelasyonun hesaplanması ile bulunur. Ölçme aracı ile daha önceden ölçüm yapılmış diğer araç arasında yüksek korelasyon bulunursa; bu sonuç sınanan aracın geçerli ölçüm yaptığını ortaya koyar (Hakverdioğlu Yönt, 2009).

4. Yapı geçerliliği: Ölçüm aracının ölçmeyi hedeflediği sistemi ölçüp ölçemediğini belirleyebilmek için kullanılan geçerlilik yöntemidir. Ölçmeyi hedefleyen aracını karşılaştırabileceği bir başka aracı yok ise yapı geçerliliği kesinlikle sınanmalıdır (Çalışgan, 2015). Bir ölçeğin yapı geçerliliğini değerlendirmek için; faktör analizi, çok değişkenli çok yöntemli matris ve bilinen grup ile karşılaştırma olmak üzere 3 yöntem vardır. En sık kullanılan yöntem; faktör analizidir. Faktör analizinin temelini; değişkenler arasında birbirleriyle korelasyonu olanlarla yeni

yapılar inşa etmek, değişkenin sayılarını azaltmak ve birçok değişkeni birkaç başlık altında toplayabilmek oluşturur (Hakverdioğlu Yönt, 2009).

a. Faktör analizi: Verilerin küçültülmesi işlemi faktör analizi sağlamaktadır (Çalışgan, 2015). Faktör analizi yapılırken araştırma tekniklerinin uygulanacağı grubun yeterli ve tutarlı olması dikkate alınmalıdır. Az sayıdaki gruplardan hesaplanan korelasyon değerleri daha az güvenilirdir. Örneklem sayısının korelasyon güvenilirliğini sağlayabilecek kadar çok sayıda olması önemlidir. Verilerin yeterliliğinin sağlanmasında Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testi uygulanmaktadır.

b. Bilinen grup karşılaştırması: Ölçülmek istenilen özellik için; birbirine benzemeyen iki ayrı gruba ölçüm aracı uygulanır ve sonuçları karşılaştırılır.

c. Çok özellikli çok yöntemli matris: Bir test ya da ölçüm aracının ölçtüğü özelliklerin yanında ölçmediği özelliklerin belirlenmesi de önemlidir. Ölçülen iki ya da daha fazla, farklı özelliklerin ölçümleri arasındaki, korelasyon kat sayısı düşük ise; ayırt edici geçerlilik, yüksek korelasyon gösterir ise; benzer sonuç geçerlilik doğrulanmış olur (Hakverdioğlu Yönt, 2009). Campbell ve Fiske, bir test ya da ölçüm aracının aynı ya da benzer yapıdaki diğer testlerle ilişkisinin değerlendirilmesinin geçerliliğini analiz edebileceğini belirtmişlerdir (Dursun, 2013).

2.19. Güvenilirlik ve Çeşitleri

Bir ölçüm aracının ya da testin; ölçmek istediği özelliği tutarlı ve istikrarlı bir şekilde ölçme derecesi ve ölçülmek istenilen özelliğin sürekli olarak aynı derece ya da sembollerini almasıdır. Ölçüm sonuçlarının birbirleriyle tutarlı olması gerekir. Testlerin güvenilir olduğunu değerlendirmek için geliştirilen yöntemlere; güvenilirlik analizi denir. Grupların homojen dağılımı güvenilirlik katsayısını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Güvenilirlik; bir ölçüm aracı ya da test sonucunun bir özelliği olup, bir ölçüm aracının güvenilir olabilmesi için hatasız ölçüm yapması gerekir (Dursun, 2013). Güvenilirlik, bir ölçüm aracı ya da testin geçerliliğini etkiler. Geçerli olan bir test ya da ölçüm aracı kesinlikle güvenilir olmalıdır. Fakat her

güvenilir test ya da ölçüm aracı geçerli olmayabilir (Hakverdioğlu Yönt, 2009).

Güvenilirlik analizi; test tekrar test güvenilirliği, paralel formlar güvenilirliği, iç tutarlılık güvenilirliği ve gözlemciler arası güvenilirlik olmak üzere 4 ayrı gruba ayrılır.

- 1. Test tekrar test güvenilirliği:** Testin ölçüm sırasındaki kararlılığını gösterir. Güvenilirliği test edilmek istenilen ayrı ölçüm aracı, aynı deneklere benzer ya da aynı şartlar altında iki kez uygulanması ile gerçekleşir. İki ölçüm arasında çok büyük bir farklılık olmamalıdır. Testin tekrar test güvenilirliği analiz yönteminde; aralıksız ve aralıklı yöntem olmak üzere 2 yöntem vardır.
 - a. Aralıksız yöntem:** Testin gruba hiç ara verilmeden ya da kısa bir süre ara verilmesinden sonra uygulanır.
 - b. Aralıklı yöntem:** Testin aynı gruba 2 ile 4 hafta gibi zaman aralığında 2 kere uygulanarak yapılır.
- 2. Paralel Form Güvenilirliği:** Genelde ölçek geliştirilirken tercih edilen bir yöntem olup, birbirleriyle aynı olan formların, aynı kişilere aynı şartlarda aynı gün ya da farklı günlerde yapılması esasına dayanmaktadır. Test tekrar test denemesindeki testin etkisini azaltmak için kullanılmaktadır (Dursun, 2013).
- 3. Gözlemciler Arası Güvenilirlik:** Ölçümü gerçekleştiren kişiler arası (inter-rater) güvenilirliği, tek bir ölçek ya da ölçüm aracının iki kişi tarafından uygulanıp aralarındaki korelasyon ilişkisine bakılarak gerçekleşir. Ölçek kategorik bir test yapıyor ise uygulamayı yapan iki kişi arasındaki uyuma bakılır. Bir ölçüm aracı ile ölçüm yapılıyor ise ölçümü gerçekleştiren iki araştırmacının ölçüm sonuçlarının ne kadar korelasyon (Intraclass Correlation-ICC) gösterdiğine bakılır. Gözlem içi güvenilirlik (intra-rater); uygulamayı gerçekleştiren aynı gözlemcinin birden fazla gerçekleştirdiği ölçümler arasındaki uyumun derecesidir. Aynı gözlemcinin aynı araçlarla aynı ya da farklı kişilere yaptığı ölçüm sonuçları gözlemciye bağlı olarak farklılık gösterebilir. Ölçümün dereceye ya da herhangi bir sayıya bağlı olduğu durumlarda; sınıf içi korelasyona (Intraclass Correlation), kategorik bir test için yapıldığı durumda Cohen'in kappa katsayısı kullanılarak değerlendirme yapılır (Aktürk ve Acemoğlu, 2012).

- 4. İç Tutarlılık Güvenilirliği:** Her testin ya da ölçme aracının belirli bir hedefi gerçekleştirmek için, her biri birbirinden bağımsız kümelerden oluştuğu ve bunların bir bütün içinde, öğrenilmiş ve birbirine eşit özelliklere sahip olduğu varsayımıdır (Hakverdioğlu Yönt, 2009).
- a. Split-Half Method (Yarıya bölme yöntemi):** Bu yöntem testi iki eşit parçaya bölerek, iki eşit parçanın denek kişilere aynı anda uygulandıktan sonra, denek kişilerin yarıya bölünmüş testlerden aldıkları puanlar arasındaki korelasyon ile güvenilirlik analizini yapar.
- b. Kuder -Richardson Güvenilirlik Katsayıları:** İçsel tutarlılık güvenilirliği yönteminde en sık tercih edilen yöntem olup, tüm maddelerin; ölçeğin özelliklerinin bütünüyle ve birbirleriyle olan iç tutarlılığı tahmin etme amacı üzerine kuruludur. Bu yüzden ölçekteki tüm maddelerin, aynı özelliği ölçtüğü bilgisine dayanır. Yöntemin uygulanma şekli; ölçekteki her bir maddeden alınan cevap, istenilen özellikte ise 1 puan, istenilen özellikte değil ya da cevapsız bırakılmış ise 0 puan verilir. Bu yöntemle iç tutarlılığı belirlemek için; belirli kurallar dikkate alınarak, Kuderson-Richardson 20 ya da 21 formüllerinden uygun olanı belirlenip kullanılır (Ercan ve Kan, 2004).
- c. Cronbach Alfa Güvenilirlik Katsayısı:** Cronbach tarafından geliştirilen formül; iç tutarlılığın, ölçek içindeki maddelerin homojenliğini belirlemek amacıyla, doğru-yanlış ya da evet- hayır şeklinde puanlanmayıp, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6 gibi puanlama yapıldığında kullanılan bir iç tutarlılık tahmin yöntemidir (Ercan ve Kan 2004, Aktürk ve Acemoğlu, 2012). Kuder-Richardson ve Cronbach Alfa formülleri birbirlerinden türetilmiştir. Hangi formülün nerede kullanılacağına ise, ölçek maddelerinin puan sistemi belirler. Cevaplar Likert tipi ölçeklerdeki gibi sürekli ise, Cronbach Alfa formülleri ile iç tutarlılık güvenilirliği hesaplanır. Kuderson-Richard 20-21 ve Cronbach Alfa formüllerinin hepsinin normal değerleri; 0.00-1.00 arasındadır. Yüksek değer olur ise yüksek bir iç tutarlılık göstergesidir (Dursun, 2013).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Amacı ve Tipi

Bu çalışmada; diz ekleminde EHA'nın giyilebilir hareket sensörleri ile ölçülmesinin geçerli ve güvenilir bir ölçüm yöntemi olup olmadığının araştırılması amaçlandı. Araştırma; metodolojik araştırma olup, geçerlilik ve güvenilirlik çalışmasıdır.

