Fizik Rehabilitasyonunda Yapay Zeka: Sistematik Bir İnceleme

*Arka plan:* Fiziksel engeller ilerleyen yaşla birlikte daha yaygın hale gelmektedir. Rehabilitasyon, işlevi geri kazandırarak bağımsızlığı daha uzun süre k o r u r . Bununla birlikte, rehabilitasyonun yetersiz kullanılabilirliği ve erişilebilirliği klinik etkisini sınırlamaktadır. Yapay Zeka (YZ) rehberliğindeki müdahaleler sağlık hizmetlerinin birçok alanını iyileştirmiştir, ancak rehabilitasyonun YZ'den faydalanıp faydalanamayacağı belirsizliğini korumaktadır.

*Yöntemler:* Klinik ortamda test edilen YZ destekli fiziksel rehabilitasyon teknolojisinin sistematik bir incelemesini yaparak şunları anlamaya çalıştık: 1) YZ destekli fiziksel rehabilitasyon teknolojisinin kullanılabilirliği; 2) klinik etkisi; 3) ve uygulamanın önündeki engeller ve kolaylaştırıcılar. MEDLINE, EMBASE, CINAHL, Science Citation Index (Web of Science), CIRRIE (şimdi NARIC) ve OpenGrey'de arama yaptık.

*Sonuçlar:* 9054 makale belirledik ve 28 projeyi dahil ettik. YZ çözümleri beş kategoriye yayılmıştır: Uygulama tabanlı sistemler, işlevin yerini alan robotik cihazlar, işlevi geri kazandıran robotik cihazlar, oyun sistemleri ve giyilebilir cihazlar. Fiziksel fonksiyon, aktivite, ağrı ve sağlıkla ilgili yaşam kalitesi ile ilgili sonuçları değerlendiren beş randomize kontrollü çalışma (RCT) tespit ettik. Klinik etkiler tutarsızdı. Uygulama engelleri arasında teknoloji okuryazarlığı, güvenilirlik ve kullanıcı yorgunluğu yer almaktadır. Etkinleştiriciler arasında rehabilitasyon programlarına daha fazla erişim, ilerlemenin uzaktan izlenmesi, insan gücü gereksiniminde azalma ve daha düşük maliyet yer almıştır.

*Sonuç* Fiziksel rehabilitasyonda yapay zekanın uygulanması büyüyen bir alandır, ancak klinik etkileri henüz titizlikle incelenmemiştir. Geliştiriciler, gerçek dünya ortamında sağlam klinik değerlendirmeler yapmak ve uygulama sonrası deneyimleri değerlendirmek için çaba göstermelidir.

**1. Giriş**

Yaşlanan nüfus, kronik hastalıklar ve fonksiyonel engeller nedeniyle yük altındadır [[1](#_bookmark10),[2](#_bookmark11)]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 2050 yılına kadar dünya nüfusunun %22'sinin 60 yaş ve üzerinde olacağını öngörmektedir [[3](#_bookmark12)]. Buna bağlı olarak, yaşlı ve multimorbid bir nüfusun farklı ihtiyaçları, sağlık hizmetlerinin yeniden gözden geçirilmesine neden olmuştur [[4](#_bookmark13)]. Kronik hastalık veya engellilik genellikle, bağımsızlığı mümkün olduğunca uzun süre korumak için etkili bir öz yönetim gerektiren sürekli bir bakım yönetimi yaklaşımı gerektirir. İşlevsel yetenek tehlikeye girdiğinde, rehabilitasyon (yani, "i*şlevi optimize etmek ve engelliliği azaltmak için tasarlanmış bir müdahale*" *WHO* [[5](#_bookmark14)]) hareketliliği ve işlevi geri kazandırabilir.

Fiziksel rehabilitasyon, fiziksel fonksiyon ve gücün yeniden kazandırılmasına odaklanır. Fiziksel rehabilitasyon müdahalelerinin birçok şekli vardır:

Hastane veya toplum temelli, klinisyen liderliğinde veya kendi kendine yönetilen, çok bileşenli veya tek bileşenli programlar. Fiziksel rehabilitasyon yaygın olarak mevcut olmasına rağmen, dünya çapında zayıf uyum nedeniyle sıklıkla yetersiz kullanılmaktadır [[6](#_bookmark15),[7](#_bookmark16)]. Zayıf alım ve uyum, düşük doktor yönlendirmesi veya onayı, ulaşım engelleri, zayıf algılanan etkinlik ve uygunsuz program zamanlamasından kaynaklanan çok yönlü sorunlardır [[8](#_bookmark17)]. Teknolojik gelişmeler, son yıllarda rehabilitasyon kullanımının önündeki bazı engellerin üstesinden gelmiştir. Örneğin, telerehabilitasyon erişilebilirliği artırabilir [[9](#_bookmark18)] ve dijital teknolojiler evde egzersizin uyumunu ve izlenmesini iyileştirebilir [[10](#_bookmark19)], ancak uygulama zorlukları devam etmektedir. Daha yakın zamanlarda, teknoloji destekli rehabilitasyon Yapay Zeka (YZ) ile geliştirilmiştir. YZ, insan zekasını simüle etmek için tasarlanmış belirli bir teknoloji türünü ifade eder. Makine öğrenimi, verilerden otomatik olarak öğrenen ve aşamalı iyileştirmeler yapan YZ'nin bir alt kümesidir [ [11](#_bookmark20)]. Birçok teknolojik gelişmeler, YZ'nin benzersiz avantajları arasında daha karmaşık verilerin işlenmesi, insanlardan daha hızlı veri hesaplama ve özel müdahalelerin kolaylaştırılması yer almaktadır [[12-14](#_bookmark21)].

Sağlık hizmetlerinde YZ yenilikleri, özellikle teşhis alanında büyük umut vaat etse de [[12](#_bookmark21)], kullanılabilirlik, kullanışlılık ve maliyet sorunları nedeniyle yeni teknolojilere genellikle direnç gösterilmekte ve yeterince kullanılmamaktadır [[15](#_bookmark22),[16](#_bookmark23)]. Bu nedenle, yeni sağlık teknolojilerinin uygulama zorluklarını anlamak çok ö n e m l i d i r . Makine öğreniminin hasta bakımı üzerindeki etkisine ilişkin sistematik bir incelemede, yüzlerce retrospektif 'kavram kanıtı çalışması' bulunmuş, ancak klinik uygulamada makine öğrenimi algoritmalarını prospektif olarak değerlendiren yalnızca sekiz makale yer almıştır [[17](#_bookmark24)]. Bu derlemenin amacı, yapay zeka destekli fiziksel rehabilitasyona ilişkin kanıtları anlamaktır. Çalışma hedefleri şunlardır:

1. Fiziksel rehabilitasyonu desteklemek için hangi yapay zeka uygulamalarının geliştirildiğini belirleyin.
2. Yapay zeka destekli rehabilitasyon girişimlerinin etkinliğini, klinik ve klinik olmayan sonuçlar da dahil olmak üzere standart bakıma kıyasla araştırın.
3. Yapay zeka destekli rehabilitasyon müdahalelerinin kullanılmasının önündeki engellerin v e kolaylaştırıcıların belirlenmesi.

# Yöntemler

Çalışma, Sistematik İncelemeler ve Meta-Analizler için Tercih Edilen Raporlama Öğeleri (PRISMA) kılavuzlarına göre yürütülmüş ve raporlanmıştır [1[8](#_bookmark25)]. PRISMA kontrol listesinin bir kopyası ekler bölümünde yer almaktadır. Sistematik inceleme protokolü PROSPERO sistematik inceleme veri tabanına prospektif olarak kaydedilmiştir (kayıt numarası CRD420201553).

* 1. **Literatür taraması**

MEDLINE, EMBASE, CINAHL, CIRRIE (şimdi NARIC), Science Citation Index (Web of Science) ve OpenGrey Temmuz 2020'de taranmıştır. Daha sonra Ekim 2021'de güncellenmiş bir arama yapılmıştır. MeSH terimleri ve temalardaki anahtar kelimelerin bir kombinasyonu: AI ve fiziksel rehabilitasyon temaları kullanılmıştır. İlk arama stratejisi MEDLINE'da geliştirilmiş ve bir bilgi uzmanının yardımıyla revize edilmiştir. Arama stratejisi daha sonra diğer veri tabanlarında kullanılmak üzere dönüştürülmüştür. MED- LINE arama stratejisinin bir kopyası eklerde yer almaktadır.

* 1. **Çalışma seçimi**

Başlıklar ve özetler ilk olarak bireysel hakemler (JS, HWL, LSC, AB, AM, GK) tarafından dahil edilmek üzere taranmıştır. Geçici olarak dahil edilen makaleler daha sonra iki bağımsız hakem tarafından uygunluk açısından tam metin olarak taranmıştır (JS, HWL, LSC, SB) ([Tablo 1](#_bookmark4)).

