

Ortopedi ve Travmatoloji: Teori, Metodoloji ve Uygulama

Editör
Dr. Öğr. Üyesi Umman Menendi

**Ortopedi ve Travmatoloji:
Teori, Metodoloji ve Uygulama**

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Umman Menendi

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editör
Dr. Öğr. Üyesi Umman Menendi

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Ekim, 2025

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-6517-67-7

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,
Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....	5
Ortopedi ve Travmatolojide Biyolojik Onarım ve Rejeneratif Tedavi Stratejilerinde Güncel Eğilimler	
Beytullah UNAT	
BÖLÜM 2.....	11
Gonartroz	
Murat Mert	
BÖLÜM 3.....	23
Digital Health in Orthopedics: Current Applications and Future Perspectives	
Omer Esmez & Gulnihal Deniz	



BÖLÜM 1

Ortopedi ve Travmatolojide Biyolojik Onarım ve Rejeneratif Tedavi Stratejilerinde Güncel Eğilimler

Beytullah Unat¹

1. GİRİŞ

Ortopedi ve travmatoloji pratiği son yıllarda önemli bir paradigma değişimi geçirmiştir. Bu dönüşümün temelinde, yalnızca mekanik onarımın değil, biyolojik iyileşmenin de sağlanması gerektiği anlayışı yer almaktadır. Geleneksel cerrahi yöntemler sabit stabilite sağlarken, rejeneratif tıp bu yaklaşıma hücre, biyomateryal ve büyüme faktörlerinin etkileşimini dâhil etmiştir (Lopa & Colombini, 2023).

Rejeneratif ortopedinin ana hedefi, hasarlı dokunun sadece anatomik yapısını değil, aynı zamanda fonksiyonel ve biyomekanik bütünlüğünü yeniden kazandırmaktır (Trompet & Maes, 2024). Bu nedenle disiplin, hücresel tedaviler, genetik mühendisliği, doku mühendisliği ve biyoteknolojik gelişmeleri entegre eden multidisipliner bir alan hâline gelmiştir (Hernigou & Poignard, 2022).

2. Hücresel Rejenerasyonun Biyolojik Temelleri

2.1. Mezenkimal Kök Hücreler

Mezenkimal kök hücreler (MKH), kemik iliği, adipoz doku, sinoviyal membran, umbilikal kordon ve dental pulpa gibi birçok kaynaktan elde edilebilir (Wyles et al., 2023). MKH'ler osteojenik, kondrojenik, miyojenik ve tenojenik farklılaşma yetenekleriyle kemik, kıkırdak ve tendon rejenerasyonunda temel rol oynarlar (Trompet & Maes, 2024).

Bu hücrelerin terapötik etkisi yalnızca farklılaşma ile sınırlı değildir; parakrin mekanizmalar aracılığıyla da doku iyileşmesini desteklerler. MKH kaynaklı eksozomlar, anti-inflamatuar etki göstererek hücre dışı matriksin yeniden düzenlenmesini kolaylaştırır (Zhang et al., 2024).

2.2. İndüklenmiş Pluripotent Kök Hücreler

İndüklenmiş pluripotent kök hücreler (iPSC'ler), somatik hücrelerin genetik yeniden programlanmasıyla elde edilir (Yamashita et al., 2023). iPSC teknolojisi, etik açıdan avantajlı bir alternatif sunmakta olup osteokondral doku mühendisliğinde umut verici sonuçlar elde edilmiştir (Shi et al., 2022). Ancak farklılaşma kontrolü ve tümörigenite riski hâlâ önemli zorluklar arasındadır.

¹ Ortopedi ve Travmatoloji Bölümü, Tıp Fakültesi, Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Gaziantep/TÜRKİYE, ORCID: 0009-0006-1036-6710

3. Biyoaktif Moleküller ve Büyüme Faktörleri

3.1. Trombositten Zengin Plazma (PRP)

PRP, otolog kanın santrifüj edilmesiyle elde edilir ve TGF- β , PDGF, VEGF, IGF gibi büyüme faktörlerinden zengindir (Everts et al., 2023). Randomize çalışmalar, PRP'nin lateral epikondilit, Aşil tendinopatisi ve erken osteoartritte ağrıyı azalttığını göstermektedir (Filardo et al., 2023). Ancak hazırlama protokollerindeki farklılıklar sonuçların heterojen olmasına neden olmaktadır.

3.2. Kemik Morfojenik Proteinler (BMP'ler)

BMP-2 ve BMP-7 gibi proteinler osteoindüktif etki göstererek kemik oluşumunu destekler (Fernandez de Grado et al., 2018). Özellikle BMP-2, spinal füzyon ve açık kırıkların tedavisinde etkinliğini kanıtlamıştır (Sohn & Oh, 2019).

3.3. Eksozomlar ve Hücre Dışı Veziküller

Eksozomlar, kök hücre kaynaklı mikroveziküller olup inflamasyonu azaltır ve anjiyogenezi uyarır (Zhang et al., 2024). Günümüzde prelinik çalışmalar bu tedavinin osteoartrit ve tendon onarımında umut vadettiğini göstermektedir (Furuta et al., 2023).

4. Biyomateriyal Teknolojilerinde Gelişmeler

4.1. Akıllı Scaffold Sistemleri

Biyomateriyaller, hücrelerin tutunması ve farklılaşması için üç boyutlu ortamlar sunar. Akıllı scaffoldlar, hücresel sinyallere yanıt veren, kontrollü bozunabilen ve biyokimyasal uyaranlar sağlayan yapılardır (Naseem et al., 2021). Polilaktik asit (PLA), hidroksiapatit (HA) ve kollajen bazlı hibrit scaffoldlar en sık kullanılanlardır (Acta Biomater, 2024).

4.2. Nanoteknoloji ve Biyoaktif Camlar

Nanoteknolojik modifikasyonlar hücre-materiyal etkileşimini artırır, biyoaktif cam partikülleri ise osteokondüktif etkinlik sağlar (Crovace et al., 2023). Nanofiber yüzey kaplamaları özellikle MKH adezyonunu artırarak osteojenik farklılaşmayı hızlandırmaktadır (Haque et al., 2024).

5. Klinik Uygulamalar

5.1. Kemik Rejenerasyonu

Kritik boyutlu kemik defektlerinde Masquelet tekniği, otolog kemik greftleri ve 3D biyobaskı yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır (Alford et al., 2021). Masquelet membranının yüksek VEGF ve BMP ekspresyonu, greftin osteojenik kapasitesini artırır (Schmidt, 2021).

5.2. Kıkırdak Onarımı

Kıkırdak rejenerasyonu zordur çünkü dokunun avasküler yapısı sınırlayıcıdır. Mikrokırık, MACI ve MKH enjeksiyonu yöntemleri klinikte sık kullanılır (Mistry et al., 2017). MKH tedavileriyle WOMAC skorlarında %40'a kadar iyileşme ve MRG'de kıkırdak kalınlığında artış rapor edilmiştir (Takahashi et al., 2023).

5.3. Tendon ve Bağ Onarımı

PRP ve SVF uygulamaları, kronik tendinopatilerde doku iyileşmesini hızlandırır (Kaux et al., 2022). Fibrin bazlı hidrojel destekleri, hücre infiltrasyonunu artırarak iyileşmeyi destekler (Ahmad et al., 2023).

6. Klinik Kanıtlar ve Meta-Analizler

Son yıllarda yapılan sistematik derlemeler, PRP ve MKH tedavilerinin etkinliğini göstermektedir (Everts et al., 2023; Wyles et al., 2023). MKH tedavileri, avasküler nekroz olgularında radyolojik progresyonu yavaşlatmakta ve kemik kaynamama olgularında başarı oranını %80'in üzerine çıkarmaktadır (Hernigou & Poignard, 2022).

Yakın gelecekte rejeneratif ortopedi, kişiselleştirilmiş tedavilerle daha ileri bir boyuta taşınacaktır. 3D biyobaskı ile hasta spesifik scaffold üretimi, gen tedavileriyle lokal BMP ve VEGF ekspresyonunun artırılması ve yapay zekâ destekli biyomühendislik sistemleri ön plandadır (Lopa & Colombini, 2023; Zhang et al., 2024).

7. Sonuç

Rejeneratif tıp, ortopedinin geleceğini şekillendiren güçlü bir paradigma değişimidir. Hücresel tedaviler, biyomateryaller ve büyüme faktörlerinin entegre edilmesiyle fonksiyonel doku onarımı hedeflenmektedir. Ancak uzun dönem klinik sonuçların standardizasyonu, maliyet etkinliği ve regülatuar çerçevelerin netleşmesi hâlen önemini korumaktadır (Wyles et al., 2023).