3.2. Araştırmanın Yapıldığı Yer ve Zaman

Çalışma Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü Egzersiz Laboratuvarında 15 Aralık 2021 – 15 Nisan 2022 tarihleri arasında yapılmıştır.

3.3. Araştırmanın Evreni ve Örnekleme

Çalışmanın evrenini Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Öğrencileri (n=1600), örnekleme ise dahil etme kriterlerine uyan çalışmaya katılmayı kabul eden, 18-25 yaş arası 70 sağlıklı gönüllü öğrenci oluşturdu. Katılımcı sayısına literatürdeki benzer çalışmalar ve ulaşılabilecek katılımcı sayısı göz önüne alınarak karar verilmiştir. Bu çalışmada tek eklemden tek planda ölçüm yapıldı.

Araştırmaya katılan tüm sağlıklı öğrencilere; çalışmanın içeriği ve uygulanma biçimi, katılımcı hakları, kullanılacak olan anketler hakkında sözlü ve yazılı bilgi verilerek “gönüllü onam formu” imzalatıldı (Ek C).

3.4. Araştırmaya Dahil Edilme Kriterleri

- Çalışmaya katılmaya gönüllü olmak,
- 18-25 yaş aralığında olmak,
- Yüzüstü yatma engeli olmayan,
- Nörolojik ve ortopedik hastalığı bulunmamak,

3.5. Araştırmadan Dışlanma Kriterleri

- Alt ekstremitede; ortopedik cerrahi ya da travma geçirmiş olmak,
- Ölçüm esnasında diz ağrısının olması

3.6. Veri Toplama Yöntemi

Katılımcıların dizleri açıkta kalacak şekilde şort giymesi istendi. Muayene masasına yüz üstü yatırıldılar. Katılımcıların dominant diz eklem hareket açıklıkları hem dijital gonyometre (Meloq EasyAngle) hem de giyilebilir hareket sensörleri (MetaMotionRL) ile ayrı ayrı ölçüldü. Katılımcıdan üç kez topuğunu kalçasına değdirmesi istendi ve birinci değerlendirici (AK) tarafından Meloq EasyAngle dijital gonyometre ile diz aktif fleksiyon açıları ölçüldü, kaydedildi ve en yüksek değer istatistiklerde kullanıldı.

Üretici firma tarafından önerilen protokol dahilinde iki adet giyilebilir hareket sensörü dominant alt ekstremitede tibia ve femur orta noktası hizasında uyluk ve bacak dış kenarına velkro bant ile sabitlendi. Katılımcıdan üç kez topuğunu kalçasına değdirmesi istendi. Birinci değerlendirici (AK) tarafından ölçülen en yüksek değer kaydedildi. Sensörler çıkarıldı ve 10 dakika içinde tekrar takılarak aynı değerlendirici tarafından ikinci kez aynı yöntemle ölçüldü. Sensörlerin çıkarılmasını takiben katılımcı aynı odada farklı bir muayene masasına alındı ve sensörlerin uygulanması sonrasında protokole uygun olarak ikinci değerlendirici (AÇ) tarafından ölçüm tekrarlandı ve en yüksek değer kaydedildi.



Şekil 3.1. Dijital gonyometre (Meloq EasyAngle) ile diz aktif fleksiyon aralığı ölçümü



Şekil 3.2. Giyilebilir hareket sensörü (MetaMotionRL) ile diz aktif fleksiyon aralığı ölçümü

3.7. Veri Toplama Araçları

Katılımcıların sosyodemografik verileri Sosyodemografik Veri Formuna (Ek 4) kaydedildi. Eklem hareket açıklığı ölçümleri gonyometrik ölçüm formuna kaydedildi (Ek 5)

Eklem hareket açıklığı ölçümleri; Meloq EasyAngle dijital gonyometre ve MetaMotionRL (giyilebilir hareket sensörü) ile yapıldı. MetaMotionRL (Mbiolab Inc., San Francisco, ABD) cihazı MetaROM akıllı telefon uygulaması ile bluetooth ile bağlanılarak kullanıldı. Uygulamaya Appstore'dan ulaşılabilir. Uygulamaya Appstore'dan ulaşılabilir.

MetaMotionRL cihazı (giyilebilir hareket sensörü) ve dijital gonyometre kullanılırken herhangi bir invaziv girişim olmamıştır.



Şekil 3.3. Dijital gonyometre (Meloq EasyAngle)



Şekil 3.4. Giyilebilir hareket sensörleri (MetaMotionRL)

3.8. Araştırmanın Etik Yönu

Çalışma, T.C. Haliç Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 01.12.2021 tarihli toplantıda alınan karar ile etik yönden onay aldı (Ek A) ve Helsinki Deklerasyonuna uygun olarak yürütüldü. Etik kurul onayını takiben kurum izni alındı (Ek B).

3.9. Verilerin İstatiksel Analizi

Veriler IBM SPSS 28.0 programıyla değerlendirildi. Eklem hareket açıklığı ölçümlerinde altın standart kabul edilen dijital gonyometre ve bu çalışmada ölçüm geçerliliği güvenilirliği test edilecek olan giyilebilir hareket sensörleri ile toplanan verilerin homojen dağılıp dağılmadığına Shapiro Wilk testi ile bakıldı. Dağılım özelliğine göre Spearman veya Pearson Korelasyon katsayısı ile verilerin uyumu ve dolayısıyla ölçüm geçerliliği test edildi. Birinci değerlendiricinin iki kez yaptığı ölçüm (değerlendirici içi güvenilirlik) arasındaki uyum intraclass korelasyon katsayısı (ICC) ile, birinci ve ikinci değerlendiricinin ölçümleri arasındaki uyum (değerlendiriciler arası) yine ICC kullanılarak test edildi. İstatiksel anlamlılık düzeyi, $p<0.05$ kabul edildi.

3.10. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu çalışmanın sadece benzer özelliklere sahip sağlıklı genç bireyleri içermesi.

4. BULGULAR

Yaşları 18-25 yaş arasında değişen 70 katılımcının sosyodemografik özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir. Katılımcıların 40'ı (%57,1) kadın 30'u erkektir. (%42,9)

Tablo 4.1. Katılımcıların Sosyodemografik Özellikleri

	Min.	Maks.	n	Ort±SS
Yaş (yıl)	18,0	25,0	21,0	21,0±1,3
Kilo (kg)	43,0	120	62,5	67,6±17,1
Boy (cm)	153,0	195	169,0	170,2±11,0
VKI (kg/cm²)	16,4	37,0	22,3	23,0±3,6
Kadın			40	%57,1
Erkek			30	%42,9

Katılımcıların sigara ve alkol kullanma durumları **Çizelge 4.2.** de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Sigara ve Alkol Kullanma Durumları

		n	%
Sigara Kullanımı	(+)	22	31,4
	(-)	48	68,6
Alkol Kullanımı	(+)	24	34,3
	(-)	46	65,7

Katılımcıların spor yapma ve haftada kaç gün spor yaptıklarının durumu Tablo 4.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Katılımcıların Spor Yapma ve Haftada Kaç Gün Spor Yaptıklarının Durumu

		n	%
Spor Yapma	(-)	28	40,0
	(+)	42	60,0
Haftada kaç gün spor yapıyor?	1 Gün	3	71,1
	2 Gün	15	35,7
	3 Gün	14	33,3
	4 Gün	7	16,7
	5 Gün	2	4,8
	6 Gün	1	2,4

Katılımcıların dominant tarafın sağ veya sol olma durumu Tablo 4.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Katılımcıların Dominant Ekstremitte Durumu

		n	%
Dominant Taraf	Sağ	60	85,7
	Sol	10	14,3

Katılımcıların spor yaparken diz ağrısının olup olmama durumu Tablo 4.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Katılımcıların Spor Yaparken Diz Ağrısının Olup Olmama Durumu

		n	%
Sporda Diz Ağrısı	(+)	9	12,9
	(-)	61	87,1

Katılımcıların kronik hastalık ve düzenli ilaç kullanma durumları Tablo 4.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Katılımcıların Kronik Hastalık ve Düzenli İlaç Kullanma Durumları

		n	%
Kronik Hastalık	(+)	4	5,7
	(-)	66	94,3
Düzenli İlaç Kullanımı	(+)	7	10,0
	(-)	63	90,0

Gonyometre ve MetamotionRL cihazıyla diz aktif fleksiyon eklem hareket açıklığı ölçümlerinin, minimum, maksimum değerleri, medyan, ortalama ve standart sapma değerlerinin veri dağılımı Tablo 4.7.'de gösterilmiştir. Gonyometrenin minimum ölçüm değeri 108 derece olup maksimum ölçüm değeri ise 148'dir. Ortalama ve standart sapma değeri $128,3 \pm 8,8$ dir.