Yalnızca doğrulama sonuçlarını (örn. algoritma eğitimi) rapor eden çalışmalar hariç tutulmuştur. Müdahaleyi amaçlanan ortamda (örn. ev tabanlı) veya hedef kullanıcılar (örn. hastalar) tarafından test etmeyen çalışmalar da, canlı laboratuvar deneyleri hariç, hariç tutulmuştur. Beyin kontrol arayüzü müdahaleleri, amaç fiziksel bir işlevi mümkün kılmak değilse kapsam dışı bırakılmıştır.

Anlaşmazlıklar tartışılmış ve gerekirse üçüncü bir hakemle çözülmüştür. Bir çalışmanın uygunluğu y a y ı n l a r d a n anlaşılamadığında, uygunluğu netleştirmek için yazar(lar)la e-posta yoluyla iletişime geçmeye çalıştık.

* 1. **Veri çıkarma ve yönetimi**

Veri çıkarma işlemi bir araştırmacı (LSC, AB veya HWL) tarafından gerçekleştirilmiş ve ikinci bir bağımsız araştırmacı (HWL veya JS) tarafından tutarlılık açısından kontrol edilmiştir. Çıkarılan veri öğeleri şunları içermiştir: çalışma ve popülasyon karakteristikleri; bildirilmişse algoritma doğruluğu dahil müdahale ayrıntıları; klinik ve klinik olmayan e t k i l i l i k ölçümleri (örn, kabul edilebilirlik); teknoloji uygulamasının önündeki engeller ve kolaylaştırıcılar; ve maliyetle ilgili önlemler. Veri çıkarma formu, bir örnek makale üzerinde pilot o l a r a k u y g u l a n m ı ş ve tam veri çıkarma işleminden önce rafine edilmiştir.

PICOS uygunluk kriterleri.

------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Kriterler Tanım

--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Katılımcılar Resmi fiziksel rehabilitasyona tabi tutulan yetişkin hastalar (≥18 yaş).

Müdahale Yapay Zeka, özellikle de fiziksel rehabilitasyon programlarında kullanılan Makine Öğrenimi uygulamaları. Bunlar, hastalar veya sağlık hizmeti sağlayıcıları tarafından yatarak, ayakta veya toplum temelli ortamlarda kullanılan uygulamalar olabilir. Makine öğrenimi, taklit etmek için tasarlanmış bir yapay zeka dalıdır: "Öğrenmek ve kademeli olarak gelişmek için verileri kullanarak bir dizi insan akıllı eylemini (örneğin, öğrenme, anlama, düşünme ve yaratma)" taklit etmek için tasarlanmıştır. Fiziksel rehabilitasyon programları, işlevsel yeteneği ve yaşam kalitesini artırmak ve eski haline getirmek için sağlık hizmetleri tarafından yürütülen herhangi bir program olarak tanımlanmaktadır. Programlar klinik tabanlı veya ev tabanlı ya da toplum içinde olabilir. Çok bileşenli programlar, eğitim ve egzersiz gibi bir egzersiz bileşeni varsa uygundur.

Kontrol Girişimsel çalışmalar için kontrol grubu, AI destekli fiziksel rehabilitasyon almayanlar olarak tanımlanmıştır. Kontrol grubu olmayan çalışmalar, diğer kriterlerin karşılanması halinde dahil edilmeye uygundur.

Sonuçlar Sonuç ölçümleri dahil edilmiştir: Klinik etkinlik (örn. hareketlilik, ağrı, HRQOL) ve klinik olmayan ölçütler (örn. bağlılık, kabul edilebilirlik; teknoloji uygulamasının engelleri ve kolaylaştırıcıları; ve maliyetle ilgili ölçütler).

Çalışma türleri Tüm çalışma türleri (yani, deneysel veya gözlemsel tasarımlar), konsept amaçlanan amacına (yani, amaçlanan klinik etki) göre uygulandığı ve test edildiği sürece dikkate alınmıştır.

Simülasyon çalışmaları, sağlıklı denekler üzerinde yapılan testler veya doğrulama çalışmaları (yani ölçüm doğruluğu) gibi geliştirme çalışmaları hariç tutulmuştur.

Diğer Çalışmalar yalnızca İngilizce makalelerle sınırlandırılmıştır.

--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**2.4. Kalite değerlendirmesi**

Randomize Kontrollü Çalışmalar (RKÇ) için, klinik etkinliği bildiren çalışmaların kalitesini değerlendirmek üzere Cochrane Risk Of Bias aracı (ROB2) kullanılmıştır [19]. Araç, yanlılığın oluşabileceği beş alanı kapsayan bir dizi soru sormaktadır: seçim, performans, yıpranma, raporlama ve diğer. Her bir alan düşük, yüksek veya belirsiz olarak derecelendirilmektedir. İki araştırmacı yanlılık riskini bağımsız olarak değerlendirmiş ve anlaşmazlıklar tartışılmıştır (JS ve HWL). Makaleleri dışlamak için kalite değerlendirmelerini kullanmadık.

**2.5. Veri sentezi**

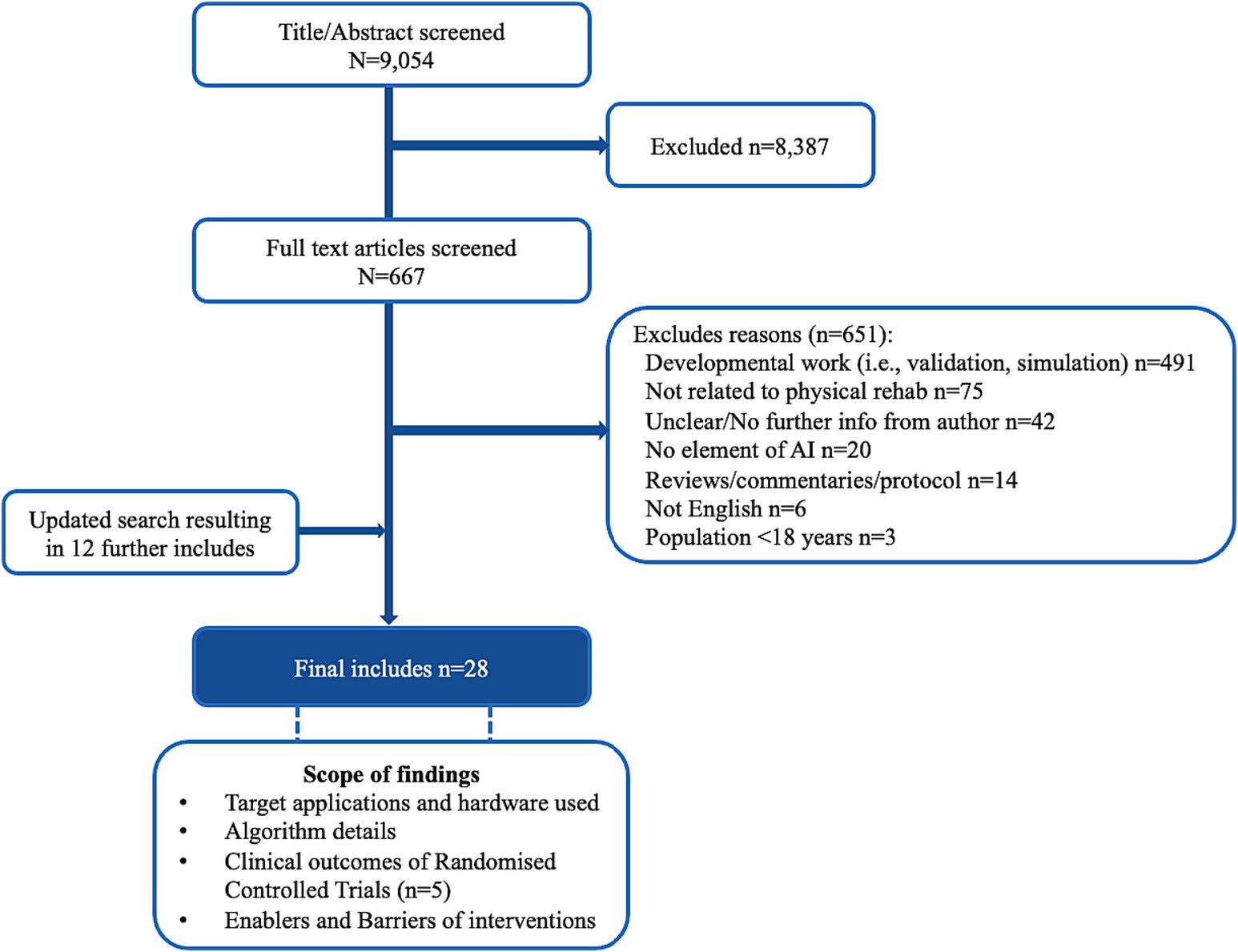
Çalışma tasarımlarının ve sonuç ölçümlerinin heterojenliği nedeniyle sonuçlar anlatısal olarak sentezlenmiştir.

