

Yaşlılarda Düşme Tespiti ve Önlemede Yapay Zeka Teknolojilerinin Kullanımı Use of Artificial Intelligence Technologies in Fall Detection and Prevention in the Elderly



Melda Başer Seçer¹

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Manisa, Türkiye

Sorumlu Yazar:

Melda BAŞER SEÇER
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Manisa, Türkiye
E-Posta: melda.secer@cbu.edu.tr
Telefon: +90 554 728 54 53

Nasıl Atıf Yapılmalı: Başer Seçer M.
Yaşlılarda Düşme Tespiti ve Önlemede Yapay Zeka Teknolojilerinin Kullanımı. Geriatrik Bilimler Dergisi. 2025;8(1):72-83.
Doi: 10.47141/geriatrik.1552575.

Geliş Tarihi: 18.09.2024

Kabul Tarihi: 13.04.2025

ÖZ

Dünya genelinde, hızla artan yaşlı nüfus, birçok sosyal zorluğu ve ekonomik yükü beraberinde getirmektedir. Altmış beş yaş ve üzeri bireylerde daha sık görülen düşme, bu popülasyonda mobilitiyi, genel sağlığı, yaralanma, ölüm ve sağlık kurumuna başvuru oranını önemli ölçüde etkilemektedir. Düşmelere katkıda bulunan önemli unsurlardan biri, birçok yaşlının yalnız yaşaması ve bu yaşlıları denetleme ve takip etme zorluğudur. Bu nedenle e-sağlık teknolojileri yalnız yaşayan yaşlılar için kritik önem arz etmektedir. Teknolojinin hızlı gelişimiyle ortaya çıkan, yapay zeka (YZ) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi sağlıkta ve birçok alanda kullanımı artan teknolojik sistemler, yaşlılarda sağlık durumlarının takibi, düşme algılama ve kurtarma sistemlerinde önemli bir sayfa açmıştır. Bu sistemler, acil servislere yaşlıları hızla ulaştırarak ya da düşmenin erken tespitini yapıp sağlık kurumu/hasta yakını/bakıcıya haber vererek düşmelerin önlenmesi ve etkisini azaltmak için önemli çözümler sunmaktadır. Böylece can kaybı, yaralanma ve düşme ile ilişkili sağlık harcamaları riskini azaltmaktadır. Yaşlıların daha kolay ve daha iyi yaşamalarına yardımcı olmak için, sensör, kızılötesi, donanım teknolojileri, makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi YZ sistemlerini ve IoT'yi kullanan son teknoloji çalışmaları, insan müdahalesi olmadan gerçek zamanlı ve uzun vadeli izlemede bu teknolojilerin yaşlı yetişkinlerde düşme önleme için en iyi çözümlerden biri olacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka, Düşmeler, Yaşlı

ABSTRACT

The rapidly increasing older people population around the world brings with it many social difficulties and economic burdens. Falls, which are more common in individuals aged 65 and over, significantly affect mobility, general health, injury, death and admission to healthcare institutions in this population. A major contributing factor to falls is that many seniors live alone and it is difficult to supervise and monitor these seniors. Therefore, e-health technologies are of critical importance for elderly people living alone. Technological systems, such as artificial intelligence (AI) and the internet of things (IoT), which emerged with the rapid development of technology and are increasingly used in health and many other areas, have opened an important page in monitoring the health status of the elderly, fall detection and rescue systems. These systems offer important solutions to prevent falls and reduce their impact by quickly transporting elderly people to emergency services or by detecting falls early and notifying the healthcare institution/patient's relative/caregiver. Thus, it reduces the risk of death, injury and fall-related health expenses. To help the elderly live easier and better, cutting-edge studies using AI systems and the IoT such as sensor, infrared, hardware technologies, machine learning and deep learning have shown that these technologies can be used to monitor falls in older adults in real-time and long-term without human intervention. It shows that it will be one of the best solutions for prevention.

Keywords: Artificial Intelligence, Falls, Elderly



GİRİŞ

Altmış beş yaş üzerindeki bireylerin yaklaşık üçte biri yılda en az bir kez ve %15'i ise yılda en az iki kez düşme yaşamaktadır (1). Düşmeler, yaşlılarda yaralanmanın en yaygın nedenleri arasındadır ve uzun süreli sakatlıkla sonuçlanan kırıklar ve azalmış egzersiz kapasitesi de dahil olmak üzere fiziksel engelliliğe yol açabilmekte; hatta ölümcül bile olabilmektedir (2). Düşmeye bağlı yaralanmalar için 65 yaş ve üzerinde ölüm oranı 2016 yılında yüz binde 61,6 bulunmuştur (3). Düşmeler, dünya genelinde trafik kazalarından sonra kasıtsız yaralanmalara bağlı ölümlerin ikinci önde gelen nedenidir. Yılda 684.000'i ölümcül olmak üzere tıbbi müdahale gerektiren 37,3 milyon ciddi düşmenin meydana geldiği tahmin edilmektedir (4).

Yaşlılarda sıklıkla görülen düşmeler, tıbbi müdahaleler ve uzun süreli bakıma olan ihtiyacı artırarak sağlık sistemine ek yük getirmektedir. Avrupa Birliği'nde düşmelerle ilgili sağlık hizmetleri maliyetlerine her yıl 25 Milyar Euro'dan fazla para harcanmaktadır (5); ABD'de düşmelerin maliyeti, 31 milyar ABD dolarını aşmıştır (6). Düşme maliyetinin kadınlarda erkeklerden, 85 yaş üstü bireylerde 65-69 yaşlarındakilere göre daha yüksek olduğu da belirtilmiştir (7). Düşmeler fiziksel, zihinsel ve ekonomik koşulları etkilediğinden, önleme ve erken müdahale gereklidir (8). Düşmelerin yaklaşık %40 ila %60'ı yaralanmalara neden olmaktadır; bunların %30 ila %50'si küçük, %5 ila %6'sı büyük yaralanmalar (kırıklar hariç) ve %5'i kırıklardır. Düşmeler 75 yaş üstü kişilerde yaralanmaya bağlı ölümlerin en yaygın nedenidir (4,9). Ayrıca düşme korkusu gibi psikolojik komplikasyonlar da yaşlı yetişkinlerin bağımsızlığını tehlikeye atabilmekte, günlük aktivitelerini sınırlandırabilmekte, resmi ve resmi olmayan bakıma ve bağımlılığa yol açabilmektedir (10).

Farklı ülkelerdeki çeşitli tıp toplulukları ve kuruluşları, düşmenin önlenmesi ve yönetimi için klinik uygulama kılavuzları oluşturmuştur (11,12). Bu kılavuzlar tipik olarak, geriatrik tıp, rehabilitasyon tıbbı ve fizyoterapi alanlarındaki

uzmanlar tarafından mevcut kanıtların ve fikir birliğinin sistematik olarak gözden geçirilmesine dayanmaktadır (13).

Kılavuzların Çerçevesi

• **Düşme riski sınıflandırması:** Risk düzeyine göre orantılı, ayrıntılı bir değerlendirme ve müdahale uygulamak amacıyla, bireyin tahmini düşme risk düzeyini değerlendirmeye yönelik standart bir yaklaşım.

• **Değerlendirme:** Müdahale için potansiyel olarak değiştirilebilir alanları belirtmek için varsa önerilen araçları kullanarak birden fazla alandaki düşme risk faktörlerini belirleme ve ölçme süreci. Kapsamlı bir geriatrik değerlendirmenin diğer bileşenleri ile birleştirildiğinde, bu kişi merkezli bir yaklaşım sağlar.