MetamotionRL cihazının minimum ölçüm değeri 112 olup, maksimum ölçüm değeri ise 147'dir. Ortalama ve standart sapma değeri $130,3 \pm 8,8$ dir.

Tablo 4.7. Gonyometre ve MetamotionRL Cihazı Ölçüm Sonuçları

	Min	Maks	Medyan	Ort±SS
Gonyometre	108,0	148,0	129,0	128,3±8,8
MetamotionRL	112,0	147,0	131,0	130,3±8,8

Birinci Değerlendiricinin MetamotionRL cihazı ile yaptığı iki ölçüm arasında anlamlı ($p=0.000$) güçlü korelasyon gözlenmiştir. Birinci Değerlendiricinin MetamotionRL ile yaptığı iki ölçüm arasında anlamlı ($p =0.268$) farklılık gözlenmemiştir (Tablo 4.8).

Değerlendirici 1 MetamotionRL ölçümü ile Değerlendirici 2 ölçümleri arasında anlamlı ($p=0.000$) güçlü korelasyon gözlenmiştir. Değerlendirici 1 MetamotionRL cihaz ölçümü ile Değerlendirici 2 ölçümleri arasında anlamlı ($p=0.715$) farklılık gözlenmemiştir. Bu veri dağılımı Tablo 4.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Değerlendirici İçi ve Değerlendiriciler Arası Güvenilirlik

	Min	Maks	Medyan	Ort±ss	R (%95 GA)	p	p
MetamotionRL							
Değerlendirici I	112	147	131,0	130,3 ± 8,8			
Değerlendirici I Test Tekrarı	107	153	131,0	130,8 ± 9,6	0,959(0,934-0,974)	0,00 <i>0^s</i>	0,268 ^w
Değerlendirici II	112	150	129,5	130,4 ± 9,3	0,960(0,936-0,975)	0,00 <i>0^s</i>	0,715 ^w

^s Smif İçi Korelasyon / ^w Wilcoxon test

MetamotionRL cihazı ölçümü ile gonyometre ölçümleri arasında anlamlı ($p=0.000$) güçlü korelasyon gözlenmiştir (Tablo 4.9).

Tablo 4.9. MetamotionRL Cihazı Ölçümleri ile Gonyometre Ölçümleri Arasındaki Uyum Geçerlilik

	Min	Maks	Medyan	Ort±SS	r	p
Gonyometre	108	148	129,0	128,3 ± 8,8		
MetamotionRL	112	147	131,0	130,3 ± 8,8	0,865	0,000
Spearman Korelasyon Testi						

MetamotionRL ölçüm değeri ile yaş, haftalık spor yapma süresi arasında anlamlı bir korelasyon ($p>0.05$) gözlenmemiştir. MetamotionRL ölçüm değeri ile VKİ değeri arasında anlamlı ($p<0.05$) negatif korelasyon gözlenmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. MetamotionRL Cihazı Ölçüm Değeri ile Haftalık Spor Yapma Süresi Arasındaki İlişki

		Yaş	VKİ	Haftalık spor süresi
MetamotionRL	r	-0,044	-0,471	0,127
	p	0,716	0,000	0,295
Spearman Korelasyon Testi				

Çalışmaya katılan kadın ve erkek katılımcılar arasında MetamotionRL ölçüm skoru anlamlı farklılık göstermemiştir ($p>0.05$) (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. MetamotionRL Ölçümündeki Kadın ve Erkek Katılımcılar Arasındaki Fark

MetamotionRL						
		Min	Maks	Medyan	Ort±SS	p
Cinsiyet	Kadın	113	146	133,5	131,0 ± 9,0	0,447^m
	Erkek	112	147	129,5	129,4 ± 8,6	
^m Mann-Whitney U test						

Sigara kullanan ve kullanmayan katılımcılar arasında MetamotionRL ölçüm skoru anlamlı farklılık göstermemiştir ($p>0.05$). Alkol kullanan ve kullanmayan katılımcılar arasında MetamotionRL ölçüm skoru anlamlı ($p>0.05$) farklılık göstermemiştir ($p>0.05$). Tablo 4.12.' de gösterilmiştir.

Tablo 4.12. Sigara, Alkol Kullanan ve Kullanmayan Katılımcıların MetamotionRL Ölçümleri Arasındaki Fark

MetamotionRL						
		Min	Maks	Medyan	Ort±ss	p
Sigara Kullanımı	(+)	112	146	130,0	129,4 ± 9,3	0,556^m
	(-)	113	147	131,0	130,8 ± 8,6	
Alkol Kullanımı	(+)	112	146	129,5	129,4 ± 9,2	0,532^m
	(-)	113	147	132,0	130,8 ± 8,6	
^m Mann-whitney u test						

Spor yapan katılımcıların MetamotionRL ölçüm skoru, spor yapmayan katılımcıların MetamotionRL ölçüm skorundan anlamlı olarak daha yüksek bulundu ($p<0.05$). Tablo 4.13.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.13. Spor Yapan ve Yapmayan Katılımcıların MetamotionRL Ölçümleri Arasındaki Fark

MetamotionRL						
		Min	Maks	Medyan	Ort±SS	p
Spor Yapma	(+)	115	147	134,0	132,7 ± 8,0	0,026^m
	(-)	112	143	129,5	127,4 ± 9,1	
^m Mann-Whitney U Test						

Sağ ve sol dominant taraf arasında MetamotionRL ölçüm skoru anlamlı farklılık göstermemiştir ($p>0.05$). Tablo 4.14.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.14. MetamotionRL Cihazı ile Sağ ve Sol Diz Eklemi Arasındaki Ölçüm Farkı

MetamotionRL						
		Min	Maks	Medyan	Ort±ss	p
Dominant Taraf	(+)	112	147	131,0	130,8 ± 8,1	0,373
	(-)	113	146	126,0	127,4 ± 12,2	^m
^m Mann-Whitney U Test						

Spor yaparken diz ağrısı olan katılımcılar ve ağrısı olmayan katılımcılar arasında MetamotionRL ölçüm sonucu anlamlı farklılık göstermemiştir ($p>0.05$). Tablo 4.15.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.15. Spor Yaparken Diz Ağrısı Olan ve Olmayan Katılımcıların Ölçümleri Arasındaki Fark

MetamotionRL						
		Min	Maks	Medyan	Ort±ss	p
Sporda Diz Ağrısı	(+)	113	146	130.0	128,6 ± 10,5	0,574 ^m
	(-)	112	147	131.0	130,6 ± 8,6	
^m Mann-Whitney U Test						

Kronik hastalığı olan katılımcıların MetamotionRL ölçüm sonucu ile kronik hastalığı olmayan katılımcılar arasındaki fark anlamlı olarak daha düşük bulundu ($p<0.05$). Tablo 4.16.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.16. Kronik Hastalığı Olan ve Olmayan Katılımcılar Arasındaki Ölçüm Farkı

MetamotionRL						
		Min	Maks	Medyan	Ort±ss	p
Kronik Hastalık	(+)	113	130	119.0	120,3 ± 8,6	0,033 ^m
	(-)	112	147	131.0	130,9 ± 8,5	
^m Mann-Whitney U Test						

Düzenli ilaç kullanan katılımcılar ile düzenli ilaç kullanmayan katılımcılar arasında MetamotionRL ölçüm skoru anlamlı farklılık göstermemiştir ($p>0.05$). Tablo 4.17.' de gösterilmiştir.