**3. Sonuçlar**

9054 benzersiz makale tespit ettik. Taramadan sonra, on altı proje uygunluk kriterlerini karşıladı ve dahil edildi. Arama stratejisini güncelledikten sonra (Ekim 2021'de yeniden çalıştırıldı), uygunluk kriterlerini karşılayan on iki proje daha belirledik ( Şekil 1).

**3.1. Çalışma özellikleri**

Dahil edilen projelerin özellikleri Tablo 2 ve Tablo 2'de sunulmuştur. 3. 28 projeden (29 yayın) dokuzu kontrollü kohort, on beşi ön-son çalışma ve beşi RKÇ idi. Çalışmalara dahil edilen katılımcıların sayısı bir ile dört yüz altmış bir arasında değişmektedir. Çalışmalar Çin (4), İtalya ( 4 ) , Almanya (3), Amerika Birleşik Devletleri ( 3), Hong Kong ( 2), Tayvan (2), Ukrayna (2), Belçika (1), Kanada (1), Danimarka (1), Japonya (1), Kore (1), Hollanda (1), Romanya (1) ve Singapur (1).



**Şekil 1.** PRISMA akış diyagramı ve bulguların kapsamı.

**3.2 Müdahale Özellikleri**

Müdahaleler iki ana gruptan oluşmaktadır: işlevi geri kazandırmaya çalışanlar (n = 24) veya işlevin yerini alanlar (örn. protez uzuvlar) (n = 4). En çok tedavi edilen durumlar inme (n = 7), sırt veya boyun ağrısı (n = 6), Parkinson hastalığı (n = 3) veya uzuv yokluğu (n = 3) idi. Müdahaleler hareketliliği, işlevi, dengeyi veya ağrıyı iyileştirmek için geliştirilmiştir. Çözümler ev tabanlı (n = 14), klinik tabanlı (n = 10) ya da farklı ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştı (n = 4). Müdahaleler tarafından kullanılan donanım Tablo 4'te özetlenmiştir. Bazı çalışmalar sistemlerinde ticarileştirilmiş ürünler kullanırken (örn. akıllı saatler), hiçbiri müdahalelerinin klinik kullanım için onaylanıp onaylanmadığını bildirmemiştir.

**3.3. Klinik sonuçlar**

Dahil edilen beş RKÇ için klinik sonuçlar Tablo 5'te raporlanmıştır. Sonuç ölçümleri üç kategoriye ayrılmıştır: Fiziksel fonksiyon ve aktivite, ağrı ve sağlıkla ilgili yaşam kalitesi ( HRQOL).

**3.4. Taraflılık riski özeti**

Cochrane yanlılık riski aracı (Şekil 2) kullanılarak değerlendirildiği üzere, çalışmaların üçünde genel yanlılık riski 'bazı endişeler' [22,29,45] ve iki çalışmada yüksek yanlılık riski [23,26] olarak belirlenmiştir. Yanlılık riski sorunları, randomizasyon süreci ve katılımcı özellikleri hakkında ayrıntı eksikliği, değerlendiricinin körleştirilmemesi ve büyük oranda eksik veri ile ilgilidir.

**3.5. Uygulamaya yönelik kolaylaştırıcılar ve engeller**

Hiçbir çalışma kapsamlı bir uygulama değerlendirmesi yapmamıştır, ancak birkaçı müdahaleleriyle ilişkili engeller ve kolaylaştırıcılar hakkında yorumlar içermiştir. Uygulama deneyimleri teknolojik çözümün türüne göre özetlenmiştir. Doğrulama çalışmalarını dahil e t m e d i ğ i m i z i ç i n deneyimler öncelikle yazılım donanıma odaklanmıştır.

Sistemin erişilebilirliği (yani, herhangi bir zamanda herhangi bir yerde bir programa erişebilmek) [21,22], kullanım kolaylığı - teknoloji o k u r y a z a r ı olanlar için [20,23] ve uygulama aracılığıyla tedaviyi kişiselleştirme yeteneği [20] uygulama tabanlı sistemlerin kolaylaştırıcılarıdır. Bir çalışmada, k a t ı l ı m c ı l a r uygulama tabanlı talimatları geleneksel sözlü talimatlara göre daha kolay takip edilebilir bulmuşlardır [20]. Bir çalışma, halihazırda kurulu bir mesajlaşma uygulamasıyla entegrasyonun, müdahalelerinin kullanımını kolaylaştırdığını bildirmiştir [23]. Uygulamalar ayrıca, müdahale otonom olarak çalışabildiği için insan gücü g e r e k s i n i m l e r i n i azaltma avantajına da sahipti [20]. Bir makale veri gizliliğine değinmiştir; raporlama endişeleri hastaların telefonlarında veri yakalama yoluyla en aza indirilebilir [20].

Bildirilen engeller arasında, özellikle yaşlı ve teknoloji konusunda daha az bilgili yetişkinlerde düşük teknoloji okuryazarlığı [22], bir egzersizin yapılıp yapılmadığının bilinememesi [23] ve personel cihazlarının pil ömrüne yönelik talepler [20] yer almaktadır. Son olarak, bir çalışmada özel egzersiz t a v s i y e l e r i n i n bağlamı dikkate almadıklarında (örneğin, önerilen egzersizin hava koşullarına uygun olmaması) sınırlı kullanıma sahip olduğu bildirilmiştir [20].

**3.5.2. İşlevin yerini alacak robotik**

Sadece bir makale uzuv değiştirme robotiklerinin kolaylaştırıcıları hakkında yorum yapmıştır [26]. Bu çalışmada, fonksiyonel eğitim, kullanıcılara ağırlık ve duruşun kontrol üzerindeki etkisini öğreterek proteze uyum sağlamalarına yardımcı olmuştur. Ayrıca, serbestlik derecelerinin kademeli olarak artırılması, doğrudan kontrollü bir protezden makine öğrenimi kontrollü bir proteze geçişi sağlamıştır.

Engeller öncelikle protez performansıyla ilgilidir. Kristoff ve arkadaşları [26] protez malzemesinin uyumunun ve seçiminin elektrot temasını ve performansını etkilediğini belirtmiştir (elektrotlar hareket niyetini ölçer). Protez malzemesinin, özellikle ağırlık taşıma görevleriyle ilgili olarak dayanıklılık üzerinde de etkileri olmuştur [26]. Gelişmiş protezlerin ölçeklenebilirliği, güvenilir ve sağlam donanım gerektirir [27]. Teknik zorluklar, taşınabilirlik ve bağımsız kurulum eksikliği, sistemin doğruluğu veya sürekli kalibrasyon gerektiren cihazlar kullanılabilirliği ve ölçeklenebilirliği engellemiştir [24,27,28]. Aşırı kullanımdan kaynaklanan yorgunluk da gelişmiş protezlerin kullanımını sınırlamıştır [[24](#_bookmark31)].