• **Yönetim ve müdahaleler:** Düşme riskini azaltabilecek, tek müdahaleler veya kombinasyonlar halinde uygun olabilecek önerilen tedaviler veya eylemler de dahil olmak üzere düşmeyi önlemeye yönelik çeşitli yaklaşımların tanımı.

Düşmeyi önlemede düşme risk faktörlerini belirlemek ilk basamakta yer almaktadır. Düşme risk faktörleri, iç ve dış faktörler şeklinde sınıflandırılabilir. İç faktörler yaş, eşlik eden hastalık, önceki düşmeler, yürüyüş, görme/işitme bozukluğu, kas-iskelet sistemi eksiklikleri ve bilişsel bozukluk gibi birey ile ilgili faktörlerdir; dış faktörler ise yaşanan fiziksel ortam, ilaçlar, banyolardaki destekleyici ve yardımcı ekipmanlar, aydınlatma ve ayakkabılarla ilgilidir (14). Opioidler, nöroleptik ajanlar, benzodiazepinler ve trisiklikantidepresanlar gibi ilaçlar, düşme riskini artıran dış faktörler arasında tanımlanmıştır (15). Düşmelerin kalp ilaçları, ağrı kesiciler, psikotropik ilaçlar, antihipertansifler, antiaritmik ilaçlar, diüretikler ve antiplatelet ilaçlar gibi ilaçlarla ve kişinin kullandığı ilaç sayısı ve çoklu ilaç kullanımıyla pozitif ilişkili olduğu belirtilmektedir (16).

Yalnız yaşayan yaşlıların, düzenli olarak kontrol edilmemesi veya denetlenmesindeki zorluklar, düşme riskini önemli ölçüde artıran bir diğer

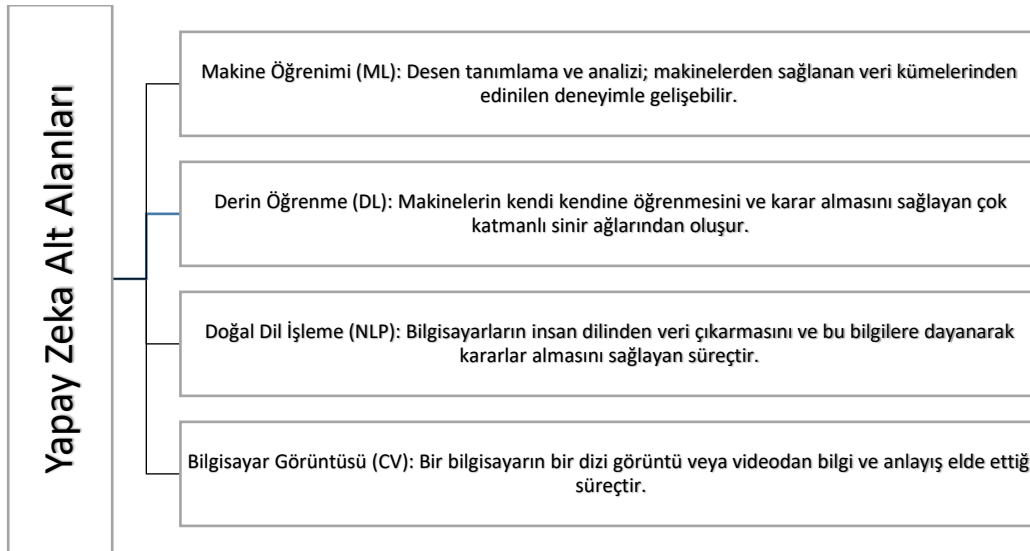
faktördür. Bu nedenle, sağlam temellere dayanan ve pratik e-sağlık teknolojileri, özellikle yalnız yaşayan bireyler için yaşlı bakımında kritik öneme sahiptir (17). Teknolojideki hızlı gelişmeler ile ortaya çıkan ve hızla kullanımı artan yapay zeka (YZ) ve nesnelerin interneti (IoT), sağlık durumlarını sürekli olarak izleme, denetleme ve düşmeleri önleme de çok büyük önem arz etmektedir ve ileriki yıllarda kullanımının artmasıyla ne kadar etkili olduğu ortaya çıkacaktır.

IoT; günlük hayatta kullanılan nesnelerin internet sayesinde diğer nesneler ile veri alışverişi yapabilmesini ve nesnelerin birbiriyle tam olarak senkronizasyon halinde olmalarını sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji, ortamlardan verileri toplamayı, göndermeyi ve üzerinde işlem

yapmayı sağlayan web özellikli akıllı cihazlardan oluşur. IoT cihazları, toplanan verileri bir ağ geçidi ile aktarır, verilerin analiz edilebileceği bir bulut sistemine veya farklı bir uç cihaza bağlayarak paylaşır. IoT cihazları işlerini insan müdahalesi olmadan, diğer ilgili cihazlar ile iletişim kurarak birbirinden aldıkları bilgiler doğrultusunda gerçekleştirir (18).

Sağlıkta YZ Teknolojilerinin Kullanımı

YZ, “görsel algı, konuşma tanıma, karar verme ve diller arasında çeviri gibi normalde insan zekası gerektiren görevleri gerçekleştirebilen bilgisayar sistemlerinin teorisi ve gelişimi” olarak tanımlanmaktadır (19). YZ’de da tıptaki uzmanlıklara benzer bir şekilde birçok alt alan bulunmaktadır (Şekil 1) (20).



Şekil 1. YZ alt alanları (20)

Makine öğrenimi (ML) ve derin öğrenme (DL) algoritmalarını içeren YZ teknolojisindeki son gelişmeler, YZ’nin benimsenmesini kolaylaştırmıştır. ML, algoritmaların bilinçli kararlar almada açık talimatlar olmadan belirli bir görevi gerçekleştirmek için istatistiksel modeller kullandığı bir YZ alt kümesidir. Tahmini doğruluk seviyesi yeterince yüksek olduğunda, makine görevi öğrenir. ML’nin DL adı verilen bir alt kümesi, beyinden ilham alan sistemlere, yapay sinir ağlarına (insan nöronlarının nasıl karar verdiğini taklit eden algoritma türleri) dayanır.

Bu araçlar, karmaşık veya çok sayıda örüntüyü belirlemede oldukça etkilidir ve doğru sonuçlar sunmakla birlikte belirli bir (sağlık) sınıflandırma için karar vermede kullanılan özellikleri otomatik olarak keşfedebilmek amacıyla büyük veri kümelerine ihtiyaç duyarlar (21). Sonuç olarak, çok sayıda yapılandırılmamış veri setini işleyebilen ve karmaşık sorunları çözebilen bu uygulamalar, sürekli güncellenmekte ve çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sağlık, YZ teknolojilerinin her geçen gün daha fazla nüfuz ettiği alanların başında gelmektedir (21).

Sağlık hizmetlerinde YZ kullanımı sanal ve fiziksel olarak iki ana koldan oluşmaktadır. Sanal modül, deneyim yoluyla öğrenmeyi geliştirmek için matematiksel algoritmaların kullanıldığı DL'yi oluşturmaktadır. Fiziksel kısım, fiziksel varlıkları, tıbbi cihazları ve bakım ünitelerinin dağıtımında yer alan robotları içermektedir (17).