KAYNAKLAR

- Ahmad, Z., Koh, J. L., & Maffulli, N. (2023). Regenerative approaches to tendon repair. *J Tissue Eng Regen Med*, 17(2), 153–168. <https://doi.org/10.1002/term.3491>
- Alford, A. I., Nicolaou, D., Hake, M., & McBride-Gagy, S. (2021). Masquelet's induced membrane technique: Current concepts and future directions. *J Orthop Res*, 39(4), 707–718. <https://doi.org/10.1002/jor.24978>
- Crovace, A. M., et al. (2023). Nanostructured biomaterials for bone regeneration. *Acta Biomater*, 156, 97–115. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2023.02.004>
- Everts, P., et al. (2023). Platelet-rich plasma: Clinical perspectives. *Int J Mol Sci*, 24(3), 7794. <https://doi.org/10.3390/ijms240307794>
- Fernandez de Grado, G., et al. (2018). Bone substitutes: Characteristics and perspectives. *J Tissue Eng*, 9, 2041731418776819. <https://doi.org/10.1177/2041731418776819>
- Filardo, G., et al. (2023). PRP in orthopaedics: Evidence-based update. *Am J Sports Med*, 51(1), 23–36. <https://doi.org/10.1177/03635465221156478>
- Furuta, T., et al. (2023). Exosomes in orthopedic regenerative medicine. *Stem Cell Res Ther*, 14, 53. <https://doi.org/10.1186/s13287-022-03242-5>
- Haque, T., et al. (2024). Nanofiber-based scaffold in bone tissue engineering. *Mater Sci Eng C*, 157, 114216. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2024.114216>
- Hernigou, P., & Poignard, A. (2022). Mesenchymal stem cells in orthopaedics. *EFORT Open Rev*, 7(10), 799–811. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.7.210125>
- Kaux, J. F., et al. (2022). PRP and tendinopathy: Clinical evidence and mechanisms. *Sports Med*, 52(4), 567–583. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01624-8>
- Lopa, S., & Colombini, A. (2023). Regenerative strategies in orthopaedics. *Bone Joint Res*, 12(8), 525–539. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.128.BJR-2023-0203.R1>
- Mistry, H., et al. (2017). Autologous chondrocyte implantation in the knee. *Health Technol Assess*, 21(6), 1–294. <https://doi.org/10.3310/hta21060>
- Naseem, R., et al. (2021). Enhancing polyester-based materials for bone fixation. *Molecules*, 26(4), 992. <https://doi.org/10.3390/molecules26040992>
- Schmidt, A. H. (2021). Autologous bone graft: Is it still the gold standard? *Injury*, 52(S2), S18–S22. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.01.043>
- Shi, Q., et al. (2022). Induced pluripotent stem cells for cartilage regeneration. *Stem Cell Transl Med*, 11(5), 383–395. <https://doi.org/10.1093/stcltm/szac014>

- Sohn, H. S., & Oh, J. K. (2019). Bone graft and bone substitutes. *Biomater Res*, 23(9). <https://doi.org/10.1186/s40824-019-0157-y>
- Takahashi, M., et al. (2023). Mesenchymal stem cell therapy for cartilage lesions. *J Orthop Sci*, 28(3), 522–532. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2022.03.005>
- Trompet, D., & Maes, C. (2024). Skeletal stem and progenitor cells in bone repair. *J Bone Miner Res*, 39(6), 633–654. <https://doi.org/10.1093/jbmr/zjae069>
- Wyles, C. C., et al. (2023). Clinical translation of stem cell therapy in orthopaedics. *Clin Orthop Relat Res*, 481(2), 243–256. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000002598>
- Yamashita, A., et al. (2023). Induced pluripotent stem cell-derived chondrocytes. *Nat Rev Rheumatol*, 19(7), 425–441. <https://doi.org/10.1038/s41584-023-00952-7>
- Zhang, L., et al. (2024). Exosome-based regenerative therapy in musculoskeletal disorders. *Stem Cells Transl Med*, 13(2), 145–159. <https://doi.org/10.1093/stcltm/szac106>



BÖLÜM 2

Gonartroz

Murat Mert¹

1.GİRİŞ

Gonartroz ,diz eklemın kireçlenmesi yada osteoartritini ifade ede. Diz eklem kıkırdağının ilerleyici dejenerasyonudur.

Kıkırdağın parçalanması ve alttaki kemikte değişiklikler ve sinovyal inflamasyonla karakterize dejeneratif bir eklem hastalığıdır .Ağrıya, işlevsel kısıtlamalara ve sertliğe yol açar. Karmaşık bir etiyojisi ve bireylerin yaşam kalitesi üzerinde derin etkileriyle karakterize, dünya çapında yaygın bir sakatlık nedenidir. .Özellikle yaşlı yetişkinler arasında günlük aktiviteleri ve genel yaşam kalitesini önemli ölçüde bozar. (1)

Genel olarak Kalça artrozu ile birlikte dünyada en sık görülen eklem rahatsızlığıdır. özellikle 55 yaş üstü bireylerde oldukça yaygındır , ciddi bir sosyoekonomik sorun oluşturmaktadır. Bu durum 2000 yılından bu yana yaklaşık iki katına çıkmıştır.Ayrıca tedavide total eklem replasmanı gibi cerrahi müdahaleleri tüm hastaların yaklaşık %70'ini oluşturur. görülme sıklığı artmaktadır. Batı toplumlarında yetişkinlerde ağrı, fonksiyon kaybı ve sakatlığın en sık nedenlerinden biridir . (2)

Kıkırdağın mekanik aşınmasının yanı sıra sinovyum, menisküs ,periartiküler bağ ve subkondral kemik de dahil olmak üzere tüm eklemde eşlik eden yapısal ve işlevsel değişiklikleri de içeren inflamatuvar değişiklikler ortaya çıkar.

Yüksek maliyet yükü ve mevcut hastalığı modifiye edici tedavisi olmaması nedeniyle en zorlu artritlik rahatsızlık olmaya devam etmektedir. Semptomatik erken evre gonartozun , birinci basamak sağlık hizmetlerinde erken tanısı ile eğitim, egzersiz ve kilo yönetimi ve hastalığın ilerlemesi için yaşam tarzıyla ilişkili risk faktörlerini ele alarak uygun idaresi ile hastalık yükünde önemli ölçüde azaltma sağlar. (1,3)

¹ Doç.Dr, Yeniüzyıl Üniversitesi ,Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı,., ORCID: 0000-0002-1972-9518

2. ETYOLOJİ

Klasik olarak Gonartroz etyolojisi 2 grupta toplanır. Primer gonartroz : Herhangi bir neden ve anatomik bozukluk olmaksızın; yaşla birlikte diz eklemi aşınması ile ortaya çıkar..

1. Sekonder gonartroz :Çeşitli varolan risk faktörleri sonucu oluşur, romatizmal hastalıklar, tranma ve kırıklar , çeşitli kan hastalıkları, ilaç kullanımına ve diğer etkenlere bağlı olarak ortaya çıkar.

3. SINIFLAMA

Gonartroz radyolojik sınıflamasında ; Kellgren and Lawrence sınıflaması yaygın olarak kullanılmaktadır:

- 0.Derece (normal): Osteoartritin röntgen bulgusu yok.
- 1.Derece (şüpheli): Şüpheli eklem aralığı daralması ve olası osteofit
- 2.Derece (hafif): osteofitler ve eklem aralığı daralması
- 3.Derece (orta): Orta düzeyde çoklu osteofitler, eklem aralığında belirgin daralma, skleroz ve kemik deformitesi
- 4.Derece 4(ağır): Büyük osteofitler, eklem aralığında belirgin daralma, şiddetli skleroz ve ileri deformite

2. derece'den itibaren gonartroz olarak kabul edilmektedir.(4)

Tutulum yerine göre ise şu şekilde sınıflanabilir.

1. Tek kompartmanlı, bikompartmanlı ve trikompartmanlı
2. İzole medial tibiofemoral, izole lateral tibiofemoral, izole patellofemoral, kombine iki kompartman ve üç kompartmanlı.

