

IDUHeS, 2025; 8(2): 123-137

Doi: 10.52538/duhes.1740021

Araştırma Makalesi – Research Paper

MARBES DENGİ CİHAZI İLE HUZUREVİNDE YAŞAYAN YAŞLI BİREYLERDE DÜŞME RİSKİNİN BELİRLENMESİ: ROC ANALİZİNE DAYALI BİR PİLOT ÇALIŞMA**IDENTIFICATION OF FALL RISK IN OLDER ADULTS LIVING IN A NURSING HOME USING THE MARBES BALANCE SYSTEM: A PILOT STUDY BASED ON ROC ANALYSIS**Canan GÜNAY YAZICI^{1,2}, Tuğba KURU ÇOLAK², Zübeyir SARI²**Özet**

Bu pilot çalışmanın amacı, huzurevinde yaşayan yaşlı bireylerde MarBES (Marmara Balance and Education System) denge cihazı kullanılarak ölçülen merkez basınç (Center of Pressure, COP) salınım mesafesinin düşme riskini öngörmedeki etkinliğini değerlendirmek ve ROC analizi aracılığıyla bu parametrelerin duyarlılık, özgüllük ve ayırt edicilik düzeylerini incelemektir. Çalışmaya huzurevinde yaşayan toplam 72 yaşlı birey katıldı. Katılımcıların düşme riski düzeyleri; Zamanlı Kalk Yürü Testi (ZKYT), Berg Denge Ölçeği (BDÖ) ve yürüyüş hızı değerlendirmeleri temel alınarak belirlendi ve son 12 ay içinde düşme öyküsü olan bireyler Yüksek Riskli Düşme Grubu (YRDG; n=36), düşme öyküsü olmayan ve belirgin denge bozukluğu bulunmayanlar ise Düşük Riskli Düşme Grubu (DRDG; n=36) şeklinde sınıflandırıldı. COP salınımları MarBES denge cihazı ile çift ayak ve tek ayak duruş pozisyonlarında, gözler açık ve kapalı koşullar altında ölçüldü. COP X ve COP Y yönündeki salınım mesafeleri analiz edilerek ROC eğrileri üzerinden sınıflandırma başarıları değerlendirildi. En yüksek ayırt edicilik gücü, sol tek ayak duruş ve gözler kapalı koşulunda COP Y salınım mesafesi ile elde edildi (AUC = 0,853, p <0,001). Genel olarak, zorlu postüral koşullarda (örneğin gözler kapalı ve tek ayak duruş) COP parametrelerinin ayırt edicilik düzeyleri anlamlı şekilde artarken, daha basit duruş pozisyonlarında (örneğin gözler açık ve çift ayak duruş) bu değerlerin daha düşük olduğu bulundu (AUC = 0,663). Bu pilot çalışmada, COP salınım mesafesinin özellikle zorlu denge koşullarında düşme riskini ayırt etmede etkili olabileceğini göstermektedir. MarBES denge cihazı gibi taşınabilir ve düşük maliyetli sistemlerle yapılan bu tür ölçümler, huzurevi gibi uzun süreli bakım ortamlarında düşme riskine yönelik erken tanı ve müdahale stratejilerinde önemli katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Denge, Düşme, Huzurevi, Teknoloji Değerlendirmesi, Yaşlı**Abstract**

This pilot study aimed to assess the effectiveness of center of pressure (COP) sway distance, measured with the MarBES (Marmara Balance and Education System), in predicting fall risk among older adults living in a nursing home. A total of 72 participants were evaluated and classified into two groups based on the Timed Up and Go test, Berg Balance Scale, and gait speed: High Fall Risk Group (HFRG; n=36, with falls in the past 12 months) and Low Fall Risk Group (LFRG; n=36, no falls or balance issues). COP sway measurements were performed using the MarBES under double-leg and single-leg stance conditions, with both eyes open and eyes closed. Sway distances in the mediolateral (X) and anteroposterior (Y) directions were analyzed using Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis. The highest discriminative power was observed in the eyes-closed, left single-leg stance for COP Y sway distance (AUC = 0.853, p <0.001). Overall, more challenging postural tasks yielded stronger discrimination between fallers and non-fallers, while simpler tasks showed lower AUC values (e.g., AUC = 0.663 in double-leg, eyes-open stance). This pilot study suggests that COP sway distance may serve as an effective tool for identifying fall risk, particularly under challenging balance conditions. Measurements obtained with portable and cost-effective systems, such as the MarBES balance device, may provide practical and objective data for the early identification of fall risk and the implementation of preventive strategies in long-term care environments, like nursing homes.

Keywords: Balance, Elderly, Fall, Nursing Home, Technology Assessment

Geliş Tarihi (Received Date): 11.07.2025, Kabul Tarihi (Accepted Date): 31.07.2025, Basım Tarihi (Published Date): 30.09.2025. ¹ Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, ² Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İstanbul, Türkiye. **E-mail:** gunay.canan@marmara.edu.tr **ORCID ID's:** C.G.Y.; <https://orcid.org/0000-0002-4224-4375>, T.K.Ç.; <https://orcid.org/0000-0002-3263-2278>, Z.S.; <https://orcid.org/0000-0003-1643-5415>

1. GİRİŞ

Düşmeler, dünya genelinde yaşlı yetişkinler arasında en yaygın ve önlenebilir morbidite ve mortalite nedenleri arasındadır (1). Dünya Sağlık Örgütü'nün raporuna göre, her yıl 65 yaş ve üzerindeki bireylerin yaklaşık %28 ila %35'i düşme yaşamakta ve bu oran yaş ilerledikçe artış göstermektedir (2). Özellikle 80 yaş üzerindeki bireylerde düşme sıklığı yüzde 40'lara ulaşmakta ve düşmeler, yaşlılarda en sık karşılaşılan yaralanma nedenlerinden biri olmaktadır (3). Huzurevlerinde yaşayan bireyler, toplumda yaşayan bireylere kıyasla neredeyse iki kat daha fazla düşme yaşamaktadır. Huzurevlerinde yaşayan bireylerin yaklaşık %30-50'si her yıl düşmekte ve bunların %40'ı tekrarlayan düşmeler yaşamaktadır (2).

Düşmeler yaşlı nüfusta önemli bir sorundur ve yaşa bağlı fizyolojik değişikliklerin, birden fazla içsel ve dışsal risk faktörüyle birleşmesi sonucu ortaya çıkar. Yaşlı yetişkinler arasında başlıca değiştirilebilir risk faktörleri arasında yürüyüş ve denge bozuklukları, ortostatik hipotansiyon, duyuusal bozukluk, ilaçlar ve çevresel tehlikeler yer alır (1). Denge bozukluğu düşme riskinde önemli bir rol oynar ve yaşlı nüfusta yaygınlığı nispeten yüksektir ve yaşla birlikte artmaktadır. 65 yaş ve üzeri yetişkinlerin yaklaşık %30'u hayatlarının bir noktasında denge sorunları yaşamaktadır (4). 75 yaş üstü kişilerde denge bozukluğu oranları daha yüksektir. Yaşlı popülasyonda en sık görülen denge bozuklukları arasında yaşa bağlı denge ve duruş stabilitesinin azalması yer almaktadır (5). Yaşlı yetişkinlerde denge bozuklukları; görme, vestibüler ve somatosensoriyel sistemler gibi duyuusal sistemlerdeki yaşa bağlı değişiklikler, kas-iskelet sisteminde kayıplar, eklem hareketliliğinde ve kemik yoğunluğunda değişiklikler, bilişsel faktörler ve altta yatan tıbbi durumlar dahil olmak üzere birden fazla faktörden etkilenebilir (4, 6). Denge bozukluklarının mekanizmalarını anlamak, erken tespiti ve müdahalesinin düşmeleri önleme, hareketliliği geliştirme, yaşam kalitesini iyileştirme, sağlık hizmeti maliyetlerini azaltma ve altta yatan durumları belirleme ve tedavi etme dahil olmak üzere birçok faydası vardır (1, 7).