YZ teknolojileri, sağlık alanında erken teşhis, cerrahi, rehabilitasyon, doğru tanılama, klinik karar verme, önleme, sağlığı koruyup sürdürme, uzaktan takip ve denetleme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Radyoloji, dermatoloji, gastroloji, patoloji, kardiyoloji, psikiyatri ve daha birçok alanda kullanımı her geçen gün artmaktadır ve artmaya devam edecektir (22). YZ, tanı doğruluğunu, sağlayıcı iş akışında ve klinik operasyonlarda verimliliği artırabilmekte, hastalık ve tedavi izlemeyi kolaylaştırabilmekte ve prosedür doğruluğunu ve genel hasta sonuçlarını iyileştirebilmektedir (20). YZ'nin etki yarattığı bir diğer kritik tıp alanı klinik karar alma ve hastalık tanısıdır. YZ teknolojileri, hastalıkları tespit etmek ve klinik kararlara rehberlik etmek için farklı yöntemlerde büyük miktarda veriyi toplayabilmektedir, analiz edebilmektedir ve raporlayabilmektedir (23). YZ sistemleri, mamografi yorumlama, kardiyak fonksiyon değerlendirmesi ve akciğer kanseri taraması, gastroenterolojide kolon lezyonlarının kötü huylu olup olmadığının otomatik olarak tahmini, oftalmoloji alanında diyabetik retinopati tanısı olmak üzere özellikle radyoloji görevlerinde doğrulukta önemli iyileştirmeler elde ederek yalnızca tanıyı değil aynı zamanda risk tahminini ve tedaviyi de ele almaktadır (24-28).

YZ, biyokimya alanında son zamanlardaki gelişmeler ile biyomoleküllerin yapısı ve davranışına ilişkin anlayışı iyileştirmiştir (29). YZ ile, 3 boyutlu genomik etkileşimleri modellemenin karmaşıklığına rağmen genomik alanda ilerlemeler elde edilmiştir. Dolaşımdaki serbest dolaşan DNA'daki verilere uygulandığında, invaziv olmayan kanser tespiti, prognoz ve tümör kökeninin belirlenmesini mümkün kılabilir (30). Ayrıca, YZ ilaç

keşfi sürecini hızlandırmaya başlamıştır. Moleküler analiz için DL modellerinin, daha yavaş ve daha maliyetli fiziksel deneylere olan ihtiyacı azaltarak yeni ilaçların keşfini hızlandırdığı gösterilmiştir (31). Ek olarak, DL yöntemleri elektroensefalografi (EEG) (32), elektrokardiyogram (33) ve ses verileri (34) gibi tıbbi sinyal verilerinden sonuçları tahmin etmek için kullanılmıştır. Örneğin, beyin yaralanmaları olan klinik olarak tepkisiz hastalardan alınan EEG sinyallerine uygulanan DL, nihai iyileşmenin bir öngörücüsü olan beyin aktivitesinin tespit edilmesine olanak sağlamıştır (32). Dahası, YZ'nin beyin dalgalarını doğrudan konuşmaya veya metne dönüştürme yeteneği, stroke (inme) geçirmiş afazi veya kilitli kalma (locked in) sendromu olan hastalar için önemli bir gelişme olmuştur (35). Tıbbi sinyal verileri, uzaktan sağlık izleme olanağı sağlayan akıllı saatler gibi giyilebilir sensörler kullanılarak gerçek dünyadaki klinik bir ortamın dışında pasif olarak da toplanabilmektedir (33). Çok modlu ML ve DL modelleri, tıbbi teşhisler, hayati belirtiler, reçeteler ve laboratuvar sonuçları, çok çeşitli verileri kapsayan elektronik sağlık kayıtları gibi çok daha karmaşık girdilerden de yararlanmaktadır (36).

Yaşlı Sağlığı ve Bakımında YZ Teknolojileri Uygulamaları

Son yıllarda, gelişmiş YZ ve Bilgi ve İletişim Teknolojileri sayesinde yaşlılara günlük yaşamlarında ve sağlık yönetimlerinde tele-yardım ve destek sunan mobil dijital teknolojilerinin kullanımı artmaktadır. Bu teknolojiler hastalık teşhisi, ilaç yönetimi, fiziksel aktivite izleme, düşme tespiti ve acil durum çağrılarını mümkün kılarken, aynı zamanda yalnız yaşamın zorlukları ve tehlikelerinin de önlenmesine yardımcı olabilmektedir (37).

Teknolojideki hızlı gelişmelerle ortaya çıkan ve hızla yayılan *Dijital Sağlık*, hastalar ve yaşlı bireyler gibi hassas kişilerin en iyi yaşam kalitesi seviyesine ulaşması için uygun başa çıkma stratejileri edinmelerine olanak tanıyan

uygun araçları belirtmektedir. Hem kullanıcının hem de onlara yardımcı olan bakıcıların aktif bir rol üstlenmesini sağlamaktadır. Bu araçlar, Sapçı ve ark. (38) tarafından aşağıdaki gibi listelenmiştir;

- Yalnız yaşayan yaşlılar için; akıllı evler ve sensör tabanlı sistemler için uygulamalar,
- Aile üyeleriyle yaşayan yaşlılar için; evde bakım ve teletıp uygulamaları için robotlar,
- Konut topluluklarında yaşayan yaşlılar için; giyilebilir ve uzaktan izleme cihazları,
- Bakımevlerinde ve destekli yaşam tesislerinde yaşayan demans tanılı yaşlılar için yardımcı teknolojiler.

YZ tabanlı teknolojilerle entegre edilen Akıllı Ev konseptinin gelişimi, yaşlı sağlığı hizmetlerinde önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Bu entegrasyon, çevresel, finansal ve psikolojik faydaların yanı sıra, yaşlı bireylerin refah düzeylerinde ve sosyal katılımlarında da kayda değer iyileşmeler sağlamıştır. Bu cihazlar, izleme, danışmanlık ve terapötik yardım gibi hizmetler sunarak bakıma erişimi iyileştirmektedir ve tıbbi hataları azaltmaktadır. Uzun vadede, yaşlı insanların refahını, çevresel sürdürülebilirliği ve sağlık hizmetlerine erişimi teşvik etmeye, izolasyon hissini aşmaya katkıda bulunmaktadır (39). Ayrıca, düşme algılama, YZ tabanlı ev aletleri kontrolü, yardımcı cihazlar ve kişiselleştirilmiş alanlar gibi gelişmiş sistemler sayesinde Akıllı Ev sistemi, ev kazalarını ve kaza riskini önlemeye yardımcı olarak yaşlı yetişkinlerin bağımsızlığını sürdürmesine katkı sağlamaktadır (40).

