



SAĞLIK BİLİMLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

CURRENT PERSPECTIVES ON
HEALTH SCIENCES

CPHS



Review

Mechanisms of Spasticity and Current Evaluation Methods

Spastisite Mekanizması ve Güncel Değerlendirme Yöntemleri

Sezen KARABÖRKLÜ ARGUT¹

¹Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Received 26 Jun 2024

Accepted 4 November 2024

Published Online 30 April 2025

Article Code CPHS2025-6(1)-9-22.

Abstract

Spasticity, characterized by increased muscle tone and exaggerated reflexes, is a common clinical manifestation in various neurological conditions, including stroke, cerebral palsy, and multiple sclerosis. A precise and thorough evaluation of spasticity is critical for effective treatment planning and accurate prognosis monitoring. This article seeks to investigate the complex mechanisms underlying spasticity and offers a comprehensive analysis of contemporary methods used in its assessment. By deepening their understanding of the mechanisms driving spasticity and utilizing innovative diagnostic tools, healthcare professionals can contribute to the advancement of treatment strategies and improve outcomes for individuals affected by spasticity-related complications. Future research aimed at integrating both active and passive motor assessments, alongside patient self-reports, will enable a more holistic understanding of spasticity and enhance the precision of its evaluation. Assessing spasticity through the combined consideration of active and passive factors will lead to a deeper comprehension of the condition, significantly improving the accuracy of diagnostic evaluations.

Öz

Spastisite, artmış kas tonusu ve abartılı reflekslerle karakterize edilen; inme, serebral palsi ve multipl skleroz gibi çeşitli nörolojik hastalıklarda yaygın olarak görülen klinik bir belirtidir. Spastisitenin doğru ve kapsamlı şekilde değerlendirilmesi, etkili tedavi planlaması ve prognoz takibi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu makale, spastisitenin altında yatan karmaşık mekanizmaları araştırmayı ve spastisiteyi değerlendirmede kullanılan güncel yöntemleri geniş bir bakış açısıyla ele almayı amaçlamaktadır. Sağlık profesyonellerinin, spastisite mekanizmalarını daha iyi anlayarak yenilikçi değerlendirme araçlarından faydalanması, tedavi stratejilerinin geliştirilmesine ve spastisite ile ilişkili sorunları olan bireyler için sonuçların iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır. Gelecekteki araştırmaların, aktif ve pasif motor değerlendirmelerini birleştirmeye ve hasta öz bildirimlerini dahil etmeye odaklanması ile, spastisiteyi daha bütüncül bir perspektiften anlamak ve değerlendirme doğruluğunu artırmak mümkün olacaktır. Aktif ve pasif yönleri bir arada değerlendirilerek, spastisite hakkında daha derinlemesine bir anlayış elde edilebilir ve bu durum, değerlendirme doğruluğunu önemli ölçüde artırabilir.

Keywords

Assessment
clinical approach
scales
spasticity

Anahtar kelimeler

değerlendirme
klinik yaklaşım
ölçekler
spastisite

Corresponding Author

Sezen KARABÖRKLÜ ARGUT
s.karaborkluargut@iuc.edu.tr

ORCID

S KARABÖRKLÜ ARGUT
0000-0002-7466-8105

To cite this article:

Karabörklü Argut S. Mechanisms of Spasticity and Current Evaluation Methods. Curr Perspect Health Sci. 2025;6(1):9-22.

GİRİŞ

Spastisite, piramidal sistemin etkilendiği inme, serebral palsy ve multipl skleroz gibi çeşitli nörolojik hastalıklarda ortaya çıkan, bireyin yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyen klinik bir motor bulgudur. Hareket kısıtlılığı, deformite ve ağrı gibi sorunlarla birlikte görülebilir (1). Klinik olarak, iskelet kaslarının hızlı ve pasif harekete karşı gösterdiği fizyolojik direnç artışı şeklinde kendini gösteren spastisitenin tarihsel gelişimine bakıldığında, günümüzde kabul gören tanımının nispeten yeni olduğu söylenebilir. Spazm (spasmos) terimi, Hipokrat tarafından çok uzun bir süre önce tanımlanmış olmasına rağmen, literatürde "spastisite" terimi ilk kez 1829 yılında Good tarafından kullanılmıştır (2,3). Spastisite için günümüzde hala geçerliliğini koruyan tanım ise 1980 yılında Lance tarafından yapılmıştır. Lance, spastisiteyi, tonik gerilme reflekslerinde hızla bağımlı bir artış ile karakterize edilen ve üst motor nöron lezyonlarının bir bileşeni olarak ortaya çıkan bir motor bozukluk olarak tanımlamıştır (4). Daha güncel ve kapsamlı bir tanıma göre ise spastisite; dışarıdan uygulanan kas gerilmesine karşı hız ve kas uzunluğuna bağlı olarak artan direnç şeklinde ortaya çıkan, beyin sapından kaynaklanan hipereksitasyon yollarının aşırı aktivitesi ve bunun sonucunda gelişen abartılı gerilme refleksi yanıtları ile karakterize bir durumdur (5).