Tablo 4.17. Düzenli İlaç Kullanan ve Kullanmayan Katılımcılar Arasındaki Ölçüm Farkı

MetamotionRL						
		Min	Maks	Medyan	Ort±ss	p
Düzenli İlaç Kullanımı	(+)	113	144	124,0	124,9 ± 12,3	0.164^m
	(-)	112	147	131,0	130,9 ± 8,2	
^m Mann-Whitney U Test						

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, 18-25 yaş arası sağlıklı erişkinlerde MetaMotionRL marka giyilebilir hareket sensörleri ile yapılan diz aktif fleksiyon eklem hareket açıklığı ölçümünün geçerli ve güvenilir bir yöntem olduğu sonucuna varıldı. Eklem hareket açıklığı ölçümü klinisyenler ve araştırmacılar tarafından kas iskelet sistemi yapı ve fonksiyonlarını değerlendirmek, tedaviye karar vermek ve tedavi etkinliğini takip etmek için kullanılan yararlı bir yöntemdir (Yaikwawongs., 2009). Doğru, güvenilir ve tekrarlanabilir bir yöntemle ölçülebilmeli ve kaydedilebilmelidir. Araştırmalar, eklem hareket açısı ölçümünü içeren insan aktivitelerini izleme yöntemlerinin hastalara sağlanan sağlık hizmetlerinin kalitesini etkili bir şekilde iyileştirebileceğini göstermiştir (Nwaizu et al., 2016)

Evrensel gonyometre, eklem hareket açıklığını ölçmek için en yaygın olarak kullanılan araçtır (Gajdosik and Bohannon, 1987). Gonyometre eklem hareket açıklığını ölçmek için kullanılan değerlendirme yöntemleri arasında altın standart olarak kabul edilir (Kim et al.,2014). Gonyometre, ucuz olması ve kolay elde edilebilir olması nedeniyle klinikte kullanımı çok fazla tercih edilir. Ölçüm yapılırken; değerlendirmeyi yapacak kişinin her iki elini de kullanmak zorunda olması eklem stabilizasyonunu zorlaştırıp ölçümdeki hata payını arttırmaktadır (Keleş ve ark., 2016).

Dijital açı ölçer; EasyAngle (EA), ROM'un değerlendirmesini iyileştirmek ve basitleştirmek için geliştirilmiştir. Diz eklemının aktif ve pasif fleksiyon ve ekstansiyonunu ölçen EA'nın güvenilirliğini ve geçerliliğini değerlendirmeyi amaçlayan bir çalışmada EasyAngle dijital gonyometre ve universal gonyometre ölçüm sonuçları kıyaslanmış ve EA geçerli ve güvenilir bir değerlendirme aracı olduğu sonucuna varılmıştır (Lind et al., 2021).

İnclinometre gibi yer çekimine bağlı gonyometrelerle gerçekleştirilen ölçümlerde ise, ölçümü gerçekleştirilecek eklem ölçüm noktalarını belirlemeye gerek olmayıp, evrensel gonyometrelerden daha pahalı olduğu için kliniklerde kullanımı daha azdır (Keleş ve ark., 2016).

Eklem açısı dahil olmak üzere genel insan hareketlerini ölçmek ve izlemek için optik tabanlı sistemler de kullanılabilir. Kurulumu, bir yürüme yolunun etrafına birkaç kamera yerleştirmeyi ve eklemler üzerinde yansıtıcı işaretleyicileri içerir. Denek hareket ettikçe, sistem işaretçilerin 3 boyutlu uzaysal hareketlerini üretirken, bir yazılım eklem açıların veya yürüyüş parametrelerinin bir tahminini belirler. Ancak bu yaklaşım, pahalı bir kurulum gerektirdiğinden ve bu nedenle rutin klinik kullanım veya hastaların ev ortamlarındaki aktivitelerinin değerlendirilmesi için çok pratik olmadığı için belirli yürüyüş laboratuvarlarında izleme ile sınırlıdır. Eklem açılarını ölçmek için alternatif bir diğer yöntem, elektrogonyometrelerdir. Ancak bu yaklaşımın çalışması için eğitilmiş bir klinisyen gerekir, uygulanması zaman alır, kalibrasyonu zor ve günlük klinik kullanım için yeterince sağlam değildir. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için araştırmacılar, eklem açısını ölçmek için alternatif yöntemler araştırıyorlar. Mikro-elektromekanik sistemlerdeki (MEMS) son gelişmeler, ivmeölçerler, jiroskoplar, manyetometreler gibi taşınabilir, nispeten uygun fiyatlı ve giyilebilir sensörlerle sonuçlanmıştır. Bunlar ayrı ayrı kullanılabilir veya tipik olarak x, y ve z olarak adlandırılan üç dik eksenindeki hareketleri ölçmek için atalet ölçüm birimi (IMU) olarak tek bir çipe entegre edilebilirler. Klinik kullanım ve hastanın kendi ev ortamlarında hareket izlemesi için daha pratik çözümler sunma potansiyeline sahip olduklarından bu sensörlerin geliştirilmesinde kapsamlı araştırmalar yapılmıştır (Nwaizu., 2016).

Son dönemlerde, Atalet ölçüm birimleri (IMU'lar), hareket verilerini yakalama yöntemi olarak giderek daha popüler hale gelmiştir. Ve bu sensörler, genellikle uzayda ivme, hız ve yönelimleri ölçer ve geleneksel bir 3D hareket yakalama kamera sisteminden çok daha düşük maliyetlidir. IMU'lar, iki ayrı sensörden toplanan uzaydaki oryantasyonları kullanarak eklem açılarını hesaplar. Maliyetin yanı sıra, IMU'ların küçük fiziksel yapısı ve kablosuz kapasitesi, giyilebilir sensörler olarak nesnelere dikkat çekmeyecek şekilde bağlanabilecekleri ve daha sonra eklem özelliklerini değerlendirmek için fiziksel aktiviteler sırasında uygulanabilecekleri anlamına gelir. Bu sensörler, fonksiyonel testleri veya günlük aktiviteleri izleyerek laboratuvar ortamı dışında da değerlendirme için büyük potansiyele sahiptir. Giyilebilir sensörler, diz eklemi patolojilerinin karakteristik işlevselliği hakkında önemli bilgiler sağlamak için diz eklemi araştırmalarına kolaylıkla uygulanabilir ve

anında klinisyen etkileşimi ve veri yorumlama potansiyeline sahiptir (Fennema, 2019).

Fennema 2019 yılında yaptığı çalışmada, IMU eklem açılarının ölçüm tekrarlanabilirliğini, bir elektrogonyometre ve bir 3D hareket yakalama kamerası kurulumuna kıyasla, tekrarlanabilir bir robot kontrolörü ve bir antropomorfik bacak fantomu kullanarak değerlendirdi ve IMU kurulumu, klinik olarak kullanılan manuel gonyometre yöntemlerine göre avantajlı olacak hareket aralığının ölçümünde kabul edilebilir tekrarlanabilirlik göstermiştir. Hız ve yeniden konumlandırmadaki değişikliklerden kaynaklanan sapmaların $\pm 5^\circ$ 'den az olduğu bulunmuştur. Bizim çalışmamızda da hız ve yeniden konumlandırmalardan kaynaklı sapmaların en fazla 5 derece olduğu bulunmuştur.

Qui et al., 2013 yılında yaptıkları bir çalışmada; giyilebilir UWB telsizleri kullanılarak diz eklem hareket açıklığı ölçülüp eş zamanlı olarak gonyometrik ölçüm sonucuyla kıyaslanmıştır. Giyilebilir UWB telsizleri, gonyometrik ölçüm sonuçlarıyla eş değer sonuç vermiştir. Bizim çalışmamızda da diz eklem hareket açıklığı ölçüm sonuçları; giyilebilir hareket sensörü olan MetaMotionRL cihazı ve dijital gonyometre ölçüm sonuçları ile kıyaslanmış ve sonuçlar eşdeğer çıkmıştır.

Boekesteijn et al., 2021 yılında yaptıkları çalışmada; giyilebilir sensörlerin klinik uygulamada kullanımı ile ilgili olarak, giyilebilir sensörlerle hızlı ve kolay yürüyüş değerlendirmelerinin diz ve kalça OA'li bireylerde yürüme bozukluklarını değerlendirmede faydalı olduğunu göstermişlerdir. Optik hareket yakalama sistemlerine kıyasla, giyilebilir sensörler büyük ölçekli kullanım için daha uygun ve fiziksel işlevi rutin olarak değerlendirmek için kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Watanabe et al., 2011 yılında yapılan bir çalışmada, kablosuz giyilebilir hareket sensör sistemi, 3 boyutlu hareket ölçüm sistemi ile ölçülenlere göre, sağlıklı deneklerle alt ekstremite eklem açılarının ölçümünde değerlendirildi. Daha sonra sensör sistemi ile düz zeminde yürürken yaşlı deneklerin alt ekstremite eklem açıları ölçüldü. Sensör sistemi, eklem açılarını kabul edilebilir bir doğrulukla ölçebilir ve yürüyüşün özelliklerini gösterebilir düzeyde bulunmuştur.