Tablo 2

Dahil edilen çalışma özellikleri (işlevi geri yükler).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Yazar, tarih,  amacı | Cihaz ülkesinin | Yapay zeka rolü | Algoritma ayrıntıları | Hedef koşul(lar) ve örnek özellikleri | Sonuç ölçümleri | Sonuçların özeti |
| Alcaraz, 2018, | İyileştirmek için | Hareket verilerinin | Derin bir Evrişimsel Sinir | Yürüyüşle ilgili | Yürüyüş ölçümleri | Normal bakıma kıyasla daha |
| Almanya | rehabilitasyon | analizi ve | Ağı (CNN), farklı Ataletsel | sorunlar. Int *n* = |  | hızlı iyileşme süresi. |
|  | ilerlemesi ve | yorumlanması | Sinir Ağlarından gelen | 10, Ortalama yaş: |  |  |
|  | performansın |  | veriler kullanılarak eğitildi | 63 ± 10 yıl. Ctrl *n* |  |  |
|  | ölçülmesi. |  | (denetlendi). | = 10, Ortalama |  |  |
|  |  |  | Ölçüm Birimleri (IMU'lar) | yaş: 61 ± 8 yıl. |  |  |
|  |  |  | ve tek taraflı kalça |  |  |  |
|  |  |  | artroplastisi ameliyatı |  |  |  |
|  |  |  | sonrası yürüyüşü ölçen |  |  |  |
|  |  |  | kinematik sinyaller. |  |  |  |
|  |  |  | Doğruluk bildirilmemiştir. |  |  |  |
| Anan, 2021, | İyileştirmek için | Egzersiz ve semptomlar | Tahmine dayalı analitik | Sırt ve boyun ağrısı | Ağrı ve bağlılık | Geliştirilmiş boyun/omuz |
| Japonya | kas-iskelet sistemi | kontrol | sistemi  Secaide.me ver 0.9 olarak | Int *n* = 48, Ortalama |  | ağrı ve sertlik ve |
|  | Uygulama tabanlı bir | chatbot aracılığıyla | adlandırıldı.  Travoss Co, Ltd. tarafından | yaş: 41.8 ± 8.7 |  | bel ağrısını azaltır. |
|  | sağlık teşvik sistemi | gönderilen öneriler | oluşturulmuştur. Eğitim | yıllar. Ctrl *n* = 46, |  |  |
|  | aracılığıyla |  | hakkında ayrıntı yok. | Ortalama yaş: 42.4 |  |  |
|  | semptomlar. |  | Doğruluk oranı rapor | ± |  |  |
|  |  | Tedavi üretir | edilmemiştir. | 8.0 yıl. | Günlük aktiviteler ve | Önemli |
| Andrei, 2015, | İşlevselliği geliştirmek için |  |  | Sırt ağrısı |  |  |
|  |  |  | Değiştirilmiş bir bulanık |  |  |  |
| Romanya | yapay zeka destekli | tıbbi temelli tavsiyeler | çıkarım  değiştirilmiş bir Sugeno tipi | *n* = 260. Yaş | hareket | fonksiyonel kapasitede |
|  | terapi yoluyla | durum | çıkarım kullanarak | bildirilmemiştir. |  | iyileşmeler. |
|  | kapasite. |  | sistem. Sistem |  |  |  |
|  |  |  | 260 hastadan elde edilen |  |  |  |
|  |  |  | veriler üzerinde test |  |  |  |
|  |  |  | edilmiştir. Sistem hatası |  |  |  |
| Ang, 2017, 2014 | Motoru iyileştirmek için | Motor algılama ve | %2'nin a l t ı n d a y d ı . | İnme | Motor fonksiyon | Önemli ölçüde daha |
| Singapur | motor imgeleme ve | dokunsal düğmenin | EEG verileri kaydedildi kalibrasyon seansı | Int *n* = 6, |  | büyük  normal bakımla |
|  | dokunsal bir düğme | modülasyonu | sırasında 80 motor | Ortalama yaş: 54,0 |  | karşılaştırıldığında motor |
|  | aracılığıyla geri bildirim |  | imgeleme görevi ve 80 | ± 8,9 |  | kazanımlar. |
|  | yoluyla iyileşme. |  | boşta | yıllar. Ctrl 1: *n* = 8, |  |  |
|  |  |  | durum görevleri. Sinyal  işleme, Filtre Bankası Ortak | Ortalama yaş: 51.1 ±  6,3; Ctrl 2: *n* = 7, |  |  |
|  |  |  | Uzamsal Örüntü algoritması | Ortalama yaş: 58.0 ± |  |  |
|  |  |  | kullanılarak | 19.3 yıl. |  |  |
|  |  |  | gerçekleştirilmiştir. |  |  |  |
|  |  |  | Müdahale grubu için (Beyin- |  |  |  |
|  |  |  | Bilgisayar Arayüzü ile |  |  |  |
|  |  |  | dokunsal düğme eğitimi) |  |  |  |
|  |  |  | kalibrasyon doğruluğu |  |  |  |
|  |  |  | ortalama %79,8'dir. |  |  |  |
|  |  |  | Müdahale eğitimi sırasında |  |  |  |
|  |  |  | doğruluk %69,5'e |  |  |  |
| Avola, 2013, | Özelleştirilmiş sağlamak | Analiz ve | düşmüştür. | Parkinson hastalığı | Hasta ve personel | Önemli ölçüde iyileşme |
| için  2018, 2019, | rehabilitasyon egzersizleri | yorumlanması | Geçitli Tekrarlayan Birim Tekrarlayan Sinir Ağı | *n* = 92, Ortalama yaş: | deneyim, | hareketlilik. Kullanıcılar |
| İtalya | sanal gerçeklik | egzersiz performansı | (RNN) değerlendirmek için | 40 yıl. | rehabilitasyon | egzersiz yapmak için motive |
| kullanarak. |  |  | kullanıldı |  | ilerleme ve bacak | olur. |
|  |  |  | bir egzersizin ne kadar |  |  | Kullanılabilirlik ve |
|  |  |  | olduğu |  |  |  |
|  |  |  | sağlıklı denekler üzerinde |  | hareketlilik | özelleştirme yüksek puan |
|  |  |  | geliştirilen bir referans |  |  | almıştır. |
|  |  |  | modele kıyasla doğru |  |  |  |
|  |  |  | şekilde gerçekleştirilmiştir. |  |  |  |
|  |  |  | Terapiste kıyasl a |  |  |  |
|  |  |  | doğruluk 0 ile 10 arasında |  |  |  |
| Bockbrader, | Motoru eski haline | BCI'ın Yorumlanması | derecelendirilmiştir. | Tetrapleji | Motor fonksiyon | Katılımcılar şunları |
| getirmek için |  |  | Doğrusal Olmayan, Destek |  |  | yapabildiler |
| 2016, 2019, | beyin yoluyla işlev- | sinyalleri ve | Vektörü  Makine (SVM) kod çözücüleri | *n* = 1, Yaş: 27 | metrikler ve | koordineli gerçekleştirmek |
| ABD | bilgisayar arayüzü | hareket niyetinin | farklı kavrama hareketleri | yıllar. | duyum | kavramış ve üst |
|  | (BCI) ve fonksiyonel | iletilmesi | konusunda eğitildi. |  |  | e k s t r e m i t e |
|  | elektrik |  | Dekoder eğitimi 10 ila 15 |  |  | fonksiyonlarında önemli |
|  | stimülasyonu (FES). |  | dakika sürmüştür, |  |  | kazanımlar elde etmiştir. |
|  |  |  | 4 ila 6 blok boyunca her |  |  |  |
|  |  |  | hareketin 3 ila 4 tekrarı ile. |  |  |  |
|  |  |  | Doğruluk değildi |  |  |  |
|  |  |  | bildirildi. |  |  |  |
| Burns, 2021, | Uzaktan izlemek için | Tespiti | Tamamen konvolüsyonel | Rotator manşet | Katılım | Egzersiz katılımı |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Yazar, tarih, Cihazın kullanım amacı  ülke | Yapay zeka rolü | Algoritma ayrıntıları | Hedef koşul(lar) ve örnek özellikleri | Sonuç ölçümleri | Sonuç özeti |
|  |  | Gönüllüler. Algoritma |  |  |  |
|  |  | doğruluğu 0.90 ile |  |  |  |
|  |  | 0.95. |  |  |  |
| Chae, 2020, Uzaktan izlemek için | Tespiti | Bir CNN algoritması kullanıldı | İnme | Fonksiyonel | Sistem şunları kolaylaştırdı |
| Kore rehabilitasyon egzersizleri | fizyoterapi egzersizi | ev tespiti için | Int *n* = 17, Ortalama | değerlendirme, aralık | ev tabanlı |
| bir akıllı saat ve akıllı | aktivite | egzersizler. Eğitim verileri | yaş: 58.3 ± 9.3 | hareket ve depresyon | rehabilitasyon ve |
| telefon uygulaması |  | dört tür egzersiz yapan | yıllar. Ctrl *n* = 6, |  | önemli ölçüde iyileşmiş |
| kullanarak. |  | hastala r d a n | Ortalama yaş: 64.5 |  | motor fonksiyon ve |
|  |  | toplanmıştır. Veriler | ± |  | hareket açıkl ı ğ ı . |
|  |  | bir teste bölünmüştür | 9.6 yıl. |  |  |
|  |  | veri kümesi ve dört eğitim |  |  |  |
|  |  | veri kümesi, model |  |  |  |
|  |  | doğruluğunu oluşturmak |  |  |  |
|  |  | ve belirlemek için. Veri |  |  |  |
|  |  | girişine bağlı olarak %95,8 |  |  |  |
|  |  | ile %99,9 arasında |  |  |  |
| De Cannie`re, Fonksiyonel yorumlamak | 6 dakikalık tahmin | doğruluk elde edilmiştir. | Kalp yetmezliği | İşlevsel kapasite | Teknoloji |
| için  2020, Belçika kullanarak kapasite | yürüme mesafesi | Performansı  farklı SVM regresyonu | *n* = 89, Ortalama yaş: |  | başarılı bir şekilde |
| Kardiyak rehabilitasyon | verilerini  fonksiyonel kapasitenin | modelleri | 63 ± 1 yıl. |  | kolaylaştırıldı  CR'de klinik ilerlemenin |
| (CR) hastalarının | belirlenmesi | karşılaştırılmıştır. |  |  | objektif takibi. |
| uzunlamasına takibi için |  | Katılımcının verilerinin |  |  |  |
| giyilebilir sensör. |  | %80'imodeli eğitmek |  |  |  |
|  |  | (denetimsiz) için |  |  |  |
|  |  | kullanılırken, kalan %20'si |  |  |  |
|  |  | modeli doğrulamıştır. A 20- |  |  |  |
|  |  | Tahmin hatasını ölçmek |  |  |  |
|  |  | için kat doğrulama |  |  |  |
|  |  | yapılmıştır. 6 dakikalık |  |  |  |
|  |  | yürüme testinde ortalama |  |  |  |
|  |  | hata 42,5 m |  |  |  |
| Donisi, 2021, Rehabilitasyonu | Hareket analizi | o l m u ş t u r . | Parkinson hastalığı | Yürüyüş ve duruş | Sistem doğruladı |
| değerlendirmek için  İtalya yürüyüş yoluyla sonuçlar | belirlemek için veri | Dört ağaç tabanlı algoritma  farklılıkları karşılaştırdı | *n* = 12, Yaş aralığı: | metrikler, öngörücü | klinisyenlerin |
|  |  |  |  |  | değerlendirmeleri |
| kullanarak analiz | klinik iyileştirme | kabul ve taburcu | 51-77 yaş arası. | postüral ayarlama, | rehabilitasyon |
| giyilebilir atalet sistemi. |  | parametreler: Random |  | dönme, denge, | değerlendirme. |
|  |  | Forest, Rotation Forest, |  | fonksiyonel bağımsızlık | Yürüyüşte önemli |
|  |  | Ada-Boost of Decision |  | ve hastalık bozukluğu | iyileşmeler tespit |
|  |  | Stumps ve Gradient |  |  | e d i l m i ş t i r . |
|  |  | B o o s t ağacı. |  |  |  |
|  |  | Sentetik bir azınlık aşırı |  |  |  |
|  |  | örnekleme tekniği |  |  |  |
|  |  | kullanılmıştır. |  |  |  |
|  |  | güvenilir bir analiz |  |  |  |
|  |  | gerçekleştirir. |  |  |  |
|  |  | Doğruluk 0.94, 0.79, 0.94 |  |  |  |
|  |  | ve sırasıyla 0,90. Makine |  |  |  |
| Hospodarskyy, Özel olarak tasarlanmış | Egzersizin izlenmesi | öğrenimi | Alt ekstremite | Çalışma 1: Egzersiz | Denekler daha yüksek |
| bir |  |  |  |  |  |
| 2020, ve rehabilitasyon planı | zaman, yerel | Ternopil'de geliştirildi | yaralanma | zaman, sıcaklık, | uyarlanmış memnuniyet |
| Tsvyakh, bir teletıp aracılığıyla | sıcaklık, sıcaklık | Tıp Üniversitesi. Hayır | Çalışma 1: Int *n* = | ve hasta | telerehabilitasyon |
|  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Yazar, tarih, ülke | Cihazın kullanım amacı | Yapay zeka rolü | Algoritma ayrıntıları | Hedef koşul(lar) ve örnek özellikleri | Sonuç ölçümleri | Sonuçların özeti |
|  |  |  | oranları sırasıyla %92,72, |  |  |  |
|  |  |  | 88,87, 63,7 ve 74,9'dur. |  |  |  |
| Lo, 2018, Çin | Araç kullanan kişilere | Egzersiz üretimi | Çok katmanlı bir algılayıcı | Sırt ve boyun ağrısı | Ağrı, algılanan | Kullanıcılar şunları bildirdi |
|  | yardımcı olmak için  kendi kendini yönetmek | ÖNERİLER | yapay sinir ağı | *n* = 158, Yaş aralığı: | iyileştirme, | ile daha fazla egzersiz |
|  | için uygulama |  |  |  |  | yapmak |
|  | kronik boyun ve sırt ağrısı. | semptomlara dayalı | öneriler oluşturmak için | 18 ila >60 yaş. | kullanılabilirlik, | müdahale e d i l d i ve |
|  |  |  | kullanılmıştır. Bilgisayar |  | egzersiz yapmak | ağrı azaldı. |
|  |  |  | simülasyonlu veriler (*n* = |  | veya eğitim |  |

