

REVIEW / DERLEME

İlaç Uyumunun İzleminde Teknolojik Yaklaşımlar

Technological Approaches in Monitoring Medication Adherence



Büşra Selma Saha¹



Yaprak Sarıgöl Ordin²

¹ Uzman Hemşire, Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

² Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi, İzmir, Türkiye

Geliş: 02.07.2022, **Kabul:** 10.07.2024

Öz

İlaç uyumsuzluğu, bireysel hasta sonuçlarını ve sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyen önemli bir sorundur. Pek çok hasta ilaç tedavilerini düzenli ve doğru bir şekilde takip etmekte güçlük çekmekte, bu durum hem tedavi etkinliğini azaltmakta hem de sağlık hizmetlerinde maliyet artışına yol açmaktadır. Dijital teknolojinin hızla gelişmesi ve sağlık hizmetlerinde giderek daha fazla kullanılır hale gelmesiyle birlikte, ilaç uyumunun izlenmesine yönelik yöntemlerin gelişmesini ve çeşitlenmesini beraberinde getirmiştir. Elektronik izleme, ilaç uyumunun takibi konusunda bugüne kadar en güvenilir ve en zengin verileri sunmasına rağmen, henüz rutin bakımda yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu teknolojik yaklaşımlar arasında elektronik hap şişeleri, elektronik hap kutuları, akıllı blister paketleri, akıllı inhaler, sindirilebilir sensör, akıllı saat, video gözetimli tedavi, elektronik ilaç yönetim sistemleri, mobil sağlık uygulamaları yer almaktadır. Bu derleme makalesinde, ilaç uyumunu izlemeye yönelik güncel teknolojik yaklaşımlar avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte kapsamlı olarak ele alınmaktadır.

Anahtar Kelime: İlaç Uyumu, Elektronik İlaç İzleme, İlaç Tedavisi Yönetimi, Dijital Sağlık Teknolojisi.

Sorumlu Yazar: Büşra Selma Saha, Uzman Hemşire, Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye **Email:** busraselmasaha@gmail.com , **Tel:** 05556470088

Nasıl Atıf Yapılır: Saha BS, Sarıgöl Ordin Y. İlaç Uyumunun İzleminde Teknolojik Yaklaşımlar. Etkili Hemşirelik Dergisi. 2025;18(3): 487-504

Journal of Nursing Effect published by Cetus Publishing.



Journal of Nursing Effect 2025 Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Abstract

Medication non-adherence is a significant issue that negatively affects individual patient outcomes and healthcare systems' sustainability. Many patients have difficulty following their medication regularly and accurately, leading to both reduced treatment effectiveness and increased healthcare costs. The rapid development of digital technology and its increasing use in healthcare has led to the development and diversification of methods for monitoring medication adherence. Although electronic monitoring systems have provided the most reliable and comprehensive data on medication adherence, they are not yet widely used in routine care. These technological approaches include electronic pill bottles, electronic pillboxes, smart blister packs, smart inhalers, ingestible sensors, smartwatches, video observed therapy, electronic medication management systems, and mobile health applications. This review article provides a comprehensive overview of current technological approaches to medication adherence monitoring, including their advantages and disadvantages.

Keywords: Medication Adherence, Drug Monitoring, Medication Therapy Management, Health Information Technology.

GİRİŞ

İlaç uyumu, İlaç Uyum Raporlama Kılavuzu'nda (EMERGE), hastaların ilaçlarını reçete edildiği şekilde alma süreci olarak tanımlanmaktadır (De Geest vd., 2019). Kronik hastalıkların uzun dönemde yönetimi için ilaç tedavisine uyum sağlamak kritik bir önem taşımaktadır; ancak tedavi sürecinin değişkenliği nedeniyle hastalar için bu genellikle zorlayıcıdır (Burnier, 2024). Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'nün (OECD) raporuna göre, kronik hastalığı olan bireylerin yalnızca %50-70'i ilaç tedavilerine uyum göstermektedir (Khan ve Socha-Dietrich, 2018). Son 50 yıldır ilaç uyumsuzluğu kapsamlı şekilde araştırılmasına rağmen, bu sorun hala yaygın bir şekilde devam etmektedir (Kardas, 2024). İlaç uyumsuzluğu yaygınlığı, hasta

grupları, değerlendirilen ilaçlar, uyum ölçüm yöntemleri ve izlem yapılan zaman dilimi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Yapılan bir sistematik derleme, çoklu morbiditesi olan hastalarda ilaç uyumsuzluğunun değerlendirme yöntemine de bağlı olarak %44,1- 76,5 arasında değiştiğini göstermiştir (Foley vd., 2021). İlaç uyumsuzluğunun doğru şekilde değerlendirilmesi ve risk altındaki popülasyonların belirlenmesi, etkili uyum yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanır. Bu stratejiler, kronik hastalıkların bakım yükünü hafifletirken, sağlık hizmetleri maliyetlerinin azaltılmasına ve toplum sağlığının iyileştirilmesine de katkı sağlar (Shah vd., 2023). İlaç uyumsuzluğu, yalnızca bireylerin sağlığını olumsuz etkileyen bir sorun olmakla kalmaz, aynı zamanda toplumsal ve ekonomik

açından da ciddi sonuçlara sebep olur. OECD raporuna göre, ilaç uyumsuzluğu, Avrupa’da yaklaşık 200.000 erken ölüme yol açmakta ve aşırı sağlık hizmetleri tüketimi nedeniyle yıllık yaklaşık 125 milyar euro maliyete yol açmaktadır (Khan ve Socha-Dietrich, 2018). Bu nedenle, ilaç uyumsuzluğunun ele alınması, hasta sonuçlarını ve yaşam kalitesini iyileştirmekle birlikte, sağlık hizmeti maliyetlerini düşürmek, ilaçların daha etkili kullanılmasını sağlamak ve sürdürülebilir bir sağlık sistemi oluşturmak için de büyük önem taşımaktadır.

İlaç kullanımının takibi, etkili tıbbi tedaviyi sağlamak, klinik sonuçları iyileştirmesi ve tedavinin etkinliğini değerlendirmesi açısından klinik uygulamalar ve araştırmalar için büyük önem taşımaktadır (Wilhelmsen ve Eriksson, 2019). İlaç kullanımını değerlendirmek için birçok yöntem mevcuttur. Bunlar arasında doğrudan gözetimli tedavi, terapötik ilaç ölçümü, hasta öz-bildirimleri, hap sayımı, reçete yenileme verileri ve elektronik ilaç izlemleri olmak üzere çeşitli yöntemler bulunmaktadır (Stirrat vd.,2018). İlaç uyumunu ölçmek için belirli bir altın standart bulunmamakla birlikte, elektronik ilaç izleme teknolojileri, ilaç uyum davranışını sürekli olarak takip edebilmesi ve doz hatırlatma sağlayabilmesi gibi özellikleri nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir (Mason vd., 2022). Dijital teknolojilerin hızlı gelişimi, sağlık profesyonelleri ile hastalar arasındaki iletişimi güçlendirme, uzun vadeli sağlık sonuçlarını iyileştirme ve ilaç uyumu gibi sağlıkla ilgili davranışları artırma konularında önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu teknolojiler sayesinde, hastaların ilaç alımları gerçek zamanlı izlenebilmekte ve doz, sıklık, zaman gibi detaylı raporlama ile uyum değerlendir-

mesi yapılabilmektedir (Schnorrerova vd., 2024). Teknoloji temelli ilaç

uyumu destekleyicileri, ilaç alım davranışlarını izlemek, değerlendirmek ve gerektiğinde müdahale etmek amacıyla geliştirilen elektronik sistemlerdir. Bu sistemler, genellikle hem donanım hem de yazılım bileşenlerinden oluşmaktadır. Donanım bileşenleri, ilaç alımına yönelik geliştirilen fiziksel cihazları içerir. Bunlar arasında elektronik hap şişeleri ve kutuları, akıllı blister paket, akıllı inhaler, sindirilebilir sensörler ve akıllı saatler yer almaktadır. Yazılım bileşenleri ise, ilaç alım verilerinin kaydedilmesi, analiz edilmesi ve sağlık profesyonelleriyle paylaşılmasını sağlayan dijital platformları kapsamaktadır. Bu sistemler, farklı kullanıcı ihtiyaçlarına göre çeşitlendirilmiş biçimlerde sunulmaktadır. Bazıları yalnızca web tabanlı arayüzler aracılığıyla hizmet verirken, birçoğu mobil uygulama desteği ile hastaların ilaç kullanım süreçlerini daha erişilebilir kılmaktadır. Tablo 1’de günümüzde ilaç uyumunu izlemek ve desteklemek amacıyla geliştirilen başlıca teknoloji tabanlı yaklaşımlar özetlenmiştir.

