

# Kan Basıncı Ölçüm ve Raporlama Teknolojisindeki Yenilikler

Prof. Dr. Hatice Selçuk

## Kan Basıncı Ölçüm ve Raporlama Teknolojisindeki Yenilikler

Dünya Hipertansiyon Birliği, Avrupa Hipertansiyon Derneği, Asya-Pasifik Hipertansiyon Derneği ve Latin Amerika Hipertansiyon Derneği Tarafından Desteklenen Uluslararası Hipertansiyon Derneği

### Pozisyon Belgesi

Kario, K. et al. Journal of Hypertension, 2024 42(11), 1874–1888

Prof. Dr. Hatice Selçuk

#### Özet Bakış

### GİRİŞ

Kan basıncı (KB), bir bireyin yaşam boyu kardiyovasküler hastalıklar, organ hasarı ve ölüm riski açısından önemli bir belirleyicidir. Kan basıncı, dakikadan dakikaya, gün içinde ve kısa-uzun vadede önemli değişkenlik gösterir. Klinikte ölçülen KB değerleri genellikle seyrek aralıklarla ve dinlenme ile standart koşullarda alınır. Bu nedenle günlük yaşam içindeki doğal KB dalgalanmalarını yansıtmaz. Ayrıca, sistolik (ancak diyastolik değil) kan basıncı değerlerinin, osilometrik yöntem yerine oskültasyon (dinleme) yöntemiyle ölçüldüğünde daha düşük çıktığı görülmektedir.

Güncel hipertansiyon yönetim kılavuzları, klinik dışı kan basıncı ölçümlerini ve özellikle ambulatuvar KB izleme (AKBİ) ve evde KB izleme (EKBİ) önemini vurgulamakta, bireylerin günlük yaşam ortamlarında çok sayıda ölçüm yapılmasını önermektedir. Bu nedenle, KB'yi daha doğru ve hassas ölçebilen, daha sık ölçüm yapılmasına (hatta sürekli izlemeye) olanak tanıyan ve ölçüm sonuçlarını hastalara ve sağlık profesyonellerine akıllı özetlerle ileten, yeni ve gelişmiş cihazlara ihtiyaç bulunmaktadır. Üst kol manşonlu osilometrik yöntem yalnızca sınırlı koşullarda ve hareketsiz durumlarda aralıklı ölçümler sunabilmektedir. Günümüz, yeni dijital teknolojilerin KB ölçümünde hızla uygulanmaya başlandığı ve bu sistemlerin klinik uygulamalara entegre edildiği bir dönemdir. Ancak, bu yeni teknolojik ve veri bilimi odaklı yöntemlerin BP'yi gerçekten ölçme veya çoğu durumda tahmin etme kapasitesi ve özellikle güvenilir olup olmadıkları henüz tam olarak net değildir. Bu nedenle, Uluslararası Hipertansiyon Derneği (ISH), "Kan Basıncı Ölçümünde Yenilikler" konulu bir uzman çalışma grubu kurmuştur. Bu pozisyon belgesi, ISH çalışma grubunun çalışmalarının bir özetidir ve şu konulardaki kanıtları sunmakta ve tartışmaktadır: Yeni KB ölçüm teknikleri ve sağladıkları ölçüm parametreleri, yeni cihaz ve teknolojilerin doğrulama ve güvenilirlik verileri, dijital teknolojileri kullanan izleme sistemleri, dijital tedavi müdahaleleri. Bu belgenin amacı, mevcut kılavuzlara sığmayacak kadar ayrıntılı bilgiler sunmaktır; zira bu yeni teknolojilerin çoğu henüz yeterince doğrulanmamış ve klinik kullanım için onaylanmamıştır. Belgenin hedefi, mevcut duruma ilişkin bir görüş birliği oluşturmaktır.

Belge şu başlıkları kapsamaktadır: KB ölçümü ve yeni teknolojiler, yeni KB cihazlarının doğruluk, güvenilirlik ve faydaları, yeni cihazlarla yapılan ölçümlerin kardiyovasküler risk, organ hasarı ve klinik sonuçlarla ilişkisi, güncel zorluklar ve gelecekteki teknolojilerin rolü, dijital müdahaleler.