Bir bireyin denge yeteneğini değerlendirmek, olası denge eksikliklerini belirlemek ve müdahale sırasında ilerlemeyi izlemek amacıyla çeşitli klinik ve laboratuvar yöntemleri geliştirilmiştir (8). Bunlar arasında Berg Denge Ölçeği (BDÖ), Zamanlı Kalk Yürü Testi (ZKYT), Kısa Fiziksel Performans Bataryası (KFPB), Tinetti Performansa Yönelik Hareketlilik Değerlendirmesi (POMA) ve Tek Ayak Üzerinde Durma Testi (TADT) gibi çeşitli denge değerlendirme testleri yer almaktadır (9). Ancak bu klinik testlerin sonuçları öznel ve bireylerin denge değişimindeki küçük farklılıkları ölçmek için yeterli duyarlılığa sahip değildir. Benzer şekilde bu testlerin yaşlı bireylerin düşme riskinin belirlenmesinde kanıtların tutarsız olduğu ve tek başlarına düşmeyi belirlemede etkin olmadığı bildirilmiştir (10). Bu durumların üstesinden gelmek için 20. yüzyılın ortalarında araştırmacılar gelişmiş denge değerlendirme araçları ve yöntemleri geliştirmeye başladılar. Bunlar arasında, denge tahtaları (Wii-Balance Board vb.), kuvvet platformları ve bilgisayarlı dinamik postürografi sistemleri yer almaktadır. Bu araçlar denge için daha nicel ve nesnel ölçümlere olanak tanıyarak yaşlanmayla birlikte oluşan belirli değişikliklerin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır (4, 11).

Kuvvet platformları ve basınç sensörleri ayakta durma veya dinamik hareket sırasında dengeğin ayakları altında oluşan yer reaksiyon kuvvetlerinin uygulama noktasını izleyerek basınç merkezinin (Center of pressure (COP)) ön-arka (anteroposterior (AP)) ve sağ-sol (mediolateral (ML)) yöndeki yer değiştirmesini analiz ederek postüral stabilite ve denge kontrolü hakkında ayrıntılı bilgi sağlar (12, 13).

Birçok çalışmada kuvvet platformları ile ölçülen COP parametrelerinin toplum içinde yaşayan sağlıklı yaşlı insanların düşme riskini belirlemede etkili olduğu gösterilmiştir (12, 14-

17). Özellikle artmış ML yöndeki COP hareketi ile daha yüksek düşme riski arasındaki ilişki birçok çalışmada gösterilmiştir (18-20). Pajala ve ark. yaptıkları çalışmada ise artmış AP yöndeki COP hareketinin düşmeleri öngördüğünü belirtmiştir (16). Johansson ve ark. yaptıkları çalışmada COP'nin denge sınırlarında yer değiştirmesi ile düşme sıklığı arasında bir korelasyon olduğunu ve düşme riskini belirlemede dinamik dengeyi değerlendirmenin önemli olduğunu vurgulamaktadır (21). Kuvvet platformları yaygın olarak kullanılmakla birlikte, birçoğu yalnızca laboratuvar ortamlarında kullanılabilmekte, taşınabilir olmamaları ve yüksek maliyetleri nedeniyle farklı ortamlarda kullanımları sınırlı kalmaktadır. Bu gibi durumların üstesinden gelmek için Marmara Üniversitesi araştırmacıları tarafından denge fonksiyonunu nesnel olarak değerlendirebilen ve denge koordinasyon eğitimi sağlayabilen taşınabilir ve uygun maliyetli bir kuvvet platformu tabanlı MarBES denge cihazı geliştirildi. Bu pilot çalışmanın amacı, MarBES denge cihazından elde edilen COP salınım mesafesi ile huzurevinde yaşayan yaşlı bireylerin denge stabilitesini değerlendirmek ve düşme riskinin belirlenmesinde kesme puanlarının belirlenmesidir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, huzurevinde yaşayan yaşlı yetişkinlerde düşme riskinin belirlenmesi ve denge satbiltesinin değerlendirilmesine yönelik kesitsel bir çalışmadır. Çalışma Ocak 2024-Haziran 2024 tarihleri arasında Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, İstanbul Valiliği Aile ve Sosyal Hizmetler İl Müdürlüğü'ne bağlı huzurevi ve yaşlı bakım merkezlerinde yaşayan sağlıklı yaşlı bireyler ile gerçekleştirildi. Çalışmaya katılmayı kabul eden yaşlı bireylerden değerlendirmeden önce yazılı bilgilendirilmiş onam alındı. Çalışma protokolü Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu tarafından 09.2023.797 protokol kodu ile onaylandı ve Helsinki Deklarasyonu ilkelerine uygun olarak yürütüldü. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, 20.05.2022 tarih ve E-68869993-511.06-762195 sayılı kararıyla MarBES denge cihazının araştırmalarda kullanılmasını uygun buldu.

2.1. Katılımcılar

Çalışmaya 65 yaş ve üstü olan, yürüme yardımcıları olmadan en az 10 metre bağımsız olarak yürüyebilen, bağımsız ve desteksiz ayakta durabilen, Mini-Mental Durum Testi (MMDT) ≥ 24 puan alan bireyler dahil edildi (22). Ciddi görsel ve işitme problemi olan, ciddi nörolojik bozukluğu olan (inme, Parkinson vb.), majör kas-iskelet sistemi bozukluğu olan, kardiyovasküler rahatsızlığı olan (aritmî, taşikardi, kalp pili vb.), kronik akciğer hastalığı olan, son 6 ayda kalça-diz ameliyatı geçiren ve/veya kırık öyküsü olan bireyler çalışmadan hariç tutuldu.

Çalışmaya katılmaya gönüllü olan yaşlı bireyler son 12 ay içinde yaşadıkları düşme olaylarına göre sınıflandırıldı. Bir ve daha fazla düşme olayı yaşayan bireyler "Yüksek Riskli Düşme Grubu (YRDG)" ve düşme olayı yaşamayan ancak klinik test sonuçlarına göre denge ve fonksiyon kaybı yaşayan bireyler "Düşük Riskli Düşme Grubu (DRDG)" olarak iki gruba ayrıldı.

Düşme gruplarının özellikleri:

- YRDG: Son 12 ay içerisinde bir ya da daha fazla düşen bireylerden oluşmaktadır.
- DRDG: Son 12 ay içerisinde düşme öyküsü bulunmayan ve aşağıda belirtilen denge ile fiziksel performans göstergelerinden en az birinde denge bozukluğu saptanmayan bireylerden oluşmaktadır. Bu kriterler şu şekildedir:

Berg Denge Ölçeği (BDÖ) puanının 48'in üzerinde olması,

Zamanlı Kalk-Yürü Testi (ZKYT) süresinin 15 saniyenin altında olması, Yürüyüş hızının 0,8 m/s'nin üzerinde olması.

Bu eşik değerlerin üzerinde/altında olması, bireyde belirgin bir denge sorunu bulunmadığını göstermektedir (3).