Avrupa Ufuk 2020 Programı'nın finansmanıya hayata geçirilen büyük ölçekli ve çok merkezli bir proje çerçevesinde, yaşlı bireyler için Çok Oyuncululu Sanal Empatik Bakıcı (MoveCare) platformu geliştirilmiştir. Bu platform; akıllı cihazlar, ev otomasyon sensörleri, sanal gerçeklik ve robotik bir bakıcı da dahil olmak üzere sanal bir bakıcının entegrasyonu yoluyla yaşlılara yardım etmeyi amaçlamaktadır. Sistem, modüler bir tasarım sayesinde, her yaşlı için, günlük yaşam aktiviteleri sırasında kaydedilen ölçümler yoluyla, kırılğanlığın ekolojik izlenmesini elde

etmek üzere uyarlanabilmektedir ve bakıcılara yaşlı kişinin durumu hakkında güncel bilgiler sağlamaktadır (41). Movecare platformu gibi, yaşlıların sağlık ve bakım ihtiyaçlarını tek bir platformda birleştiren ve çeşitli hizmetler sunan birçok uygulama bulunmaktadır. Bu uygulamalar, yaşlıların bağımsız yaşamlarını sürdürmelerine yardımcı olurken, aileleri ve bakıcıları da desteklemektedir. Movecare benzeri uygulamalara örnek olarak *GreatCall* verilebilir. *GreatCall*, yaşlılara özel cep telefonları ve acil durum butonları sunmaktadır. Ayrıca, sağlık takibi ve sosyal etkileşim özelliklerine de sahiptir (42). *Lifeline Response*, tıbbi alarm sistemleri ve kişisel acil durum yanıt hizmetleri sunan başka bir uygulamadır (43). *Teladoc Health* ise telemedikal hizmetler sunarak, yaşlıların evlerinden doktorlarına ulaşmalarını sağlamaktadır (44).

YZ destekli sosyal robotlar, yaşlı bireylere ev ortamlarında olduğu kadar bakım kuruluşlarında da destek sağlayarak, günümüzde azalan aile desteği nedeniyle artan yardım ihtiyacına çözüm sunmaktadır. Yaşlı bireyler, yardıma ihtiyaç duydukları zamanlarda dahi bağımsızlıklarını sürdürmeyi ve kendi evlerinde yaşamayı tercih ederler. Sosyal robotlar gibi YZ'ye dayalı teknolojik yenilikler, yaşlıların yataktan kalkma, banyo yapma ve ilaç alma gibi günlük aktivitelerini gerçekleştirmelerine yardımcı olarak bağımsız yaşamlarını sağlayarak ve düzenli egzersizi teşvik ederek yararlı bir çözüm sunmaktadır (45). Örneğin, Paro adı verilen robot, YZ ve robotik teknolojilerin birleşimiyle geliştirilmiş olup, Alzheimer hastalarının duygu durumlarını iyileştirmek ve sosyal etkileşimlerini artırmak amacıyla terapötik bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu tür çalışmalar, YZ destekli robotların yaşlıların yaşam kalitesini artırmada büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (46).

YZ destekli evde sağlık izleme sistemleri, ayakta durma veya yürüme gibi aktiviteleri sınıflandırabilmekte ve daha sonra belirli bir ortamda belirli bir yaşlı yetişkin için beklenen hareket veya aktivitelerin ne olduğu bilgisini verebilmektedir (47-49). Evdeki çeşitli yerlere

yerleştirilen ve yaşlı yetişkinin toplam günlük aktivitesini, evden uzakta geçirdiği zamanı, yürüme hızını ve evdeki konumunu vb. izleyebilen sensörler, bireyin aktivite türlerini ve sürelerini kaydetmeye de yardımcı olabilmektedir (50). Bilişsel ve işlevsel gerilemeyi gösterebilecek alışılmadık hareketleri ve aktiviteleri belirleyebilmektedir. Örneğin, giriş verilerini sürekli olarak analiz eden YZ izleme programları, yaşlı bir kişinin ayağa kalkmaya veya dengesini yeniden kazanmaya çalışırken dengeyi kazanmasının giderek daha uzun sürdüğünü tespit edebilmektedir ve bunu ilgili kişi veya yerlere bildirebilmekte ve hatta davranışsal önerilerde bulunarak önceden belirlenmiş risk eşiğine göre müdahale etmeye karar verebilmektedir (51).

YZ teknolojileri, yaşlıların demans ve diğer nörodejeneratif hastalıklar için risklerini belirlemede, düşme risklerini tahmin etmede, kronik hastalıkların yönetiminde ve rehabilitasyon süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır (21).

Yaşlılarda Düşmeyi Önlemede YZ Teknolojileri

Teknolojik gelişmelerle birlikte, yaşlılarda düşmeyi önlemeye yönelik çalışmalar; fiziksel ve bilişsel anormallikleri ile davranış kalıplarını tanımlayarak, bireyleri düşme riski konusunda daha erken bilgilendirmeyi ve olası düşmeleri önceden tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Düşmeleri tespit etmek için birçok sensör tabanlı giyilmeyen veya giyilebilir izleme cihazı mevcuttur. Düşme önlemeye dayalı araştırmalarda, giyilebilir sensörler, ev ortamı, IoT, bilgisayarlı görüş, YZ, ML, video izleme, egzersiz oyunu, alarm teknolojisi vb. gibi öngörücü ve reçeteli analizler gibi teknolojileri kullanılmaktadır (52). Geçmişte düşme sonrası algılama için kullanılan giyilebilir teknolojilere olan ilgi azalırken, YZ'nin sunduğu imkanlarla birlikte düşme riskini önceden belirleme ve müdahale etme üzerine odaklanan stratejiler daha popüler hale gelmiştir. Bu sayede, düşmelerin yaşanması önlenerek yaşlıların güvenliği

artırılmaktadır (53). IoT ve mobil teknolojilerdeki hızlı ilerleme, yaşlıların davranışları hakkında geçici bilgileri zihinsel sağlık verileriyle birleştirerek düşmeyi tahmin etmede yeni bir sayfa açmaktadır (54). Sensör teknolojisi, bilgisayarlı görme ve iletişim sistemlerindeki ilerlemeler sayesinde sağlık hizmetlerinde daha güvenilir ve etkili bir izleme olanağı sunmaktadır. Bu giyilebilir cihazlar vasıtasıyla yaşlı bireylerin sağlık durumları ve bulundukları yer takip edilebilmekteyse de, bu sistemlerin sürekli olarak yaşlıların üzerinde bulunma zorunluluğu önemli bir kullanım sınırlaması teşkil etmektedir (55). Hareket sensörleri, kameralar vb. gibi diğer IoT tabanlı cihazlar sürekli izlemede yardımcı olabilmektedir ancak gelecekteki bir düşmeyi tahmin edememektedir (17).

YZ destekli akıllı cihazlar, yaşlı bireylerden veri toplamak veya düşme tespiti, tahmini ve önlenmesiyle ilgili günlük yaşam aktivitelerinin analiz sonuçlarına dayalı iletişim için kullanılmaktadır. Düşme, vücudun kontrol edilemeyecek kadar hızlı bir şekilde daha düşük bir seviyeye inmesi olarak tanımlanmaktadır ve dört faza ayrılarak incelenebilmektedir. Birinci faz düşme öncesi evredir. Bu evrede birey günlük yaşam aktivitelerini gerçekleştirir. İkinci faz, kritik düşme evresidir. Bu evrede birey dengesizlikle beraber 2 sn içinde yere düşer. Üçüncü faz, düşme sonrası evredir. Bu evrede birey dinlenme zeminindeyken hiçbir hareket yoktur. Dördüncü faz, kurtarma aşamasıdır. Bu evre, dışardan yardımla veya yardımsız düşmeden önceki duruma gelmesidir (17). Vücuda takılan sensörler, giyilmeyen/giyilebilir izleme cihazları ve tarama araçları olarak sınıflandırılabilen YZ destekli akıllı cihazlar kullanılarak üçüncü fazda, acil durum mesajları sağlık kuruluşu/doktor/hasta yakınına gönderilebilmekte, sürekli izleme (ev izleme sistemine entegre edilmiş akıllı cihazlar ve kablosuz bağlantılar ile) yöntemiyle birinci fazda düşme riski algılanabilmektedir (17).