300 set) uzmanlar tarafından incelenerek egzersizlerin yapıldığından

emin olun

Uygun. İlk algoritma e ğ i t i l d i k t e n

sonra, en az %80 doğruluk e l d e edilene kadar eğitime devam etmek için bir geri yayılım algoritması kullanılmıştır.

elde edildi.

Pirovano, 2014, Bir exergame sistemi Ölçümü Bulanık sistemler aşağıdakiler

için kullanılır

materyallerini okumak için harcanan zaman

Duruş ve Hasta deneyimi, Entegre sistem

2016, İtalya Bu da uzaktan izlenen

ev rehabilitasyonunu

kolaylaştırıyor.

otonom geri bildirim ile egzersiz performansı

egzersiz performansını izlemek. Egzersiz parametreleri egzersiz sırasında hastanın performansına göre ayarlandı

Bayesian aracılığıyla terapistten gelen girdileri de dikkate alan bir çerçeve (Quest yöntemi). Doğruluk rapor edilmemiştir.

denge

*n* = 7, Yaş aralığı: 68-

82 yaş.

oyun başarı oranı Otonom rehabilitasyonu destekleyecek işlevler.

Pogrzeba, 2018, Kaydetmek için, otomatik Motor takibi Olasılıksal bir model, İnme veya Motor fonksiyon Model destekli

Almanya kalibre etmek ve tekrarlayan hareketleri analiz etmek

objektif olarak uzun değerlendir-

vadeli rehabilitasyon performansı.

fonksiyon ilerlemesi "sağlıklı" ve "sağlıklı

olmayan" veri kümesinden eğitilmiş (denetimli) "bozulmuş" hareket

hareketin

i y i l e ş m e s i n i izlemek için kullanılır. Özellik seçimine bağlı olarak 0,88'e kadar

Parkinson hastalığı Int *n* = 20, Ortalama

Yaş: Rapor edilmemiştir. Ctrl 1: *n* = 10,

Ortalama yaş: 31,4

±

2,54 yıl; Ctrl 2:

*n* = 1, yaş: 31 yıl.

objektif değerlendirmesinde terapistler

terapi başarısı ve

Tedaviye eşzamanlı olarak kullanıldığında t e d a v i d e değişiklikleri teşvik etmiştir.

Haham, 2018, ABD

MyBehaviorCBP bir

Egzersiz üretimi

sınıflandırma doğruluğu. Aşağıdaki veriler kullanılarak geliştirilmiştir

Sırt ağrısı Uygulama kullanımı,

fiziksel

Fiziksel aktivite

cep telefonu uygulaması ÖNERİLER sağlıklı bir nüfus. A *n* = 10, Yaş aralığı: aktivite, hasta tavsiyeler şunlardı

fiziksel üretir fiziksel temelli Gauss Karışım Modeli 31-60 yaş arası. deneyim ile daha fazla

gerçekleşmiştir.

mevcut davranışlara benzer faaliyet önerileri.

faaliyet davranışları yaygın günlük fiziksel

aktiviteleri belirlemek için kullanılmıştır (denetimsiz). Daha sonra kişiselleştirilmiş fiziksel aktiviteler oluşturmak için çok kollu bir bandit algoritması kullanılmıştır. geçmişe dayalı öneriler

davranış. Doğruluk

bildirilmemiştir.

uygulaması ve

talimatları takip

etmek genel

tavsiyeleri takip

etmekten daha

kolaydı.

Sandal, 2021, Kolaylaştırmak ve Kendine özel Tavsiyeler şunlardı Sırt ağrısı Sakatlık, ağrı, öz Bel ağrısı olan yetişkinler

Danimarka kendini geliştirmek YÖNETİM bir vaka kullanılarak

oluşturulmuş-

Int *n* = 232, Ortalama

etkinlik, korku- AI alan ağrı

alt yönetim ÖNERİLER temelli akıl yürütme yaklaşımı yaş: 48.3 ± 15.0 kaçınma, hastalık müdahalesi daha azdı