Yapılan çalışmalarda; tek kompartmanlı %50 . bikompartmanlı %33 , trikompartmanlı ise yalnızca %17 olarak bulunmuştur.Sıklık olarak sırasıyla ;izole medial tibiofemoral %27, izole patellofemoral %18 ,kombine medial tibiofemoral ve patellofemoral %23, oranında görülmüştür. Lateral tibiofemoral kompartmanı tutulumu daha az yaygındır .(5)

4.PATOGENEZ

Diz Osteoartriti, kronik bir hastalık olup,en yaygın ortopedik rahatsızlıklardan biridir. Bu patolojinin altında yatan patogenetik mekanizmaların tam olarak anlaşılması esastır. Artrozun inflamatuvar süreci, hem humoral hem de hücrel medyatörleri içeren bağışıklık sisteminin aktivasyonu ile sinovyal membranda başlar.

Eklem düzeyinde, birçok diz yapısı sağlıklı bir eklemi korumak için belirli bir düzeyde mekanik ve fonksiyonel destek sağlar. Subkondral kemik , eklem kıkırdağının eklem hareketi için bir yüzey sağlamasına yardımcı olur. Menisküsler, su, proteoglikan ve kolajenden oluşan yapıları nedeniyle mekanik kuvvetlerin azaltılmasında önemli bir rol oynar. Eklem boşluğunu kayganlaştıran, sinovyal membran tarafından üretilen sinovyal sıvı ,hyaluronik asit ve kayganlaştırıcı proteoglikan'dan oluşur yüzeysel tabakanın erken hasar görmesi su içeriğini değiştirir ve bu nedenle kıkırdağın yük taşıma özelliklerini azaltır . Gonartrozun erken evrelerinde, kollajen ve proteoglikanların yapısındaki değişiklikler ve menisküs yapısındaki dejeneratif değişiklikler ortaya çıkar.Sitokinlerin proinflamatuvar rolü, erken evrede eklem hasarının temel bir mekanizmasıdır. Kıkırdak hasarı sonucu, kondrositler kıkırdak yıkımını ilerleten inflamatuvar medyatörler üretir. İnflamatuvar medyatörler diğer eklem yapılarına yayılarak sinovyal dokuda ve subkondral kemikte değişikliklere neden olarak kemik sklerozuna ve sinovyal membran ile kapsül yapıların kalınlığını artar . Kıkırdak yüzeyinde boşluklar oluşur ve serbest kıkırdak parçaları sinovyal inflamasyonu artırır.(6)

5.GÖRÜLME SIKLIĞI VE RİSK FAKTÖRLERİ

Yapılan çalışmalarda , yetişkinlerin yaklaşık %30'unda radyolojik diz ve kalça artroz belirtileri gözlenlenmiştir. Orta yaş ve üstünde %8'ler civarında yaygın klinik olarak anlamlı gonartoz oranları bildirilmektedir.

Kadınlarda daha fazla görülmektedir. Tahmini yaşam boyu risk erkeklerde yaklaşık %40 iken, kadınlarda ise %47'dir .Yaşlı popülasyonda prevalansının artması beklenmektedir; bu nedenle, gonartroz'lu hastaların sonuçlarını iyileştirmek ve artroplasti yükünü azaltmak için konservatif tedaviler öncelikle planlanmalıdır.(3)

Bu tedavilerle . çeşitli egzersiz programlarının ağrı, fiziksel fonksiyon, hareketlilik ve yaşam kalitesini iyileştirmede etkili olduğu gösterilmiştir ve bu programlar artroplasti ihtiyacını ve bekleme sürelerini azaltmıştır.(7)

Önemli risk faktörleri arasında yaş, obezite ve önceki diz yaralanmaları yer almaktadır. Mevcut risk faktörleri, eklem fonksiyonunu bozan mekanik, inflamatuvar ve metabolik patogeneze ile karmaşık bir şekilde bağlantılıdır. Farmakolojik olmayan müdahalelere odaklanan erken ve proaktif tedavi, semptomları hafifletmeyi ve eklem fonksiyonunu iyileştirmeyi ve erken tanı, kişiye özel tedavi planları ve rehabilitasyon değerlendirme amaçlayan tedavinin temelini oluşturur.(2)

Obezite, vücut kitle indeksi fazlalığı, önceki diz travması, ileri yaş ve kadın cinsiyeti progresyon için iyi bilinen bir risk faktörleridir. Zayıflamanın gonartroz ağrısını azalttığı ve uzun vadede yaşam kalitesini iyileştirdiği gösterilmiştir. (8))

Sigara kullanımı, mesleki ve ağır fiziksel aktivite diğer risk faktörleridir. Özellikle radyolojik bulgular hastanın klinik durumunu tam olarak yansıtamadığından; bazı hastalarda konservatif tedavi gerekirken, cerrahi yapılabilir. (2)

Artan çalışma temposu, kötü beslenme alışkanlıkları ve çevresel faktörler gibi nedenlerle obezitenin dünya çapında görülme sıklığı büyük ölçüde artmıştır. Obezitenin diz osteoartriti için önemli bir risk faktörü olduğu bilinmektedir. Son yıllarda, birçok obez ve/veya morbid obez, orta yaşlı hasta diz osteoartriti ile ortopedi polikliniklerine başvurmaya başlamıştır. (9)

6.TANI

Osteoartrit tanısı, spesifik fiziksel ve laboratuvar bulgularının olmaması nedeniyle karmaşıktır. Tanı ,ağırlıklı olarak klinik değerlendirmeye dayanır ve sonrasında gerek görüldüğünde radyolojik değerlendirme yapılır.

1986 Amerikan Romatoloji Koleji (ACR) diz osteoartroz tanı kriterleri ; gonartroz tanı ve sınıflamasında yaygın olarak kullanılmaktadır.(10)

Gonartroz tanı kriterleri

1. Klinik ve laboratuvar:

Diz ağrısı ve 9 maddeden en az 5'i:

Yaş >50

Tutukluluk <30 dakika

Krepitasyon

Kemik hassasiyeti

Kemik büyümesi

Elle hissedilebilen sıcaklık yok

SED <40 mm/saat

RF <1:40

Artroz sinovyal sıvısı (berrak, viskoz, beyaz kan hücresi <2000/mm³)

2. Klinik ve radyografik:

Diz ağrısı ve 3 maddeden en az 1'i:

Yaş >50

Tutukluk <30 dakika

Krepitasyon

VE

Osteofitler

3. Klinik

Diz ağrısı ve 6 maddeden en az 3'ü:

Yaş >50

Sertlik <30 dakika

Krepitasyon

Kemik hassasiyeti

Kemik büyümesi

Elle hissedilebilen sıcaklık yok

Klinik muayene bulguları özetle; kronik diz ağrısı (6 haftadan uzun süren) , yaş üstü olmak, 30 dakikaya kadar süren sabah diz tutukluğu, aktif hareketle birlikte krepitasyon ,palpasyonla kemik üzerinde hassasiyet, Kemiklerde deformasyon ve palpasyonda lokal ısı artışıdır.(7)

7.TEDAVİ

Osteoartrit tedavisi, ağrıyı hafifletmeyi, mekanik hizalanma bozukluğunu düzeltmeye çalışmayı ve eklem instabilitesinin belirtilerini tanımlayıp , düzeltmeyi içerir. Cerrahi işlemler, ileri gonartroz için son çaredir.(3,7)

Tedavi stratejileri çeşitlidir ve hasta eğitimi, egzersiz ve kilo yönetimi gibi farmakolojik olmayan önlemlere öncelik verirken, farmakolojik müdahaleler yardımcı tedavi olarak kabul edilir. Konvansiyonel tedavinin yetersiz kaldığı durumlarda eklem içi enjeksiyonlar ve cerrahi seçenekler düşünülmektedir.(8)

Tedavi: konservatif ve cerrahi tedavi olarak iki ana başlık altında toplanır.

1-Konservatif tedavi,

1.İlaç dışı tedavi: Eğitim, aktivite yönetimi, egzersiz ve kilo verme, yürüme desteği için baston ve ortez, fizik tedavi.

2.İlaç tedavisi: Opioidler, parasetamol, topikal veya nonsteroid antiinflatuar ilaçlar (NSAİF)

Özetle; eklem içi kortikosteroid ve diğer enjeksiyon tedavileri.

Alt ekstremite kas güçlendirme, egzersizler ve uygun fiziksel programları ve aktivite eğitimi

Hareket açıklığı, güçlendirme ve aerobik egzersiz programlarını içeren fizik tedavi; uygun yürüme destekleri kullanımı; nöromüsküler eğitim

Menteşeli dizlik ve yürüme cihazları,

Non-steroid antiinflatuar ilaçlar (oral veya topikal),

İnatçı ağrı için narkotik ilaçlar (oral veya transkutanöz opioidler): diğer tedavilerle birlikte izlenen, aralıklı veya düşük doz Tramadol Asetaminofen,

Eklem içi enjeksiyonlar.(11)

2-Cerrahi tedavi.