2.2. Çalışma prosedürü

2.2.1. Çalışma verilerinin toplanması

Çalışma için ilk görüşmede katılımcıların sosyodemografik verileri (yaş, cinsiyet, eğitim vb.), antropometrik verileri (boy, kilo ve vücut kütle indeksi (VKİ)) ve klinik verileri (MMDT, komorbiditeler vb.), kaydedildi. İkinci görüşmede, düşme risk gruplarının belirlenmesi için tüm katılımcılara klinik testler olan ZKYT, BDÖ ve yürüyüş hızı değerlendirmesi yapıldı. Her bir test arasında yorgunluk oluşumunu önlemek için katılımcılara on dakika dinlenme arası verildi. Üçüncü görüşmede, MarBES denge testleri uygulandı yorgunluk oluşumu önlemek için her bir test arasında beş dakika dinlenme zamanı verildi. Tüm klinik ve MarBES denge ölçümleri aynı araştırmacı tarafından (CGY) aynı huzurevinde yapıldı.

2.2.2. Klinik temelli değerlendirmeler

2.2.2.1. Zamanlı kalk yürü test: ZKYT kişinin sandalyeden kalkması, 3 metre mesafeyi rahat yürüme hızında yürümesi, dönmesi, sandalyeye geri dönmesi ve yeniden oturması için geçen süreyi (saniye cinsinden) ölçer. Bu test, yaşlılarda günlük yaşamın temel aktivitelerini yerine getirmek için gerekli olacak denge, yürüyüş hızı ve fonksiyonel yeteneği incelemek için geriatri tıbbında yaygın olarak kullanılmaktadır (23). Düşme riskinin belirlenmesinde kullanılan kesme puanı ≤ 15 saniyedir (3).

2.2.2.2. Berg denge ölçeği: Bu ölçüm aracı hem statik hem de dinamik denge kapasitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. BDÖ, oturma, ayakta durma, gövdeyi döndürme ve öne uzanma gibi yaygın günlük aktiviteleri değerlendirir. Her madde için minimum puan 0 (görevi yapamaz) ile 4 (görevi bağımsız olarak gerçekleştirebilir) arasında değişmekte olup, maksimum puan 56'dır (24). 0-20 arası bir puan denge bozukluğunu, 21-40 arası kabul edilebilir dengeyi ve 41-56 arası iyi dengeyi gösterir (25). Bu ölçeğin düşenleri ve düşmeyenleri ayırt etmede kesme puanının 48, duyarlılığı 0,548 (%95 CI; 0,548-0,360) ve özgüllüğü 0,944 (%95 CI; 0,727-0,998) olarak belirlenmiştir (26).

2.2.2.3. Yürüyüş hızı: Yaşlıların işlevsel durumlarını ve sağlık durumlarını değerlendirmek ve izlemek için geçerli, güvenilir ve hassas bir ölçü olarak kabul edilmektedir (27). Literatürde 4 metre (m) ve üzerindeki normal yürüyüş hızındaki değerlendirmenin oldukça güvenilir bir araç olduğu belirtilmektedir. Bu testte, katılımcılardan her zamanki hızlarında 4 m yürümeleri istenir. Görevi tamamlamak için geçen süre kaydedilir ve yürüyüş hızı hesaplanır. Literatürde 65 yaş üstü yaşlı bireylerin düşme riskinin belirlenmesinden kullanılan kesme puanının $\leq 0,8$ m/s olarak bildirilmiş ve 0,8 ila 1 m/s'den düşük olan bireylerin düşmeyi önleyici müdahaleler alması önerilmektedir (1, 9).

2.2.3. MarBES denge cihazı ile ölçülen COP verileri

MarBES, araştırmacılar tarafından nöromusküler sistemin eğitimi ve tedavisinde kullanılmak üzere denge ve koordinasyonun değerlendirilmesi ve eğitimi için geliştirilen bir cihazdır (Resim 1). Cihaz, görsel ve işitsel geri bildirim ve etkileşimli zemin içeren bir yazılımdan oluşur. İnteraktif zemin üzerinde kişinin ağırlığını algılayacak basınç sensörleri ve elektronik kartlar bulunmaktadır (Şekil 1). Zeminin üst kısmı kişinin görsel ve işitsel geri bildirim alabilmesi için ayak izi şeklinde tasarlanmış led ışıklar eklenerek üretilmiştir. Ağırlık verileri 4 farklı köşede bulunan basınç sensörlerinden elde edilerek bilgisayar yazılımı ile

kişinin COP X (ML) ve Y (AP) değerleri ve her bir eksen için merkezden sapma miktarına göre bir skor hesaplaması yapılır (28). Kuru Çolak ve ark. (2023), sağlıklı genç bireylerde MarBES ile gerçekleştirilen denge değerlendirmelerinin orta ila iyi güvenilirlik gösterdiğini bildirdi (ICC: 0,535–0,903) (28).



Resim 1. MarBES denge koordinasyon cihazı

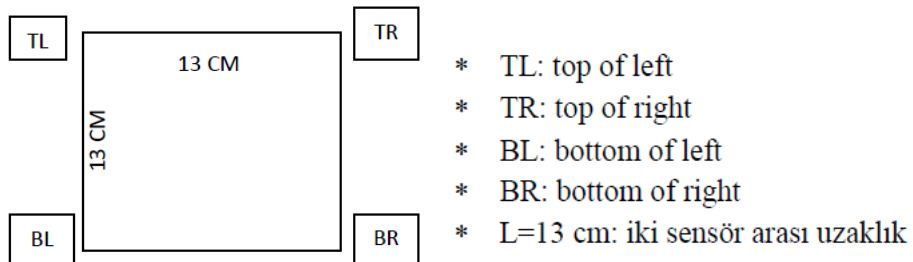
Bu çalışmada yaşlı bireylerin statik denge koşullarındaki COP verileri, bir kuvvet platformu olan MarBES denge cihazı kullanılarak elde edildi. Bu çalışma için katılımcılara MarBES denge cihazı üzerinde statik çift ayakta durma testleri ve tek ayakta durma testleri yapıldı. Her test koşulu iki kez gerçekleştirildi ve her bir deneme gözler açık ve kapalı 10 saniye boyunca kaydedildi. Her test koşulu için, iki tekrarlı ölçümden elde edilen COP yer değiştirmelerinin ortalaması hesaplandı ve analiz için kullanıldı. Katılımcılardan çıplak ayakla, ayakları omuz genişliğini aşmayacak şekilde, kolları yanlarında ve ileriye bakarak mümkün olduğunca hareketsiz kalmaları istendi.

COP parametreleri, MarBES denge cihazı için geliştirilen MarBES V2.4 yazılımı kullanılarak aşağıdaki hesaplamalarla işlendi.

a. COP X ve Y hesaplaması

$$COPX = \frac{(FTR+FBR)-(FTL+FBL)}{FTR+FTL+FBR+FBL} \times \frac{L}{2} \quad (1)$$

$$COPY = \frac{(FTL+FTR)-(FBL+FBR)}{FTR+FTL+FBR+FBL} \times \frac{L}{2} \quad (2)$$



Şekil 1. MarBES denge cihazının sensör yerleşimi

b. COP salınım mesafesinin hesaplanması: Her bir eksen (X ve Y), COP salınım mesafesi, ilgili eksenindeki minimum ve maksimum COP sapma değerlerinin mutlak değerlerinin toplamı alınarak hesaplanır. Bu yöntemle COP'nin sağ-sol (ML) ya da öne-arkaya (AP) yönlerdeki uç noktalar arasında yaptığı toplam salınım büyüklüğü elde edilir.

$$COPX_{\{mesafe\}} = |minimum X_{\{sapma\}}| + |maksimum X_{\{sapma\}}| \quad (3)$$

$$COPY_{\{mesafe\}} = |minimum Y_{\{sapma\}}| + |maksimum Y_{\{sapma\}}| \quad (4)$$

COP X mesafe: Kişinin sağ-sol (ML) yönündeki toplam salınım miktarını ölçer.