sırt ağrısı ile dayalı yani, başarılı bir şekilde elde edilen veriler

yıllar. Ctrl *n* = 229, algı, sağlık- sırt ağrısı sakatlığı

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Yazar, tarih, Cihazın kullanım amacı  ülke | Yapay zeka rolü | Algoritma ayrıntıları | Hedef koşul(lar) ve örnek özellikleri | Sonuç ölçümleri | Sonuçların özeti |
| Bir uygulama kullanarak |  | hastalık evresini belirler. | yıllar. Ctrl *n* = 40, | yaşam kalitesi, | yaşam kalitesi, ağrı ve |
| rehabilitasyon egzersizini |  | Daha fazla eğitim yok | Ortalama yaş: 63.0 ± | hasta deneyimi | fiziksel fonksiyon. |
| teşvik edin. |  |  |  |  |  |
|  |  | veya bildirilen doğruluk | 9.7 yıl. |  |  |
|  |  | bilgileri. |  |  |  |
| Wang, 2021, Hareketi kullanarak analiz | Yürüyüşün ölçülmesi | Bir temel bileşen | Yürüyüşle ilgili | Yürüyüş ölçümleri | Bir iyileştirme |
| etmek  Çin Yürüyüş ve | IMU verilerine | normal yürüyüşle | sorunlar  Int *n* = 8, |  | IMU tabanlı yürüme |
| rehabilitasyon | dayalı sapmalar | karşılaştırılan yürüyüş | Ortalama yaş: 40 |  | normalliği endeksi (INI) |
| ilerlemesini |  | normallik indeksini | ± 8 yıl. Ctrl *n* = |  | rehabilitasyon sırasında |
| değerlendirmek için |  | hesaplamak için analiz | 10, Ortalama |  | gösterilmiştir |
| IMU'lar. |  | yöntemi kullanılmıştır. | y a ş : 40 ± 11 yıl. |  | süreç. |
|  |  | sağlıklı bireylerdeki aralıklar. |  |  |  |
|  |  | Yaklaşım ilk olarak, her biri |  |  |  |
|  |  | altı yürüme denemesi |  |  |  |
|  |  | gerçekleştiren yedi yatan |  |  |  |
|  |  | hastada |  |  |  |
|  |  | d o ğ r u l a n m ı ş t ı r . |  |  |  |
| Ye, 2021, Hong Robotik sağlamak için | EMG'nin Yorumlanması | Doğruluk bildirilmemiştir. | İnme | Motor fonksiyon | Sistem başarılı bir şekilde |
| Kong destekli üst uzuv | belirlemek için sinyaller | Geriye yayılımlı bir sinir  ağ eğitildi | *n* = 29, Ortalama yaş: |  | değerlendirilmiş motor |
| rehabilitasyon ve | klinik durum | (denetimli) %80'ini | 58,7 ± 8,3 yıl. |  | fonksiyon. Önemli |
|  |  | kullanarak |  |  |  |
| Rehabilitasyon |  | EMG epokları verisi. Kalan |  |  | fonksiyonda iyileşmeler |
| ilerlemesinin otomatik |  | %20'si test verileriydi. AI |  |  | gözlemlenmiştir. |
| tespiti. |  | skorları ile manuel klinik |  |  |  |
|  |  | değerlendirme skorları |  |  |  |
|  |  | arasında >0,9 (*p* < |  |  |  |
|  |  | 0.001). |  |  |  |
| Yeh, 2014, İnteraktif bir sanal | Yorumlanması | Bir SVM eğitildi | Vertigo | Denge ölçümleri | Önerilen etkileşimli |

Tayvan dengeyi geliştirmek için sensörlü gerçeklik rehabilitasyon oyunu.

klinik durumu belirlemek için denge endeksleri

(denetimli) katılımcı verileri üzerinde. Veri kümesi, 10 katlı çapraz doğrulama yöntemleri izlene r e k bir eğitim ve test veri kümesine ayrılmıştır.

Sınıflandırma doğruluğu 65 ile %75 arasında.

Int *n* = 48, Yaş: 64

± 16 yıl. Ctrl *n*

= 36, Ortalama yaş:

22

± 4 yıl.

VR rehabilitasyon sistemi, vestibüler disfonksiyonu olan hastaların denge skorlarını iyileştirmelerine etkili bir şekilde yardımcı olmuştur.

Zhou, 2021, Alt sırt bölgesini

değerlendirmek için

EMG'nin Yorumlanması

Oluşturulan ARAN

algoritması

Sırt ağrısı Algılanan engellilik Yüzey EMG'si etkili bir

şekilde

Çin ağrı ve yüzey EMG'si kullanılarak rehabilitasyonun etkisi.

rehabilitasyon sırasında

sinyaller

zamanla değişen parametreli AR modeli ve Y S A ile Ninapro veritabanı kullanılarak eğitildi (denetimli).

simülasyon çalışması. ARAN otoregresif hareketli ortalama algoritması ve CNN algoritması ile karşılaştırılmıştır. Doğruluk

%96,31, %85,16 ve

Sırasıyla %83,35.

*n* = 106, Ortalama

yaş: 18-50 yıl.

ve hareketlilik golfçünün bel ağrısını ve rehabilitasyonun etkisini değerlendirmiştir.

**Kısaltmalar**: Müdahale (Int); Kontrol (Ctrl); Beyin-Bilgisayar Arayüzü ( BCI); Evrişimsel Sinir Ağı (CNN); Tam Evrişimsel Ağ ( FCN); Fonksiyonel Elektriksel Stimülasyon (FES); Kardiyak Rehabilitasyon CR; Elektromiyografi (EMG); Atalet Ölçüm Birimleri (IMU'lar); Atalet Normallik İndeksi (INI); Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN); Destek Vektör Makinesi (SVM).

* + 1. İşlevi geri kazandırmak için robotik

Sadece iki çalışma uygulama ile ilgili faktörler hakkında yorum yapmıştır [[30](#_bookmark37),[31](#_bookmark38)]. Bir çalışmada Elektromiyografi (EMG) sensörlü robotik ortezin kullanılabilirliği değerlendirilmiştir [[31](#_bookmark38)]. Çalışma ekibi talimatların netliği, kullanım kolaylığı, konfor, görünüm, eğitimin basitliği, etkinlik ve genel memnuniyeti değerlendirmiştir. Ortalama kullanılabilirlik puanı

29,3 (maksimum puan 36) [[31](#_bookmark38)]. Jezernik v e arkadaşları [[30](#_bookmark37)] akıllı bir koşu bandı eğitim sistemini değerlendirmiştir. Hastalar, geleneksel sabit yürüyüş modeli sistemi yerine uyarlanabilir yürüyüş modeli eğitimini tercih etmiştir [[30](#_bookmark37)]. Herhangi bir engel rapor edilme m i ş t i r.

* + 1. **Oyun sistemleri**

Oyun sistemleri düşük maliyetli çözümler olarak algılanmış [[33](#_bookmark40),[36](#_bookmark43)] ve kullanılabilirlikleri açısından yüksek puanlar almıştır [[33](#_bookmark40),[35](#_bookmark42)]. Maliyet ve kullanılabilirlik konusundaki görüşler büyük olasılıkla Kinect gibi 'hazır' ticari oyun donanımlarının mevcudiyetinden kaynaklanmaktadır ([Tablo 4](#_bookmark7)). Tüm oyun sistemleri diiğsetrelemri.lerinde en azından piyasada bulunan bazı donanımları kTualblalonm2 (ışdteıvr.am)Oyun sistemlerinin esnekliği, örneğin oyunun ve egzersizlerin farklı klinik gruplara göre özelleştirilmesi gibi algılanan bir başka avantajdır [33,35]. Ayrıca, klinisyenlerin hastaları uzaktan yönetme ve ilerlemelerini objektif olarak değerlendirme becerisine değer verdikleri bildirilmiştir [33,35,36]. Hastanın bakış açısından, oyun tabanlı egzersiz ilgi çekiciydi, yapması kolaydı ve uygun bir zorluk seviyesinde ayarlanmıştı [35]. Hastalar ayrıca jest ve ses tanımanın oyun sistemleriyle birlikte hareket etmek için uygun olduğunu düşünmektedir [35]. Engeller arasında gecikme sorunları (hareket h a s t a l ı ğ ı n a neden olur) [33], oyun yorgunluğu [35], net olmayan görseller ve daha fazla kişiselleştirme tercihi (örneğin, arka plan müziği, ısmarlama avatarlar) yer alıyordu [35].

**3.5.5. Giyilebilir cihazlar kullanarak aktivite izleme**

Akıllı saatler, Ataletsel Ölçüm Birimleri (IMU'lar) ve ivmeölçerler dahil olmak üzere giyilebilir cihazlar taşınabilirlik, rahatlık [38,40,46], konfor [38] ve düşük maliyet [41,46] açısından avantajlıdır. Bir yazar giyilebilir cihazların analiz ve sentezi kolaylaştırdığını belirtmiştir.

Tablo 3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Yazar, tarih, Cihazın kullanım  ülke amacı | Yapay zeka rolü | Algoritma ayrıntıları | Hedef durum  (s) ve örneklem özellikleri | Sonuç ölçümleri | Sonuçların özeti |
| Kristoffersen, Uzuvları onarmak | EMG sinyallerinin yorumlanması | Bir yapay sinir | Uzuv yokluğu | Fonksiyonel | Ciddi oyun eğitiminin kullanımı |
| için  2021, fonksiyonu ile | ve iletişimi | ağ eğitildi | Int *n* = 4, Yaş | kullanım | ile benzer sonuçlar elde |
|  |  |  |  |  | etmiştir. |
| Hollanda robotik protez. | hareket ni̇yeti̇ | mini üzerinde (denetimli) | aralık: 52-59 |  | geleneksel eğitim-hayır |
|  |  | katılımcı grupları | yıllar. Ctrl *n* = 4, |  | tutarlı iyileştirmeler |
|  |  | Ortalama karesel hata | Yaş aralığı: 39-74 |  | Her iki grupta da EMG |
|  |  | regresyon kaybı ve ADAM | y a ş . |  | ölçümleri veya fonksiyonel |
|  |  | optimize edici kullanılarak |  |  | kullanım bulunmuştur. |
|  |  | EMG verileri. Tüm eğitim |  |  |  |
|  |  | verilerinin %10'u |  |  |  |
|  |  | kullanılarak bir doğrulama |  |  |  |
|  |  | seti oluşturulmuştur. |  |  |  |
| Osborn, 2021, Uzuvları onarmak | EMG sinyallerinin yorumlanması | Doğruluk rapor | Uzuv yokluğu | Protez | Bu çalışma aşağıdakileri |
| için |  | edilmemiştir. |  |  | göstermiştir |
| ABD fonksiyonu ile | ve iletişimi | Denetimli doğrusal  diskriminant analizi yapıldı | *n* = 1, Yaş: 63 | kontrol metrikleri, | fonksiyonel faydası |
| robotik protez. | hareket ni̇yeti̇ | Katılımcının istenen protez | yıllar. | kullanım, | antropomorfik protez uzuv. |
|  |  | hareketini seçmesi ve bu |  | algılanan iş |  |
|  |  | hareketi fantom el ile |  | yükü |  |

gerçekleştirmeye çalışması

ve bu sırada

miyoelektrik veriler. Bu

Tang, 2018, Beyinle çalıştırılan Gerçek zamanlı hedef tespiti

miyoelektrik eğitim verileri istenen her hareket sınıfı için saklanmıştır. Doğruluk bildirilmemiştir.