Multidisipliner ekibin bir parçası olan hemşireler, ilaç uyumunun yönetiminde önemli bir role sahiptir. Hemşireler, hastaların uyumlarını destekleyen yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesi, uygulanması ve değerlendirilmesi süreçlerine aktif olarak katılabilmektedir (De Geest vd., 2019). Bu süreçlerde, teknolojik yaklaşımlar aracılığıyla hemşireler, hastaların ilaç alım davranışlarına yönelik geri bildirimde bulunabilir ve tedaviye uyumu artırmak için bireyselleştirilmiş hemşirelik girişimleri planlayabilir. Elektronik uyumu izleme girişimlerini değerlendiren bir meta analizde, bu girişimleri kullanan hastaların uyum düzey-

lerinde önemli ölçüde artış gözlemlenmiştir (Chan vd., 2022). Teknolojik ilerlemeler doğrultusunda, ilaç uyumunu desteklemek amacıyla geliştirilen dijital sağlık ürünlerinin sayısı da hızla çoğalmaktadır. Yapılan bir incelemede, pazarlaması yapılan ve prototip aşamasında bulunan toplam 114 akıllı ilaç dağıtım ve uyum ürününün tanımlandığı belirtilmiştir (Faisal vd., 2023). Bu ürünlerin tasarımı, özellikleri ve hedeflenen hasta popülasyonuna uygunluğu; kullanıcı deneyimini ve klinik etkinliği doğrudan etkilemektedir. Bu doğrultuda hem hastaların ve bakım vericilerin hem de sağlık profesyonellerinin

bu teknolojilere ilişkin bilgi ve farkındalık düzeyinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu derleme makalesinin amacı, ilaç uyumunun izlenmesinde kullanılan güncel teknolojik yaklaşımların avantajları ve dezavantajlarıyla birlikte ele alarak sunmaktır.

GELİŞME

İlaç uyumunu izleme teknolojileri arasında elektronik hap şişeleri, elektronik hap kutuları, akıllı blister paket, akıllı inhaler, sindirilebilir sensör, akıllı saat, video gözetimli tedavi, elektronik ilaç yönetim

Tablo 1. İlaç Uyum İzleme Teknolojileri ve Özellikleri

Teknolojik Yaklaşım	Özellikleri
Elektronik hap şişeleri/kutuları	İlaç alma zamanlarında hastaları uyarır, kullanım verilerini kaydederek uyum raporları sunar ve uyumsuzluk durumunda bakım verenleri bilgilendirir.
Akıllı blister paket	Her dozun alınmasını ayrı bir kullanım olarak sayarak ayrıntılı uyum verisi sağlar.
Akıllı inhaler	Klipsli akış sensörleri sayesinde inhalasyon tekniği değerlendirir ve kişiselleştirilmiş geri bildirim sağlar.
Sindirilebilir sensör	Sensörlerle donatılmış ilaçlar, ilaç alımının doğrudan değerlendirilmesini sağlar; bu da ilaç uyumunun en objektif ölçüm yöntemlerinden biridir.
Akıllı saat	Hatırlatıcı bildirimler ve ilaç davranışının analizine olanak tanıyan izleme özellikleri ile ilaç uyumuna katkı sağlar.
Video gözetimli tedavi	Hastanın senkron veya asenkron video kayıtları aracılığıyla ilaç alımının değerlendirilmesini sağlar.
Elektronik ilaç yönetim sistemleri	Dijital teknolojiler aracılığıyla, ilaç kullanımının değerlendirilmesi ve ilaç uyumunu artırmaya yönelik kişiselleştirilmiş müdahaleler sağlar.
Mobil sağlık uygulamaları	İlaç hatırlatıcıları, hasta uyum raporları, eğitici içerikler, kısa mesaj, geri bildirim sistemleri ve hasta-sağlık profesyoneli etkileşimini kolaylaştıran platformlar sunar.

sistemleri ve mobil sağlık uygulamaları yer almaktadır.

Elektronik Hap Şişeleri

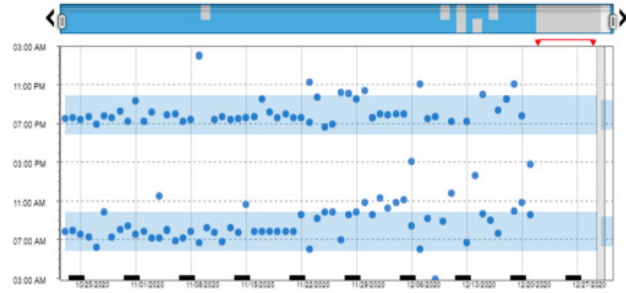
İlaç uyumunu değerlendirmede en sık kullanılan cihazlardan biri, mikroçip içeren kapaklarla birlikte kullanılan elektronik hap şişeleridir. Kapak içine entegre edilen sensör sayesinde açılıp kapanma hareketlerini kaydeder. İlaç kullanım verileri, bir veri okuyucu veya bilgisayar yazılımı aracılığıyla aktarılır ve veriler, kablosuz (Bluetooth veya Wi-Fi) veya kablolu (USB) bağlantılar aracılığıyla elde edilebilir. Bu veriler, bulut tabanlı bir platformda saklanır ve kullanıcılar bu verilere internet üzerinden erişebilir (Mason vd., 2022; Stirratt vd., 2018). AARDEX Group tarafından geliştirilen İlaç Alımını İzleme Sistemi (Medication Event Monitoring System -MEMS®, AARDEX Company, 2018) ilaç kullanım hareketlerini izlemek için en yaygın tercih edilen sistemdir. MEMS Cap, bu sistemin sağladığı pek çok ürün içerisindeki elektronik hap şişesi olarak en sık kullanılan cihazdır (Pal vd., 2021). Bu sistem, kullanılan ilaç takip cihazları sayesinde elde edilen ilaç alımına ilişkin veriler ile kişiye özel ilaç uyum raporu sunmaktadır. MEMS ilaç alımına ilişkin ilaç uyum raporu örneği resimde verilmiştir (Resim 1). Ayrıca, Glowcap (ABD), Pillsy (ABD) ve AdhereTech (ABD)(www.adheretech.com) gibi ışıklı ve sesli hatırlatıcı alarm özelliği sahip, akıllı kapak aracılığıyla ilaç alımını takip edilebilen Bluetooth özellikli elektronik hap şişeleri de yaygın olarak kullanılmaktadır (Pal vd., 2021). Elektronik hap şişelerine örnek görseller Resim 2’ de bulunmaktadır. Elektronik hap şişelerinin küçük boyutları ve taşınabilirliği avantaj sağlarken aynı anda

sadece bir tür ilaç içerebildikleri için çoklu ilaç kullanan kişiler için uygun olmayabilir. Ayrıca kapak açıldıktan sonra şişeye ilacın yerleştirilmesi, ilacın çıkarılmaması veya bir defada birden fazla doz alınması gibi durumların değerlendirmesi yapılmamaktadır. Bu durum hastanın ilaç uyumunun yanlış değerlendirilmesine yol açabilir (Mason vd., 2022; Stirratt vd., 2018). Houghton ve arkadaşlarının (2024) yürüttüğü randomize kontrollü çalışmada, elektronik hap şişesinden elde edilen veriler, hasta öz- bildirimleriyle karşılaştırılmış ve öz-bildirim yönteminin uyumu olduğundan yüksek gösterme eğiliminde olduğu bulunmuştur (Houghton vd., 2024). Benzer şekilde, akut koroner sendrom hastalarında elektronik hap şişesi ile mobil uygulama temelli izlemeyi karşılaştıran çalışmada, mobil uygulama kullanan hastaların daha yüksek uyum oranları bildirdiği ifade edilmiştir (Giordano vd., 2021). Bu çalışmalar göstermektedir ki elektronik hap kutuları, ilaç uyumunun değerlendirilmesinde oldukça güçlü ve nesnel bir araç olmakla birlikte, genellikle tek başına değil, diğer yöntemlerle (öz-bildirim, terapötik ilaç ölçümleri gibi) birlikte kullanıldığında daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.