COP Y mesafe: Kişinin öne-arkaya (AP) yönündeki toplam salınım miktarını ölçer.

Bu parametreler, bireyin statik denge kontrolünün stabilitesini yansıtır. Değerlerin artması, COP'nin daha geniş bir alanda salındığını gösterir ve bu da denge stabilitesinin daha zayıf olduğu anlamına gelir.

2.3. İstatistiksel analiz

Tüm istatistiksel analizler Jamovi (2.16.13) kullanılarak gerçekleştirildi. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p \leq 0,05$ olarak kabul edildi. Verilerin normallik dağılımı Shapiro-Wilk testi ile değerlendirildi ve değişkenlerin normal dağılım göstermediği belirlendi. YRDG ve DRDG arasındaki klinik sonuçların karşılaştırılması için Mann-Whitney U testi kullanıldı. MarBES denge cihazından elde edilen COP salınım mesafesi sonuçlarının kesme puanını belirlemek amacıyla ROC (Receiver Operating Characteristic) analizi uygulandı ve AUC (Area Under the Curve, Eğri Altındaki Alan) değerleri hesaplandı. ROC Eğrisi Analizi: ROC eğrisi, sınıflandırma modelinin duyarlılık ve özgünlük ölçüleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Duyarlılık, gerçek pozitif oranı (TPR) olarak tanımlanır ve modelin doğru şekilde pozitif olarak sınıflandırdığı gerçek pozitiflerin oranını ifade eder. Özgünlük, yanlış pozitif oranı (FPR) olarak tanımlanır ve modelin yanlış şekilde pozitif olarak sınıflandırdığı negatiflerin oranını ifade eder. ROC eğrisi, kesme noktası değerlerine göre TPR ve FPR değerlerinin değişimini gösterir. Bu kesme noktalarından her biri, modelin belirli bir duyarlılık ve özgünlük seviyesinde çalıştığı noktadır. En uygun kesme değeri (cut-off), ROC eğrisindeki en yüksek TPR ve en düşük FPR değerleri arasındaki noktadır (29).

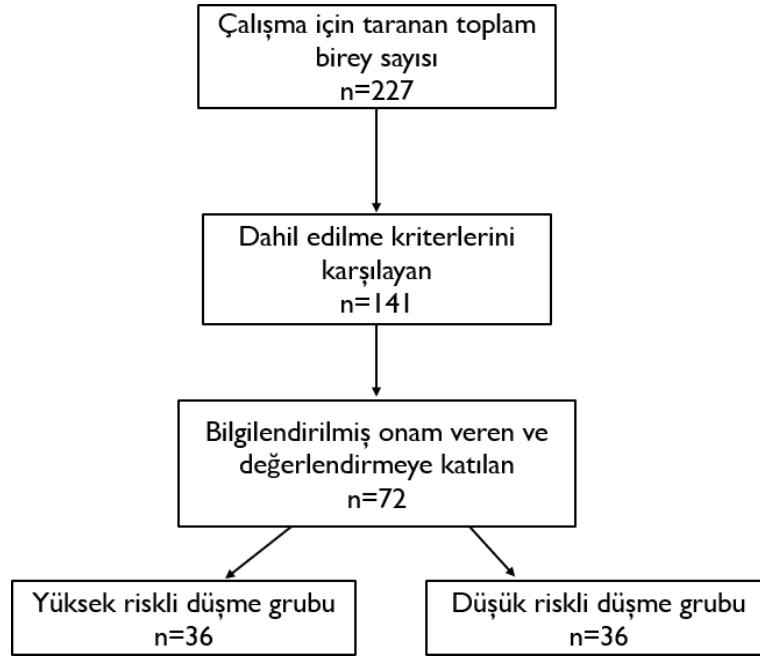
AUC: Testlerin doğru karar vermede gücünü değerlendirmede kullanılan ölçütlerden biridir. AUC değeri 0 ile 1 arasında değişir ve 1'e ne kadar yakınsa, modelin performansı o kadar iyidir. Pratik olarak alabileceği en küçük değer ise 0,50'dir (29).

2.4. Güç analizi

Çalışma örneklemini hesaplamak için G*Power (versiyon 3.19.7) programı kullanıldı. Viveiro ve arkadaşlarının (2019) yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre çalışmanın gücü %95 (p) ve alfa hatası (α) 0,05, etki büyüklüğü (d) 0,90 ile hesaplanan gerekli minimum örneklem büyüklüğü 56 olarak belirlendi. Çalışmada veri kaybı yaşanabileceği göz önünde bulundurularak minimum katılımcı sayısının %30 fazlası hesaplandı ve 72 kişinin çalışmaya dâhil edilmesi planlandı (26).

3. BULGULAR

Çalışmaya 65 yaş üstü gönüllü onam veren 72 kişi katıldı. Katılan kişilerin 36'sı (11 kadın, 25 erkek) YRDG'de, 36'sı (12 kadın, 24 erkek) ise DRDG'de yer aldı (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmanın akış diyagramı

YRDG ile DRDG arasında yaş ve VKİ açısından anlamlı bir fark yoktu ($p>0,05$). Bilişsel düzey (MMDT, $p=0,025$), denge (BDÖ, $p=0,002$), mobilite (ZKYT, $p=0,030$) ve yürüyüş hızı ($p=0,036$) açısından iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulundu (Tablo 1). DRDG’de yer alan bireyler, YRDG’de yer alan bireylere göre daha yüksek bilişsel işlev, daha iyi denge puanı, daha kısa süreli mobilite ve daha hızlı yürüme performansı gösterdi.

MarBES denge cihazı ile ölçülen çift ayak ve tek ayak duruşlarında salınım mesafelerine ilişkin veriler incelendiğinde, YRDG ve DRDG arasında MarBES çift ayak gözler açık COP Y salınım mesafesi ($p=0,053$) dışındaki diğer COP salınım mesafelerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edildi ($p<0,001$) (Tablo 2). Bu sonuçlar YRDG’nin DRDG’ye kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek salınım mesafeleri sergilediğini göstermektedir.

ROC analizine göre, MarBES denge cihazıyla ölçülen COP salınım mesafeleri düşme riskini ayırt etmede tüm değişkenlerde anlamlı bulundu ($p<0,05$). AUC değerleri, özellikle tek ayak duruş koşullarında, yüksek sınıflandırma performansı gösterdi. Düşen ve düşmeyen bireyleri ayırt etmede en yüksek güce sahip değişken, sol tek ayak gözler kapalı duruşta COP Y değeri idi (AUC=0,853, %70,6 duyarlılık, %91,4 özgüllük, Youden’s İndeksi=0,620). Tek ayak duruşta elde edilen COP salınım mesafesi değerleri, çift ayak duruşa kıyasla daha yüksek AUC değerlerine ulaştı (AUC: 0,744–0,853). Özellikle sağ tek ayak gözler kapalı koşulu, hem COP X (AUC=0,813) hem de COP Y (AUC=0,819) için yüksek duyarlılık ve özgüllük ile anlamlı sonuçlar verdi. Çift ayak duruşta özellikle gözler açık durumunda COP Y’nin ayırt edici gücü daha düşük bulundu (AUC=0,663, Youden’s İndeksi=0,306) (Tablo 3).