Yaşlı düşme tespit sistemleri, kullanılan sensör teknolojisine göre ağırlıklı olarak üç ana başlıkta

incelenmektedir: giyilebilir olmayan tabanlı (NWS), giyilebilir tabanlı (WS) ve hibrit sistemler (56). NWS sistemleri, genellikle görüş tabanlı cihazlar kullanarak düşmeleri tespit etmekte yüksek başarı göstermekle birlikte (57,58), yüksek maliyet, mahremiyet endişeleri ve sistem karmaşıklığı gibi dezavantajlara sahiptir (59). WS sistemlerde genellikle yaşlıların vücuduna takılan ve düşme anında hareketin tanınmasını sağlayan ivmeölçer ve jiroskop gibi eylemsiz sensörler kullanılmaktadır. Yaşlıların hareketlerini sürekli olarak izlemek için akıllı telefonun yerleşik ivmeölçerinden ve jiroskoptan yararlanılmaktadır (60,61). Akıllı telefon sensörleri ile bilek, bel, göğüs, ayak bileği, omuz ve ayak gibi vücudun çeşitli bölgelerine yerleştirilen harici giyilebilir sensörlerin birleştirilmesi, bireylerin hareketleri ile ilgili daha eksiksiz bir bilgi veri seti sağlamaktadır (62,63). İvmeölçerli giyilebilir cihazlar, düşük güç tüketimi, düşük maliyet, düşük ağırlık, kullanım kolaylığı, küçük boyut, vücudun çeşitli bölgelerine monte edilebilme olanağı ve en önemlisi taşınabilirlik gibi avantajlara sahip oldukları için WS sistemlerde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Düşmeleri tespit etmedeki doğruluğu artırmak için ML tekniklerine dayalı WS sistemleri önerilmektedir (59).

Yaşlılarda düşmeyi önlemede YZ teknolojileri kullanılarak yapılan çalışmaların bazılarında aşağıda değinilmiştir.

Günlük Yaşamda Gövde İvmeölçerlerine Dayalı Olarak Yaşlı Yetişkinlerde Düşmeleri Tahmin Etmek için Derin Öğrenme

WS sistemleri, bireylerin günlük yaşam aktivitelerine ilişkin değerli veriler sağlayabilmektedir. Bu tür eylemsiz verilerden elde edilen biyomekanik özelliklerin düşme riskinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynadığı; özellikle ivmeölçer gibi vücuda takılan sensörlerin, düşme riski hakkında kayda değer bilgiler sunabildiği gösterilmiştir. Son çalışmalarda, düşme riskinin değerlendirilmesi için ivmeölçer verilerinden türetilen biyomekanik özellikler kullanılmaktadır. Bu çalışmalar,

yürüyüş stabilitesi, değişkenliği ve düzgünlüğü gibi biyomekanik özelliklerin, ortalama dönüş süresinin ve anormal oturma-kalkma geçişlerinin ve sayısının düşme riskiyle ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (64-66). ML ve DL'nin, ham ivmeölçer verilerinden otomatik olarak özellik türetme konusunda uygunluğunu değerlendiren bir çalışmada, 296 yaşlı yetişkinden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Çalışma, ev ortamında toplanan ivmeölçer verileriyle geliştirilen ML tabanlı modellerin, yaşlı bireylerde düşme riskini değerlendirme açısından geleneksel yöntemlere benzer doğruluk düzeylerine ulaşabildiğini ortaya koymuştur (67).

IoT ve Toplu Makine Öğrenme Algoritması Kullanılarak Yaşlılar için Düşme Algılama Sistemi

IoT ve ML algoritmalarının avantajlarından faydalanan IoTE-düşme sistemi, kapalı ortamlarda yaşlı bireylerin düşmelerini tespit etmek amacıyla geliştirilmiş akıllı bir sistemdir. Bu sistem, yaşlı gönüllülerin hareket verilerini gerçek zamanlı olarak toplayabilen giyilebilir bir cihaz üzerinde yer alan 3B eksenli bir ivmeölçer kullanmakta ve elde edilen verilerle düşme algılama sistemi oluşturulmaktadır (59).

Yaşlı Yetişkinlerde Ciddi Düşme Yaralanmaları için ML ile Tahmin Modelleri Geliştirmek

Yaşlılar İçin Yaşam Tarzı Müdahaleleri ve Bağımsızlık (LIFE) çalışmasından elde edilen verileri kullanarak ciddi düşme yaralanmaları için tahmin modelleri geliştirmeye yönelik bir araştırma yapılmıştır. Başlangıçta toplanan demografik özellikler, hayati belirtiler, fiziksel muayene, tıbbi durumlar/eşlik eden hastalıklar, fiziksel performans ölçümleri, günlük yaşam aktivite puanları, disabilite anket sonuçları, yaşam kalitesi ve bilişsel değerlendirmeler dahil olmak üzere çok sayıda potansiyel öngörücü dikkate alınmıştır. Toplamda, ciddi düşme yaralanmasının modellenmesi için 129 öngörücü belirlenmiştir. Bu çalışmada, karar ağacı ve rastgele orman metodolojisinin altında yatan

algoritmalar ele alınmıştır ve LIFE çalışması verileri YZ teknolojisi kullanılarak yaşlı yetişkinlerde ciddi düşme yaralanmaları için tahmin modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır (68).

Akıllı Evde Bakım için IoT ve DL Destekleyen Yaşlı Düşme Tespit Modeli

Son araştırmalar, YZ'nin, IoT'nin, giyilebilir cihazların, akıllı telefonların vb. ortaya çıkması ile akıllı ev sisteminde bakım için düşme tespit sistemleri tasarlamayı mümkün hale getirmektedir. Akıllı evde bakım için optimum derin evrişimli sinir ağı (IMEFD-ODCNN) kullanan IoT özellikli bir yaşlı düşme tespit modelinin amacı, akıllı evlerde düşme gelişimini tespit etmek için akıllı telefonları ve DL algoritmalarını etkinleştirmektir. Bu model, düşme olayı tespit edildiğinde, akıllı telefon ile yakınlarına, bakıcılara ve hastane yönetimine bir uyarı göndermektedir (69).

ML tabanlı yaklaşımları içeren, düşme olaylarına özgü geliştirilmiş bir tespit algoritmasında, üç eksenli ivmeölçer kullanılarak altı farklı aktivite türü (yürüme, ayakta durma, oturma, merdiven inip çıkma, yatakta yatma ve zıplama) sırasında düşme olup olmadığı izlenmekte ve düşmenin yönü belirlenebilmektedir (70).

Zamanlanmış Kalk ve Yürü Testi (TUG) Kinematiki Kullanılarak Yaşlı Yetişkinlerde Düşme Riskinin Makine Öğrenimiyle Tahmini

TUG, düşmeleri değerlendirmede önemli olduğu düşünülen dokuz özellikten sekizini değerlendirirken, gereken zaman ve hastaların testi gerçekleştirme becerisi dikkate alındığında en verimli olanıdır. Berg Denge Ölçeği, düşme riskini tespit etmek için çok önemli olan birçok hareketlilik görevini yakalama konusunda TUG testine benzer bir faydaya sahiptir. Ancak, on dört karmaşık ve zaman alıcı görevden oluşur. Bunun aksine, TUG testi hastanın bir sandalyeden ayağa kalkmasını, üç metre yürümesini, dönmesini, sandalyeye geri yürümesini ve oturmasını gerektirir. Bu nedenle TUG testi denge ve fonksiyonel hareketliliği ve düşme gibi ilişkili konuları incelemek için

standart bir test olarak yaygın bir şekilde benimsenmiştir (71).