Rajkumar et al., 2020 yılında omuz eklem hareket açıklığını ölçmek için yaptıkları bir çalışmada; giyilebilir atalet sensör modülü ölçümleri, tekrarlanan ölçümler için bir döner tabla üzerindeki bir gonyometre ile kıyaslanmış ve sonuçlar,

tüm eksenlerdeki ölçümler arasında kabul edilebilir bir uyum olduğunu göstermiştir. Ayrıca, deneysel ölçümler doğruluk ve güvenilirlik açısından analiz edildi ve rehabilitasyon uygulamaları için kabul edilebilir tolerans sınırlarını göstermiştir.

Engstrand et al., 2021 yılında yaptıkları çalışmada, mobil cihazın yerleşik hareket sensörlerini kullanarak veya Bluetooth aracılığıyla giyilebilir bir sensöre bağlayarak bilek hareketini ölçmek için bir akıllı telefon uygulaması geliştirmişler. Bu yöntemle bilek hareketinin ölçümü 33 katılımcıda iki kez değerlendirilmiş ve standart bir gonyometre ile elde edilen veriler karşılaştırılmış. Sağlıklı bireylerde test-tekrar test tekrarlanabilirliği, giyilebilir sensörlü ve giyilebilir sensörsüz tüm hareketler için (sınıf içi korelasyon (ICC) 0.76-0.95) aralığındaydı. Bu sonuçlar, ikinci test gününde mükemmele (ICC 0.90–0.96) yükseldi ve bir öğrenme etkisi olduğunu gösterdi. Günlük tekrarlanabilirlik, sensör veya açı ölçer kullanmadan uygulamaya kıyasla (sırasıyla ortalama ICC 0.82 ve 0.60) giyilebilir sensörle (ortalama ICC 0.87) genel olarak daha iyi bulunmuştur. Bu çalışma, akıllı telefon tabanlı giyilebilir sensörlerin, bilek hareket açıklığı ölçümlerinin uygulanabilir ve son derece doğru olduğunu göstermiştir.

Faisal et al., 2021 yılında basit, düşük maliyetli çoklu sensör tabanlı akıllı giyilebilir diz izleme sistemi kullanılarak ölçülen sensör verilerini içeren 18-86 yaşlarındaki 70 sağlıklı yetişkinden bir veri tabanı oluşturdukları çalışmada; kişilerin günlük aktivitelerini aksatmadan sürekli kullanılabilen, çok sensörlü, non invaziv, konforlu, giyilebilir ve kullanımı kolay bir diz eklemi izleme cihazı geliştirmişler. Sistem, diz hareketlerinin yanı sıra cilt sıcaklığı, iletkenlik ve diz eklemi çevresindeki kas basıncı gibi diğer fizyolojik parametreleri aynı anda ölçmesine izin veren atalet hareketi, sıcaklık, basınç ve cilt iletkenlik sensörlerinden oluşur. Bu parametreler, bir bireyin genel diz eklemi sağlığı ve hareketlilik durumunu belirlemek için tıp uzmanları tarafından potansiyel olarak kullanılabilenliğini bulmuşlardır. Böylece akıllı giyilebilir diz izleme sistemi, osteoartrit ve osteoporoz gibi eklem rahatsızlıklarının erken teşhisi, düşme tespiti ve ameliyat sonrası hastanın hareketliliği ve rehabilitasyonunun izlenmesi için kullanılabilenliği düşünülmüştür.

Bloomfield et al., 2019 yılında yaptıkları osteoartritli hastaların, diz eklem açılarını, bağımsız giyilebilir sensörlerden tutum tahminlerine dayalı olarak klinik diz açılarını çıkarma yöntemi kullanılarak bir mobil yazılım sistemi geliştirmişlerdir. Doğrulama bir robot fantomu kullanılarak yapılmış ve sonuçlar altın standart bir

hareket yakalama sistemi ile karşılaştırılmıştır. Çoklu serbestlik dereceleri aracılığıyla en tekrarlanabilir sonuçları sağlamak için bir arka sensör yerleşimi belirlenmiş ve ölçüm doğruluğu, altın standart bir hareket yakalama teknolojisine, düşük ortalama kare hatasıyla yaklaşmış (fleksiyon: 3.34°, iç/dış rotasyon: 2.18° ve varus/valgus: 1.44°). Önerilen sistemin kullanımı basit ve ortak ölçüm için ambulatuvar veya denetimsiz ortamlarda kullanıma uygundur; ancak doğruluğun sensör yerleşimine duyarlı olabileceği gösterilmiştir.

Bloomfield et al., 2020 yılında; 11 adet günlük yaşam aktivitesi için diz eklem açılarını giyilebilir hareket sensörleriyle inceledikleri 20 sağlıklı denek üzerinde yaptıkları çalışmada; günlük yaşamın çoğunu kapsayacak şekilde statik ve dinamik aktivitelerin kombinasyonu seçilmiş ve tüm denekler arasında değerlendirilirken düşük standart sapma değerleri, tutarlı bir şekilde yüksek doğruluğun gözlemlendiğini göstermiştir. Mevcut çalışma, faaliyet sınıflandırmasının iyileştirilmesi için konumlandırılan dört sensörlü giyilebilir sistemin uygulanmasının faydalarını gösterse de sistemin gözlem dışında giyilmesiyle konu tutarlılığına ilişkin daha fazla araştırma yapılması gerektiği sonucuna varmıştır.

Beange et al., 2018 yılında yaptıkları omurga fleksiyonu, lateral fleksiyonu ve rotasyon ölçümü için yaptıkları çalışmada, MetamotionR IMU'ları geleneksel hareket yakalama sistemlerinden MetaMotionR IMU'ların güvenilirliği (Mbientlab Inc., San Francisco, ABD) kontrollü hareket sırasında 7 kameralı optoelektronik hareket yakalama sistemiyle (Vicon Motion Systems Ltd., Oxford, UK) karşılaştırıldığında güvenilir bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır.

Beange et al., 2019 yılında yaptıkları çalışmada, lomber eklem hareket açıklığı için giyilebilir hareket sensörü MetaMotionR (Mbientlab Inc., San Francisco, ABD) cihazını kullandıkları çalışmada; 3D omurga hareketini izlemede Vicon hareket yakalama ekipmanına karşı 2 MetaMotionR IMU'yu değerlendirmiş ve MetaMotionR cihazının lomber eklem hareket açıklığı ölçümünde kabul edilebilir performansa sahip olduğu, doğru ve güvenilir şekilde ölçtüğü sonucuna varılmıştır. Bu çalışma 1 yıl önceki çalışmalarındaki sınırlılıkları vurgulamak ve klinik hareket takibi ile ilgili olarak daha gerçekçi bir doğrulama senaryosu için yapılmıştır.

Literatürde, diz eklem hareket açıklığı ölçümünde kullanılan MetaMotionRL cihazının değerlendirici içi ve değerlendiriciler arası geçerlilik ve güvenilirliğinin

incelenmesi üzerine bir çalışma bulunmamaktadır. Bizim çalışmamızda diz eklem hareket açıklığı ölçümünde, giyilebilir hareket sensörü MetaMotionRL cihazı ölçümleri ile Meloq EasyAngle dijital gonyometre ölçüm sonuçları karşılaştırıldı ve MetamotionRL cihazının diz eklem hareket açıklığı ölçümünde geçerli ve güvenilir bir yöntem olduğu sonucuna ulaşıldı. Giyilebilir hareket sensörü (MetaMotionRL) cihazının ölçüm yönteminde; değerlendirici içi ve değerlendiriciler arası güvenilirlik sınıf içi korelasyon katsayısının yüksek olması nedeniyle güvenilir bir yöntem olduğunu göstermiştir. Ancak, doğruluğun sensör yerleşimine duyarlı olabileceği düşünülmüştür.