ROC analizine ait görsel sonuçlar Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da sunulmuştur. Bu grafikler, COP X ve COP Y değişkenlerinin gözler açık ve kapalı koşullarda düşme riskini ayırt etme performanslarını görsel olarak karşılaştırmalı biçimde ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Yüksek riskli düşme grubu ve düşük riskli düşme grubunun klinik sonuçlarının karşılaştırılması

Değişkenler	YRDG (n=36)	DRDG (n=36)	p değeri
	Medyan (min-max)	Medyan (min-max)	
Yaş, yıl	75,0 (65-91)	71,0 (63-94)	0,588
VKİ, kg/m ²	26,2 (18,6-42,3)	25,4 (16,7-49,9)	0,963
MMDT, puan	28 (25-30)	29 (24-30)	0,025*
BDÖ, puan (0-56)	49 (26-56)	54 (38-56)	0,002*
ZKYT, süre (sn.)	12,8 (7,71-28,6)	11,01 (6,33-19,9)	0,030*
Yürüyüş hızı, m/s	0,65 (0,27-1,23)	0,77 (0,37-1,01)	0,036*

YRDG: Yüksek Riskli Düşme Grubu; **DRDG:** Düşük Riskli Düşme Grubu; **VKİ:** Vücut Kütle İndeksi; **MMDT:** Mini Mental Durum Testi; **BDÖ:** Berg Denge Ölçeği; **ZKYT:** Zamanlı Kalk Yürü testi; **min-max:** minimum-maksimum. *Mann-Whitney U testi*

Tablo 2. Yüksek riskli düşme grubu ve düşük riskli düşme grubunun MarBES denge cihazı ile ölçülen COP salınım mesafesi sonuçlarının karşılaştırılması

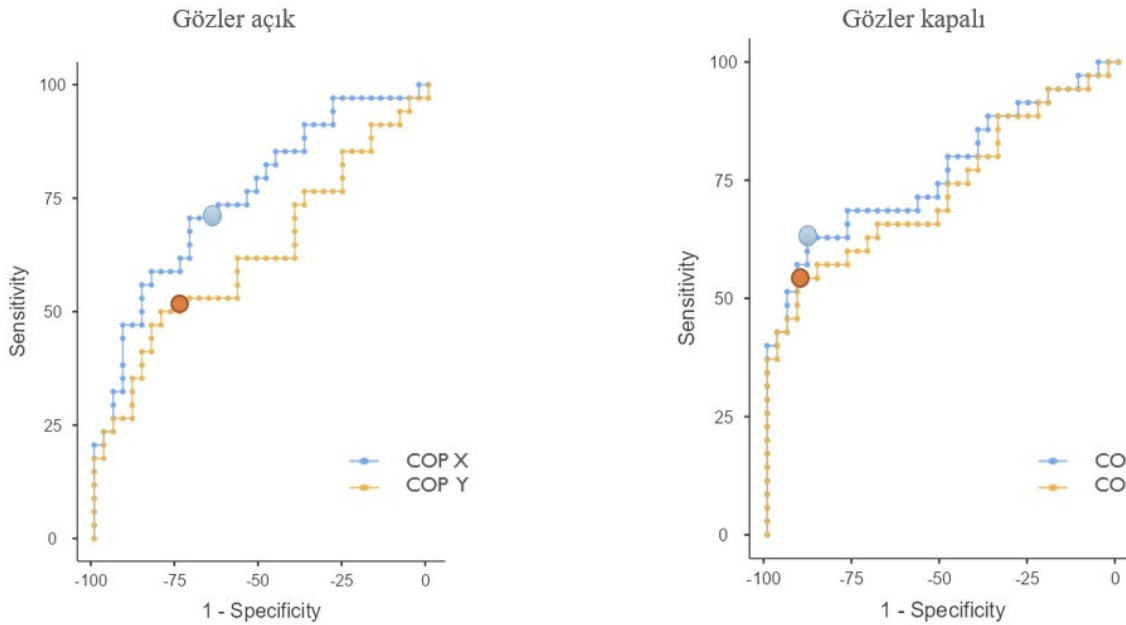
Değişkenler	YRDG (n=36)	DRDG (n=36)	p değeri
	Medyan (min-max)	Medyan (min-max)	
Çift ayak GA COP X (cm)	17,1 (5,11-39,0)	14,1 (4,28-22,9)	< 0,001**
Çift ayak GA COP Y (cm)	17,8 (6,5-38,1)	13,9 (6,53-25,6)	0,053
Çift ayak GK COP X (cm)	23,2 (6,58-40,6)	14,4 (6,58-25,8)	< 0,001**
Çift ayak GK COP Y (cm)	24,3 (7,41-43,3)	18,8 (7,41-27,3)	< 0,001**
Sağ tek ayak GA COP X (cm)	29,1 (9,46-74,7)	16,6 (11,4-55,3)	< 0,001**
Sağ tek ayak GA COP Y (cm)	39,1 (17,0-70,0)	25,7 (10,6-52,9)	< 0,001**
Sol tek ayak GA COP X (cm)	32,4 (12,6-64,5)	20,9 (10,9-46,6)	< 0,001**
Sol tek ayak GA COP Y (cm)	45,9 (17,3-63,8)	24,1 (13,7-45,4)	< 0,001**
Sağ tek ayak GK COP X (cm)	44,8 (15,8-70,7)	27,2 (14,3-60,0)	< 0,001**
Sağ tek ayak GK COP Y (cm)	55,5 (23,6-80,8)	35,1 (19,8-67,5)	< 0,001**
Sol tek ayak GK COP X (cm)	49,1 (20,7-74,9)	29,2 (14,8-66,7)	< 0,001**
Sol tek ayak GK COP Y (cm)	62,0 (23,7-72,8)	34,0 (22,4-73,8)	< 0,001**

YRDG: Yüksek Riskli Düşme Grubu; **DRDG:** Düşük Riskli Düşme Grubu; **min-max:** minimum-maksimum. **GA:** gözler açık; **GK:** gözler kapalı. *Mann-Whitney U testi*

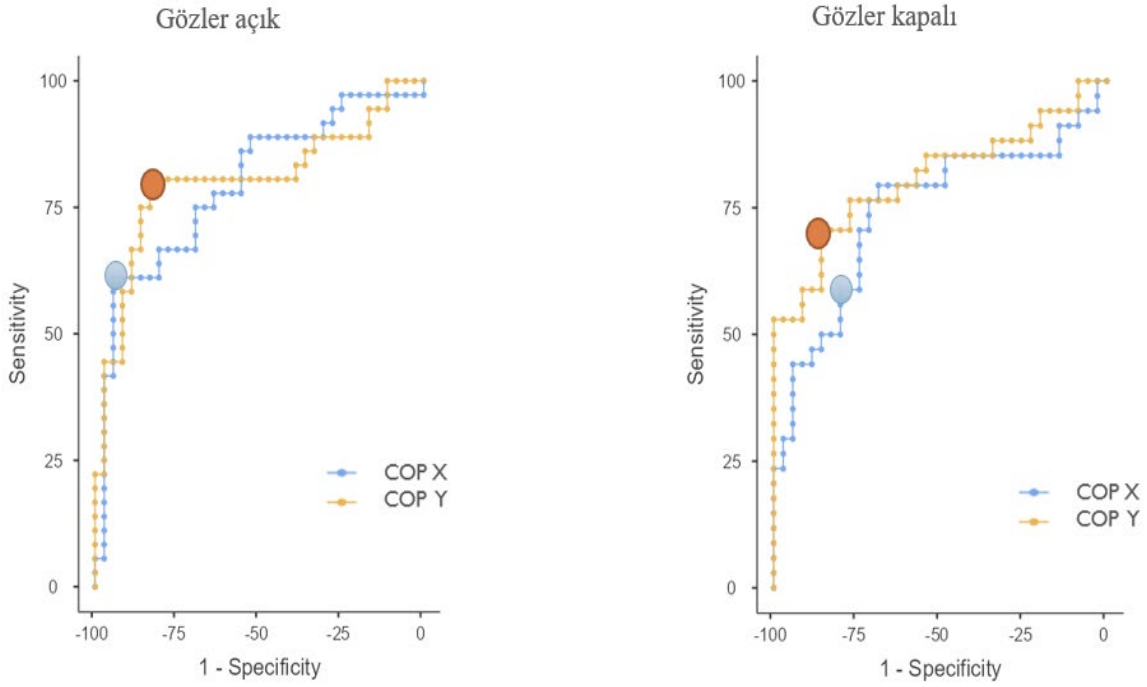
Tablo 3. MarBES denge cihazı ile ölçülen COP salınım mesafesi değerlerinin düşme riski ayırt ediciliğine ilişkin ROC analizi sonuçları