Son araştırmalar, klinik testler sırasında katılımcının yürüyüş ve denge özelliklerini hassas bir şekilde ölçmek için vücuda takılan kinematik sensörler kullanmaktadır. TUG testinin çok çeşitli kinematik hareketleri içermesi, bu testi kinematik sensör verileri elde etmek için kullanılacak en uygun klinik test haline getirmiştir. Vücuda takılan kinematik sensörler, TUG testi sırasında yürüyüş kinematikiğini ölçmek için kullanılmıştır (72,73). Kinematik verilerin çok boyutlu bir özellik alanıyla tahmini geliştirmek için ML tekniklerinin uygulandığı bir çalışmada düşme riski tespiti modellenmeye çalışılmıştır (74).

Greene ve ark. (72), TUG testini retrospektif düşme tahmini için 349 toplum içinde yaşayan yaşlı yetişkinde incelemişlerdir. Çalışmada, katılımcıların ön bacaklarına iki adet giyilebilir eylemsizlik ölçü birimi (IMU) sensörü takılarak, adım süresi, ortalama adım süresi ve duruş süresi dahil olmak üzere yirmi dokuz parametre, önceki düşmeleri ayırt etmede anlamlı özellikler olarak belirlenmiş ve düşme riski tahminine dahil edilmiştir. Başka bir çalışmada, 41 katılımcıdan bellerine takılan giyilebilir bir ivmeölçer ile TUG testini yapmaları istenmiştir. Bu test aracılığıyla oturma-kalkma ve ayakta durma-oturmaya geçme süreleri, hareket genliği aralığı, ortalama adım süresi ve yürüme hızı gibi ivmeölçerle elde edilen çeşitli parametrelerden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda, testin basitliğini koruyarak bir ivmeölçerin TUG süresi ölçümüyle birlikte kullanılmasının, daha kapsamlı ve hassas bir düşme riski değerlendirmesi için tamamlayıcı ve objektif bilgiler sağlayabileceği belirtilmiştir (73).

YZ Destekli Egzersiz Uygulaması

Düşme riskini azaltmak için dengeyi vurgulayan ve denge eğitimini destekleyen düşme önleme egzersizleri, düşmeleri önlemenin ve fonksiyonel bağımsızlığı korumanın bir yolu olarak teşvik edilmektedir. IoT, **sis bilişim** ve YZ bir araya

getirerek, tahminleme, stratejik planlama ve sağlık izleme sistemlerini geliştirmek amacıyla IoT tabanlı akıllı bir sağlık sistemi (IIHS) meydana getirilmiştir. **Sis bilişim**, bulut bilişim ile uç cihazlar (sensörler, akıllı telefonlar vb.) arasındaki veri işleme katmanıdır. Verinin kaynağına daha yakın bir noktada, gecikmeyi azaltarak ve bant genişliği kullanımını optimize ederek ön işleme ve analiz yapılmasını sağlar. Bu sayede, IoT cihazlarından gelen büyük miktardaki verinin daha hızlı ve verimli bir şekilde işlenmesi mümkün olur. IIHS gibi sistemlerde sis bilişim, anlık kararlar alınması gereken sağlık izleme uygulamaları için kritik bir rol oynar (75). IIHS'nin yardımıyla yaşlı yetişkinler denge yeteneklerini geliştirebilmekte, düşme önleme teknikleri üzerinde çalışabilmekte ve fiziksel sağlıklarını iyileştirmek için güvenli egzersizler yapabilmektedir.

YZ Destekli Günlük Yaşam Aktivitelerini İzleyerek Düşme Tespiti

Yaşlıların hareketlerini duyuşsal veriler ve pozisyon koordinatları aracılığıyla izleyen ve kendi kendine çalışan yaşlı hareket izleme (AEMM-Care) sisteminde, on bir düşme pozisyonu kategorisi sınıflandırılarak ve bulanık mantık (insan davranışlarını ve doğanın işleyişini taklit edecek biçimde akıl yürüten bilgisayar destekli YZ odaklı bir uygulama) kullanılarak düşme riski belirlenmiştir. *AEMM-Care sistemi* yaşlıların günlük aktivitelerini izleyerek karmaşık bir ortamda düşme tespiti ve önleme görevlerini yerine getirmektedir. (76).

Yaşlı yetişkinler için oluşturulan akıllı ev sisteminde (TAFETA), yaşlıların aktivitelerini izlemek için akıllı sensörler, manyetik anahtarlar, ivmeölçerler, radyo frekansı tanımlama, basınç matları, mikrofon dizileri ve akıllı tutunma çubuklarından yararlanılmıştır. Elde edilen veriler, sınıflandırma algoritmalarını kullanan YZ uzman sistemine aktarılarak, anormallik durumları hafif, dikkat gerektiren, yüksek alarm ve acil durum olmak üzere dört farklı kategoride

modellenmektedir. Sistem, kategorinin ciddiyetine göre ilgili servislere bildirimde bulunmaktadır (77). Akıllı ev sistemi, IoT, Bilgi Teknolojisi, Büyük Veri ve Bulut Bilişimin dahil olmasından bu yana önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Sadece kullanıcıların alışkanlıklarını ve ihtiyaçlarını kaydedip, depolayıp analiz etmekle ve ses, ışık, konum ve görüntü gibi çeşitli şekillerde kullanıcılarla etkileşim kurmakla kalmayıp, aynı zamanda sağlık, yardım, güvenlik, eğitim ve eğlence gibi çeşitli hizmetler sunmak için bilgi teknolojisi aracılığıyla harici kaynakları birbirine bağlamaktadır (78).

SONUÇ

Yaşlanan nüfusun artmasıyla birlikte, yaşlı bireylerin düşme riskleri ve bununla ilişkili sağlık sorunları önemli bir toplumsal sorun haline gelmiştir. Düşmeler, yaşlıların fiziksel ve psikolojik sağlığını olumsuz etkileyerek yaşam kalitelerini düşürmekte, bakım ihtiyaçlarını artırmakta ve sağlık sistemine ek yük getirmektedir. Bu nedenle, düşmelerin erken tespiti ve önlenmesi için etkili çözümler bulunması gerekmektedir. Geroteknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, YZ ve IoT gibi teknolojilerin entegre edilmesiyle yaşlı bakımında yeni ufuklar açmaktadır. Giyilebilir sensörler, akıllı ev sistemleri ve diğer araçlardan elde edilen verileri analiz eden YZ algoritmaları, yaşlılarda düşme riskini tahmin etme ve acil durumları önceden belirleme konusunda önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu sayede, yaşlılar daha güvenli bir yaşam sürerek bağımsızlıklarını koruyabilirler.

YZ tabanlı sağlık sistemlerinin güvenilir ve etik bir şekilde kullanılabilmesi için daha fazla araştırma ve düzenleme gerekmektedir. Sağlık profesyonellerinin de bu teknolojiler hakkında bilgi sahibi olması ve YZ sistemlerinin geliştirilmesi süreçlerine aktif olarak dahil olması önemlidir.