1. Artroskopi
2. Düzeltici osteotomi (femoral veya tibial osteotomi).
3. tek kompartmanlı(Unilateral) diz artroplastisi
4. total diz artroplastisi

7.1. Cerrahi Olmayan Tedavi Seçenekleri

Diz osteoartrozu için ,en yaygın cerrahi dışı tedavi seçenekleri arasında hasta eğitimi, düşük etkili aerobik, diz güçlendirme egzersizleri, vücut kitle indeksi 25 veya üzeri olan hastalarda kilo verme, korse, baston, oral nonsteroid antiinflatuar ilaçlar (NSAİF'lar), topikal NSAİF'lar, oral asetaminofen ve eklem içi enjeksiyonlar yer alır.Eklem içi enjeksiyonlar arasında kortikosteroidler, hyaluronik asit , kök hücreler ve trombositen zengin plazma (PRP) bulunabilir.Genellikle, cerrahi olmayan seçeneklerin bir kombinasyonu semptomatik iyileşme için en iyi sonucu verir.(12)

1.Fizik tedavi:Farklı kas güçlendirici egzersizler, yani izometrik,izokinetik ve izotonik kas güçlendirmenin gonartrozlu hastalarda ağrı, fonksiyon ,diz ekstansiyon torkunu azaltmada ve kuadriseps kas gücü üzerinde faydalı olmaktadır. İzokinetik kas egzersizlerin diğerlerine göre daha etkili olduğu bildirilmiştir.(13)

2.Eklem içi enjeksiyonlar: .Eklem içi kortikosteroid, hyaluronik asit , kök hücre ve trombositten zengin plazma uygulaması; semptomlara, radyolojik derecesine göre yapılmaktadır.

7.2.Cerrahi Tedavi Seçenekleri

Amerikan Ortopedi Cerrahları Akademisi, Diz Osteoartritinin Cerrahi Tedavisinde , hasta bakımını iyileştirmek ve en iyi sonuçları elde etmek için Uygun Kullanım Kriterleri geliştirmiştir . (14)

Semptomatik gonartroz için en yaygın cerrahi tedavi seçenekleri geniküler sinir radyofrekans ablasyonu (RFA), diz artroskopisi, yüksek tibial osteotomi ,unikompartmental diz artroplastisi ve total diz artroplastisidir.(12)

1Artroskopi: Artroskopik parsiyel menisektomi ,serbest cisim çıkarılması ve eklem debritmanı semptomları azaltarak, progresyonu yavaşlatıp, kısm, çözüm sağlar.

2.Yüksek tibial osteotomi,:Gonartrozda semptomatik varus deformitesini tedavi etmek için güçlü bir teknik olup, uygun endikasyonlarda başarılıdır. medial kompartman osteoartritli varus dizilim bozukluğunda, eklem koruması için kalıcı bir çözüm sunar.(15)

3. Diz Artroplastisi:

Gonartrozlu hastalarda, röntgen bulgularının derecesi ile total diz artroplastisi sonrası hasta ağrısı, fonksiyonu ve memnuniyeti arasındaki ilişki tartışmalıdır. Yapılan meta-analiz çalışmalarında; Hafif radyografik osteoartriti olan hastaların, klinik olarak ağrı, fonksiyon kaybı ve günlük aktivite kaybının şiddetli olan hastalara kıyasla total diz artroplastisinden daha az fayda gördüğü ifade edilmiştir. Bu durum da klinik ve radyolojik bulguların birlikte değerlendirilerek, hastaların preop beklentilerine göre karar verilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ameliyattan önce bu riskler hakkında bilgilendirme yapılmazsa,.kronik ağrı ve memnuniyetsizlik ciddi bir sorun oluşturabilmektedir.(16)

Gonartrozlu hastalarda, dörtte üçünde trikompartmantal tutulum yoktur. Bu durum, günümüzde yapılmakta olan unikompartmantel ve total diz artroplastilerinin kullanım sıklığını yansıtmamaktadır.

Diz osteoartroz'lu kişilerin en az dörtte üçünde trikompartmantal hastalık yoktur. Bu durum, total diz artroplastisi oranıyla zıtlık oluşturmaktadır. Birçok hasta için sağlıklı kıkırdak, bağ ve kemik kaybına yol açması mümkündür. Sadece tek ve iki kompartmanlı osteoartrit tedavileri yeterli olabilmektedir.(5)

Bilateral total diz protezi tartışmalı bir konu olmakla birlikte , sağlık durumu iyi olan kişilerde;uygun endikasyonlarda Spesifik olmayan komplikasyon riskinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir. İyi fonksiyonel sonuçlar alınabilmektedir.. Temel sorun, hastanın genel sağlık durumunun ve diz eklemlerinin durumunun bireysel olarak değerlendirilmesinden sonra bu prosedür için doğru endikasyonu belirlemektir. (17)

Özellikle radyolojik bulgular hastanın klinik durumunu tam olarak yansıtamadığından ;bazı hastalarda konservatif tedavi gerekirken, cerrahi yapılabilmektedir.

Diz osteoartriti tedavi kararlarını etkileyebilecek iyi bilinen risk faktörleriyle karmaşık ve çok faktörlü bir yapıya sahiptir. konservatif tedavi gören hastalar ile total diz protezi yapılan hastalar arasında karşılaştırmalarda;artroplasti uygulanan hastalarda, konservatif tedavi gören hastalara benzer radyolojik bulgulara sahip olmalarına rağmen, klinik ve ağrı skorlarında, belirgin şekilde daha kötü başlangıç klinik sonuçları görülmesi, cerrahi müdahaleyi belirlemede fonksiyonel ve semptomatik ölçümlerin radyolojik bulgulardan daha değerli olduğunu göstermektedir.(2)

Ayrıca, gözlenen cinsiyete bağlı özellikle kadınlarda daha yüksek ağrı ve fonksiyonel bozukluk skorları, tedavi planlamasında gözönüne alınmalıdır.

Hastalığın ilerlemesine göre altı klinik fenotip belirlenmiştir: kronik ağrı, inflamasyon, metabolik sendrom, kemik ve kırıkda metabolizması, mekanik aşırı yüklenme ve minimal eklem hastalığı .Bu fenotiplere göre sınıflandırarak, progresyon ve tedavi endikasyonu daha iyi belirlenebilir.

Somuç olarak ; konservatif tedavi, tavsiye ve bilgilendirme, lokal kas güçlendirme ve aerobik egzersiz, aşırı kilolu hastalarda kilo kaybı, ağrı kesici ilaçlar, yaşam tarzı önerileri ve eklem içi infiltrasyonlar gibi temel tedavi önerilerini kapsar. Cerrahi müdahalede , son aşama , total diz artroplastisini içerir. Klinik değerlendirme ; total diz artroplasti endikasyonu için radyolojik bulgu ve geleneksel risk faktörlerine kıyasla daha etkilidir.(2)

Hastaların %20'ye varan kısmı , total diz artroplastisi sonrası memnuniyetsizlik yaşamaktadır. Ameliyat öncesi radyolojik derecesi ,hastaların bildirdiği ağrı ve fonksiyonu içeren artroz şiddeti ile ameliyat sonrası sonrası memnuniyet arasındaki ilişkiyi vardır. Mevcut araştırmaların incelenmesi, total diz protezinin ağrısı, fonksiyonu ve memnuniyeti iyileştirdiğini göstermektedir.