Değişkenler N=72		Kesme puanı	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Youden's İndeksi	AUC	P (H0: AUC =0,5)
Çift ayak GA (cm)	COP X	13,33	72,22	69,44	0,417	0,760	<0,001**
	COP Y	18,05	50,00	80,56	0,306	0,663	0,024*
Çift ayak GK (cm)	COP X	20,08	63,89	86,11	0,500	0,764	<0,001**
	COP Y	23,56	55,56	91,67	0,472	0,734	<0,001**
Sağ Tek Ayak GA (cm)	COP X	26,91	61,11	94,44	0,556	0,795	<0,001**
	COP Y	31,13	80,56	80,56	0,611	0,802	<0,001**
Sol Tek Ayak GA (cm)	COP X	22,42	79,41	68,57	0,480	0,744	<0,001**
	COP Y	34,65	70,59	85,71	0,563	0,808	<0,001**
Sağ Tek Ayak GK (cm)	COP X	33,29	80,56	75,00	0,556	0,813	<0,001**
	COP Y	52,01	66,67	88,89	0,556	0,819	<0,001**
Sol Tek Ayak GK (cm)	COP X	37,3	73,53	80,00	0,535	0,797	<0,001**
	COP Y	56,46	70,59	91,43	0,620	0,853	<0,001**

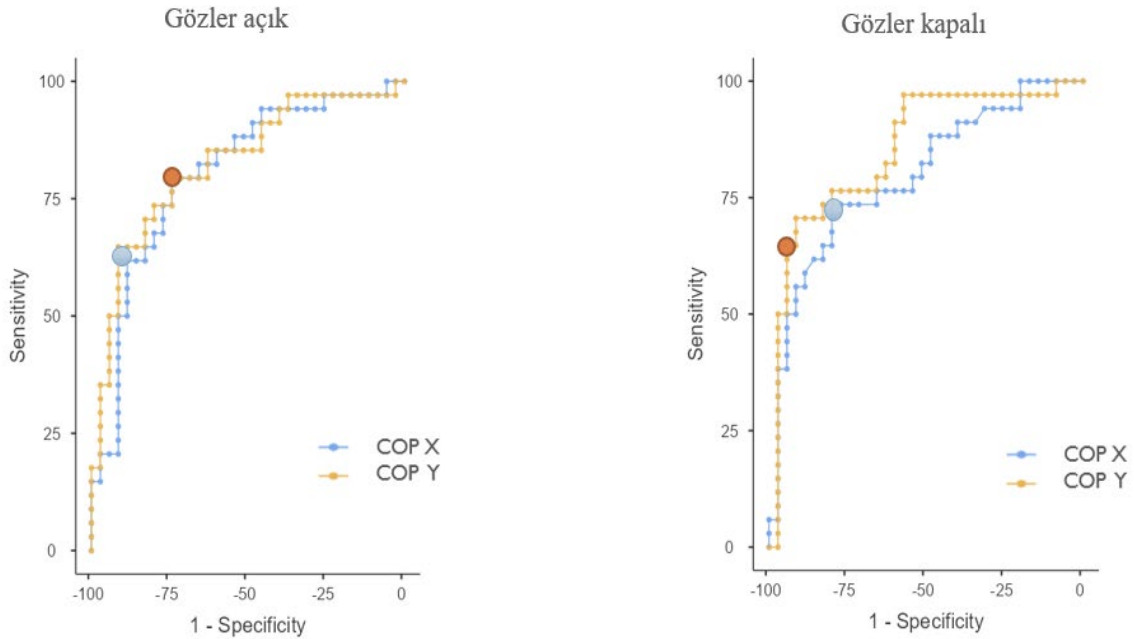
ROC: Receiver Operating Characteristic; **AUC:** Area Under the Curve; **GA:** Gözler Açık; **GK:** Gözler Kapalı



Şekil 4. Çift ayak gözler açık ve kapalı koşulunda MarBES COP X ve COP Y salınım mesafelerine ilişkin ROC eğrileri. (COP X için AUC değerleri sırasıyla 0,760 (gözler açık) ve 0,764 (gözler kapalı); COP Y için ise 0,663 (gözler açık) ve 0,734 (gözler kapalı))



Şekil 5. Sağ tek ayak gözler açık ve kapalı koşulunda MarBES COP X ve COP Y salınım mesafelerine ilişkin ROC eğrileri. (COP X için AUC değerleri sırasıyla 0,795 (gözler açık) ve 0,813 (gözler kapalı); COP Y için ise 0,802 (gözler açık) ve 0,819 (gözler kapalı)).



Şekil 6. Sol tek ayak gözler açık-kapalı koşulunda MarBES COP X ve COP Y salınım mesafelerine ilişkin ROC eğrileri. (COP X için AUC değerleri sırasıyla 0,744 (gözler açık) ve 0,797 (gözler kapalı); COP Y için ise 0,808 (gözler açık) ve 0,853 (gözler kapalı)).

4. TARTIŞMA

Bu pilot çalışma, huzurevinde yaşayan yaşlı bireylerde MarBES denge cihazı kullanılarak ölçülen mediolateral (X) ve anteroposterior (Y) yönlerdeki COP salınım mesafelerinin düşme riskini öngörmedeki duyarlılığını, özgüllüğünü ve kesme puanlarını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bulgular, özellikle tek ayak duruş pozisyonlarında, COP X ve COP Y parametrelerinin düşen bireyleri ayırt etmede yüksek sınıflandırma gücüne sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle gözler kapalı sol tek ayak duruş testinde ölçülen COP Y salınım mesafesi, en yüksek AUC değerine ulaşarak düşme riskini en iyi öngören parametre olmuştur.

Önceki araştırmalarla karşılaştırıldığında, Piirtola ve ark. (2006) ile Watt, Clark ve Williams (2018), ML yönündeki COP parametrelerinin düşme riskiyle daha güçlü ilişkili olduğunu belirtmiş; öte yandan Quijoux ve ark. (2020) ile Pajala ve ark. (2008) ise AP yönündeki salınımların daha ayırt edici olduğunu ileri sürmüştür (11, 16, 17, 30). Stel ve ark. (2003) tarafından yürütülen çalışmada ise gözler açık koşulunda ML salınımın tekrarlayan düşmelerle en güçlü ilişkiyi gösterdiği bildirilmiştir (AUC=0,67; %95 GA: 0,57–0,77) (19). Bu pilot çalışma bulguları, özellikle zorlu duruş pozisyonlarında hem ML hem de AP yönde ölçülen COP parametrelerinin anlamlı ayırım gücüne sahip olduğunu ve literatürdeki önceki bulguları desteklediğini göstermektedir. Ayrıca, görsel girdinin ortadan kaldırılmasıyla (gözler kapalı testlerde) COP salınım mesafesinde belirgin bir artış gözlenmiş ve bu artış düşme riskinin tahminini güçlendirmiştir. Bu durum, Pajala ve arkadaşlarının da (2008) belirttiği gibi, duyu sistemlerindeki bozulmaların postüral kontrolü olumsuz etkileyerek düşme riskini artırabileceğini desteklemektedir (16).