### KAN BASINCI ÖLÇÜMÜ VE YENİ TEKNOLOJİLER

Geleneksel olarak, şişirilebilir manşon kullanan ve bir stetoskop (manuel oskültatuvar KB cihazı) ya da osiloskop (otomatik elektronik osilometrik KB ölçüm cihazı) ile arter içi basıncı ölçen cihazlar hem klinik içi hem de klinik dışı kullanımlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu cihazlar yalnızca aralıklı ölçüm yapabilir, kullanıcı tarafından başlatılması gerekir (manuel ölçüm) ya da önceden zamanlanmış şekilde ölçüm yapar (ör. AKBİ ya da gece EKBİ).

Yeni cihazlar ayrıca non-invaziv, rahatsızlık vermeyen ve ölçümü kolaylaştıracak şekilde tasarlanırlar. Manşonsuz cihazlara geçiş, KB ölçümünün kabul edilebilirliğini ve erişilebilirliğini artırmada büyük bir adımdır.

Yeni teknolojiler genellikle nabız dalga şekli ya da nabız dalgasının arteriyel sistem boyunca yayılma hızı gibi verilere odaklanır. Manşonsuz cihazların çoğunda, doğrudan arter basıncıyla ilgili bir kuvvet ölçülmez; bunun yerine, kan hacmi değişikliklerine (örneğin PPG – fotopletizmografi) ya da arteriyel sertliğe (ör. PTT – Pulse Transit Time: nabız iletim süresi, PAT – Pulse Arrival Time: nabız varış süresi) dayalı sinyallerden KB tahmini yapılır. Bu da hem doğruluk hem de kesinlik açısından ölçüm sürecini karmaşıklaştırır.

### Geleneksel Olmayan Manşon Tabanlı Teknikler

#### Manşonlu Bilek Tipi Cihazlar

Gündüz ve gece kan basıncı ölçümleri için iyi performans göstermektedir. Özellikle gece uykusunu minimum düzeyde etkilemesi nedeniyle uyku sırasında KB ölçümünde yararlı olabilir. Bu tür bilek cihazları, el sabitken ve bilek kalp hizasında olduğunda kabul edilebilir sonuçlar verir. Ancak elin pozisyonu, içe veya dışa dönüklüğü gibi değişkenler nedeniyle ölçüm

hatalarına açıktır. Bu nedenle, uyku kalitesini daha az etkilese de bilekten yapılan KB ölçümleri, kol hareketleri ve bilek ile kalp hizası arasındaki hidrostatik yükseklik farklarından dolayı hatalara açıktır.

### Vasküler Boşaltma Tekniği Kullanan Parmak Manşon Cihazları

Servo kontrollü (geri bildirim alarak kendini otomatik ayarlayan) vasküler boşaltma tekniği ile sürekli KB ölçümü yapılmasını sağlar. Yüzük boyutunda giyilebilir cihazlar geliştirilme aşamasındadır. Bu cihazlar dış kalibrasyon gerektirmeden kullanılabilir ve akut KB değişimlerinin izlenmesinde uygundur. Kesintisiz (beat-to-beat: atımdan atıma) kan basıncı ölçümü sağlar, klasik manşonlara göre daha konforlu ve gerçek zamanlı veri sunar. Ancak hipertansiyon tanısı ve kesin KB düzeylerinin tespitinde çok hassas olmadığından kullanımı sınırlıdır. Özellikle hareketle oluşan artefaktlara oldukça duyarlıdır

### Manşonsuz Teknikler

Bu cihazlar genellikle aşağıdaki teknolojilerden birini veya birkaçını bir arada kullanır:

- **PPG (fotopletismografi):** Nabız dalgasının optik sensörle ölçülmesi
- **PTT (Pulse Transit Time- nabız iletim süresi):** Nabız dalgasının merkezi bölgeden periferik bölgeye ulaşma süresi
- **PAT (Pulse Arrival Time- nabız varış süresi):** EKG'deki R dalgasıyla nabız dalgasının ölçüm yerine ulaşması arasındaki süre
- **Tonoarteriyografi:** Atardamar basınç dalgalarındaki salınımların tespit edilmesi
- **Elektrokardiyografi (EKG)**
- **Ballistokardiyografi:** Kalbin her kasılmasında vücutta oluşan hareketin ölçülmesi
- **Biyoempedans**
- **Seismokardiyografi:** Kalp kasılmasının oluşturduğu titreşimin ölçülmesi
- **Ultrason**

Bu cihazların çoğu, bireysel kalibrasyon gerektirir ve yapay zeka algoritmaları ile çalışır.

### Bileğe Takılan Manşonsuz Cihazlar

Pulse wave (nabız dalgası) analizine dayalı olarak çalışan manşonsuz bileklik cihazları yakın zamanda geliştirilmiştir. Bu cihazların gece uykusu sırasında KB değişimini izleme kapasitesinin sınırlı olduğu gösterilmiştir. Bileğin üst kısmından alınan PPG sinyalleriyle KB ölçen cihazlarda gereken kalibrasyon sıklığı, ölçüm doğruluğu ve sistematik sapma gibi sorunlar nedeniyle bu cihazların geliştirme süreci devam etmektedir. Bileğe takılan cihazlar (bazı akıllı saatler) PPG sinyalini bilekten aldıkları için, tasarıma bağlı olarak değişken kaliteye sahip olabilir.

### Akıllı Yüzükler

Parmağın ucundaki falanks bölgesinden alınan PPG sinyali daha güçlü ve sabittir. Bu nedenle parmağa sıkıca oturan akıllı yüzükler bileğe takılan cihazlara göre, hareket kaynaklı hatalara daha az duyarlıdır.

### Akıllı Telefonlarla Fotopletismografi (PPG) Kullanımı

Kullanıcı, parmağını kameraya yerleştirir ve flaş ışığı ile aydınlatılan parmakta nabız kaynaklı değişikliklerden PPG sinyali elde edilir. Uzun vadeli doğruluk değerlendirilmemiştir. Alternatif olarak, kameradan temassız PPG sinyali, yüz görüntüsü ile de elde edilebilir. Ancak bu metotla elde edilen KB ölçümleri, belirgin sistematik hatalar içermektedir.

### Akıllı Telefon ile Osilometrik Parmak Basıncı Yöntemi

Telefon ekranına farklı basınçlarla parmakla bastırılarak KB ölçümü yapılması hedeflenmektedir. Kullanıcı, parmağını basınca duyarlı ekrana farklı şiddetlerde bastırır ve elde edilen nabız dalgasına göre sistolik ve diyastolik KB tahmini yapılır. Alternatif olarak, ekran yerine bir basınç algılayıcı aparat da kullanılabilir.

### Ultrason ile KB Ölçümü

Ultrason teknolojisinde, damar çapındaki değişikliklerin nicel ölçümleri temel alınır. Ultrason kullanımı yaygındır ve aynı zamanda ultrason ile damar yapısına ilişkin diğer parametreler de değerlendirilebilir. Ancak ultrason, otomatik manşonlu cihazlara göre anlamlı bir kolaylık sağlamamakta veya kullanıcı konforunu artırmamaktadır.

### Sürekli Kan Basıncı İzleme

Sürekli KB izleme, International Organization for Standardization (ISO) 81060-3:2022 standardına göre, 30 saniyeden daha kısa aralıklarla KB çıktısı sağlayan sistemler olarak tanımlanır. Buna karşılık, 30 saniyeden uzun aralıklarla ölçüm yapan sistemler kesintili (intermittent) kabul edilir.

Non-invaziv sürekli KB ölçüm yöntemleri arasında tonometri, hacim klemp (volume clamp) ve PAT/ PTT/ nabız dalga hızı (pulse wave velocity) tabanlı yaklaşımlar yer alır. Bu yöntemler, arteriyel nabız dalga formunun sürekli kaydına olanak tanır ve her kalp atımındaki değişiklikleri (beat-to-beat) tespit edebilir. Ancak, bu cihazların günlük yaşamda kullanımı hala bazı zorluklar içermektedir. Bunlar arasında kullanılabilirlik, rahatsızlık hissi ve sık kalibrasyon gerekliliği yer alır. Bu nedenle,

günümüzde bu teknolojiler genellikle yoğun bakım ünitesi (YBU) gibi hızlı KB değişimlerinin kritik olduğu ortamlarda veya anestezi sırasında kullanılmaktadır.