Ameliyat öncesi yakınması daha şiddetli olan hastaların memnun olma olasılığı daha yüksektir.. Ameliyat öncesi radyolojik olarak daha şiddetli artrozu olanlar en çok faydayı görmektedir.(18)

Total diz artroplastisinin temel amacı, ağrıyı azaltmak , diz harekett açıklığını ve fonksiyonunu geri kazandırmaktır. Artroplaside başarısızlıkların üç ana nedeni ;aşınma, gevşeme ve instabilite ile ilişkilidir, dengesizlik ve hizalama bozukluğundan kaynaklanmaktadır.. navigasyon sistemi kullanılması cerrahin kinematik ve hizalama değerlendirmesini kolayca yapmasına olanak sağlayarak, başarı oranının artmasında faydalı olabilmektedir

Özellikle, ameliyatın planlanmasında ,radyolojik görüntüleme yazılımları da kullanılarak, kesme prosedürlerinin optimizasyonunda, eklem kinematiğinin intraoperatif değerlendirilmesinde veya biyomekanik değerlendirmede kullanılabilir. Ayrıca, revizyon cerrahisi durumunda, navigasyon kullanımı, cerrahin kemik defektlerinde , eklem hattını kontrol etmesini sağlayarak doğru implantasyon için büyük bir destek sağlar.(19)

KAYNAKÇA

- 1-Mahmoudian, A., Lohmander, L. S., Mobasheri, A., Englund, M., & Luyten, F. P. (2021). Early-stage symptomatic osteoarthritis of the knee - time for action. *Nature reviews. Rheumatology*, 17(10), 621–632.
- 2-Ojeda, F., Tío, L., Castro-Domínguez, F., Tassani, S., Noailly, J., & Monfort, J. (2025). The role of sex, age, and BMI in treatment decisions for knee osteoarthritis: conservative management versus total knee replacement. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 20(1), 152
- 3-Kan, H. S., Chan, P. K., Chiu, K. Y., Yan, C. H., Yeung, S. S., Ng, Y. L., Shiu, K. W., & Ho, T. (2019). Non-surgical treatment of knee osteoarthritis. *Hong Kong medical journal = Xianggang yi xue za zhi*, 25(2), 127–133
- 4-Panwar P, Chaurasia S, Gangrade J, Bilandi A. Early diagnosis of knee osteoarthritis severity using vision transformer. *BMC Musculoskelet Disord*. 2025 Sep 30;26(1):884.
- 5-Stoddart, J. C., Dandridge, O., Garner, A., Cobb, J., & van Arkel, R. J. (2021). The compartmental distribution of knee osteoarthritis - a systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis and cartilage*, 29(4), 445–455.
- 6-Giorgino, R., Albano, D., Fusco, S., Peretti, G. M., Mangiavini, L., & Messina, C. (2023). Knee Osteoarthritis: Epidemiology, Pathogenesis, and Mesenchymal Stem Cells: What Else Is New? An Update. *International journal of molecular sciences*, 24(7), 6405.
- 7-Giwnewer, U., Rubin, G., Orbach, H., & Rozen, N. Treatment For Osteoarthritis Of The Knee (2016). *Harefuah*, 155(7), 403–406.
- 8-Zhu, S., Qu, W., & He, C. (2024). Evaluation and management of knee osteoarthritis. *Journal of evidence-based medicine*, 17(3), 675–687.
- 9-Seyfettinoğlu, F., Bulut, M., Karaali, E., Oğur, H. U., Çiçek, H., Tuhanoğlu, Ü., & Çiloğlu, O. (2021). Does Obesity Have an Effect on the Outcomes of Unicondylar Knee Arthroplasty in Patients with Isolated Medial Gonarthrosis. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Cechoslovaca*, 88(4), 302–306.
- 10-Liew, J. W., King, L. K., Mahmoudian, A., Wang, Q., Atkinson, H. F., Flynn, D. B., Appleton, C. T., Englund, M., Haugen, I. K., Lohmander, L. S., Runhaar, J., Neogi, T., Hawker, G., & OARSI Early Osteoarthritis Classification Criteria Task Force (2023). A scoping review of how early-stage knee osteoarthritis has been defined. *Osteoarthritis and cartilage*, 31(9), 1234–1241

- 11-Sanders, J. O., Murray, J., & Gross, L. (2014). Non-arthroplasty treatment of osteoarthritis of the knee. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 22(4), 256–260.
- 12-Clark G. P. (2023). Treatment options for symptomatic knee osteoarthritis in adults. *JAAPA : official journal of the American Academy of Physician Assistants*, 36(11), 1–6.
- 13-Jiang, Y., Tan, Y., Cheng, L., & Wang, J. (2024). Effects of three types of resistance training on knee osteoarthritis: A systematic review and network meta-analysis. *PloS one*, 19(12), e0309950.
- 14-Quinn, R. H., Murray, J. N., Pezold, R., & Sevarino, K. S. (2018). Surgical Management of Osteoarthritis of the Knee. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 26(9), e191–e193.
- 15-Murray, R., Winkler, P. W., Shaikh, H. S., & Musahl, V. (2021). High Tibial Osteotomy for Varus Deformity of the Knee. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. Global research & reviews*, 5(7), e21.00141.
- 16-Shohat, N., Heller, S., Sudya, D., Small, I., Khawalde, K., Khatib, M., & Yassin, M. (2022). Mild radiographic osteoarthritis is associated with increased pain and dissatisfaction following total knee arthroplasty when compared with severe osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 30(3), 965–981.
- 17-Křivánek, S., Hrubina, M., Chmúrny, M., Rovňák, M., Melišík, M., & Nečas, L. (2016). Bilaterálna implantácia TEP kolenného kĺbu – krátkodobé funkčné výsledky [Bilateral Total Knee Arthroplasty. Short-Term Results]. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Cechoslovaca*, 83(6), 405–410.
- 18-Youlden, D. J., Dannaway, J., & Enke, O. (2020). Radiographic severity of knee osteoarthritis and its relationship to outcome post total knee arthroplasty: a systematic review. *ANZ journal of surgery*, 90(3), 237–242.
- 19-Bontempi, M., Cardinale, U., Bragonzoni, L., Macchiarola, L., Grassi, A., Signorelli, C., Marcheggiani Muccioli, G. M., & Zaffagnini, S. (2017). Total knee replacement: intraoperative and postoperative kinematic assessment. *Acta bio-medica : Atenei Parmensis*, 88(2S), 32–37.



BÖLÜM 3

Digital Health in Orthopedics: Current Applications and Future Perspectives

Omer Esmez¹ & Gulnihal Deniz²

1. Introduction

The field of orthopedics, traditionally reliant on in-person diagnostics and hands-on interventions, is undergoing a paradigm shift with the rise of digital health technologies. Digital health encompasses many tools, including telemedicine platforms, wearable devices, mobile applications, electronic health records (EHRs), blockchain technology, augmented and virtual reality systems, Internet of Things (IoT)-enabled prosthetics, and AI-driven decision support systems (Youssef et al., 2024). As musculoskeletal conditions represent a significant burden on healthcare systems globally, adopting digital innovations in orthopedics offers an opportunity to enhance patient-centered care, optimize clinical workflows, and facilitate data-driven decision-making.

2. Applications Of Digital Health In Orthopedics

2.1 Telemedicine

Telemedicine is a cornerstone of digital health, enabling remote consultations, monitoring, and rehabilitation. In orthopedics, telemedicine has gained significant traction, particularly in the wake of the COVID-19 pandemic, which accelerated its adoption (Kuhn & Knitza, 2024; Windsor et al., 2021). Telemedicine platforms allow orthopedic surgeons to conduct virtual consultations, reducing the need for in-person visits and improving access to care for patients with restricted mobility (Windsor et al., 2021). This is particularly beneficial for postoperative follow-ups and rehabilitation monitoring, where remote assessments can ensure continuity of care without hospital visits (Kuhn & Knitza, 2024; Windsor et al., 2021).

One of the key advantages of telemedicine in orthopedics is its ability to facilitate telerehabilitation. Virtual reality (VR) and augmented reality (AR) technologies are increasingly being integrated into telemedicine platforms to provide immersive rehabilitation experiences. These tools enable patients to perform exercises in a virtual environment, with real-time feedback from

¹ Specialist Dr., Department of Orthopedics, Fethi Sekin City Hospital, Elazig, Turkey. <https://orcid.org/0000-0002-4475-3501>

² Assoc. Prof., Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, Erzurum Technical University, Erzurum, Turkey. <https://orcid.org/0000-0002-5944-8841>

physiotherapists, enhancing adherence to rehabilitation protocols (Youssef et al., 2024). Telemedicine platforms often incorporate wearable sensors and mobile apps, allowing remote patient progress monitoring and timely interventions (Reina, 2019; Windsor et al., 2021).

Despite its benefits, telemedicine in orthopedics faces challenges such as the inability to perform physical examinations remotely and regulatory barriers, including issues related to insurance reimbursement and data privacy (Reina, 2019; Windsor et al., 2021). However, the advantages of telemedicine, including cost savings, increased patient satisfaction, and improved access to care, make it a valuable tool in the orthopedic arsenal (Windsor et al., 2021).