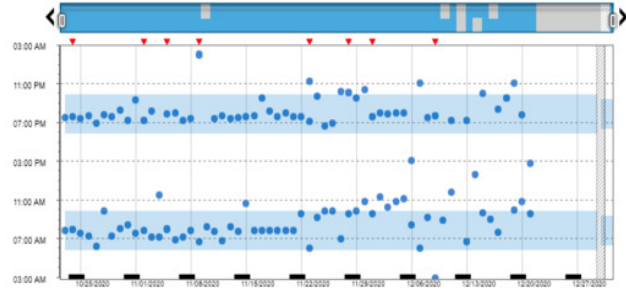
Elektronik Hap Kutuları

Elektronik hap şişesine benzer şekilde, elektronik hap kutuları açıldığında tarih ve saati kaydeder. İlaç kullanım verilerine kablosuz (Bluetooth veya Wi-Fi) ya da kablolu (USB) bağlantılarla erişilebilirken, web tabanlı sunucular aracılığıyla sinyaller ve kısa mesaj hatırlatıcıları ile gerçek zamanlı ilaç takibi yapılabilir. Elektronik hap şişesinden farklı olarak, hap kutularında birden fazla ilaç türünü depolayabilecek ilaç bölmeleri bulunur. Fakat ilaç alma kapasitesi arttıkça elektronik

The treatment has been interrupted by the patient for more than 2 consecutive days (estimated over intervisit) 8 times



The patient opened the bottle more often within a 24 hour period than required by the dosing regimen (estimated over intervisit) 8 occurrences

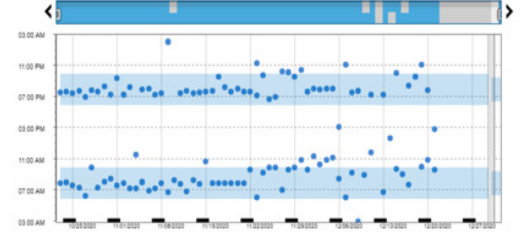


Monitoring1

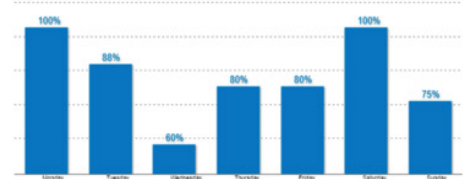
Drug : Drug C, Mycophenolate mofetil

Regimen : 2 X per day

Interval : 2x/day | Interdose interval (hours) : 11-13 | Time window : [08:00 +/- 90] [20:00 +/- 90]



Medication omissions observed on (estimated over the entire follow-up) Wednesday



Resim 1. İlaç Olayı İzleme Sistemi Raporu

(<https://aardexgroup.com> Erişim Tarihi: 30.09.2024)



MEMS Cap



AdhereTech

Resim 2. Elektronik Hap Şişesi Örnekleri

MEMS Cap (<https://aardexgroup.com/smart-pill-bottle/> Erişim Tarihi: 30.05.2024), AdhereTech (<https://adheretech.com/> Erişim Tarihi: 30.05.2024)

hap kutusunun boyutu da büyür ve bu durum hasta mahremiyeti açısından rahatsızlık oluşturabilir. Aynı zamanda elektronik hap kutusunun kapağının açıldıktan sonra ilaç yerleştirilmesi, ilacın alınmaması ya da birden fazla doz alınması gibi durumlar tespit edilemeyeceği için hastanın ilaç uyumu yanlış değerlendirilebilir (Mason vd., 2022; Stirratt vd., 2018). Wisepill RT3000, (Wisepill Technologies, Güney Afrika) ilaç uyumunu izlemeye yönelik geliştirilen ilk cihazlardan biridir (www.wisepill.com). Bu cihaz, ilaçların zamanında alınmaması durumunda kullanıcıya kısa mesaj yoluyla hatırlatma yaparak tedaviye uyumu artırmayı hedeflemektedir. Hastalar ve bakım verenler, çevrimiçi platformlar üzerinden uyum raporlarına erişerek süreci izleyebilmektedir (Resim 3). Böbrek nakli hastalarıyla yapılan çalışmada, elektronik hap kutusu kullanımının ilaç alım zamanı ve sıklığına uyumu önemli düzeyde artırdığı bulunmuştur (Foster vd., 2018). Çoklu ilaç kullanımının değerlendirilmesini sağladığı için kullanımı günümüzde genellikle hasta tercihiyle sürdürülmektedir. Ancak, çoklu ilaç kullanımının değerlendirildiği elektronik hap kutusu temelli çalışmalara sınırlıdır.



Wisepill RT3000

Resim 3. Elektronik Hap Kutusu

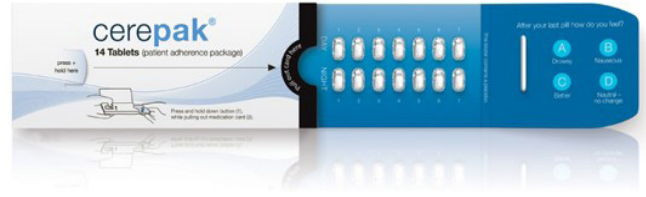
Wisepill RT3000 (www.wisepill.com Erişim tarihi: 27.09.2024)

Akıllı Blister Paket

Akıllı blister paketler, mikroçip içeren yapışkan etiketler aracılığıyla ilaç takibini gerçekleştiren gelişmiş sistemlerdir. Bu etiketler, kapsül ya da tablet formdaki ilacın blister paketten çıkarılması sırasında etiket devresinin kırılmasıyla tarih ve saat bilgisini kaydeder. Hastanın ilaç alım verileri, kablosuz olarak merkezi bir veri tabanına iletilmektedir. Böylelikle gerçek zamanlı ilaç takibi sağlanmaktadır. Her ilacın tekli ceplerde saklanması, her dozun ayrı bir ilaç kullanımı olarak kaydedilmesini sağlar. Bu sayede, elektronik hap şişeleri/kutularında karşılaşılan kapağın açılması, kutunun yeniden doldurulması gibi durumların ilaç alım sayısını etkilemesi engellenebilir. Ancak, bir doz alınırken diğer dozların iletken izlerinin ya da mikroçipinin yanlışlıkla kırılması olasılığı, birden fazla ilaç alım olayının hatalı şekilde kaydedilmesine neden olabilir. Ayrıca, mikroçiplerin yüksek maliyetli oluşu ve ilaç alımını fiziksel olarak doğrulayamaması bu yöntemin önemli dezavantajları arasında yer alır (Mason vd., 2022). AARDEX Group'un MEMS teknolojisi ile desteklenen Cerepak (İsviçre), günlük ilaç alımını düzenlemeyi hedeflerken; Dosepak (İsviçre) uzun süreli tedavi gören hastalar için daha uygun olan ve daha detaylı ilaç takibinin yapılmasını sağlayan elektronik akıllı blister örneğidir (Resim 4). Dosepak kullanılarak yapılan bir çalışmada ilaç uyumunun izlenmesinde etkili olduğu gösterilmiştir (Izzah vd., 2022).