İnvaziv intra- arteriyel KB ölçümü, bu tür teknolojiler için referans yöntemdir. Ayrıca, sürekli KB izleme, obstrüktif uyku apnesi veya gece bacak hareketleri olan hastalarda uykudaki hızlı KB değişimlerini saptamak için faydalı olabilir. Bu tür değişiklikler, düşük örneklemme hızına sahip kesintili yöntemlerle tespit edilemez.

### Özelleşmiş Özelliklere Sahip Yeni KB İzleme Cihazları

Yeni nesil KB izleme cihazları, yalnızca KB ölçümünün ötesinde çoklu sensör özellikleri içerebilir. Bu cihazlar; oksijen satürasyonu, vücut sıcaklığı, nem, barometrik basınç gibi biyolojik, fiziksel veya çevresel verileri de sağlayabilir. Ayrıca, belirli zamanlarda otomatik olarak devreye girerek gece ölçümü yapabilen ev tipi cihazlar da geliştirilmiştir.

Temel Noktalar

- İdeal manşonsuz giyilebilir KB cihazı, 24 saat boyunca sürekli ölçüm yapabilmelidir.
- Yeni manşonsuz KB cihazları non-invaziv ve kullanıcı açısından rahatsızlık vermeyen nitelikte olmalıdır.
- Manşonsuz cihazlara geçiş, KB ölçümünün kabul görmesi ve erişilebilirliğinin artmasında büyük bir adımdır.
- Bu cihazlar genellikle, kan hacmindeki değişikliklerle ilişkili sinyallerden KB tahmini yapar.
- Klinik uygulamada sürekli KB izleme cihazlarının kullanımı halen kullanıcı dostu olmama, rahatsızlık ve kalibrasyon sıklığı gibi sorunlar içermektedir.
- Çoklu sensörlü cihazlar ayrıca oksijen satürasyonu ve çevresel koşullar gibi parametreleri de ölçebilir.

### YENİ KAN BASINCI ÖLÇÜM CİHAZLARININ DOĞRULANMASI

Hipertansiyonun tanı ve tedavisinde kullanılan otomatik manşonlu KB cihazlarının doğrulanması konusunda uluslararası bir uzlaşma mevcuttur. 2018 yılında AAMI (Association for the Advancement of Medical Instrumentation), ESH (Avrupa Hipertansiyon Derneği) ve ISO, küresel geçerliliğe sahip AAMI-ESH-ISO Evrensel Standardı'nı (ISO 81060-2:2018) yayımlamıştır.

Bu standarda göre:

- Doğrulama çalışması en az 85 birey üzerinde yapılmalıdır.
- Referans ölçüm, iki gözlemcinin yaptığı manuel oskültatuvar KB ölçümüdür.
- Yeni cihaz, aşağıdaki kriterleri karşılamalıdır:

Kriter 1: 255 ölçümde test ve referans ölçümleri arasındaki ortalama fark  $\leq 5 \pm 8$  mmHg

Kriter 2: 85 bireyde bireysel farkların standart sapması, ortalama farkın kabul edilebilir sınırlarında olmalıdır.

Özel popülasyonlar (ör. çocuklar, gebeler) için daha küçük ölçekli ek doğrulama çalışmaları gereklidir. Geniş kol çevresi (>42 cm) olan bireyler ve atriyal fibrilasyon hastaları için doğrulama kriterleri halen ISO komitelerince geliştirilmektedir.