2.2 E-Pulse

The rapid development of digital health technologies in recent years has led to radical changes in individuals' access to health services and the management of health data. An important example of this digital transformation in Turkey is the E-Nabız Personal Health System launched by the Ministry of Health in 2015. E-Nabız allows individuals to securely access their personal health data such as laboratory results, imaging reports, prescription information, examination summaries and chronic disease follow-up information, and to share these data with health professionals they authorise (Figure 1) , (Ministry of Health, 2024). This structure supports patient-centred healthcare service delivery and encourages the active participation of individuals in diagnosis, treatment and follow-up processes. In addition, it contributes to the development of national health policies, epidemiological monitoring activities and more efficient use of health resources thanks to big data analytics and central data management facilities (Yorulmaz et al., 2018). In the E-Nabız system, data security and personal privacy are ensured by multi-layered security measures developed in line with national legislation and international standards, and individual data rights are respected (Ministry of Health, 2024).

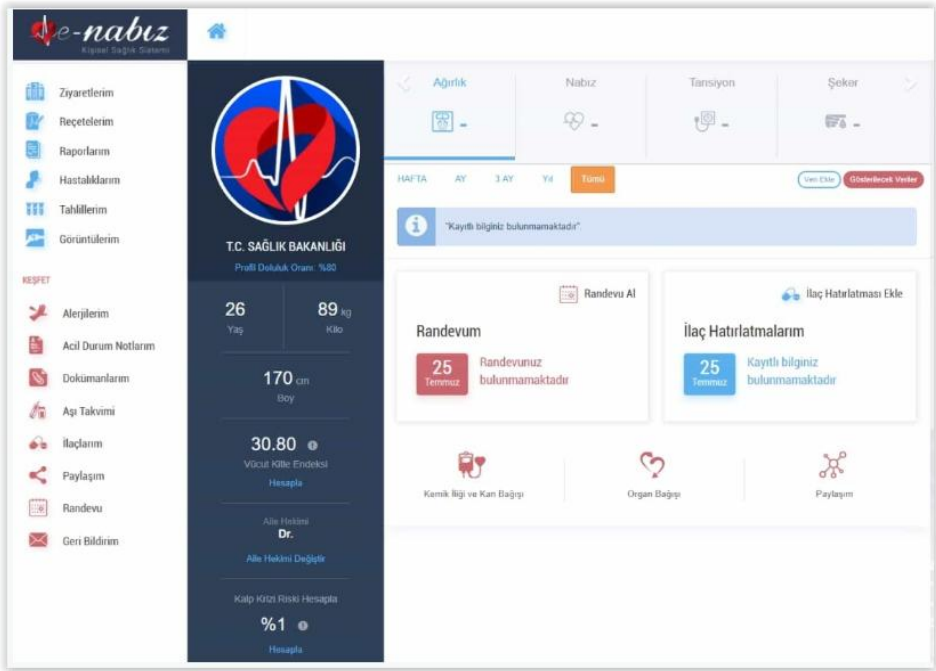


Figure 1 : E-Pulse Health System (T.C. Ministry of Health, 2024)

2.3 Wearable Devices in Orthopedics

Wearable devices have become integral to the digital health landscape, offering a means to continuously monitor patients' physiological and biomechanical data. In orthopedics, wearables are used for a variety of applications, including postoperative pain management, rehabilitation monitoring, and predicting surgical outcomes (Morimoto et al., 2024; Ramkumar et al., 2019)

One of the most promising applications of wearable devices in orthopedics is in the realm of postoperative pain management. A study demonstrated that data from a smart ring could predict poor pain alleviation in orthopedic surgery patients with an accuracy of 70% (Morimoto et al., 2024). This technology has the potential to enable early interventions, reducing the risk of prolonged recovery and opioid dependence (Morimoto et al., 2024).

Wearable devices are also being used to monitor patients' motor activity during rehabilitation. For instance, a system developed for remote orthopedic rehabilitation uses wearable sensors to track patients' exercises and provides real-time feedback through a gaming interface (Tacconi et al., 2013). This approach not only enhances patient engagement but also allows physiotherapists to

remotely monitor progress and adjust treatment plans accordingly (Tacconi et al., 2013).

Moreover, wearable devices are being integrated with machine learning algorithms to predict treatment strategies for conditions such as hip osteoarthritis. By analyzing data from digital history-taking questionnaires, machine learning models can predict whether a patient is likely to require conservative or surgical treatment, enabling more personalized care (van der Weegen et al., 2024).

2.4 Artificial Intelligence in Orthopedics

Artificial intelligence (AI) is transforming orthopedics by enhancing diagnostic accuracy, improving surgical precision, and personalizing treatment plans. AI applications in orthopedics span a wide range of areas, from predictive analytics and medical image analysis to robotic-assisted surgery and rehabilitation (Habuza et al., 2021; Nathan & Muthusamy, 2024; Youssef et al., 2024).

One of the most significant contributions of AI in orthopedics is in the realm of predictive analytics. AI algorithms can analyze large datasets, including patient demographics, medical histories, and imaging data, to predict surgical outcomes and potential complications (Habuza et al., 2021; Nathan & Muthusamy, 2024). For example, AI-powered predictive models have been used to forecast the likelihood of complications following joint replacement surgeries, enabling clinicians to develop more effective treatment strategies (Ramkumar et al., 2019).

AI is also playing a crucial role in enhancing surgical precision. Robotic-assisted surgeries, guided by AI algorithms, have become increasingly common in orthopedics, particularly in procedures such as knee and hip replacements. These systems enable surgeons to perform operations with greater accuracy, reducing operative times and improving patient outcomes (Liang et al., 2024).

In addition to its applications in surgery, AI is being used to develop personalized rehabilitation programs. AI-driven systems can analyze patient data to create customized exercise regimens, providing real-time feedback and adapting to individual progress (Arseniev et al., 2024). This approach not only enhances the effectiveness of rehabilitation but also increases patient engagement, leading to better adherence to treatment plans (Mikołajewska et al., 2025).

2.5 Blockchain Technology

Blockchain technology has emerged as a transformative solution for enhancing data security and privacy in healthcare, particularly in managing orthopedic digital health records. Its decentralized, immutable, and transparent

nature makes it an ideal framework for addressing the challenges of patient data management and consent tracking.

Blockchain technology offers robust security features that protect orthopedic digital health records from unauthorized access and tampering. Using cryptographic methods, blockchain ensures that only authorized individuals can access sensitive patient data (Adeghe et al., 2024; Hamela et al., 2024). The decentralized nature of blockchain eliminates the risk of a single point of failure, which is often a vulnerability in centralized systems (Rovere et al., 2024; Westphal & Seitz, 2021). Furthermore, using smart contracts in blockchain systems can automate compliance with regulations such as HIPAA and GDPR, ensuring that patient data is handled securely and in accordance with legal standards (Hamela et al., 2024; Naik et al., 2022). Integrating blockchain with other technologies, such as deep learning models, can further enhance health data security. For instance, the combination of blockchain and Long Short-Term Memory (LSTM) models has achieved high accuracy in securing health data sharing and consent management (Deepthika et al., 2024). This integration improves data security and enables dynamic consent management, empowering patients to have more control over their data (Deepthika et al., 2024).

Blockchain technology can revolutionize patient data management in orthopedics by providing a secure and transparent platform for storing and sharing patient records. The decentralized nature of blockchain ensures that patient data is not stored in a single location, reducing the risk of data breaches (Rovere et al., 2024; Westphal & Seitz, 2021). Additionally, blockchain's immutability ensures that any modifications to patient records are recorded and verifiable, maintaining the integrity of the data (Adeghe et al., 2024; Zhang et al., 2021). The use of blockchain in orthopedics also facilitates the integration of Internet of Things (IoT) devices, enabling real-time data collection and analysis (Rovere et al., 2024). This can lead to more accurate diagnoses and treatment recommendations, particularly when combined with artificial intelligence (AI) and machine learning algorithms (Kshetri et al., 2023; Rovere et al., 2024). Moreover, blockchain enables secure and efficient data sharing among healthcare stakeholders and improves collaboration and patient outcomes (Huang & Lee, 2020; Westphal & Seitz, 2021).