Liao ve ark. (2022) tarafından yürütülen çalışmada, COP parametreleri kullanılarak Mini-BESTest skorlarının sınıflandırılabilirliği ROC analizleriyle değerlendirilmiş ve özellikle “gözler açık, köpük yüzey” koşulunda anlamlı AUC değerlerine ulaşılmıştır (AUC=0,76) (31). Bu bulgu, zorlu denge koşullarının COP temelli ölçümlerde ayırt edici gücü artırdığını göstermektedir. Benzer biçimde, bu çalışmada da en yüksek sınıflandırma başarısı, gözler kapalı sol tek ayak duruş pozisyonunda elde edilmiştir (AUC=0,853), bu da tek ayaklı ve duyuusal olarak zorlayıcı test koşullarının, COP tabanlı ölçümlerle düşme riskini değerlendirmede etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Quijoux ve ark. (2020) yaşlı bireylerde COP tabanlı ölçümlerin düşme riskini belirlemede faydalı olabileceğini, ancak gözler açık ve çift ayak duruş gibi daha kolay koşullarda ayırt edici gücün düşük kaldığını bildirmiştir (11). Bizim çalışmamızda da benzer şekilde, gözler açık çift ayak duruş testinde COP verilerinin daha düşük AUC değerine sahip olduğu görülmüştür (AUC=0,663). Howcroft, Kofman ve Lemaire (2017) de ROC analizine dayalı sınıflandırmalarda COP verilerinin koşullara göre farklılık gösterdiğini ve bazı durumlarda tek başına yeterli olamayabileceğini belirtmiştir (32). Ancak bu çalışmada, özellikle tek ayak duruş koşullarında elde edilen yüksek AUC değerleri (0,744–0,853), COP salınım mesafesinin düşme riskini değerlendirmede güvenilir bir araç olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, test koşulları zorlaştıkça COP parametrelerinin düşme riski öngörüsündeki ayırt edici gücünün arttığını göstermektedir.

Johansson ve ark. (2017 ve 2019) toplumda yaşayan bireylerde yaptığı çalışmalarda, özellikle COP salınım uzunluğu yüksek olan katılımcıların düşme riskinin %75-90 arttığını raporlamıştır (14, 21). Bu çalışmamızda da YRDG’de yer alan yaşlı bireylerin COP salınım

mesafeleri, özellikle tek ayak gözler kapalı koşullarında DRDG’de yer alan bireylere göre daha yüksekti. Bu bulgu, Johansson ve arkadaşlarının sonuçlarıyla paralellik göstermekte ve COP salınım uzunluğunun artmasının, düşme riskinin önemli bir göstergesi olabileceğini desteklemektedir.

Günümüzde düşme riski değerlendirmesi hâlâ öznel bir klinik yaklaşım olarak sürmektedir. Ancak kuvvet platformlarıyla ölçüm, objektif ve nicel veri sağlama açısından klinik testlere kıyasla önemli bir avantaj sunmaktadır. Özellikle huzurevi gibi uzun süreli bakım ortamlarında yaşayan bireylerin düşme riskinin belirlenmesi ve önleyici programların geliştirilmesinde basit ve güvenilir bir denge ölçümüne erişimin özellikle yararlı olacağı düşünülmektedir (11). Bu da kuvvet platformlarının maliyetinin azalması ve taşınabilirlik özelliklerinin artması ile mümkün olabilir. Bu bağlamda bu pilot çalışma MarBES denge cihazının, düşük maliyetli ve taşınabilir olması sayesinde laboratuvar dışı ortamlarda kullanımının yararlı olabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. İlk olarak, çalışma sadece huzurevinde yaşayan bireylerden oluşmuştur. Bu durum, elde edilen bulguların genellenebilirliğini azaltabilir. İkinci olarak, çalışma sadece COP salınım parametrelerine odaklanmış diğer potansiyel düşme risk faktörleri değerlendirme dışı bırakılmıştır. Son olarak, çalışma kesitsel bir tasarıma sahip olduğundan neden-sonuç ilişkisi kurmak mümkün değildir. Gelecekte yapılacak farklı örneklemli ve prospektif çalışmalar, COP verilerinin düşme öngörüsündeki rolünü daha net ortaya koyacaktır.

5. SONUÇ

Bu pilot çalışma, huzurevinde yaşayan yaşlı bireylerde COP salınım mesafelerinin özellikle zorlu denge koşullarında (örneğin gözler kapalı ve tek ayak duruş) düşme riskini öngörmeye etkili bir gösterge olabileceğini ortaya koymaktadır. MarBES denge cihazı ile ölçülen ML ve AP yönündeki COP salınımları, özellikle sol tek ayak gözler kapalı koşulunda, yüksek sınıflandırma doğruluğuna ulaşarak düşen bireyleri ayırt etmede güçlü bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Bu bulgular, klinikte yaygın olarak kullanılan öznel değerlendirme yöntemlerinin yanında, düşük maliyetli ve taşınabilir bir denge ölçüm sistemi ile objektif verilerin elde edilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Bu tür sistemler, huzurevleri gibi uzun süreli bakım ortamlarında düşme riskini belirlemek ve bireylere özel önleyici müdahaleler geliştirmek için pratik ve etkili bir araç olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, ROC analizlerine dayanan bu pilot çalışma, COP salınım mesafelerinin özellikle zorlu postüral koşullar altında huzurevinde yaşayan bireylerin düşme riskini ayırt etmede etkili bir araç olabileceğini ortaya koymaktadır.

Çıkar çatışması

Yazarlar bu çalışma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Destekleyen kurum

Çalışmayı maddi yönden destekleyen herhangi bir kişi/kuruluş yoktur.

Etik onayı

Çalışma, Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu tarafından onaylandı (Onay Numarası: 09.2023.797) ve Helsinki Prensipleri Deklarasyonu’na uygun olarak yürütüldü.

Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, 20.05.2022 tarih ve E-68869993-511.06-762195 sayılı kararıyla MarBES denge cihazının araştırmada kullanılmasını uygun buldu.

6. KAYNAKLAR

1. Colon-Emeric CS, McDermott CL, Lee DS, Berry SD. Risk Assessment and prevention of falls in older community-dwelling adults: A Review. JAMA 2024; 331(16):1397-406. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.1416>
2. World Health Organization. WHO global report on falls prevention in older age. Geneva: World Health Organization Department of Ageing and Life Course 2007. Report No.: 9241563532.
3. Montero-Odasso, M., van der Velde, N., Martin, F. C., Petrovic, M., Tan, M. P., Ryg, J., Aguilar-Navarro, S., Alexander, N. B., Becker, C., Blain, H., Bourke, R., Cameron, I. D., Camicioli, R., Clemson, L., Close, J., Delbaere, K., Duan, L., Duque, G., Dyer, S. M., Freiburger, E., Ganz, D. A., Gómez, F., Hausdorff, J. M., Hogan, D. B., Hunter, S. M. W., Jauregui, J. R., Kamkar, N., Kenny, R. A., Lamb, S. E., Latham, N. K., Lipsitz, L. A., Liu-Ambrose, T., Logan, P., Lord, S. R., Mallet, L., Marsh, D., Milisen, K., Moctezuma-Gallegos, R., Morris, M. E., Nieuwboer, A., Perracini, M. R., Pieruccini-Faria, F., Pighills, A., Said, C., Sejdic, E., Sherrington, C., Skelton, D. A., Dsouza, S., Speechley, M., Stark, S., Todd, C., Troen, B. R., van der Cammen, T., Verghese, J., Vlaeyen, E., Watt, J. A., Masud, T. World guidelines for falls prevention and management for older adults: a global initiative. Age Ageing 2022; 51(9). <https://doi.org/10.1093/ageing/afac205>
4. Wang J, Li Y, Yang GY, Jin K. Age-Related Dysfunction in Balance: A comprehensive review of causes, consequences, and interventions. Aging Dis 2024; 16(2):714-37. <https://doi.org/10.14336/AD.2024.0124-1>
5. Howcroft J, Kofman J, Lemaire ED. Review of fall risk assessment in geriatric populations using inertial sensors. J Neuroeng Rehabil 2013; 10(1):91. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-91>
6. Xing, L., Bao, Y., Wang, B., Shi, M., Wei, Y., Huang, X., Dai, Y., Shi, H., Gai, X., Luo, Q., Yin, Y., Qin, D. Falls caused by balance disorders in the elderly with multiple systems involved: Pathogenic mechanisms and treatment strategies. Front Neurol 2023; 14:1128092. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1128092>
7. Vo MTH, Thonglor R, Moncatar TJR, Han TDT, Tejavaddhana P, Nakamura K. Fear of falling and associated factors among older adults in Southeast Asia: a systematic review. Public Health 2023; 222:215-28. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2022.08.012>
8. Gil AW, Oliveira MR, Coelho VA, Carvalho CE, Teixeira DC, da Silva RA, Jr. Relationship between force platform and two functional tests for measuring balance in the elderly. Revista brasileira de fisioterapia (Sao Carlos (Sao Paulo, Brazil)) 2011; 15(6):429-35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/s1413-35552011005000024>
9. Beck Jepsen, D., Robinson, K., Ogliari, G., Montero-Odasso, M., Kamkar, N., Ryg, J., Freiburger, E., Masud, T. Predicting falls in older adults: an umbrella review of instruments