Akıllı İnhaler

Astım ve Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH) olan bireylerde, ilaç uyumsuzluğunun yüksek olması ve inhaler uygulama tekniğindeki hataların yaygınlığı, dijital



Resim 4. Elektronik Akıllı Blister Paketleri

Dosepak (<https://aardexgroup.com/medication-compliance-packaging/>; Erişim Tarihi: 30.05.2024), Cerepak (<https://aardexgroup.com/patient-adherence-packaging/>; Erişim Tarihi: 30.05.2024)

inhaler olarak da bilinen akıllı inhaler teknolojilerine olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Günümüzde birçok inhaler cihaz, takılabilir sensörler yardımıyla dijital hale getirilebilmekte ve bu sayede inhalasyon süreci daha ayrıntılı şekilde izlenebilmektedir (Pleasant vd., 2022). Akıllı inhaler, doz uygulama verilerini toplayarak Bluetooth ile akıllı telefon ya da diğer elektronik cihazlara iletmektedir. Bu veriler aynı zamanda, sağlık profesyonellerinin uzaktan erişimini kolaylaştırmak amacıyla bulut sistemlerinde saklanabilmektedir. Akıllı inhalere yerleştirilmiş klipsli akış sensörleri, en yüksek inspiratuvar akış hızı ve inhale edilen hacmi ölçerek inhalasyon tekniğini değerlendirme olanağı da sunmaktadır (Kaplan vd., 2023). Bu cihazlar, inhaler kullanımını gerçek zamanlı olarak uzaktan izlenmesi, hastaya uyum ve inhalasyon tekniği konusunda kişiselleştirilmiş geri bildirim sağlaması özelliklerine sahiptir. Böylelikle hastaların bireysel davranışlarına göre kişiselleştirilmiş bir inhalasyon tedavisi oluşturularak kişinin öz bakımına katılımı teşvik edilmektedir (Pleasant vd., 2022). Literatürde gerçek zamanlı geri bildirim sağlayarak hastaların inhalasyon tekniklerini geliştirdiği ve uzun dönem tedaviye bağlılıklarını artırdığı vurgulanmaktadır. Akıllı inhalerler ilaç

uyumunu artırmaya yönelik olumlu bir etki sağlamakta (Tay vd., 2022), ancak klinik sonuçlar üzerindeki etkilerine ilişkin daha fazla gerçek yaşam verisine ve ileri düzey araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, bu teknolojilerin sağlık profesyonellerine tedavi süreçlerini bireyselleştirme açısından değerli veriler sunduğu bildirilmektedir (Brennan vd., 2021). Diğer elektronik izleme cihazlarında da olduğu gibi, ekipman arızaları ve ilaç alımının doğrulanamaması gibi sınırlılıklar bulunmaktadır.

Sindirilebilir sensör

Sindirilebilir sensör sistemi, “yutulabilir sensör” veya “dijital hap” olarak da bilinen, ilaç alım davranışlarını gerçek zamanlı olarak izlemeye olanak tanıyan yenilikçi teknolojilerdir. Bu haplar, içinde yer alan sindirilebilir akıllı sensörler aracılığıyla ilaç uyumunu değerlendirme özelliğine sahiptir (De Geest vd., 2021). Sindirilebilir sensör sistemi; sensör, cilt yüzeyine yerleştirilen yama veya harici okuyucu ve bulut tabanlı arayüz olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Dijital hap yutulduktan ve mide sıvıyla temas ettikten sonra sensör aktif hale gelerek radyo frekansı aracılığıyla dijital bir sinyal üretir. Bu sinyal, hastanın karın bölgesine yapıştırılan cilt ya-

ması ya da hastanın taşıdığı harici okuyucu tarafından algılanır. Okuyucunun algıladığı sinyalin kimlik bilgisi, tarihi ve zamanı gibi veriler Bluetooth aracılığıyla kullanıcının akıllı telefonundaki uygulamaya iletilir. Aktarılan veriler, bulut tabanlı bir sistemde saklanır ve analiz edilir. Bu sistem, ilaç alımına ilişkin düzenliliği değerlendirebilir; ayrıca, ilaç alımındaki uyumsuzlukları tespit ederek hastaya hatırlatma ya da motivasyon amaçlı mesajlar göndermek gibi işlevleri otomatik olarak yürütebilir (Spinelli vd., 2020). Sensör çipini oluşturan bakır, magnezyum ve vücutta çözünemeyen maddeler dışkı yoluyla doğal yollarla atılmaktadır (De Geest vd., 2021). Sindirilebilir sensör sisteminin önceki versiyonlarında kullanılan cilt yaması, ciltte tahrişe yol açma gibi kullanılabilirlik açısından bazı sınırlılıklar göstermiştir (Mason vd., 2022).

Sindirilebilir sensör, organ nakli, HCV, HIV, diyabet, hipertansiyon, psikiyatrik bozukluklar ve tüberküloz tedavisi gibi çeşitli hastalık durumları ve farmakoterapide kullanımının fizibilitesini gösteren pilot çalışmalar ilaç uyumunu olumlu yönde etkilediğini göstermektedir (Chai vd., 2022). Kronik hepatit C enfeksiyonu olan yetişkinlerde yapılan çalışmada, sindirilebilir sensörlerle kapsül-lenmiş antiviral ilaçların on hafta boyunca kullanımı takip edilmiş ve %95 ilaç uyumu saptanmıştır. (Sulkowski vd., 2020). Pediatrik karaciğer ve böbrek nakli hastaları ile yapılan bir çalışmada, katılımcıların büyük çoğunluğu sindirilebilir sensörlerin ilaç alımını kolaylaştırdığını ancak cilt yamasının takılmasını ve dijital ilaç panelinin sınırlı olmasını dezavantaj olarak ifade etmiştir (Triplett vd., 2019). Literatür örneğinde görüldüğü gibi cilt yaması içeren versiyonların kullanımında konfor ve kullanım pratiği gibi

faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sınırlılıklara alternatif olarak, EtectRx firması (ABD) tarafından geliştirilen ID-Cap® (<https://etectrx.com/id-cap-system/>) çözümü sunulmuştur. Bu sistemin okuyucu bileşeni; hastanın boynuna kolye şeklinde takılabilen, göğüs bölgesine yerleştirilebilen ya da bazı versiyonlarında bileklik formunda sunulan harici bir cihazdır (Baumgartner vd., 2021). Sindirilebilir sensörler, ilaç alımını doğrudan gözlemlene ve gerçek zamanlı uyum verisi elde etme avantajı sunarken, çoklu ilaç alımlarının takibini de kolaylaştırmaktadır. Ancak her ilaç formülasyonu sensörlerin yerleştirilmesine uygun olmaması ve sensörün vücuttan atılamaması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Mason vd., 2022). Ayrıca sensörlerin izlemine sürekli yaptığı uyum davranışları, konum izleme ve diğer fizyolojik verilerle ilgili istenmeyen kişisel bilgileri başkalarına iletebileceği konusunda hasta mahremiyeti ve özerkliği ile ilgili endişeler sağlayabilir (Chai vd., 2024).

Akıllı saatler

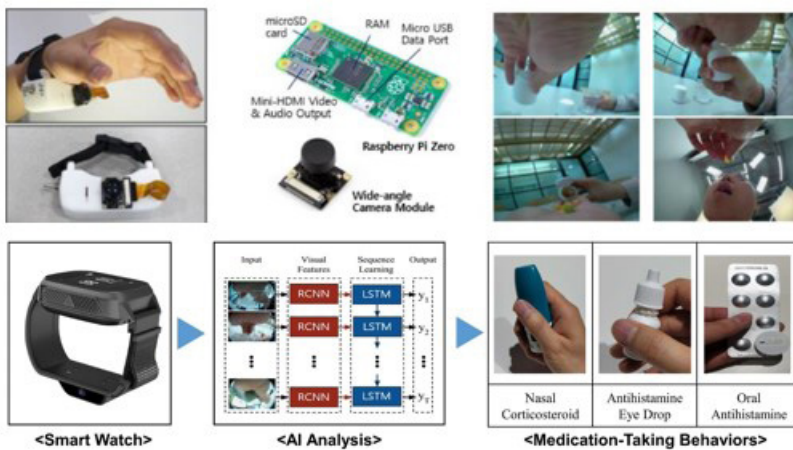
Giyilebilir teknolojiler arasında yer alan akıllı saatler, yaygın kullanımıyla birlikte, kullanıcıların fizyolojik durumlarını gerçek zamanlı olarak izleme, davranış doğrulama ve hatırlatıcı bildirim gönderme gibi işlevleri, ilaç uyumunun izlenmesi ve yönetilmesinde dikkat çekici bir potansiyel sunmaktadır (Iino vd., 2024). Son yıllarda, bu doğrultuda giyilebilir teknolojilerin ilaç tedavisine uyumu artırmadaki etkinliğini inceleyen çalışmaların sayısında artış gözlemlenmektedir. InHandPlus, Inc. (Seul, Kore) tarafından geliştirilen yapay zeka destekli bir akıllı saat tabanlı sistem, kullanıcıların ilaç alma davranışlarını otomatik olarak analiz etmekte ve bireyselleştirilmiş sağlık hizmetleri sun-