Manşonsuz KB cihazlarının zamanla KB değişikliklerini izleme kapasitesi, ölçüm doğruluğu kadar önemlidir. Sürekli manşonsuz BP ölçüm cihazları ( $\leq 30$  saniyede bir çıktı verir), referans olarak intraarteriyel BP ölçümünü gerektirir. Aralıklı manşonsuz BP ölçüm cihazları (>30 saniyede bir çıktı verir) genellikle kullanılmadan önce bireysel kullanıcı için kalibre edilmelidir; bu da klasik bir manşonlu BP ölçümünün ve/veya demografik bilgilerin girilmesiyle sağlanır. Ayrıca, cihazlar çoğunlukla kalp hizasında kullanılmadığında ölçüm hataları ortaya çıkabilir; bu da hidrostatik basınç farklılıklarından kaynaklanır ve ölçüm doğruluğunu etkileyebilir. Kalibrasyonun zamanla geçerliliğini yitirmesi nedeniyle yeniden kalibrasyon da gerekebilir.

Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü ve ESH, 2023 yılında manşonsuz KB cihazları için özel doğrulama protokolleri geliştirmiştir. ISO, şu anda kesintili manşonsuz KB ölçüm cihazları için özel olarak tasarlanmış yeni bir standardın geliştirilme sürecindedir. ESH protokolü, manşonsuz cihazlar için 6 ayrı doğrulama testi önerir. Hangi testlerin uygulanacağı, cihazın türüne ve kullanım şekline göre belirlenir.

### YENİ KAN BASINCI CİHAZLARININ GÜVENİRLİĞİ VE KLİNİK KULLANIM DEĞERİ

Bir cihazın klinik kararlar açısından faydalı sayılabilmesi için üç temel kriteri karşılaması gerekir:

- **Doğruluk (accuracy):** Doğruluk yalnızca KB ölçümünü değil, sonuçları öngörebilme kabiliyetini de kapsar.
- **Kullanılabilirlik ve kabul edilebilirlik:** Cihazların kullanım kolaylığı, hastalar ile sağlık çalışanları tarafından kabul görmesi gerekir. Ayrıca klinik pratikte katkı sağlayıp sağlamayacağı da belirlenmelidir.
- **Güvenirlilik (reliability):** Ölçümlerin tekrar edilebilirliğini (precise) kapsar.

Eğer bir cihazın amacı hipertansiyonun klinik takibi ise, referans olarak manşonlu ölçüm değerleri kullanılmalıdır. Çünkü mevcut klinik uygulamalarda tanı, tedavi ve takip süreci bu verilere dayanmaktadır ve bu yöntemlerle güçlü sonuç verileri elde edilmiştir.

Bazı yeni manşonsuz KB cihazları, FDA (ABD Gıda ve İlaç Dairesi) veya CE (Conformité Européenne- Avrupa'ya uygunluk) işareti gibi düzenleyici kurumlardan resmi onay almıştır. Ancak bu tür onaylar genellikle cihazın güvenliğine odaklıdır ve

Klinik kullanımda gerekli doğruluk seviyesi için yeterli kanıt sağlamaz.

## **KARDİOVASKÜLER RİSK, ORGAN HASARI VE KLİNİK SONUÇLARLA İLİŞKİ**

Klinik, ambulatuvar ve ev kan basıncı ölçümleri, hipertansiyonun kanıta dayalı yönetiminde temel oluşturmaktadır. Ancak yeni nesil KB teknolojileri, dijital hipertansiyon döneminde daha fazla rol üstlenmeye başlamış ve risk değerlendirmesi ile tedavi izlemi açısından ek değer sağlayabilecek potansiyele ulaşmıştır. Giyilebilir cihazlarla elde edilen KB ölçümleri, hala aralıklı olmakla birlikte, hipertansiyona bağlı organ hasarıyla değişen derecelerde ilişki göstermiştir. Bununla birlikte, nabız hızı, oksijen satürasyonu, solunum hızı, manşonsuz sistolik ve diyastolik kan basıncı, vücut sıcaklığı, kalbin pompaladığı kan miktarı (inme hacmi), kalp debisi ve damar direnci gibi birden fazla biyolojik veri birlikte değerlendirildiğinde, manşonsuz cihazlar arteriyel sertlik ve genel sağlık durumu hakkında daha doğru risk skorları üretebilir. Ancak bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Tonometri tabanlı nabız dalga analizi, atımdan atıma KB izleme için bir diğer olası tekniktir. Bu yöntem, gece boyunca birkaç saniye içinde oluşan nabız dalgası artışlarını saptayabilir. Geceleyin birkaç saniyelik nabız dalgası artışlarının, sol ventrikül hipertrofisi ve arteriyel sertlik ile ilişkili olduğu gösterilmiştir, ancak karıştırıcı değişkenlerin etkisi tamamen dışlanamaz.