Önceden eğitilmiş

(denetimli)

Şiddetli motor- Navigasyon Sonuçlar kanıtladı ki

Çin tekerlekli sandalye ve

taşıma için robotik kol.

algoritma sinir ağı (YOLOv2)

kullanıldı. Bir eğitim veritabanı şunlardan oluşturulmuştur

Common Objects in Context

veri kümesi ve ImageNet. Doğruluk bildirilmemiştir. Katılımcıların EEG

verileri

Engellilik

Int *n* = 3, Yaş aralığı: 33-55

yıllar. Ctrl *n* = 4, Yaş aralığı: 25-30 yıl.

metrikler, komuta performansı

sistem akıllıca ve verimli bir

şekilde çalıştı.

Tombini, 2010, Uzuvları onarmak

için

Yorumlanması

Uzuv yokluğu Ağrı, hareket Klinik bir iyileşme

2012, İtalya fonksiyonu ile

robotik protez.

Elektroensefalografi (EEG)

ve elektronörografik sinyaller

toplanırken motor imgeleme gerçekleştirmek

*n* = 1, Yaş: 26 yıllar.

tanıma hayalet uzuv ağrısı

gözlemlendi ve ilerici bir

daha karmaşık veriler. Ancak, karmaşık veri çıktıları kullanıcıların kararları anlamasını ve uygulamasını zorlaştırabilir [[42](#_bookmark49)]. Giyilebilir bir sensörü telerehabilitasyon ile birleştiren bir müdahalede, bakım memnuniyetinin arttığı ve konsültasyonların kısalarak sağlık bakım maliyetlerinin azaldığı bildirilmiştir [[44](#_bookmark51)].

Giyilebilir cihazların sınırlamaları arasında mevcut sensörlerin türü (ve nelerin ölçülebileceği) ve rahatsızlık, rahatsızlık ve pil ömründe azalmaya neden olmadan kaç tanesinin takılabileceği yer almaktadır [[40](#_bookmark47),[41](#_bookmark48),[46](#_bookmark53)]. Diğer engeller arasında bağlantı sorunları [[40](#_bookmark47)], cihazların takılmasına uyumun zayıf olması (genellikle rahatsızlık veya pil ömrü s o r u n l a r ı nedeniyle) [[40](#_bookmark47),[41](#_bookmark48)] ve bir egzersizin doğru bir şekilde yapılıp yapılmadığının teknik olarak tespit edilememesi yer almaktadır [[41](#_bookmark48)].

# Tartışma

Nüfus yaşlandıkça bağımsızlığın korunması sağlık sistemlerinin kritik bir hedefidir. Hastalık ve engellilik yükü arttıkça, rehabilitasyon hizmetleri, sınırlı kaynaklar göz önüne alındığında verimliliği optimize ederken erişimi iyileştirmek için yenilik yapmalıdır [[1-3](#_bookmark10)]. Yapay zeka sistemleri de dahil olmak üzere sağlık teknolojisi, rehabilite edici bakımı tek yönlü olarak geliştirebilir. Ancak, bu Hdiğaenrlgerii.teknolojinin klinik olarak etkili olduğu ve uygulamanın önündeki engellerin neler olduğu belirsizliğini korumaktadır. Fiziksel rehabilitasyonu destekleyen yapay zeka teknolojilerinin sistematik bir incelemesini yaptık. Özellikle, 'gerçek yaşam' ortamlarında test edilen ve klinik etkileri hakkında rapor veren makine öğrenimi destekli müdahaleleri araştırdık. Yeni gelişmeler geniş kapsamlı olsa da, klinik etkiyi ölçen az sayıda yüksek kaliteli değerlendirme bulduk. Fiziksel rehabilitasyonu destekleyen yapay zeka teknolojilerine yönelik klinik kanıtların yetersiz kaldığı sonucuna vardık.

YZ destekli rehabilitasyon teknolojileri geniş kapsamlıdır ve çeşitli şekillerde değer katmaktadır. İlk olarak, YZ çözümleri, klinisyenlerden daha fazla veri hacmini ve karmaşıklığını yorumlayabilir, bu da örüntü tanıma, gelişmiş karar desteği ve bakımın uyarlanmasına yardımcı olabilir [12-14]. YZ veri analitiği ayrıca daha objektif değerlendirmeleri kolaylaştırabilir ve özellikle zaman içinde hasta değerlendirmesinin hassasiyetini artırabilir [12-14]. İkinci olarak, YZ sistemleri otonom uzaktan izleme sağlayabilir, ziyaretler arasındaki ilerleme hakkında daha fazla bilgi üretebilir ve potansiyel olarak fiziksel ziyaret ihtiyacını tamamen değiştirebilir. Son olarak, YZ protez cihazların yeteneklerini büyük ölçüde geliştirmiştir. Makine öğrenimi algoritmaları dahil edilerek, amaçlanan kas hareketleri daha iyi tahmin edilebilir ve böylece protez uzuv kontrolü iyileştirilebilir [48]. YZ ile birlikte bakımı birçok yönden artırabilir ve iyileştirebilir, ancak gerçek dünya ortamlarındaki performansı değerlendirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

İnme veya sırt ağrısı olan hastalar, muhtemelen bu hastalarla ilişkili hareketlilikle ilgili sorunlar nedeniyle, en sık hedeflenen son kullanıcılar olmuştur.

Koşullar Fonksiyonel engellilik genellikle diğer sağlık sorunları ile ilişkilidir.

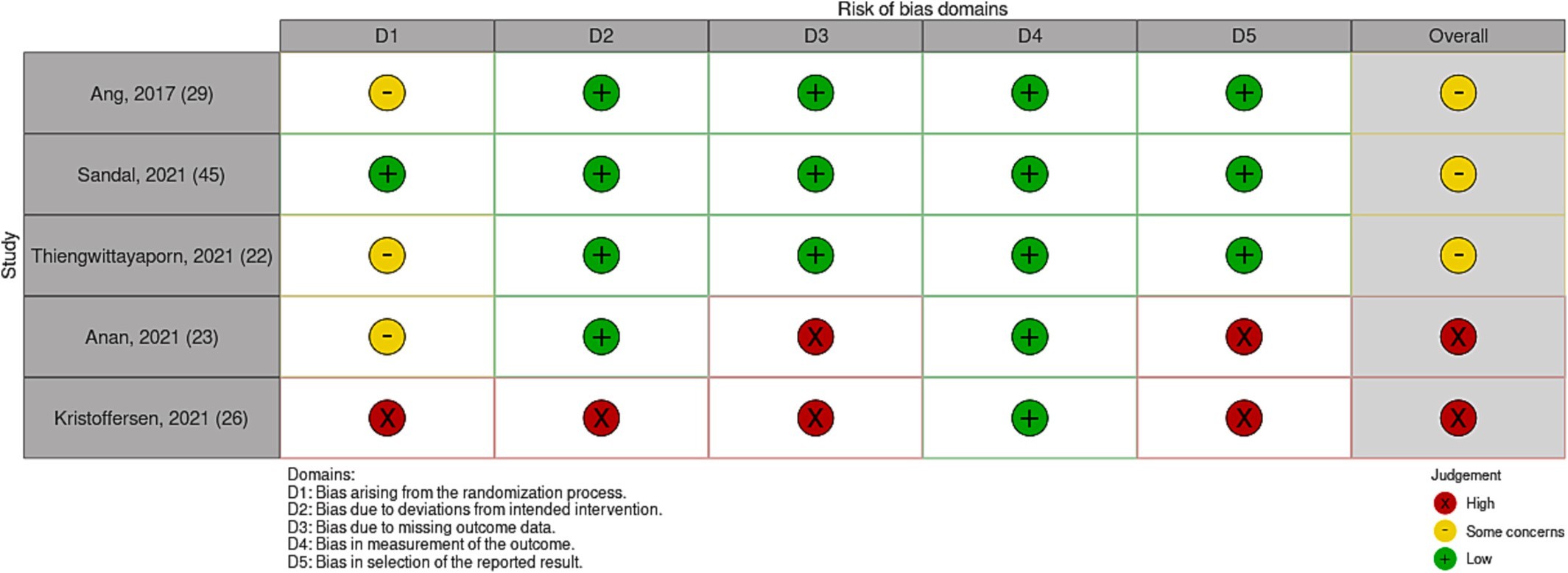
Ağrı ve kötü psikolojik sağlık gibi ilgili sorunlar [[49](#_bookmark56)]. Buna göre, geleneksel rehabilitasyon programları birden fazla bileşeni (örneğin, egzersiz, eğitim, psikolojik destek) içerme eğilimindedir. Çok boyutlu bir müdahale geliştiren yalnızca iki çalışma tespit ettik. Her ikisi de biri sırt ağrısı, diğeri diz osteoartriti için olmak üzere eğitim materyalleriyle birlikte egzersiz önerileri sunmuştur [[21](#_bookmark28),[22](#_bookmark29)]. Aksi takdirde, müdahaleler ağırlıklı olarak yalnızca hareketliliği geliştirmeye odaklanmıştır. Gelecekteki çalışmalar, öz yönetimi daha iyi destekleyebilecek çok bileşenli m ü d a h a l e l e r geliştirmeye bakmalıdır [[50](#_bookmark57)].