maktadır. Wi-Fi bağlantısıyla video verilerini hızla yükleyen sistem, el hareketlerinden “hap şişesini açma” ve “hapı yutma” gibi ilaç alma davranışlarını tanımlayabilmektedir. Bu çalışma hap alma davranışını izlemek ve gerçek yaşam verilerine dayalı bir ilaç yönetimi için yenilikçi yaklaşım sunmaktadır. Bu teknoloji, inhaler, glukometre kullanımı ve yeme davranışlarının izlenmesi gibi diğer sağlık davranışlarına da uyarlanabilir potansiyele sahiptir (Lee ve Youm, 2021) (Resim 5). Alerjik rinit hastaları ile yapılan çalışmada, ilaç uyumunu değerlendirmek amacıyla yapay zeka destekli akıllı saat kullanılmıştır. Bu akıllı saat, radyo frekans tanımlama (RFID-Radio Frequency Identification) etiketli hap kutusunun hareketiyle etkinleşen bir kamera aracılığıyla, ilaç alımı sırasında hastanın 20 saniyelik video kaydını çekerken yapay zeka algoritmalarıyla bu görüntüler analiz edilerek ilacın alınıp alınmadığı değerlendirilmektedir. Çalışma sonuçları, akıllı saat uygulamasının hastaların tedavi protokolüne uyumunu ve semptom kontrolünü anlamlı düzeyde iyileştirdiğini göstermiştir (Li vd., 2023). Başka bir çalışmada, D vitamini tedavisine uyumun değerlendirilmesinde akıllı saat, elektronik ilaç günlüğü ve hap sayımı kullanılmış ve akıllı saat verileri ile hap

sayımının uyumlu olduğu ayrıca hastaların D vitamini konsantrasyonlarında artış saptanmıştır (Huh vd., 2023). Böbrek nakli hastalarıyla gerçekleştirilen bir başka çalışmada, katılımcılar üç gruba ayrılmıştır: birinci grup yalnızca Transplant Hero mobil uygulamasını, ikinci grup hem akıllı saat hem de mobil sağlık uygulamasını kullanmış; üçüncü grup ise herhangi bir müdahale almamıştır. İlaç uyum düzeyleri karşılaştırıldığında, yapılan girişimlerin uyum üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı belirlenmiştir (Levine vd., 2019). Bu bulgular, teknolojik müdahalelerin ilaç uyumunu tek başına artırmada her zaman yeterli olmadığını göstermektedir. Bu tür uygulamaların etkili olabilmesi için hastaların teknolojiye adaptasyon düzeylerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Özellikle giyilebilir cihazlar, günlük yaşamda kullanım kolaylığı sunmaları sayesinde hasta deneyimini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, teknoloji destekli müdahalelerde başarıyı artırmak amacıyla, hastaların dijital yeterliliklerinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Video Gözetimli Tedavi

Doğrudan gözetimli tedavi, tüberküloz tedavisinde kullanılan ve hastanın ilaç alımının



Resim 5. Akıllı Saat Görseli

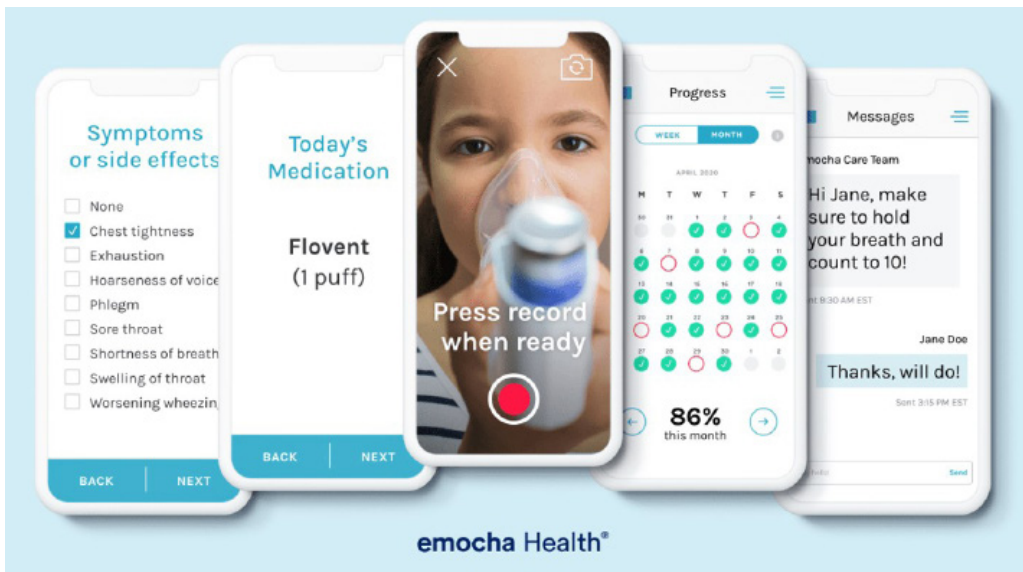
(Lee ve Youm, 2021)

sağlık profesyoneli tarafından doğrudan izlenmesini esas alan bir yöntemdir. Dijital teknolojilerdeki gelişmelerle birlikte, bu yönteme alternatif olarak geliştirilen video gözetimli tedavi, hastanın ilaç alımının senkron veya asenkron video kayıtlarıyla bir mobil uygulama aracılığıyla sağlık profesyonelleri tarafından izlenmesini sağlamaktadır. Literatürde, doğrudan gözetimli tedaviye kıyasla, video gözetimli tedavinin maliyet etkin olduğu, sağlık profesyonelinin tedaviyi denetlemesi için daha az zaman harcadığı ve hasta memnuniyetini artırdığı belirtilmektedir (Areas Lisboa Netto vd., 2024). Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri (Centers for Disease Control and Prevention-CDC) video gözetimli tedavinin tüberküloz tedavisi gören kişiler için doğrudan gözetimli tedaviye eşdeğer olduğunu belirtmiştir (Mangan vd., 2023). Yapılan sistematik derleme ve meta-analizde, tüberküloz hastalarında video gözetimli tedavinin doğrudan gözetimli tedaviye kıyasla ilaç uyumunu iyileştirdiği saptanmıştır (Truong vd., 2022). Emocha Health video gözetimli tedavide tercih edilen bir örnek olup (Resim 6), 2022 yılında Scene Health olarak

yeniden markalaşmıştır (Maryland, ABD) (<https://www.scene.health/>). Bu platform, hastaların ilaç alımını videoya kaydederek sağlık profesyonellerine iletmelerine olanak tanıyan mobil uygulama tabanlı bir sistem sunmaktadır. Böylece, hastaların tedavi uyumları gerçek zamanlı olarak izlenip değerlendirilebilmektedir. Pediatrik dijital astım programını değerlendiren bir çalışmada, hastalar inhaler kullanımlarının video kayıtlarını Emocha Health Inc. mobil uygulaması aracılığıyla sağlık ekibine iletmıştır. Sağlık ekibinin doğrudan iletişim kurmaları ile inhaler tekniklerindeki hataların dört hafta içinde %80'den %20'nin altına düştüğü saptanmıştır (McIntire vd., 2022). Benzer şekilde, adolesan kalp nakli alıcılarıyla yapılan bir çalışmada da hastalar, ilaç alımlarını videoya kaydederek aynı mobil uygulama üzerinden paylaşmışlardır. On iki haftalık takip sonunda, hastaların ilaç uyumlarının yüksek ve ilaç kan düzeylerinde iyileşme olduğu saptanmıştır (Killian vd., 2022).