Japonya'da yapılan büyük bir çalışmada (n=2545) gece saatlerinde evde otomatik tansiyon cihazıyla yapılan ölçümlerle özellikle gece tansiyonundaki yüksekliğin, gündüz tansiyon değerleri normal olsa bile kardiyovasküler olay ve inme riskini arttırdığı gösterilmiştir. Bu bulgular, özellikle gece saatlerinde evde yapılan ölçümlerin, kalp-damar hastalıklarını öngörmeye çok değerli olabileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak yeni gelişen kan basıncı (KB) ölçüm teknolojileri, risk değerlendirmesi ve tedavi takibine ek katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Bu katkının bir nedeni, bu cihazların kan basıncına ek olarak kalp atış hızı, oksijen doygunluğu, kalp debisi ve vücut ısısı gibi birçok biyolojik veriyi aynı anda toplayıp entegre edebilme yeteneğidir. Giyilebilir KB ölçüm cihazları, tansiyonu günlük yaşamın farklı koşullarında ölçme imkânı sunar. Ancak, manşonsuz cihazların klinik faydaları ve ek risk öngörme yetenekleri hakkında bilgi hâlâ çok sınırlıdır; bu konu araştırmaların henüz başlangıç aşamasındadır.

## **ZORLUKLAR VE GELECEK TEKNOLOJİLERİNİN ROLÜ**

### **Kan Basıncı Ölçümünde Güncel Klinik Zorluklar**

Kan basıncı ölçüm cihazlarının klinik kullanımdan önce mutlaka bilimsel olarak doğrulanması gerekmektedir. Doğrulama yapıldıktan sonra da cihazların belirli aralıklarla kalibre edilmesi gerekir. Bu kalibrasyonlar, cihazın manşon basıncının gerçek kan basıncı değerlerini doğru şekilde yansıtmaya devam edip etmediğini kontrol etmek için önemlidir.

Geleneksel oskülatuvar (dinlemeye dayalı) yöntemin de bazı önemli sınırlamaları vardır. Stetoskopun yanlış yerleştirilmesi, gözlemcinin belirli rakamları tercih etmesi, manşonun çok hızlı indirilmesi, gözlemcinin önyargısı veya işitme sorunları gibi faktörler ölçüm sonuçlarını etkileyebilir. Ayrıca, manşonun kol çevresine uygun olmaması da ölçüm doğruluğunu ciddi şekilde bozar. Özellikle hastanın koluna göre küçük manşon kullanıldığında, sistolik kan basıncı değeri olduğundan yaklaşık 20 mmHg daha yüksek ölçülebilir.

Osilometrik (titreşim temelli) cihazların da teknik sınırlamaları mevcuttur. Bu cihazlarda oluşan titreşimlerin genliği genellikle zayıftır. Bu durum, kişinin üzerinde kıyafet olması, konuşması, nefes alması veya hareket etmesi gibi günlük durumların ölçüm doğruluğunu kolayca bozmasına neden olabilir. Ayrıca, kalbin düzenli atmadığı durumlarda (örneğin atriyal fibrilasyon gibi ritim bozukluklarında) osilasyonlar düzensizleştiği için cihazın verdiği kan basıncı değerleri hatalı olabilir. Özellikle atriyal fibrilasyonu olan ve kalp atım hızı yüksek bireylerde, sistolik kan basıncı değeri 5 mmHg'ye kadar düşük ölçülebilir.