6. SONUÇLAR

Diz eklem hareket açıklığı ölçümünde giyilebilir hareket sensörlerinin geçerlilik ve güvenilirliğinin incelenmesinin hedeflendiği bu çalışmaya, Haliç Üniversitesinden 18-25 yaş arası 70 sağlıklı gönüllü öğrenci katılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır:

1. Test tekrar test her iki ölçüm sonuçları arasında anlamlı güçlü korelasyon gözlemlendi. Birinci değerlendiricinin ilk ölçümü ile ikinci ölçümü arasında anlamlı fark bulunmadı. Bu sonuç, giyilebilir hareket sensörüyle (MetaMotionRL) ölçüm yönteminin tek değerlendirici tarafından tekrarlanabilir nitelikte olduğunu göstermiştir.
2. Giyilebilir hareket sensörü (MetaMotionRL) için birinci değerlendiricinin ölçüm değeri ile ikinci değerlendiricinin ölçüm değeri karşılaştırıldığında arada anlamlı fark bulunmadı. Ölçüm değerleri arasında güçlü korelasyon gözlemlendi. Bu sonuç, giyilebilir hareket sensörüyle (MetaMotionRL) ölçüm yönteminin değerlendiriciler arası ölçüm güvenilirliğinin yüksek olduğunu göstermiştir.
3. Giyilebilir hareket sensörü (MetaMotionRL) cihazının ölçüm yönteminde; değerlendirici içi ve değerlendiriciler arası güvenilirlik sınıf içi korelasyon katsayısının yüksek olması nedeniyle güvenilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.
4. Gonyometre ve MetaMotionRL cihazlarının ölçüm değerleri arasında; kriter geçerlilik, yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğundan dolayı MetaMotionRL cihazının diz eklem hareket açıklığı ölçümünde kullanılmasının geçerli bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada, 18-25 yaş arası sağlıklı erişkinlerde MetaMotionRL marka giyilebilir hareket sensörleri ile yapılan diz aktif fleksiyon eklem hareket açıklığı ölçümünün geçerli ve güvenilir bir yöntem olduğu sonucuna varıldı.

7. ÖNERİLER

Gelecekteki çalışmalar için, bilinen diz eklem hareket açıklığı ile ilgili problemleri olan ya da diz eklemi ile ilgili hastalık teşhisi almış, yaş aralığı arttırılarak çalışmanın tekrar yapılabileceği önerilebilir.



KAYNAKLAR

- Aktürk, Z., Acemoğlu, H.** (2012). Tıbbi araştırmalarda geçerlilik ve güvenilirlik. *Dicle Tıp Dergisi*, 39 (2):316-319.
- Alonge, F., Cucco, E., D'Ippolito, F., & Pulizzotto A.** (2014). The use of accelerometers and gyroscopes to estimate hip and knee angles on gait analysis. *Sensors*, 14(5), 8430-8446.
- Ancans, A., Greitans, M., Cacurs, R., Banga, B., & Rozentals, A.** (2021). Wearable sensor clothing for body movement measurement during physical activities in healthcare. *Sensors*, 21(6), 2068.
- Bamaç, B.** (2016). *Diz Yaralanmalarında Rehabilitasyon*. İçinde: Diz Eklemının Fonksiyonel Anatomi ve Biyomekaniği. Eds: Baltacı G. Hipokrat Kitabevi, Ankara, s: 7-8,16-17, 22.
- Beange, K.H.E., Chan, A.D.C., & Graham, R.B.** (2018). Evaluation of wearable IMU performance for orientation estimation and motion tracking, *2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, pp. 1-6, doi: 10.1109/MeMeA.2018.8438623.
- Beange, K.H.E., Chan, A.D.C., & Graham, R.B.** (2019). Wearable sensor performance for clinical motion tracking of the lumbar spine. *Conference of The Canadian Medical and Biological Engineering Society Proceedings*, 42.
- Bloomfield, R.A., Fennema, M.C., Mclsaac, K.A., Teeter, M.G.** (2019). Proposal and validation of a knee measurement system for patients with osteoarthritis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 66(2): 319-326.
- Bloomfield, R.A., Teeter M.G., & McIsaac K.A.** (2020). A Convolutional neural network approach to classifying activities using knee instrumented wearable sensors. *IEEE Sensors Journal*, 20(24), 14975-14983.
- Boekesteijn, R.J., Smolders, J.M., Busch, V.J., Geurts, A.C., & Smulders, K.** (2021). Independent and sensitive gait parameters for objective evaluation in knee and hip osteoarthritis using wearable sensors. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 22(1), 1-11.
- Cael, C.** (2010). *Functional Anatomy: Musculoskeletal Anatomy, Kinesiology and Palpation for Manual Therapists*. *Fonksiyonel Anatomi: Manuel terapistler için Kas İskelet Anatomisi, Kinezyoloji ve Palpasyon*. Ed: Ergun N. Çevirenler: Avcı, Ş., Ün Yıldırım N., Bakar Y., Nobel Tıp Kitabevleri, Ankara.

- Çalışgan, A.** (2015). *'Asthma Self-Management' anketinin Türkçe versiyonunun güvenilirlik ve geçerlilik çalışması*. Yayınlanmış Tez: İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Collins, J.E, Rome, B.N., Daigle, M.E., Lerner, V., Katz, J.N., & Losina E.** (2014). A comparison of patient – reported and measured range of motion in a cohort of total knee replacement patients. *The Journal of Arthroplasty*, 29 (7): 1378-1382.
- Dursun, G.** (2013). *Yaşlı bireylerde geriatrik ağrı ölçeğinin geçerlik ve güvenilirliğinin çalışması*. Yayınlanmış Tez: Akdeniz Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Elek, A.** (2020). *Menisküs hasarlı bireylerde propiosepsiyon duyusu ve alt ekstremitte kas kuvvetinin incelenmesi*. Yayınlanmış Tez: İnönü Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Ercan, İ., Kan, İ.** (2004). Ölçeklerde güvenilirlik ve geçerlik. *Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 30 (3): 211-216.
- Esmer, A.F., Başarır, K., Binnet, M.** (2011). Diz Eklemine Cerrahi Anatomisi. *TOTBİD Dergisi*, 10(1):38-44.
- Faisal, A.I.** (2020). *Development of a low-cost and easy-to-use wearable knee joint*. Yayınlanmış Tez: McMaster University Faculty of the Department of Electrical & Computer Engineering). Hamilton, Ontario.
- Faisal, A.I., Majumder, S., Scott, R., Mondal, T., Cowan, D., & Deen, M.J.** (2020). A simple, low-cost multi-sensor-based smart wearable knee monitoring system. *IEEE Sensors Journal*, 21(6), 8253-8266.
- Fennema, M.C., Bloomfield, R.A., Lanting, B.A., Birmingham, T.B., & Teeter, M.G.** (2019). Repeatability of measuring knee flexion angles with wearable inertial sensors. *The Knee* 26(1),97-105.
- Fox, A.J.S., Bedi, A., & Rodeo, S.A.** (2012). The basic science of human knee meniscus. *Sports Health*, 4(4):340-351.
- Gajdosik, R.L., & Bohannon, R.W.** (1987). Clinical measurement of range of motion. Review of goniometry emphasizing reliability and validity. *Physical Therapy*, 67(12),1867-1872.
- Gao, Z., Song, Y., Zhou, Y., & Xiong, W.** (2021). Design of joint range of motion measurement based on Kinect. *IEEE 5th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)* Vol.6, pp:734-738.
- Hakverdioğlu Yönt, G.** (2009). *İnmeye özgü yaşam kalitesi ölçeğinin Türk toplumu için geçerlik güvenilirliğinin incelenmesi*. Yayınlanmış Tez: Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Jansen, E., Brienza, S., Gierasimowickz-Fontona, A., & Matos, C.** (2015). Rehabilitation after total knee arthroplasty of hip and knee. *Revue Medicale de Bruxelles*, 36 (4):313-320.
- Keleş, E., Şimşek, E., Salmanı, M., Tarsuslu Şimşek, T., Angın, S., Yakut, Y.** (2016). Eklem hareket açıklığı ölçümünde kullanılan iki akıllı telefonu uygulamasının uygulayıcı içi ve uygulayıcılar arası güvenilirliğinin incelenmesi. *Journal of Exercise Therapy and Rehabilitation*. 3(1):21-29.
- Kim, TS., Park, D.D.H., Lee, Y.B., Han, D.G., Shim, J.S., Lee, Y.J., & Kim, P.C.W.** (2014). A study on the measurement of wrist motion range using the Iphone 4 gyroscope application. *Annals of Plastic Surgery*, 73(2), 215–218.
- Kuzu, B.** (2011). *Diz osteoartritinde kombine fizyoterapi yardımcı cihaz kullanımı ve ev egzersiz programının etkinliğinin karşılaştırılması*. Yayınlanmış Tez: İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lind, V., Svensson, M., & Harringe, M.L.** (2021). Reliability and validity of a Digital goniometer for measuring knee joint range of motion. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 1-8.
- Macedo, LG., & Magee, D.J.** (2008). Differences in range of motion between dominant and nondominant sides of upper and lower extremities. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 31(8), 577-582.
- Meral, S.** (2010). *Öğretim elemanlarının tükenmişlik ölçeğinin geçerlilik ve güvenilirlik çalışması: Amasya Üniversitesi Örneği*. Yayınlanmış Tez: On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Moeller, A.M., Behrens, M., Finze, S., & Bruhn, S.** (2014). The effect of continuous passive motion and sling exercise training on clinical and functional outcomes following total knee arthroplasty. *Healthy and Quality of Life Outcomes* 12(1),1-10.
- Mohammad, W.S., Elattar, F.F., Elsaıs, W.M., & AlDajah, S.O.** (2021). Validity and reliability of a smartphone and digital inclinometer in measuring the lower extremity joints range of motion. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 10(2), 47-52.
- Milani, P., Cocchetta, C.A., Rabini, A., Sciarra, T., Massazza, G., & Ferriero G.** (2014). Mobile smartphone applications for body position measurement in rehabilitation: A review of goniometric tools. *PM& R*, 6 (11),1038-1043.
- Njirjak, M., Otović, E., Budimir, M., Vlahović, H., Tomić, M., & Marijančić, V.** (2020). Smartphone Based Range of Motion Measurement in Physiotherapy. 43rd International Convention on Information, *Communication and Electronic Technology*, pp. 197-202.
- Nwaizu H., Saatchi R., Burke D.** (2016). Accelerometer Based Human Joints' Range of Movement Measurement. 10th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (pp. 1-6).