Elektronik ilaç yönetim sistemi

Elektronik ilaç yönetim sistemi yukarıda yer



Resim 6. Emocha Health ile Video Gözetimli Tedavi

(<https://www.scene.health/> Erişim Tarihi: 27.05.2024)

alan ilaç teknolojilerden farklı olarak doz hesaplama, doğru ilaç uygulama ve çoklu ilaç takibi gibi gereksinimlerden ortaya çıkmıştır. Bu sistemler ayrıca, ilaç tedavisinin uygulanması, izlenmesi, değerlendirilmesi ve sürdürülmesini dijital olarak entegre eden kombine sistemlerdir. Üretici firmaya göre farklı bileşenler içeren elektronik ilaç yönetim sistemlerinden biri de RFID teknolojisi (Pal vd. 2021). RFID teknolojisi, gömülü sensörler aracılığıyla bireylerin aktivitelerinin izlenmesine olanak tanımakta olup, sağlık hizmetleri de dahil olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır (Abugabah vd., 2023). Günümüzde, hastane ve sağlık merkezlerinde hastaların kimliğinin doğrulanması, hastaların ve bebeklerin aktif olarak izlenmesi ve doğru ilacın doğru hastaya uygulandığının çapraz doğrulamasında kullanılmaktadır (Pal vd. 2021). Sağlık alanında artan kullanımıyla birlikte, özellikle ilaç tedavisinin yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır (Abugabah vd., 2023). Bu teknoloji, ilaç kutularına ve blister ambalajlara entegre edilen barkod ve barkod okuyucu ile ilaç takibi ve hasta uyumunun izlenmesinde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Mason vd., 2022).

Elektronik ilaç yönetim sistemine bir diğer örnek, yeniden kullanılabilir ilaç dağıtım ünitesi olan ReX (DosentRx Ltd, Birleşik Krallık)'dir. ReX, ilaç dağıtım ünitesi, tek kullanımlık kaset, mobil uygulama ve bulut sisteminden oluşan bir platformdur. Bu sistem, ilacın doğru doz ve doğru zamanda, cihaz içindeki ağızlık aracılığıyla doğrudan hastanın dilinin üzerine düşmesini sağlamaktadır. Mobil uygulama aracılığıyla hasta ilaç uyum vrilere bulut sistemine aktararak gerçek zamanlı ilaç uyumu takip edilebilmektedir (Sht-richman vd., 2018) (Resim 7). ReX, hastanın ilaç uyumunu izleyebilme ve ilacın yanlış zamanda uygulanmasını önleme avantajı sunar; ancak ilacın hastanın ağzına verilmesine kadar takip edilebilmesine rağmen, ilacın alımını doğrulayamaması önemli bir sınırlılıktır (Mason vd.,2022). Kistik fibrozis hastalarının ilaç yönetiminde ReX platformunun kullanıldığı bir pilot çalışma, bu platformun kullanımının kolay, güvenli ve tedaviye uyumu iyileştirmede etkili olduğunu göstermiştir (Yaacoby-Bianu vd., 2023).

İlaç Davranışı İzleme Sistemi (Medication Behavior Monitoring System-MBMS) ise bir diğer örnektir. Bu sistem, nesnelerin interneti,



Resim 7. ReX Sistemi Bileşenleri ve Kullanımı (Sht-richman vd., 2018)

verileri bulut sistemine aktararak gerçek zamanlı ilaç uyumu takip edilebilmektedir (Sht-richman vd., 2018) (Resim 7). ReX, hastanın ilaç uyumunu izleyebilme ve ilacın yanlış zamanda uygulanmasını önleme avantajı sunar; ancak ilacın hastanın ağzına verilmesine kadar takip edilebilmesine rağmen, ilacın alımını doğrulayamaması önemli bir sınırlılıktır (Mason vd.,2022). Kistik fibrozis hastalarının ilaç yönetiminde ReX platformunun kullanıldığı bir pilot çalışma, bu platformun kullanımının kolay, güvenli ve tedaviye uyumu iyileştirmede etkili olduğunu göstermiştir (Yaacoby-Bianu vd., 2023).

İlaç Davranışı İzleme Sistemi (Medication Behavior Monitoring System-MBMS) ise bir diğer örnektir. Bu sistem, nesnelerin interneti, derin öğrenme ve yapay zeka teknolojilerini kullanarak elektronik hap kutusu, hareket sensörleri ve video tabanlı izleme teknolojisiyle entegre bir şekilde çalışmaktadır. Bu sistemde, ilaç alım zamanını sesli hatırlatan cihaz, hastanın ev içerisine yerleştirilen sensörler aracılığıyla hareketlerini algılar ve hastanın cihaza yaklaşmasıyla ilaç alım davranışını videoya kaydetmeye başlamaktadır. Cihaz üzerindeki kamera, hastanın su içmek için kolunu kaldırma hareketini algıladığında, dahili hap kutusu ilacı terazili bir platforma bırakmaktadır. İlacın alınmasının ardından hap kutusunun yerine yerleştirilmesiyle terazili tartının sıfıra yaklaşması, ilacın alınıp alınmadığının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Roh vd., 2021). Ancak bu sistem, ilacın alımını doğrulayamaması nedeniyle sınırlı bir doğruluk sağlamaktadır (Mason vd., 2022). Teknolojinin ilerlemesiyle gelişmekte olan elektronik ilaç yönetim sistemlerinin, ilaç uyumunu izleme ve artırmadaki etkinliğini değerlendirmek üzere daha fazla bilimsel araştırmaya ihtiyaç vardır.

Mobil Sağlık Uygulamaları

Mobil sağlık uygulamaları, hastaların tedavilerine uyum sağlamasına yardımcı olan etkili bir araç olarak umut vaat etmektedir. Bu uygulamalar, ilaç hatırlatıcıları, hasta uyum raporları, eğitici içerikler, geri bildirim sistemleri, kısa mesaj servisleri ve hasta-sağlık profesyoneli iletişimini kolaylaştıran platformlar gibi çeşitli işlevler sunmaktadır (Peng vd., 2020). Bireyler bu uygulamalar aracılığıyla, ilaç alımlarını gerçek zamanlı olarak elektronik ortamda, öz-bildirimlerine dayalı bir şekilde kaydederek tedavi süreçlerini daha etkin bir şekilde yönetebilmektedir. Günümüzde cep telefonlarının yaygın kullanımı, bu uygulamaları tedavi yönetiminde erişilebilir ve etkili bir araç olmasını sağlamaktadır (Fan ve Zhao, 2022). Özellikle kronik hastalıkların uzun süreli ve düzenli tedavi gerektirmesi, hastaların sürekli destek ve hatırlatmalara ihtiyaç duymasına yol açmaktadır. Kronik hastalığı olan bireylerde mobil uygulama müdahalelerini inceleyen bir meta analiz, mobil uygulamaların ilaç uyumunu artırmada olumlu etkisi olduğunu ortaya koymuştur (Kim vd., 2025).

Mobil uygulamalar, ilaç uyumunu izlemeye yönelik teknolojilerle entegre biçimde çalışmakta olup, kullanıcının kolaylığına odaklı olarak tasarlanmıştır. Giyilebilir sensörler veya elektronik monitörlerden elde edilen sağlık verileri, web tabanlı platformlara aktarılmakta; mobil uygulamaların aracılığıyla hastalar tarafından takip edebilmekte ve bu veriler sağlık profesyonelleri veya yapay zeka destekli karar destek sistemleri tarafından analiz edilerek hastalara çeşitli iletişim yollarıyla (e-posta, kısa mesaj, telefon görüşmesi, yüz yüze danışmanlık) geri bildirim sağlanmaktadır (Fan ve Zhao, 2022). Bu bütüncül

yaklaşım, hastaların tedaviye aktif katılımını destekleyerek ilaç uyumu ve genel sağlık sonuçlarını olumlu yönde etkilemektedir. Öz-bildirime dayalı yöntemlerde bireyler uyum düzeylerini olduğundan daha yüksek bildirme eğiliminde bulunduğu için (Giardano vd., 2021) bu tür yöntemler genellikle diğer ölçüm araçlarıyla birlikte kullanılmaktadır. Mobil sağlık uygulamaları, diğer ilaç uyumunu izlemeye yönelik diğer teknolojilerine göre daha düşük maliyetli ve daha az damgalayıcı özelliklere sahip olmakla birlikte, hastaların eksik ya da hatalı ilaç uyumu bildirme potansiyeli, elde edilen verilerin doğruluğunu sınırlandırmaktadır (Mason vd., 2022).