Son olarak, bu tür ritim bozukluklarına sahip hastalar için kullanılan osilometrik cihazlarda yer alan algoritmalar yeterince test edilmemiştir. Bu nedenle, bu özel durumlar için evrensel olarak kabul edilmiş bir doğrulama standardı da henüz bulunmamaktadır.

Osilometrik tabanlı cihazlarla yapılan klinik dışı kan basıncı (KB) izleme, beyaz önlük hipertansiyonu veya maskeli hipertansiyon gibi durumları dışlamak ve tedaviye başlama ya da doz artırımı süreçlerini izlemek için önerilmektedir. Ancak, mevcut kan basıncı cihazları yalnızca aralıklı (intermittent) veri sağlayabilmektedir. Bu durum, kan basıncı düzeyinin yanlış sınıflandırılmasına veya hatalı yorumlanmasına neden olabilmektedir.

### **Yeni Nesil Kan Basıncı (KB) Ölçüm Cihazlarının Olası Faydaları**

Yeni kan basıncı ölçüm cihazları, klasik manşonlu yöntemlerin eksiklerini kapatabilir. Bu sayede tansiyon sürekli izlenebilir, tansiyon profilleri daha ayrıntılı çıkarılabilir ve hipertansiyonun klinik sonuçları daha iyi gözlemlenebilir. Giyilebilir manşonlu veya manşonsuz cihazlar; geniş kolu olan, atriyal fibrilasyonu olan veya çok yüksek/düşük tansiyona sahip kişilerde daha doğru sonuç verebilir. Beyaz önlük ve maskeli hipertansiyonu daha iyi tespit edebilir Yeni nesil cihazlar, fizyolojik değişikliklere (örneğin oksijen düşüklüğü veya hareket) göre otomatik ölçüm başlatarak gece tansiyonu tiplerinin daha doğru analizini sağlayabilir.

### **Yeni Kan Basıncı (KB) Ölçüm Cihazları için Zorluklar**

Yeni teknolojilerden tekrarlanabilir KB verileri sunmasını beklememek gerekir. Çünkü KB'nin kendisi (nabız dalgası genliğinin

fizyolojik bir özelliği olarak) oldukça değişken bir parametredir. Ancak bu durum, yeni teknolojilerin sağladığı verilerin klinik olarak nasıl yorumlanacağı konusunda bir zorluk yaratmaktadır. Bu cihazların klinik uygulamalardaki rolü, etkinliği ve verimliliğiyle ilgili yeterli veri bulunmamaktadır. Gerçekte günlük aktiviteler sırasında elde edilen KB değerlerinin klinik olarak nasıl yorumlanacağı da çözülmesi gereken önemli bir konudur. Ancak şu anda, giyilebilir cihazlar aracılığıyla günlük yaşamın oldukça değişken koşullarında elde edilen KB değerlerini “normal” ya da “yüksek” olarak sınıflandırmaya olanak tanıyacak geçerli bir bilimsel veri bulunmamaktadır. Yaş, etnik köken ve klinik özelliklere göre farklı hasta gruplarında yeni cihazların kullanımına dair yeterli doğrulama verisi de mevcut değildir.

Yeni nesil kan basıncı ölçüm cihazlarının yaygın klinik kullanımı önünde çeşitli teknik, insan kaynaklı ve sistemsel zorluklar bulunmaktadır. **Teknik zorluklar arasında**, cihazların düzenli olarak tekrarlanan kalibrasyon ihtiyacı, bazı cihazların tescilli yazılım veya kodlama sistemlerine sahip olması, cihazların sınırlı veri saklama kapasitesine sahip olması gibi durumlar gösterilebilir. **İnsan kaynaklı zorluklar** olarak; kullanıcılarda zamanla oluşabilecek uyarı yorgunluğu, cihazın verdiği sık ve bazen hatalı uyarıların dikkate alınmamasına yol açabilir. Ayrıca, yanlış pozitif uyarılar, gereksiz yere hasta ve doktor arasında iletişim kurulmasına neden olabilir. Ölçümlerin sıklaşması, hastalarda aşırı kaygıya yol açabilir. Bunun yanında, yeni cihazlara karşı güven eksikliği veya henüz doğrulanmamış cihazlara gereksiz güven duyulması da klinik kararları olumsuz etkileyebilir. **Sistemsel zorluklar** ise daha çok sağlık altyapısını ilgilendirir. Özellikle karmaşık düzenleyici onay süreçleri ve geri ödeme sistemlerinin yetersizliği, bu cihazların yaygın şekilde kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda, birçok cihazın elektronik sağlık kayıt sistemleriyle entegre çalışmaması, verilerin sağlık hizmeti sağlayıcıları tarafından etkili şekilde kullanılmasını engellemektedir.