2.6. Augmented And Virtual Reality Systems

Integrating AR and VR technologies into orthopedics has revolutionized various aspects of the field, including surgical training, patient rehabilitation, and pre-operative planning. These technologies provide immersive, interactive, and patient-specific solutions that enhance precision, reduce complications, and improve patient outcomes (Garg et al., 2024). AR and VR technologies have created immersive simulation environments that allow orthopedic surgeons to

practice and refine their skills in a risk-free setting. These environments replicate real-world surgical scenarios, enabling trainees to perform virtual procedures and receive real-time feedback on their performance. For instance, immersive VR has been successfully used to simulate complex spinal surgeries, such as pedicle screw placement and deformity correction, allowing trainees to enhance their spatial awareness and dexterity (Combalia et al., 2024; Garg et al., 2024). Studies have demonstrated that VR training improves surgical precision and reduces errors. In shoulder arthroplasty, mixed reality (MR) training has been shown to enhance the accuracy of glenoid guidewire placement, with trainees achieving significant improvements in version and inclination alignment compared to freehand placement (Erickson et al., 2024). Similarly, AR has been used to provide real-time guidance during surgical training, enabling trainees to understand anatomical structures better and improve their technical skills (Charles et al., 2023; Innocente et al., 2022).

The COVID-19 pandemic has accelerated the adoption of remote training technologies in orthopedics. AR and VR enable surgeons to collaborate and train remotely, with virtual environments allowing for sharing surgical techniques and real-time feedback. (McKnight et al., 2020). Also, VR has become a powerful tool in patient rehabilitation, particularly in orthopedics. Immersive VR environments facilitate motor learning and functional recovery by providing interactive and engaging exercises tailored to individual patient needs. For example, VR-based programs have improved balance, range of motion, and strength in post-surgical rehabilitation patients (Combalia et al., 2024; Gupta & Ambade, 2022). Virtual reality has also enhanced patient engagement and adherence to rehabilitation programs. By creating a sense of virtual embodiment, VR environments can motivate patients to participate actively in their recovery process. Additionally, VR has been shown to reduce pain and anxiety during rehabilitation by distracting patients and providing a sense of control over their environment (Combalia et al., 2024; Zhang et al., 2023). Integrating AR and VR into remote rehabilitation programs has expanded access to care, particularly for patients with limited mobility or those living in remote areas. These technologies enable clinicians to monitor patient progress remotely and provide personalized feedback, ensuring continuous and effective rehabilitation (Youssef et al., 2024).

2.7 The Integration of Internet of Things (IoT) Technology

Integrating IoT technology into prosthetics has revolutionized the field of digital health orthopedics, offering significant advancements in academic research and practical applications. IoT-enabled prosthetics leverage wearable sensors, wireless communication, and advanced data analytics to improve patient outcomes, enhance rehabilitation processes, and provide personalized care. IoT-enabled prosthetics incorporate wearable sensors that monitor physiological and

mechanical parameters such as temperature, pressure, gait, and muscle activity. These sensors enable real-time monitoring of the residual limb and prosthetic device, allowing for early detection of potential issues like pressure ulcers or improper fit. For instance, a wearable platform developed for lower limb amputees uses Arduino-based sensors to monitor tissue viability and transmit data to a central health authority via Bluetooth (Mathur et al., 2016). The data collected by wearable sensors is often stored and analyzed in the cloud, where machine learning algorithms process the information to extract clinically relevant insights. For example, machine learning models can identify biomarkers for tissue deterioration or assess the impact of clinical interventions (Mathur et al., 2016). Cloud-based systems also facilitate remote monitoring, enabling healthcare providers to track patient progress and intervene when necessary. IoT-enabled prosthetics utilize wireless communication technologies such as Bluetooth, Wi-Fi, and cellular networks to ensure seamless data transmission between devices and healthcare systems. Messaging protocols like MQTT are commonly employed for efficient data exchange (Behmanesh et al., 2020). The integration of AI with IoT has further enhanced the capabilities of prosthetics. AI algorithms can classify sensor data to recognize patterns, enabling personalized rehabilitation therapies and improving the adaptability of prosthetic devices. For example, AI-powered systems can analyze gait patterns to optimize prosthetic performance (Coser et al., 2024). Edge computing has emerged as a critical technology for IoT-enabled prosthetics, allowing real-time data processing on the device rather than relying solely on cloud services. This approach reduces latency, conserves bandwidth, and enhances privacy by processing sensitive data locally (Faliagka et al., 2023).

2.8 Robot-Assisted Arthroplasty

Robotic surgery has been increasing in recent years and offers many advantages to orthopedic surgeons when performing prosthetic surgery. It allows the operation to be performed more precisely (Kouyoumdjian et al., 2020 ; Tarwala & Dorr, 2011). It allows many measurements to be made before and during surgery. More accurate placement of the implant is provided and bone tissue loss is minimized (figure 2), (Kouyoumdjian et al., 2020; Pagkalos et al., 2014; Chen et al., 2018; Tsai et al., 2016).

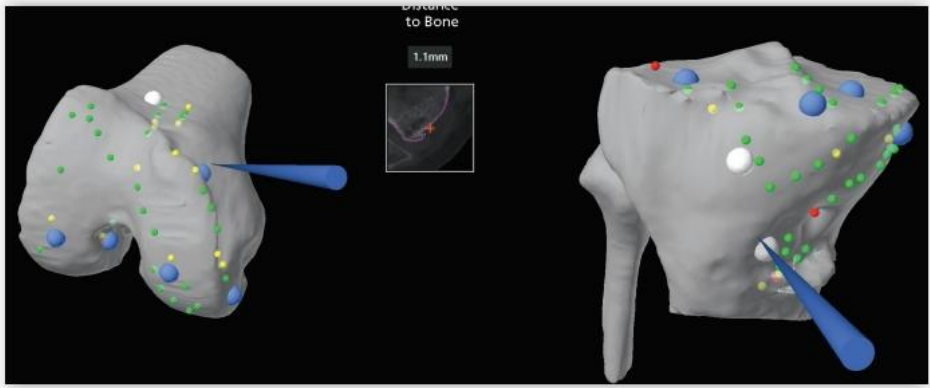


Figure 2: Robot-Assisted Knee Prosthesis Preparation Process (Tandoğan et al., 2022)

3. Conclusion

This review has comprehensively examined the integration of digital health technologies within orthopedic practice, highlighting their transformative impact on patient care, surgical precision, and rehabilitation outcomes. Adopting telemedicine, e-Pulse, wearable devices, AI, blockchain, AR/VR, IoT-enabled prosthetics and robot assisted arthroplasty has significantly reshaped clinical workflows, enhanced patient engagement, and advanced research methodologies.

Telemedicine has facilitated remote consultations and telerehabilitation, improving access to care, particularly in underserved regions. Wearable technologies have enabled continuous monitoring and predictive analytics, providing more personalized postoperative care. AI applications have enhanced diagnostic accuracy, surgical planning, and individualized rehabilitation programs. Blockchain technology has provided robust solutions for data security and patient consent management. AR/VR systems have revolutionized surgical training and remote rehabilitation, while IoT-enabled prosthetics have improved patient-specific monitoring and adaptive therapy.

E-pulse reduces costs by reducing unnecessary radiological imaging. Robot-assisted surgeries allow for more accurate implant placement by taking many measurements before and during surgery.

Despite these advancements, implementing digital health solutions in orthopedics faces several challenges, including ethical considerations, regulatory compliance, technical interoperability issues, and disparities in digital access. Addressing these challenges requires multidisciplinary collaboration, rigorous clinical validation, and patient-centered innovation.

Future research should focus on developing standardized protocols, ensuring equitable access to digital health technologies, and evaluating long-term outcomes to realize their full potential. By strategically overcoming existing barriers and fostering technological advancement, digital health can deliver a more accessible, efficient, and high-quality orthopedic care model, ultimately enhancing patient outcomes and transforming the future of musculoskeletal healthcare.