SONUÇ

İlaç uyumu izleme teknolojileri, ilaç tedavisinin etkinliğini artırma ve hastaların tedaviye uyumunu sağlama amacıyla sağlık hizmetlerinde önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu yenilikçi uygulamalar hastaların ilaç kullanımının izlenebilmesi ve ilaç uyumunun geliştirilmesine dijital çözümler getirebilmektedir. Özellikle yapay zeka ve nesnelerin interneti teknolojilerinin entegrasyonu ile ilaç alım süreçlerinin daha doğru gözlenmesi ve davranışsal verilerin analiz edilmesini mümkün hale getirmiştir. Ancak, ilaç uyumsuzluğu sorunu teknolojik çözümlere rağmen hala karmaşık bir durum olmaya devam etmektedir. İlaç uyumunu artırmaya yönelik teknolojiler için standart bir yaklaşımın olmaması, bu alanda yapılacak çalışmalara olan gereksinimi artırmaktadır. Elektronik ilaç izleme sistemleri çoğunlukla araştırma amaçlı kullanılmış olup, bu teknolojilerin rutin hasta kullanımına entegrasyonu, uygulanabilirliği ve kabul edilebilirliğinin değerlendirildiği daha fazla bilimsel kanıta ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda, dijital sağlık teknolojilerinin klinik kullanıma entegre edilebilmesi için ekonomik açıdan

sürdürülebilir çözümler sunulması gerekmektedir.

Teknolojik yaklaşımların kullanımında hemşirelerin rolü büyük önem taşımaktadır. Bu teknolojileri kullanarak hastaların ilaç alma davranışlarını daha etkin takip edebilir, gerektiğinde hızlı geri bildirim sağlayarak tedaviye uyumu artırabilirler. Hasta odaklı bir yaklaşım benimsenmesi, teknolojinin etkinliğini artıracak ve hemşirelik bakımını daha nitelikli hale getirecektir. Sağlık profesyonellerinin iş birliğiyle ilaç uyumu izleme teknolojilerinden elde edilen veriler sayesinde daha kapsamlı ve bireyselleştirilmiş tedavi planları geliştirilebilir. Bu da hasta bakımında bütüncül bir yaklaşımın benimsenmesine katkı sağlayacaktır. Gelecekteki araştırmalarda teknolojilerin hem hasta hem de sağlık sistemi düzeyinde etkinliğini artıracak şekilde geliştirilmesi ve bu sistemlerin klinik karar verme süreçlerine entegre edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Areas Lisboa Netto, T., Diniz, B. D., Odutola, P., Dantas, C. R., de Freitas, M. C. F. L. C., Hefford, P. M., Bes, T. M. (2024). Video-observed therapy (VOT) vs directly observed therapy (DOT) for tuberculosis treatment: A systematic review on adherence, cost of treatment observation, time spent observing treatment and patient satisfaction. *PLoS neglected tropical diseases*, 18(10), e0012565. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0012565>.
- Abugabab, A., Al Smadi, A., Houghton, L. (2023). RFID in health care: A review of the real-world application in hospitals. *Procedia Comput Sci* 220:8-15. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.004>.
- Baumgartner, S., Buffkin, D., Rukavina, E., Jones, J., Weiler, E., Carnes, T. (2021). A novel digital pill system for medication adherence measurement and reporting: Usability validation

study. *JMIR Human Factors*, 8(4), e30786. <https://doi.org/10.2196/30786>.

Brennan, V., Mulvey, C., Greene, G., Hale, E. M., Costello, R. W. (2021). A clinical perspective on the role of electronic devices in monitoring and promoting adherence in airways disease. *Frontiers in Medical Technology*, 3, 604475. <https://doi.org/10.3389/fmedt.2021.604475>.

Burnier, M. (2024). The role of adherence in patients with chronic diseases. *European Journal of Internal Medicine*, 119, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2023.07.008>.

Chai, P. R., Kaithamattam, J. J., Chung, M., Tom, J. J., Goodman, G. R., Hasdianda, M. A., Carnes, T. C., Vaduganathan, M., Scirica, B. M., Schnipper, J. L. (2024). Formative Perceptions of a Digital Pill System to Measure Adherence to Heart Failure Pharmacotherapy: Mixed Methods Study. *JMIR cardio*, 8, e48971. <https://doi.org/10.2196/48971>.

Chai, P. R., Vaz, C., Goodman, G. R., Albrechta, H., Huang, H., Rosen, R. K., Boyer, E. W., Mayer, K. H., O’Cleirigh, C. (2022). Ingestible electronic sensors to measure instantaneous medication adherence: A narrative review. *Digital health*, 8, 20552076221083119. <https://doi.org/10.1177/20552076221083119>.

Chan, A. H. Y., Foot, H., Pearce, C. J., Horne, R., Foster, J. M., Harrison, J. (2022). Effect of electronic adherence monitoring on adherence and outcomes in chronic conditions: A systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 17(3), e0265715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265715>.

De Geest, S. M., Ribaut, J., Denhaerynck, K., Dobbels, F. (2021). Adherence management in transplantation. In D. Cukor, S. D. Cohen, & P. L. Kimmel (Eds.), *Psychosocial aspects of chronic kidney disease: Exploring the impact of CKD, dialysis, and transplantation on patients* (pp. 409–448). Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817080-9.00019-1>.

[org/10.1016/B978-0-12-817080-9.00019-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817080-9.00019-1).

De Geest, S., Zullig, L. L., Dunbar-Jacob, J., Hughes, D., Wilson, I. B., Vrijens, B. (2019). Improving medication adherence research reporting: ESPACOMP Medication Adherence Reporting Guideline (EMERGE). *European journal of cardiovascular nursing*, 18(4), 258–259. <https://doi.org/10.1177/1474515119830298>.

Faisal, S., Samoth, D., Aslam, Y., Patel, H., Park, S., Baby, B., Patel, T. (2023). Key features of smart medication adherence products: Updated scoping review. *JMIR Aging*, 6, e50990. <https://doi.org/10.2196/50990>.

Fan, K., Zhao, Y. (2022). Mobile health technology: A novel tool in chronic disease management. *Intelligent Medicine*, 2(1), 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.imed.2021.06.003>.

Foster, B. J., Pai, A. L. H., Zelikovsky, N., Amaral, S., Bell, L., Dharnidharka, V. R., Hebert, D., Holly, C., Knauper, B., Matsell, D., Phan, V., Rogers, R., Smith, J. M., Zhao, H., Furth, S. L. (2018). A Randomized Trial of a Multicomponent Intervention to Promote Medication Adherence: The Teen Adherence in Kidney Transplant Effectiveness of Intervention Trial (TAKE-IT). *American journal of kidney diseases: the official journal of the National Kidney Foundation*, 72(1), 30–41. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2017.12.012>.

Giordano, N. A., Riman, K. A., French, R., Daus, M., Stephens-Shields, A. J., Kimmel, S. E., Riegel, B. (2021). Comparing medication adherence using a smartphone application and electronic monitoring among patients with acute coronary syndrome. *Applied nursing research : ANR*, 60, 151448. <https://doi.org/10.1016/j.apnr.2021.151448>.

Huh, K. Y., Lee, H., Lee, S., Yu, K. S., Kim, K. H., Kim, H. (2023). Exploration of smart adherence- monitoring methods in vitamin D-deficient patients: A pilot feasibility clinical study. *Clinical and translational science*, 16(10), 1866–1875. <https://doi.org/10.1111/cts.13594>.

Houghton, D. C., Merritt, C. R., Miller, S. N., Mitchell, J. M., Parker, D., Hommel, J. D., Cunningham, K. A., Wilkes, D. M. (2024). Electronic Real-Time Monitoring Reveals Limited Adherence to Long-Term Opioid Prescriptions in Pain Patients. *Journal of pain research*, 17, 1815–1827. <https://doi.org/10.2147/JPR.S436898>.