assessing gait, balance, and functional mobility. BMC Geriatr 2022; 22(1):615. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03271-5>

10. Mancini M, Horak FB. The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. Eur J Phys Rehabil Med 2010; 46(2):239-48. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20485226>

11. Quijoux, F., Vienne-Jumeau, A., Bertin-Hugault, F., Zawieja, P., Lefevre, M., Vidal, P. P., Ricard, D. Center of pressure displacement characteristics differentiate fall risk in older people: A systematic review with meta-analysis. Ageing Res Rev 2020; 62:101117. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2020.101117>

12. Prieto TE, Myklebust JB, Hoffmann RG, Lovett EG, Myklebust BM. Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. IEEE Trans Biomed Eng 1996; 43(9):956-66. <https://doi.org/10.1109/10.532130>

13. Karlinsky KT, Netz Y, Jacobs JM, Ayalon M, Yekutieli Z. Static balance digital endpoints with mon4t: smartphone sensors vs. force plate. Sensors (Basel) 2022; 22(11). <https://doi.org/10.3390/s22114139>

14. Johansson J, Nordstrom A, Gustafson Y, Westling G, Nordstrom P. Increased postural sway during quiet stance as a risk factor for prospective falls in community-dwelling elderly individuals. Age Ageing 2017; 46(6):964-70. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172398>

15. Audiffren J, Bargiotas I, Vayatis N, Vidal PP, Ricard D. A Non Linear Scoring Approach for Evaluating Balance: Classification of Elderly as Fallers and Non-Fallers. PLoS One 2016; 11(12):e0167456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167456>

16. Pajala S, Era P, Koskenvuo M, Kaprio J, Tormakangas T, Rantanen T. Force platform balance measures as predictors of indoor and outdoor falls in community-dwelling women aged 63-76 years. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2008; 63(2):171-8. <https://doi.org/10.1093/gerona/63.2.171>

17. Piirtola M, Era P. Force platform measurements as predictors of falls among older people - a review. Gerontology 2006; 52(1):1-16. <https://doi.org/10.1159/000089820>

18. Bergland A, Jarnlo GB, Laake K. Predictors of falls in the elderly by location. Aging Clin Exp Res 2003; 15(1):43-50. <https://doi.org/10.1007/BF03324479>

19. Stel VS, Smit JH, Pluijm SM, Lips P. Balance and mobility performance as treatable risk factors for recurrent falling in older persons. J Clin Epidemiol 2003; 56(7):659-68. [https://doi.org/10.1016/s0895-4356\(03\)00082-9](https://doi.org/10.1016/s0895-4356(03)00082-9)

20. Maki BE, Holliday PJ, Topper AK. A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. J Gerontol 1994; 49(2):M72-84. <https://doi.org/10.1093/geronj/49.2.m72>

21. Johansson J, Jarocka E, Westling G, Nordstrom A, Nordstrom P. Predicting incident falls: Relationship between postural sway and limits of stability in older adults. Hum Mov Sci 2019; 66:117-23. <https://doi.org/10.1093/ageing/afx083>

22. Güngen C, Ertan T, Eker E, Yaşar R, Engin F. Reliability and validity of the standardized Mini Mental State Examination in the diagnosis of mild dementia in Turkish population. Turk Psikiyatri Derg 2002; 13(4):273-81.

23. Barry E, Galvin R, Keogh C, Horgan F, Fahey T. Is the Timed Up and Go test a useful predictor of risk of falls in community dwelling older adults: a systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatr* 2014; 14:14. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-14-14>
24. Sahin F, Yilmaz F, Ozmaden A, Kotevolu N, Sahin T, Kuran B. Reliability and validity of the Turkish version of the Berg Balance Scale. *J Geriatr Phys Ther* 2008; 31(1):32-7. <https://doi.org/10.1519/00139143-200831010-00006>
25. Blum L, Korner-Bitensky N. Usefulness of the Berg Balance Scale in stroke rehabilitation: a systematic review. *Phys Ther* 2008; 88(5):559-66. <https://doi.org/10.2522/ptj.20070205>
26. Viveiro, L. A. P., Gomes, G. C. V., Bacha, J. M. R., Carvas Junior, N., Kallas, M. E., Reis, M., Jacob Filho, W., Pompeu, J. E. Reliability, validity, and ability to identify fall status of the berg balance scale, balance evaluation systems test (BESTest), Mini-BESTest, and Brief-BESTest in older adults who live in nursing homes. *J Geriatr Phys Ther* 2019; 42(4):E45-E54. <https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000215>
27. Binotto MA, Lenardt MH, Rodriguez-Martinez MDC. Physical frailty and gait speed in community elderly: a systematic review. *Rev Esc Enferm USP* 2018; 52:e03392. <https://doi.org/10.1590/S1980-220X2017028703392>
28. Kuru Colak T, Ozen T, Gunay Yazici C, Sari DM, Karabacak N, Sari Z, et al. A new device for assessment and training the human balance and coordination: Marmara Balance and Education System (MarBES). *Ir J Med Sci.* 2023; 192(5):2409-16. <https://doi.org/10.1007/s11845-023-03299-5>
29. Kılıç S. Klinik karar vermede ROC analizi. *Journal of Mood Disorders* 2013; 3(3):135-40. <https://doi.org/10.5455/jmood.20130830051624>
30. Watt AA, Clark C, Williams JM. Differences in sit-to-stand, standing sway and stairs between community-dwelling fallers and non-fallers: A review of the literature. *Physical Therapy Reviews* 2018; 23(1):273-90. <https://doi.org/10.1080/10833196.2018.1431930>
31. Liao WY, Chu YH, Liu FY, Chang KM, Chou LW. Cutoff point of mini-balance evaluation systems test scores for elderly estimated by center of pressure measurements by linear regression and decision tree classification. *Life (Basel)* 2022; 12(12). <https://doi.org/10.3390/life12122133>
32. Howcroft J, Lemaire ED, Kofman J, McIlroy WE. Elderly fall risk prediction using static posturography. *PLoS One* 2017; 12(2):e0172398. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172398>