- Ogata, K., Tanaka, H., & Matsumoto, Y.** (2021.) Simple Three-Dimensional Motion Measurement System Using Marker-IMU System. *In 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)* (pp. 7073-7076).
- Otman, AS., Köse, N.** (2014). *Tedavi Hareketlerinde Temel Değerlendirme Prensipleri*. Pelikan Yayıncılık, Ankara.
- Özer, H., Şenol, MS.** (2016). *Diz Yaralanmalarında Rehabilitasyon*. İçinde: Akut Yaralanmış Diz Eklemine Değerlendirilmesi. Ed: Baltacı G. Hipokrat Kitabevi, Ankara, s:33.
- Qi, Y., Soh, C.B., Gunawan, E., Low, K.S., & Maskooki, A.** (2013). Measurement of knee flexion/extension angle using wearable UWB radios. *35th Annual International Conference of the IEEE EMBS*. 7213-7216.
- Rajkumar, A., Vulpi, F., Bethi, S.R., Wazir, H.K., Raghavan, P., & Kapila, V.** (2019). Wearable inertial sensors for range of motion assessment. *IEEE Sensors Journal*, 20(7), 3777-3787.
- Rosique, F., Losilla, F., & Navarro, P.J.** (2021). Using artificial vision for measuring the range of motion. *IEEE Latin America Transactions*, 19(7), 1129-1136.
- Svensson, M., Lind, V., & Löfgren Harringe, M.** (2019). Measurement of knee joint range of motion with a digital goniometer: A reliability study. *Physiotherapy Research International*, 24(2), 1765.
- Ünver, H.** (2012). *Diz osteoartritinde diz eklemi kompartımanlarının Kellgren-Lawrence radyografik skorları ile diz eklem hareket açıklığı, diz ağrısı ve disabilite arasındaki ilişki*. Yayınlanmış Tez: Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi, Van.
- Yakit, S.** (2015). *Diz osteoartritli hastalarda kinezyolojik bantlamanın dinamik denge ve fonksiyonellik üzerine kısa dönem etkisinin araştırılması*. Yayınlanmış Tez: Yeditepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yaikwawongs, N., Limpaphayom, N., & Wilairatana, V.** (2009). Reliability of digital compass goniometer in knee joint range of motion measurement. *J Med Assoc Thai*, 92 (4): 517-22.
- Yazıcıoğlu, G., Erbahçeci, F.** (2020). *Kinezyoloji ve Biyomekanik* 3.Baskı. Hipokrat Yayıncılık, Ankara.
- Yıldırım, M.** (2014). *İnsan Anatomisi*. 7. Baskı. Nobel Tıp Kitabevi, İstanbul.
- Watanabe, T., & Saito, H.** (2011). Tests of wireless wearable sensor system in joint angle measurement of lower limbs. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 5469-5472).

Werner, B.C., Holzgrefe, R.E., Griffin, J.W., Lyons, M., Cosgrove, C.T., Hart, J. M., & Brockmeier, S.F. (2014). Validation of an innovative method of shoulder range-of-motion measurement using a smartphone clinometer application. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 23(11),275-282.

URL-1 <https://mbientlab.com/metamotionrl/>, Erişim tarihi:11.10.2021.

URL-2 <https://mbientlab.com/metamotionrl/>, Erişim tarihi: 15.04.2022.

URL-3 <https://meloqdevices.com/products/digital-goniometer-easyangle/>,

Erişim tarihi: 11.10.2021.



EKLER

EK A: Etik Kurul Onayı

EK B: Kurum İzni

EK C: Gönüllü Bilgilendirme ve Onay Formu

EK D: Sosyodemografik Veri Formu

EK E: Diz Eklem Hareket Aktif Fleksiyon Ölçüm Bilgileri



EK A: ETİK KURUL ONAYI



T.C.

HALIÇ ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Tarih:

...01.12.2021

Sayı: 173

Konu: Etik Kurulu Kararı

Sayın Ayşegül Koçak,

Yapmış olduğunuz başvuru Haliç Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından incelenmiş olup, Prof. Dr. Melek Güneş Yavuzer'in danışmanlığında planladığımız "**Diz Eklem Hareket Açıklığı Ölçümünde Giyilebilir Hareket Sensörlerinin Geçerlilik ve Güvenilirliğinin İncelenmesi**" başlıklı çalışmanız kurulumuzun 01.12.2021 tarihli toplantısında etik yönden uygun bulunmuştur.
Bilgilerinize sunarım.

Prof. Dr. Melek Güneş Yavuzer
Haliç Üniversitesi Girişimsel Olmayan
Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanı

Ek: Etik Kurulu Kararı

Örnektepe Mah. İmrahor Cad. No: 82 Beyoğlu -
İSTANBUL Tel: 0 212 924 2444 /2704 Faks: 0 212
343 0878 e-mail: etikkurul@halic.edu.tr
www.halic.edu.tr

EK B: KURUM İZNI

Evrak Tarih ve Sayısı: 21.12.2021-29199



T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ

Sayı :E-77118178-044-29199
Konu :Ayşegül KOÇAK'ın Anket İzni Hk.

21.12.2021

DAĞITIM YERLERİNE

İlgi : Üniversitemiz Lisansüstü Eğitim Müdürlüğünün 13.12.2021 tarih ve 28672 sayılı yazısı.

Üniversitemiz Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi Ayşegül KOÇAK'ın Prof. Dr. Melek Güneş YAVUZER danışmanlığında yürüttüğü "Diz Eklem Hareket Açıklığı Ölçümünde Giyilebilir Hareket Sensörlerinin Geçerlilik ve Güvenilirliğinin İncelenmesi" konulu araştırmasını Üniversitemiz bünyesinde yapma talebi gönüllülük esaslarına göre uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi rica ederim.

Prof.Dr. Zafer UTLU
Vekil Rektör

Ek:Ayşegül KOÇAK_ın Anket Çalışma İzni hk. (40 sayfa)

Dağıtım:

Gereği:

Fen Edebiyat Fakültesi Dekanlığına
Güzel Sanatlar Fakültesi Dekanlığına
İşletme Fakültesi Dekanlığına
Mimarlık Fakültesi Dekanlığına
Mühendislik Fakültesi Dekanlığına
Sağlık Bilimleri Fakültesi Dekanlığına
Tıp Fakültesi Dekanlığına
Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu
Müdürlüğüne
Konservatuvar Müdürlüğüne
Meslek Yüksekokulu Müdürlüğüne
Tuğba TÜRKÖZ ERKAN
Yunus Ali EROL

Bilgi:

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : *BS4LMJK7Z* Pin Kodu :62722

Belge Takip Adresi :
<https://turkiye.gov.tr/ebd?eK=5510&eD=BS4LMJK7Z&eS=29199>

Adres:Sütlüce Mah. İmrahor Cad. No:82 Beyoğlu/İstanbul
Telefon:0 (212) 924 24 44 Faks:(0 212) 999 78 52
e-Posta:info@halic.edu.tr Web:www.halic.edu.tr
Kep Adresi: tchalicuniversitesi@hs03.kep.tr

Bilgi için: S.MİSİRLİ
Unvanı: Yazı İşleri Uzmanı
Tel No: 1441



EK C: GÖNÜLLÜ BİLGİLENDİRME VE ONAY FORMU

I-Araştırmanın Genel Çerçevesi

Bu katıldığımız çalışma bilimsel bir çalışma olup çalışmanın adı “Diz Eklem Hareket Açıklığı Ölçümünde Giyilebilir Hareket Sensörlerinin Geçerlilik ve Güvenilirliğinin İncelenmesi” dir.

Bu çalışma, Metodolojik bir çalışma olup geçerlilik-güvenilirlik çalışmasıdır.