## DİJİTAL MÜDAHALELER

Dijital müdahaleler, genellikle web tabanlı ya da mobil uygulamalara dayalıdır. Bu müdahaleler, sağlık bilgilerini uzaktan izleme ve karar destek sistemleriyle birleştirerek, hipertansiyon ve/veya diğer hastalıkları olan bireylerde davranış değişikliği yaratmayı amaçlar.

### Etkililik

Meta-analizler, dijital müdahalelerin sistolik ve diyastolik tansiyonu düşürdüğünü, yaşam tarzı değişikliklerini teşvik ettiğini ve ilaç uyumunu artırdığını, uygulanma biçiminden bağımsız olarak göstermiştir.

### Bakım Sunumu

Mobil uygulamalar, sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltabilir, hipertansiyonun bireysel yönetimini ve ilaç uyumunu artırabilir ve sürekli hasta desteği sağlayarak maliyet etkin sağlık hizmeti sunabilir. Bu, özellikle tedavisi zor hipertansiyonu olan bireyler, yüksek riskli hastalar ve ilaç uyumsuzluğu yaşayanlar için önemlidir. Dijital müdahalelere katılımda; kültürel, yaşa ve eğitime bağlı faktörler, elektrik ve internet erişimi, donanım yeterliliği, dijital okuryazarlık, sağlık altyapısı ve geri ödeme sistemleri gibi çok sayıda engel vardır.

### Bakımın Geliştirilmesi

Giyilebilir cihazlar ve yapay zeka destekli dijital müdahaleler, tansiyon ve diğer fizyolojik verileri toplayarak kişiselleştirilmiş hipertansiyon olanağı sağlayabilir. Bu sistemler, hipertansiyonun erken tanısı, tedavi seçimi ve risk tahmini için büyük veri analizlerini kullanır. Henüz erken aşamada olsa da, umut vaat etmektedir.

## PERSPEKTİFLER VE SONUÇLAR

Teknolojideki gelişmeler, son yüzyılda kan basıncı (KB) izleme uygulamalarında önemli iyileşmeler sağlamıştır. Birçok uygun fiyatlı ev tipi kan basıncı izleme (HBPM) cihazı Bluetooth veya Wi-Fi teknolojisiyle donatılmıştır ve kullanıcıların ölçüm cihazından mobil cihazlarına özel bir uygulama üzerinden KB verilerini sorunsuz bir şekilde aktarmasına olanak tanımaktadır. İnternet ve bulut bilişim teknolojileri, ev dışı KB ölçümlerinin çevrim içi olarak hekimlere iletilmesini veya mevcut elektronik sağlık kayıt sistemlerine entegrasyonunu mümkün kılmaktadır. KB ölçüm teknolojilerinin yaygın olarak kullanımında var olan zorluklar arasında sensör doğruluğu, ICT sistemlerinin sağlamlığı, veri gizliliği ve korunması, kullanıcıların dijital yeterliliği, farklı etnik gruplar ve bölgelerden elde edilecek veri ihtiyacı ve teknoloji ile internet erişimine yaygın ulaşım yer almaktadır. Mevcut cihazlar henüz gelişimin görece erken aşamalarında. Yeni teknolojilerle elde edilen KB ölçümlerinin prognostik (önceden tahmin edici) değerini değerlendiren çalışmalara da ihtiyaç vardır. Bu zorluklara rağmen, yeni KB ölçüm teknolojilerinin gelecekte hipertansiyon tanı ve yönetim stratejilerinde önemli bir rol oynaması mümkündür.