BİLDİRİMLER

Finansal Destek

Çalışmada herhangi bir kişi ya da kurumdan finansal destek sağlanmamıştır.

KAYNAKLAR

- Ferrer A, Formiga F, Sanz H, et al. Multifactorial assessment and targeted intervention to reduce falls among the oldest-old: a randomized controlled trial. *Clin Interv Aging*. 2014; 9: 383-394.
- Choi M, Hector M. Effectiveness of intervention programs in preventing falls: a systematic review of recent 10 years and meta-analysis. *J Am Med Dir Assoc*. 2012; 13: 188.e13-.e21.
- Burns E. Deaths from falls among persons aged ≥ 65 years-United States, 2007-2016. *MMWR Morbidity and mortality weekly report*. 2018; 67.
- World Health Organization. (2021). Falls. Fact Sheets. Retrieved from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- Turner S, Kissler R, Rogmans W. Falls among older adults in the EU-28: Key facts from the available statistics. *EuroSafe*, Amsterdam. 2015; 1-5.
- Burns ER, Stevens JA, Lee R. The direct costs of fatal and non-fatal falls among older adults-United States. *J Safety Res*. 2016; 58: 99-103.
- O'Connor S, Gasteiger N, Stanmore E, et al. Artificial intelligence for falls management in older adult care: A scoping review of nurses' role. *J Nurs Manag*. 2022; 30: 3787-3801.
- Kim J, Lee W, Lee SH. A systematic review of the guidelines and Delphi study for the multifactorial fall risk assessment of community-dwelling elderly. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17: 6097.
- Kenny RA, Romero-Ortuno R, Kumar P. Falls in older adults. *Medicine*. 2017; 45: 28-33.
- Schoene D, Heller C, Aung YN, et al. A systematic review on the influence of fear of falling on quality of life in older people: is there a role for falls? *Clin Interv Aging*. 2019; 14: 701-719.
- American Family Physician. U.S. Preventive Services Task Force: interventions to prevent falls in community-dwelling older adults: recommendation statement. Published August 15, 2018. Accessed November 1, 2021. <https://www.aafp.org/afp/2018/0815/od1.html>
- Montero-Odasso M, Almeida QJ, Bherer L, et al. Consensus on shared measures of mobility and cognition: from the Canadian Consortium on Neurodegeneration in Aging (CCNA). *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2019; 74: 897-909.
- Montero-Odasso M, van der Velde N, Martin FC, et al. World guidelines for falls prevention and management for older adults: a global initiative. *Age Ageing*. 2022; 51: afac205.
- Spoelstra SL, Given BA, Given CW. Fall prevention in hospitals: an integrative review. *Clin Nurs Res*. 2012; 21: 92-112.
- Graham BC. Examining evidence-based interventions to prevent inpatient falls. *Medsurg Nurs*. 2012; 21: 267-270.
- Mamum K, Lim J. Association between falls and high-risk medication use in hospitalized Asian elderly patients. *Geriatr Gerontol Int*. 2009; 9: 276-281.
- Mohan D, Al-Hamid DZ, Chong PHJ, et al. Artificial Intelligence and IoT in Elderly Fall Prevention: A Review. *IEEE Sensors Journal*. 2024.
- Mouha RARA. Internet of things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*. 2021; 9: 77-101.
- Michalski, R. S., Carbonell, J. G., & Mitchell, T. M. (Eds.). (2013). *Machine learning: An artificial intelligence approach*. Springer Science & Business Media.
- Kaul V, Enslin S, Gross SA. History of artificial intelligence in medicine. *Gastrointest Endosc*. 2020; 92: 807-812.
- Mukaetova-Ladinska EB, Harwood T, Maltby J. Artificial Intelligence in the healthcare of older people. *Archives of Psychiatry and Mental Health*. 2020; 4: 007-013.
- Oakden-Rayner L. Reply to 'Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists' by Haenssle et al. *Annals of oncology : official journal of the European Society for Medical Oncology*. 2019; 30: 854.
- Yang X, Wang Y, Byrne R, et al. Concepts of artificial intelligence for computer-assisted drug discovery. *Chem Rev*. 2019; 119: 10520-10594.
- Wu N, Phang J, Park J, et al. Deep neural networks improve radiologists' performance in breast cancer screening. *IEEE Trans Med Imaging*. 2019; 39: 1184-1194.
- Kather JN, Pearson AT, Halama N, et al. Deep learning can predict microsatellite instability directly from histology in gastrointestinal cancer. *Nat Med*. 2019; 25: 1054-1056.
- Huang P, Lin CT, Li Y, et al. Prediction of lung cancer risk at follow-up screening with low-dose CT: a training and validation study of a deep learning method. *The Lancet Digit Health*. 2019; 1: e353-e362.
- Ouyang D, He B, Ghorbani A, et al. Video-based AI for beat-to-beat assessment of cardiac function. *Nature*. 2020; 580: 252-256.
- Rajpurkar P, Chen E, Banerjee O, et al. AI in health and medicine. *Nat Med*. 2022; 28: 31-38.
- Gainza P, Sverrisson F, Monti F, et al. Deciphering interaction fingerprints from protein molecular surfaces using geometric deep learning. *Nat Methods*. 2020; 17: 184-192.
- Cristiano S, Leal A, Phallen J, et al. Genome-wide cell-free DNA fragmentation in patients with cancer. *Nature*. 2019; 570: 385-389.
- Stokes J, Yang K, Swanson K, et al. A deep learning approach to antibiotic discovery. *Cell*. 2020; 180: 688-702.e13.
- Claassen J, Doyle K, Matory A, et al. Detection of brain activation in unresponsive patients with acute brain injury. *N Engl J Med*. 2019; 380: 2497-2505.
- Porumb M, Stranges S, Pescapè A, et al. Precision medicine and artificial intelligence: a pilot study on deep learning for hypoglycemic events detection based on ECG. *Sci Rep*. 2020; 10: 170.
- Chan J, Raju S, Nandakumar R, et al. Detecting middle ear fluid using smartphones. *Sci Transl Med*. 2019; 11: eaav1102.
- Willett FR, Avansino DT, Hochberg LR, et al. High-performance brain-to-text communication via handwriting. *Nature*. 2021; 593: 249-254.
- Kehl KL, Elmarakeby H, Nishino M, et al. Assessment of deep natural language processing in ascertaining oncologic outcomes from radiology reports. *JAMA Oncol*. 2019; 5: 1421-1429.
- Weck M, Afanassieva M. Toward the adoption of digital assistive technology: Factors affecting older people's initial trust formation. *Telecommunications Policy*. 2023; 47: 102483.
- Sapci AH, Sapci HA. Innovative assisted living tools, remote monitoring technologies, artificial intelligence-driven solutions,