REFERENCES

- Adeghe, E. P., Okolo, C. A., & Ojeyinka, O. T. (2024). Evaluating the impact of blockchain technology in healthcare data management: A review of security, privacy, and patient outcomes. *Open Access Research Journal of Science and Technology*, 10(2), 013-020.
- Arseniev, D. G., Misnik, A. E., & Shalukhova, M. A. (2024). Managing the rehabilitation of patients following joint replacement using remote support tools. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*, 32(2), 6-24.
- Behmanesh, A., Sayfour, N., & Sadoughi, F. (2020). Technological features of Internet of Things in medicine: a systematic mapping study. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020(1), 9238614.
- Charles, A. J., Luo, E., Arango, A., Rowe, D., Goodwin, C. R., & Erickson, M. M. (2023). Augmented Reality in Spine Surgery Narrative Review: Seeing is Believing. *Operative Techniques in Orthopaedics*, 33(4), 101068.
- Chen AF, Kazarian GS, Jessop GW, Makhdom A. Robotic technology in orthopaedic surgery. *J Bone Jt Surg* 2018;21;100(22):1984-92.
- Combaila, A., Sánchez-Vives, M. V., & Donegan, T. (2024). Immersive virtual reality in orthopaedics—a narrative review. *International Orthopaedics*, 48(1), 21-30.
- Coser, O., Tamantini, C., Soda, P., & Zollo, L. (2024). AI-based methodologies for exoskeleton-assisted rehabilitation of the lower limb: a review. *Frontiers in Robotics and AI*, 11, 1341580.
- Deepthika, K., Shobana, G., Reddy, K. V., Srimathi, S., Kumar, B., & Upadhyay, S. (2024). Blockchain-Integrated Deep Learning for Secure Health Data Sharing and Consent Management. 2024 Second International Conference on Intelligent Cyber Physical Systems and Internet of Things (ICoICI),
- Erickson, J., Biron, D., Berg, A., Mattern, P., Rai, R., & Genovese, N. (2024). Preoperative mixed reality training improves trainee performance of glenoid guidewire positioning in shoulder arthroplasty in Walch B2 glenoid model. *Seminars in Arthroplasty: JSES*,
- Faliagka, E., Skarmintzos, V., Panagiotou, C., Syrimpeis, V., Antonopoulos, C. P., & Voros, N. (2023). Leveraging Edge Computing ML Model Implementation and IoT Paradigm towards Reliable Postoperative Rehabilitation Monitoring. *Electronics*, 12(16), 3375.
- Garg, D., Dubey, N., Goel, P., Ramoliya, D., Ganatra, A., & Kotecha, K. (2024). Improvisation in Spinal Surgery Using Ar (Augmented Reality), Mr (Mixed Reality), and Vr (Virtual Reality). *Engineering Proceedings*, 59(1), 186.

- Gupta, A., & Ambade, R. (2022). From diagnosis to therapy: The role of virtual and augmented reality in orthopaedic trauma surgery. *Cureus*, 14(9).
- Habuza, T., Navaz, A. N., Hashim, F., Alnajjar, F., Zaki, N., Serhani, M. A., & Statsenko, Y. (2021). AI applications in robotics, diagnostic image analysis and precision medicine: Current limitations, future trends, guidelines on CAD systems for medicine. *Informatics in Medicine Unlocked*, 24, 100596.
- Hamela, K., Shrivastava, G., Umapathi, P., Bankar, J. S., Chaudhary, S. D., & Kisan, R. (2024). Enhancing Data Security and Privacy in Electronic Health Records with Blockchain Technology. 2024 4th International Conference on Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS),
- Huang, L., & Lee, H.-H. (2020). A medical data privacy protection scheme based on blockchain and cloud computing. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020(1), 8859961.
- Innocente, C., Ulrich, L., Moos, S., & Vezzetti, E. (2022). Augmented reality: mapping methods and tools for enhancing the human role in healthcare HMI. *Applied Sciences*, 12(9), 4295.
- Kouyoumdjian P, Mansour J, Assi C, Caton J, Lustig S, Coulomb R. Current concepts in robotic total hip arthroplasty. *SICOT J* 2020;6:45.
- Kshetri, N., Hutson, J., & Revathy, G. (2023). healthAICChain: Improving security and safety using Blockchain Technology applications in AI-based healthcare systems. 2023 3rd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA),
- Kuhn, S., & Knitza, J. (2024). Orthopedics and trauma surgery in the digital age. *Orthopadie (Heidelberg, Germany)*.
- Liang, W., Zhou, C., Bai, J., Zhang, H., Jiang, B., Wang, J., Fu, L., Long, H., Huang, X., & Zhao, J. (2024). Current advancements in therapeutic approaches in orthopedic surgery: a review of recent trends. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1328997.
- Mathur, N., Davidson, A., Buis, A., & Glesk, I. (2016). Tissue viability monitoring: a multi-sensor wearable platform approach. 20th Slovak-Czech-Polish Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics,
- McKnight, R. R., Pean, C. A., Buck, J. S., Hwang, J. S., Hsu, J. R., & Pierrie, S. N. (2020). Virtual reality and augmented reality—translating surgical training into surgical technique. *Current reviews in musculoskeletal medicine*, 13, 663-674.
- Mikołajewska, E., Mikołajewski, D., Mikołajczyk, T., & Paczkowski, T. (2025). A Breakthrough in Producing Personalized Solutions for Rehabilitation and

- Physiotherapy Thanks to the Introduction of AI to Additive Manufacturing. *Applied Sciences*, 15(4), 2219.
- Morimoto, M., Nawari, A., Savic, R., & Marmor, M. (2024). Exploring the potential of a smart ring to predict postoperative pain outcomes in orthopedic surgery patients. *Sensors*, 24(15), 5024.
- Naik, K. V., Murari, T. V., & Manoj, T. (2022). A blockchain based patient consent management technique for electronic health record sharing. 2022 IEEE 7th International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE),
- Nathan, L., & Muthusamy, V. (2024). Uses, benefits and future of artificial intelligence (AI) in orthopedics. *Indian Journal of Medical Sciences*, 1-3.
- Pagkalos J, Chaudary MI, Davis ET. Navigating the reaming of the acetabular cavity in total hip arthroplasty: Does it improve implantation accuracy? *J Arthroplasty* 2014;29(9):1749-52.
- Ramkumar, P. N., Haeberle, H. S., Bloomfield, M. R., Schaffer, J. L., Kamath, A. F., Patterson, B. M., & Krebs, V. E. (2019). Artificial intelligence and arthroplasty at a single institution: real-world applications of machine learning to big data, value-based care, mobile health, and remote patient monitoring. *The Journal of arthroplasty*, 34(10), 2204-2209.
- Reina, N. (2019). Connected orthopedics and trauma surgery: new perspectives. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 105(1), S15-S22.
- Rovere, G., Bosco, F., Miceli, A., Ratano, S., Freddo, G., D'Itri, L., Ferruzza, M., Maccauro, G., Farsetti, P., & Camarda, L. (2024). Adoption of blockchain as a step forward in orthopedic practice. *European Journal of Translational Myology*, 34(2), 12197.
- T.C. Sağlık Bakanlığı. E-Nabız Kişisel Sağlık Sistemi. 2024. Erişim adresi: <https://enabiz.gov.tr>.
- Tacconi, D., Tomasi, R., Costa, C., & Mayora, O. (2013). A system for remote orthopedics rehabilitation. 2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops.
- Tandoğan, R. N., Kayaalp, A., & Terzi, E. (2022). Üç boyutlu bilgisayarlı tomografi temelli robotik kol yardımlı diz artroplastisi. *TOTBİD Dergisi*, 21, 82-89.
- Tarwala R, Dorr LD. Robotic assisted total hip arthroplasty using the MAKO platform. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2011;4(3):151-6.
- Tsai TY, Dimitriou D, Li JS, Kwon YM. Does haptic robot-assisted total hip arthroplasty better restore native acetabular and femoral anatomy? Robot-

- assisted total hip arthroplasty better restores hip anatomy. *Int J Med Robot* 2016;12(2):288- 95.
- van der Weegen, W., Warren, T., Das, D., & Siebelt, M. (2024). REAL-WORLD VALIDATION OF A MACHINE-LEARNING ALGORITHM PREDICTING TREATMENT STRATEGY FOR HIP OSTEOARTRITIS. *Orthopaedic Proceedings*,
- Westphal, E., & Seitz, H. (2021). Digital and decentralized management of patient data in healthcare using blockchain implementations. *Frontiers in Blockchain*, 4, 732112.
- Windsor, E. N., Sharma, A. K., Gkiatas, I., Elbuluk, A. M., Sculco, P. K., & Vigdorchik, J. M. (2021). An overview of telehealth in total joint arthroplasty. *HSS Journal®*, 17(1), 51-58.
- Yorulmaz, M., Odacı, Ş., & Akkan, M. (2018). Dijital Sağlık Ve E-Nabız Farkındalık Düzeyi Belirleme Çalışması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, (16), 1-11.
- Youssef, Y., De Wet, D., Back, D. A., & Scherer, J. (2024). Digitalization in orthopaedics: a narrative review. *Frontiers in Surgery*, 10, 1325423.
- Zhang, J., Lu, V., & Khanduja, V. (2023). The impact of extended reality on surgery: a scoping review. *International Orthopaedics*, 47(3), 611-621.
- Zhang, R., Xue, R., & Liu, L. (2021). Security and privacy for healthcare blockchains. *IEEE Transactions on Services Computing*, 15(6), 3668-3686.