Bu araştırmada, MetaMotionRL (giyilebilir hareket sensörü) isimli cihazın diz eklem hareket açıklığını ölçmede geçerli ve güvenilir bir yöntem olup olmadığını araştırmak için tasarlanmıştır. Bu çalışmayı tasarlayarak el bileğinde ölçüm yapabileceğimiz, klinikte kullanabileceğimiz bir ölçüm yönteminin uygulanabilirliğini test etmiş olacağız

Bu çalışmada, katılımcı genel bilgilerini almak için Demografik Veri Formu, diz eklem hareket açıklıklarının ölçülmesi için MetaMotionRL cihazı ve Meloq EasyAngel Dijital gonyometre cihazı kullanılacaktır.

Bu çalışmada sizden beklenen dominant alt ekstremitenizi yüzüstü pozisyonda belirli pozisyonlara getirerek o pozisyonlarda diz eklem hareket açıklığınızın ölçülmesidir. Bu çalışmada iki değerlendirici bulunacaktır ve her iki değerlendirici ayrı ayrı ölçümleri gerçekleştirecektir. Değerlendirmeler her katılımcının uygun olduğu gün ve saatte yapılacak olup yaklaşık 30 dk. sürecektir.

Bu çalışmaya katılmayı denek olarak kabul ederseniz, sizden istenen şeyler bu formları YANITLAMANIZ dır.

Bu araştırma sizin için herhangi bir istenmeyen etki ya da risk taşımamaktadır.

Bu çalışma SPSS istatistiksel program ile değerlendirilecektir.

Bu çalışma ARALIK 2021 ve Mart 2022 tarihleri arasında yapılacaktır.

Bu araştırma en az 70 katılımcı ile yapılacaktır.

II- Gönüllünün Haklarıyla İlgili Bilgi Verilmesi

Bu araştırma kapsamında sizden hiçbir ücret alınmayacak, bağlı bulunduğunuz sosyal güvenlik kurumundan hiçbir ücret alınmayacak ve size hiçbir ücret ödenmeyecektir.

Bu araştırmada yer almak tamamen sizin isteğinize bağlıdır. Araştırmada yer almayı reddedebilirsiniz ya da herhangi bir aşamada araştırmadan ayrılabilirsiniz; bu durum herhangi bir cezaya ya da sizin yararlarınıza engel duruma yol açmayacaktır. Araştırmacı bilginiz dahilinde veya isteğiniz dışında uygulanan çalışma şemasının gereklerini yerine getirmemeniz, çalışma programını aksatmanız vb. nedenlerle sizi araştırmadan çıkarabilir. Araştırmanın sonuçları bilimsel amaçla kullanılacaktır; çalışmadan çekilmeniz ya da araştırmacı tarafından çıkarılmanız durumunda, sizle ilgili tıbbi veriler de gerekirse bilimsel amaçla kullanılabilir.

Size ait tüm tıbbi ve kimlik bilgileriniz gizli tutulacaktır ve araştırma yayınlansa bile kimlik bilgileriniz verilmeyecektir, ancak araştırmanın izleyicileri, yoklama yapanlar, etik kurlar ve resmi makamlar gerektiğinde tıbbi bilgilerinize ulaşabilir. Siz de istediğinizde kendinize ait tıbbi bilgilerinize ulaşabilirsiniz.

Yukarıda gönüllüye araştırmadan önce verilmesi gereken bilgileri gösteren metni okudum. Bunlar hakkında bana yazılı ve sözlü açıklamalar yapıldı. Bu koşullarda söz konusu klinik araştırmaya kendi rızamla hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın katılmayı kabul ediyorum.

Katılımcının/Hastanın Beyanı

Sayın Fzt. Ayşegül KOÇAK tarafından tarafından T.C. Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü'nde, tıbbi bir araştırma yapılacağı belirtilerek bu araştırma ile ilgili yukarıdaki bilgiler bana aktarıldı. Bu bilgilerden sonra böyle bir araştırmaya "katılımcı" (denek) olarak davet edildim.

Eğer bu araştırmaya katılırsam araştırmacı ile aramda kalması gereken bana ait bilgilerin gizliliğine bu araştırma sırasında da büyük özen ve saygı ile yaklaşılacağına inanıyorum. Araştırma sonuçlarının eğitim ve bilimsel amaçlarla kullanımı sırasında kişisel bilgilerimin ihtimamla korunacağı konusunda bana yeterli güven verildi.

Projenin yürütülmesi sırasında herhangi bir sebep göstermeden araştırmadan çekilebilirim. (Ancak araştırmacıları zor durumda bırakmamak için araştırmadan çekileceğimi önceden bildirmemim uygun olacağına bilincindeyim) Ayrıca tıbbi durumuma herhangi bir zarar verilmemesi koşuluyla araştırmacı tarafından araştırma dışı da tutulabilirim.

Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana da bir ödeme yapılmayacaktır.

İster doğrudan ister dolaylı olsun araştırma uygulamasından kaynaklanan nedenlerle meydana gelebilecek herhangi bir sağlık sorunumun ortaya çıkması halinde, her türlü tıbbi müdahalenin sağlanacağı konusunda gerekli güvence verildi. (Bu tıbbi müdahalelerle ilgili olarak da parasal bir yük altına girmeyeceğim).

Araştırma sırasında bir sağlık sorunu ile karşılaştığımda; herhangi bir saatte,

Fizyoterapist Ayşegül Koçak'ı numaralı telefonda arayabileceğimi

Bu araştırmaya katılmak zorunda değilim ve katılmayabilirim. Araştırmaya katılmam konusunda zorlayıcı bir davranışla karşılaşmış değilim. Eğer katılmayı reddedersem, bu durumun tıbbi bakımına ve hekim ile olan ilişkiye herhangi bir zarar getirmeyeceğini de biliyorum.

Bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Kendi başıma belli bir düşünme süresi sonunda adı geçen bu araştırma projesinde

"katılımcı" (denek) olarak yer alma kararını aldım. Bu konuda yapılan daveti büyük bir memnuniyet ve gönüllülük içerisinde kabul ediyorum.

İmzalı bu form kağıdının bir kopyası bana verilecektir.

GÖNÜLLÜ ONAY FORMU

Yukarıda gönüllüye araştırmadan önce verilmesi gereken bilgileri gösteren metni okudum. Bunlar hakkında bana yazılı ve sözlü açıklamalar yapıldı. Bu koşullarla söz konusu klinik araştırmaya kendi rızamla hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın katılmayı kabul ediyorum.

Gönüllünün Adı-soyadı:

İmzası:

Adresi:

Telefon:

Açıklamaları yapan araştırmacının Adı-soyadı: Fzt. Ayşegül KOÇAK

İmzası:

EK D: SOSYO DEMOGRAFİK VERİ DEĞERLENDİRME FORMU

1) Ad-Soyad:

2) Yaş:

3) Cinsiyet:

4) Kilo

5) Boy

6) Sigara kullanıyor musunuz? Evet () Hayır ()

7) Alkol kullanıyor musunuz? Evet () Hayır ()

8) Spor yapıyor musunuz? Evet () Hayır ()

9) Haftada kaç gün spor yapıyorsunuz? gün

10) Yaptığınız spor tipi nedir?

11) Alt ekstremitede dominant bacağız hangisi? Sağ () Sol ()

12) Spor yaparken diz ağrınız oluyor mu? Evet () Hayır ()

13) Kronik bir rahatsızlığınız var mı? (Hipertansiyon, Astım, İnsülin direnci vb.) Evet () Hayır()

14) Sürekli kullandığınız bir ilaç var mı? Evet () Hayır ()

15) Diz ağrınız var mı? Varsa günlük yaşantınızı etkiliyor mu? Evet () Hayır ()

EK E: DİZ EKLEM AKTİF FLEKSİYONU ÖLÇÜM BİLGİLERİ

Gonyometrik Ölçüm Bilgileri (Üç ölçüm yapıldıktan sonra en yüksek değer kaydedilecektir.)

Dominant ekstremitte ölçümü	1.Değerlendirici
DİZ AKTİF FLEKSİYON EHA	1.Ölçüm
	2.Ölçüm
	3.Ölçüm

MetaMotionRL (Giyilebilir hareket sensörü) Ölçüm Bilgileri (Üç ölçüm yapıldıktan sonra en yüksek değer kaydedilecektir.)

Dominant ekstremitte ölçümü	1.Değerlendirici 1.ölçüm	2.Değerlendirici
DİZ AKTİF FLEKSİYON EHA	1.Ölçüm	
	2.Ölçüm	
	3.Ölçüm	

1.Değerlendirici
2.ölçüm
1.Ölçüm
2.Ölçüm
3.Ölçüm

ÖZGEÇMİŞ

1. **Adı Soyadı:** AYŞEGÜL KOÇAK
2. **Unvanı:** Fizyoterapist

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2018, Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü
- **Yüksek Lisans:** 2022, Haliç Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilimdalı, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Yüksek Lisans Programı