- and robotic systems for aging societies: systematic review. *JMIR Aging*. 2019; 2: e15429.
39. Marikyan D, Papagiannidis S, Alamanos E. A systematic review of the smart home literature: A user perspective. *Technological Forecasting and Social Change*. 2019; 138: 139-154.
 40. Gawrońska K, Lorkowski J. Smart homes for the older population: particularly important during the COVID-19 outbreak. *Reumatologia*. 2021; 2021: 41-46.
 41. Lunardini F, Luperto M, Romeo M, et al., editors. The movecare project: Home-based monitoring of frailty. 2019 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI); 2019: IEEE.
 42. Terleph TA, Malaivijitnond S, Reichard UH. Age related decline in female lar gibbon great call performance suggests that call features correlate with physical condition. *BMC Evol Biol*. 2016; 16: 1-13.
 43. Fallis WM, Silverthorne D, Franklin J, et al. Client and responder perceptions of a personal emergency response system: Lifeline. *Home Health Care Serv Q*. 2007; 26: 1-21.
 44. Numata K, Tanaka T, Matsumoto J. A Case Study of Non-specialist Disease Management Using Teladoc Health Support: A Case Report. *Cureus*. 2024; 16: e60401.
 45. Costanzo M, Smeriglio R, Nuovo SD. New technologies and assistive robotics for elderly: A review on psychological variables. *Archives of Gerontology and Geriatrics Plus*. 2024; 1: 100056.
 46. Koh IS, Kang HS. Effects of intervention using PARO on the cognition, emotion, problem behavior, and social interaction of elderly people with dementia. *Journal of Korean Academy of Community Health Nursing*. 2018; 29: 300-309.
 47. Carreira J, Zisserman A. Quo vadis, action recognition? A new model and the kinetics dataset. *CoRR abs/1705.07750* (2017). arXiv preprint arXiv:170507750. 2017.
 48. Yeung S, Rinaldo F, Jopling J, et al. A computer vision system for deep learning-based detection of patient mobilization activities in the ICU. *NPJ Digit Med*. 2019; 2: 11.
 49. Luo Z, Hsieh J-T, Balachandar N, et al., editors. Vision-Based Descriptive Analytics of Seniors' Daily Activities for Long-Term Health Monitoring. *Machine Learning for Healthcare (MLHC) Conference 2018*; 2018.
 50. Van Kasteren T, Englebienne G, Kröse BJ. An activity monitoring system for elderly care using generative and discriminative models. *Personal and ubiquitous computing*. 2010; 14: 489-498.
 51. Kaye JA, Maxwell SA, Mattek N, et al. Intelligent systems for assessing aging changes: home-based, unobtrusive, and continuous assessment of aging. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*. 2011; 66(suppl 1): i180-i190.
 52. Oh-Park M, Doan T, Dohle C, et al. Technology utilization in fall prevention. *Am J Phys Med Rehabil*. 2021; 100: 92-99.
 53. Choi SD, Guo L, Kang D, et al. Exergame technology and interactive interventions for elderly fall prevention: A systematic literature review. *Appl Ergon*. 2017; 65: 570-581.
 54. Rajagopalan R, Litvan I, Jung T-P. Fall prediction and prevention systems: recent trends, challenges, and future research directions. *Sensors*. 2017; 17: 2509.
 55. Tsukiyama T. In-home health monitoring system for solitary elderly. *Procedia Computer Science*. 2015; 63: 229-235.
 56. Chaccour K, Darazi R, El Hassani AH, et al. From fall detection to fall prevention: A generic classification of fall-related systems. *IEEE Sensors Journal*. 2016; 17: 812-822.
 57. Mastorakis G, Makris D. Fall detection system using Kinect's infrared sensor. *Journal of Real-Time Image Processing*. 2014; 9: 635-646.
 58. Yang L, Ren Y, Zhang W. 3D depth image analysis for indoor fall detection of elderly people. *Digital Communications and Networks*. 2016; 2: 24-34.
 59. Yacchirema D, de Puga JS, Palau C, et al. Fall detection system for elderly people using IoT and ensemble machine learning algorithm. *Personal and Ubiquitous Computing*. 2019; 23: 801-817.
 60. de la Concepción MÁÁ, Morillo LMS, García JAA, et al. Mobile activity recognition and fall detection system for elderly people using Ameva algorithm. *Pervasive and Mobile Computing*. 2017; 34: 3-13.
 61. He J, Bai S, Wang X. An unobtrusive fall detection and alerting system based on Kalman filter and Bayes network classifier. *Sensors*. 2017; 17: 1393.
 62. Santoyo-Ramón JA, Casilari E, Cano-García JM. Analysis of a smartphone-based architecture with multiple mobility sensors for fall detection with supervised learning. *Sensors*. 2018; 18: 1155.
 63. Casilari E, Oviedo-Jiménez MA. Automatic fall detection system based on the combined use of a smartphone and a smartwatch. *PloS One*. 2015; 10: e0140929.
 64. Weiss A, Brozgol M, Dorfman M, et al. Does the evaluation of gait quality during daily life provide insight into fall risk? A novel approach using 3-day accelerometer recordings. *Neurorehabil Neural Repair*. 2013; 27: 742-752.
 65. Mancini M, Schlueter H, El-Gohary M, et al. Continuous monitoring of turning mobility and its association to falls and cognitive function: a pilot study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2016; 71: 1102-1108.
 66. Najafi B, Aminian K, Loew F, et al. Measurement of stand-sit and sit-stand transitions using a miniature gyroscope and its application in fall risk evaluation in the elderly. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2002; 49: 843-851.
 67. Nait Aicha A, Englebienne G, Van Schooten KS, et al. Deep learning to predict falls in older adults based on daily-life trunk accelerometry. *Sensors*. 2018; 18: 1654.
 68. Speiser JL, Callahan KE, Houston DK, et al. Machine learning in aging: an example of developing prediction models for serious fall injury in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2021; 76: 647-654.
 69. Vaiyapuri T, Lydia EL, Sikkandar MY, et al. Internet of things and deep learning enabled elderly fall detection model for smart homecare. *IEEE Access*. 2021; 9: 113879-113888.
 70. Hsieh C-Y, Shi W-T, Huang H-Y, et al., editors. Machine learning-based fall characteristics monitoring system for strategic plan of falls prevention. 2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI); 2018: IEEE.
 71. Arnold CM, Faulkner RA. The history of falls and the association of the timed up and go test to falls and near-falls in older adults with hip osteoarthritis. *BMC Geriatr*. 2007; 7: 1-9.
 72. Greene BR, O'Donovan A, Romero-Ortuno R, et al. Quantitative falls risk assessment using the timed up and go test. *EEE Trans Biomed Eng*. 2010; 57: 2918-2926.
 73. Weiss A, Herman T, Plotnik M, et al. An instrumented timed up and go: the added value of an accelerometer for identifying fall risk in idiopathic fallers. *Physiol Meas*. 2011; 32: 2003-2018.
 74. Roshdibnam V, Jogerst GJ, Butler NR, et al. Machine learning prediction of fall risk in older adults using timed up and go test kinematics. *Sensors*. 2021; 21: 3481.
 75. Wu C, Lam CH, Xhafa F, et al. Case study in fall prevention in indoor environments. *IoT for Elderly, Aging and eHealth: Quality of Life and Independent Living for the Elderly*: Springer; 2022. p. 87-98.

76. Mostafa SA, Mustapha A, Mohammed MA, et al. A fuzzy logic control in adjustable autonomy of a multi-agent system for an automated elderly movement monitoring application. *Int J Med Inform.* 2018; 112: 173-184.
77. Arcelus A, Jones MH, Goubran R, et al., editors. Integration of smart home technologies in a health monitoring system for the elderly. 21st international conference on advanced information networking and applications workshops (AINAW'07); 2007: IEEE.
78. Zhang Q, Li M, Wu Y. Smart home for elderly care: development and challenges in China. *BMC Geriatr.* 2020; 20: 1-8.