Iino, H., Kizaki, H., Imai, S., Hori, S. (2024). Medication Management Initiatives Using Wearable Devices: Scoping Review. *JMIR human factors*, 11, e57652. <https://doi.org/10.2196/57652>.

Izzah, Z., Zijp, T. R., Åberg, C., Touw, D. J., van Boven, J. F. M. (2022). Electronic Smart Blister Packages to Monitor and Support Medication Adherence: A Usability Study. *Patient preference and adherence*, 16, 2543–2558. <https://doi.org/10.2147/PPA.S374685>.

Kaplan, A., Boivin, M., Bouchard, J., Kim, J., Hayes, S., Licskai, C. (2023). The emerging role of digital health in the management of asthma. *Therapeutic advances in chronic disease*, 14, 20406223231209329. <https://doi.org/10.1177/20406223231209329>.

Kardas, P. (2024). From non-adherence to adherence: Can innovative solutions resolve a longstanding problem?. *European Journal of Internal Medicine*, 119, 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2023.10.012>.

Khan, R., K. Socha-Dietrich. (2018). Investing in medication adherence improves health outcomes and health system efficiency: Adherence to medicines for diabetes, hypertension, and hyperlipidaemia. *OECD Health Working Papers*, 105, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/8178962c-en>.

Killian, M. O., Clifford, S., Lustria, M. L. A., Skivington, G. L., Gupta, D. (2022). Directly observed therapy to promote medication adherence in adolescent heart transplant recipients. *Pediatric transplantation*, 26(5), e14288. <https://doi.org/10.1111/petr.14288>.

Kim, S. K., Park, S. Y., Hwang, H. R., Moon, S.

H., Park, J. W. (2025). Effectiveness of Mobile Health Intervention in Medication Adherence: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of medical systems*, 49(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s10916-024-02135-2>.

Lee, H., Youm, S. (2021). Development of a wearable camera and ai algorithm for medication behavior recognition. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(11), 3594. <https://doi.org/10.3390/s21113594>.

Levine, D., Torabi, J., Choinski, K., Rocca, J. P., Graham, J. A. (2019). Transplant surgery enters a new era: Increasing immunosuppressive medication adherence through mobile apps and smart watches. *American journal of surgery*, 218(1), 18–20. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2019.02.018>.

Li, L., Wang, Z., Cui, L., Xu, Y., Lee, H., Guan, K. (2023). The efficacy of a novel smart watch on medicine adherence and symptom control of allergic rhinitis patients: Pilot study. *The World Allergy Organization journal*, 16(1), 100739. <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2022.100739>.

Mangan, J. M., Woodruff, R. S., Winston, C. A., Nabity, S. A., Haddad, M. B., Dixon, M. G., Parvez, F. M., Sera-Josef, C., Salmon-Trejo, L. A. T., Lam, C. K. (2023). Recommendations for use of video directly observed therapy during tuberculosis treatment - United States, 2023. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*, 72(12), 313–316. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7212a4>.

Mason, M., Cho, Y., Rayo, J., Gong, Y., Harris, M., Jiang, Y. (2022). Technologies for medication adherence monitoring and technology assessment criteria: Narrative review. *JMIR mHealth and uHealth*, 10(3), e35157. <https://doi.org/10.2196/35157>.

McIntire, K., Weis, B., Litwin Ye, L., Krugman, S. D. (2022). Feasibility of video observed therapy to support controller inhaler use among

Mason, M., Cho, Y., Rayo, J., Gong, Y., Harris, M., Jiang, Y. (2022). Technologies for medication adherence monitoring and technology assessment criteria: Narrative review. *JMIR mHealth and uHealth*, 10(3), e35157. <https://doi.org/10.2196/35157>.

McIntire, K., Weis, B., Litwin Ye, L., Krugman, S. D. (2022). Feasibility of video observed therapy to support controller inhaler use among children in West Baltimore. *The Journal of asthma : official journal of the Association for the Care of Asthma*, 59(10), 1961–1972. <https://doi.org/10.1080/02770903.2021.1984525>.

Pal, P., Sambhakar, S., Dave, V., Paliwal, S., Paliwal, S., Sharma, M., Kumar, A., Dhama, N. (2021). A review on emerging smart technological innovations in healthcare sector for increasing patient's medication adherence. *Global Health Journal*, 5(4), 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2021.11.006>.

Peng, Y., Wang, H., Fang, Q., Xie, L., Shu, L., Sun, W., Liu, Q. (2020). Effectiveness of Mobile Applications on Medication Adherence in Adults with Chronic Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of managed care & specialty pharmacy*, 26(4), 550–561. <https://doi.org/10.18553/jmcp.2020.26.4.550>

Pleasants, R. A., Chan, A. H. Y., Mosnaim, G., Costello, R. W., Dhand, R., Schworer, S. A., Merchant, R., Tilley, S. L. (2022). Integrating digital inhalers into clinical care of patients with asthma and chronic obstructive pulmonary disease. *Respiratory Medicine*, 205, 107038. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2022.107038>.

Roh, H., Shin, S., Han, J., Lim, S. (2021). A deep learning-based medication behavior monitoring system. *Mathematical biosciences and engineering: MBE*, 18(2), 1513–1528. <https://doi.org/10.3934/mbe.2021078>.

Schnorrerova, P., Matalova, P., Wawruch, M. (2024). Medication adherence: measurement methods and approaches. *Bratislavskélekarske*

listy, 125(4), 264–273. https://doi.org/10.4149/BLL_2024_40.

Shah, K. K., Touchette, D. R., Marrs, J. C. (2023). Research and scholarly methods: Measuring medication adherence. *Journal of the American College of Clinical Pharmacy*, 6(4), 416–426. <https://doi.org/10.1002/jac5.1771>.

Shtrichman, R., Conrad, S., Schimo, K., Shachar, R., Machluf, E., Mindal, E., Epstein, H., Epstein, S., Paz, A. (2018). Use of a digital medication management system for effective assessment and enhancement of patient adherence to therapy (ReX): Feasibility study. *JMIR human factors*, 5(4), e10128. <https://doi.org/10.2196/10128>.

Stirratt, M. J., Curtis, J. R., Danila, M. I., Hansen, R., Miller, M. J., Gakumo, C. A. (2018). Advancing the science and practice of medication adherence. *Journal of general internal medicine*, 33(2), 216–222. <https://doi.org/10.1007/s11606-017-4198-4>.

Sulkowski, M., Luetkemeyer, A. F., Wyles, D. L., Martorell, C., Muir, A., Weisberg, I., Gordon, S. C., McLain, R., Huhn, G. (2020). Impact of a digital medicine programme on hepatitis C treatment adherence and efficacy in adults at high risk for non-adherence. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 51(12), 1384–1396. <https://doi.org/10.1111/apt.15707>.

Tay, T. R., van Boven, J. F. M., Chan, A., Hew, M. (2022). Electronic inhaler monitoring for chronic airway disease: development and application of a multidimensional efficacy framework. *The journal of allergy and clinical immunology. In practice*, 10(5), 1189–1201.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2021.11.027>.

Triplett, K. N., El-Behadli, A. F., Masood, S. S., Sullivan, S., Desai, D. M. (2019). Digital medicine program with pediatric solid organ transplant patients: Perceived benefits and challenges. *Pediatric transplantation*, 23(7), e13555. <https://doi.org/10.1111/petr.13555>.

Truong, C. B., Tanni, K. A., Qian, J. (2022). Video-Observed therapy versus directly observed therapy in patients with tuberculosis. *American journal of preventive medicine*, 62(3), 450–458. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2021.10.013>.

Wilhelmsen, N. C., Eriksson, T. (2019). Medication adherence interventions and outcomes: an overview of systematic reviews. *European journal of hospital pharmacy : science and practice*, 26(4), 187–192. <https://doi.org/10.1136/ejhp-harm-2018-001725>.

Yaacoby-Bianu, K., Cohen-Cymberknoh, M., Shoseyov, D., Lavi, T., Ostrovski, A., Shteinberg, M., Livnat, G. (2023). Optimizing CFTR modulator therapy management for cystic fibrosis through the ReX platform. *Frontiers in pediatrics*, 11, 1300968. <https://doi.org/10.3389/fped.2023.1300968>