Çalışmamıza beş RKÇ dahil ettik; geri kalanlar kanıt hiyerarşisinde alt sıralarda yer alan bir ön-son çalışma tasarımı kullandı [[51](#_bookmark58)]. Sağlık hizmetlerinde makine öğrenimi araçlarına ilişkin bir başka sistematik incelemeye [[17](#_bookmark24)] benzer şekilde, yalnızca doğrulama ölçütlerini araştıran birçok çalışma belirledik (ve hariç tuttuk). Müdahalenin yalnızca sağlıklı deneklerde, laboratuvar kontrollü ortamlarda veya simüle edilmiş veriler kullanılarak test edilmesi, ek dışlama nedenleriydi. YZ algoritmalarını doğrulamak ve optimize etmek çok önemli olsa da, geliştiriciler klinik etkiyi gerçek dünya ortamında incelemelidir. Çalışmalar, alanı ilerletmek için müdahalelerin klinik etkisini ve uygulanmasını da dikkate almalıdır. Geliştiriciler şu kaynaklara başvurabilir değerlendirilmesine ilişkin kılavuz ilkeleri. Kılavuzlar, geleneksel bakıma göre avantajlar olup olmadığını belirlemek için sağlık hizmetlerinde yeni dijital teknolojilerin etkilerini incelemeyi vurgulamaktadır [[52](#_bookmark59)]. YZ ile ilgili daha fazla kaynak, geliştirme, değerlendirme ve raporlama konularını kapsayan YZ kılavuzlarının yakın tarihli bir incelemesinde de bulunabilir [[53](#_bookmark60)].

Dahil edilen çalışmalarda kapsamlı uygulama değerlendirmeleri rapor edilmemiştir, ancak engeller ve kolaylaştırıcılar birçok makalede kısaca tartışılmıştır. Bakıma erişimin iyileştirilmesi, daha fazla kişiselleştirme ve maliyetlerin azaltılması (örn. insan gücü ihtiyacının azaltılması) en çok bildirilen kolaylaştırıcılar olmuştur. Teknoloji okuryazarlığı ve verilerin doğruluğu veya eksiksizliği (klinik etkiyi belirlemek için) müdahalelerle ilişkili en sık karşılaşılan zorluklardır. Gelecekteki çalışmalar Uygulama Araştırması için Konsolide Çerçeve gibi müdahalelerin uygulanmasına ve etkinliğine yardımcı olabilecek veya engelleyebilecek faktörleri belirlemek için çerçeve odaklı değerlendirmeyi benimsemelidir [[54](#_bookmark61)]. Dijital Sağlık U y g u l a m a l a r ı n ı n Raporlanması için Kılavuz ve Kontrol Listesi (ICHECK-DH) de dijital sağlık uygulama girişimlerinin raporlanmasının iyileştirilmesine yardımcı olacaktır [[55](#_bookmark62)].

Yeni teknolojiler genellikle zayıf alım ve benimseme nedeniyle engellenmektedir [[16](#_bookmark23)]. Dahil edilen makalelerde, yaş, alımı etkileyen yaygın olarak bildirilen bir faktördür. Örneğin, dahil edilen çalışmaların birçoğu, yaşlı yetişkinlerin 'teknoloji uçurumu' nedeniyle elektronik sistemlere daha az ilgi duyabileceğini veya bunları kullanabileceğini belirtmiştir. Dijital u ç u r u m u n üstesinden gelme stratejileri arasında belirli kullanıcı ihtiyaçlarına göre müdahalelerin belirlenmesi ve tasarlanması, bakıcıların eğitimi ve katılımı yoluyla kullanıcıların desteklenmesi, sağlık hizmeti sağlayıcılarının dijital yaşçılık kavramını reddetmeleri ve yaşlı yetişkinlerin teknoloji kullanımını desteklemelerini sağlamaları için eğitilmeleri ve kullanımın önündeki engelleri belirlemek için kapsamlı uygulama değerlendirmeleri yer almaktadır . Teknoloji erişimi, cinsiyet, etnik köken, sosyoekonomik durum ve sosyal destek g i b i rehabilitasyon alımının önündeki diğer belgelenmiş engellerden, alım ve rehabilitasyon uyumu ile ilişkilerine rağmen bahsedilmemiştir [[8](#_bookmark17)]. Rehabilitasyonu iyileştirmek için, sağlık eşitsizliklerinin daha da kötüleşmesini önlemek amacıyla teknoloji destekli bakımın önündeki yaygın engellerin aşılması gerekmektedir. Kullanıcı merkezli tasarım metodolojileri, kullanıcı ihtiyaçlarını belirlemenin ve dahil etmenin bir yoludur. Son kullanıcıları çözüm geliştirme sürecine dahil eden katılımcı yaklaşımlar (örn. ortak tasarım) sağlık hizmetlerinde giderek yaygınlaşmaktadır [[59](#_bookmark64)]. Çalışmalar, katılımcı bir yaklaşım kullanılarak geliştirilen müdahalelerin bakım kalitesini, sonuçları, hasta memnuniyetini ve maliyeti iyileştirdiğini göstermiştir [[60](#_bookmark65)]. Çalışmamızda katılımcı tasarım yaklaşımlarına ilişkin herhangi bir örneğe rastlanmamıştır. Yeni müdahalelerin kabul edilebilirliğini ve benimsenmesini artırmak için, geliştiriciler katılımcı tasarım yaklaşımlarını kullanmayı düşünmelidir.

Çalışmamızın birçok güçlü yönü bulunmaktadır. Bir bilgi uzmanının yardımıyla, rehabilitasyon ortamında değerlendirilen farklı YZ destekli fiziksel rehabilitasyon uygulamalarının kapsamlı bir görünümünü sağlayan altı veri tabanını araştırdık. Girişimsel etkiyi değerlendirmek için klinik etkinlik ve yapay zeka destekli fiziksel rehabilitasyon kullanımının önündeki engellere ilişkin kanıtları sentezledik. Bu derleme aynı zamanda mevcut bilgi ve araştırma boşluklarını vurgulayarak gelecekteki araştırmalara rehberlik etmektedir. Bununla birlikte, incelememiz YZ'yi tanımlamak için kullanılan çeşitli terminoloji ile sınırlı olabilir. Arama terimleri listemizi genişleterek ve arama stratejisini geliştirmek için bir bilgi uzmanıyla birlikte çalışarak ilgili makaleleri kaçırma riskini en aza indirmeye çalıştık. Bazı makalelerde, teknoloji yetersiz bir şekilde tanımlanmıştır, bu durumlarda yazarlarla iletişime geçtik, ancak yanıt oranı düşüktü; bu nedenle, ilgili makaleleri hariç tutmuş olabiliriz. Son olarak, araştırmamızı yalnızca İngilizce makalelerle sınırlandırdık. İlgili İngilizce olmayan makaleden gözden kaçmış olabilir.



**Şekil 2.** Yanlılık riski.

**Sonuçlar**

Yapay zeka destekli fiziksel rehabilitasyon, daha fazla erişilebilirlik, iyileştirilmiş verimlilik ve daha özel bakım yoluyla hizmetleri iyileştire b i l e c e k büyüyen bir alandır. Bununla birlikte, incelememiz klinik etkinin az sayıda yüksek kaliteli değerlendirmesini tespit etmiştir. Gelecekteki çabalar, teknolojilerin gerçek dünya ortamlarındaki etkisini ve uygulama deneyimlerini değerlendirmeye odaklanmalıdır.