Spastisitenin doğru ve kapsamlı şekilde değerlendirilmesi, etkili tedavi planlaması ve prognoz takibi açısından büyük önem taşımaktadır (6). Bu derleme çalışmasının amacı, spastisitenin patofizyolojisini kapsamlı bir şekilde ele alarak, günümüzde sıkça kullanılan mevcut değerlendirme yöntemlerini ve teknolojik gelişmeler ışığında önerilen güncel yaklaşımları karşılaştırmalı olarak incelemektir. Çalışma, spastisiteyi değerlendirirken kullanılan yöntemlerin avantajlarını ve sınırlamalarını gözden geçirip, yeni yöntemlerin klinik pratikteki uygulanabilirliğini, alanda yapılan araştırmaların bulgularını analiz etmeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda, spastisite değerlendirmesine yönelik etkili ve güvenilir yöntemler hakkında okuyuculara kapsamlı bir literatür incelemesi sunarak, klinik karar verme süreçlerine rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

Kas Tonusu Mekanizması

Spastisite mekanizmasını daha iyi anlayabilmek için, normal kas tonusu mekanizmalarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Normal kas tonusu, korteksten gelen inhibitör ve eksitator etkilerin

alfa motor nöronlar ve spinal internöronlar düzeyinde birleşmesiyle oluşur ve iskelet kasının dinlenme halindeki durumunu tanımlar. Başka bir ifadeyle tonus, istirahat halindeki kasta pasif hareket sırasında hissedilen fizyolojik gerginliği ifade eder. Dinlenme halindeki kasta mevcut olan bu fizyolojik tonus, kasların gelen uyarılara karşı hazırlıklı olmasını sağlarken, aynı zamanda eklemlerde aşırı hareketliliğin önlenmesine de katkıda bulunur (7). Kas tonusu, hiyerarşik ve karşılıklı anatomik bağlantılar sonucu ortaya çıkan karmaşık ve dinamik bir durumdur. Kas tonusu, motor nöronların sürekli ancak düşük düzeyde aktivasyonu ile korunur ve bu aktivasyon, hem merkezi sinir sistemi hem de kas-iskelet sistemi arasındaki kompleks etkileşimlerin bir sonucudur. Bu etkileşimler, postürün korunması, motor kontrol ve hareketin düzgün gerçekleştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir (8).

Normal kas tonusunun oluşumunu sağlayan motor kontrol hiyerarşisi, birden fazla merkezi ve periferik yapı ile sistemin etkileşimini içerir. Bu hiyerarşi, serebral korteks, bazal ganglionlar, beyincik, beyin sapındaki retiküler sistem, omurilik ve kas lifi bileşenlerini kapsar. Spinal kontrol esas olarak kas içiği ve omurilikteki internöronlar arasındaki etkileşimle sağlanırken, supraspinal kontrol ise kolaylaştırıcı (eksitator) ve baskılayıcı (inhibisyon) uzun yollar ile düzenlenir (9). İnhibisyon ağırlıklı regülasyon sağlayan yapılar arasında pre-motor korteks, bazal gangliyonlar, serebellum ve beyin sapının retiküler formasyonunun bulber kısmı yer alır. Eksitasyon ağırlıklı regülasyondan sorumlu yapılar ise beyin sapının retiküler formasyonunun pontin kısmı, vestibulo-spinal yollar ve medulla spinalisteki gama motor nöronlardır. Ayrıca, santral ve periferik mekanizmalar arasındaki bağlantıyı sağlayan medulla spinalis düzeyindeki internöronlar da tonus regülasyonunda önemli bir rol oynamaktadır (Tablo 1) (8,9).

Periferde yer alan kas ve tendonlardaki gerim algılayıcı reseptörler, yani kas içiği ve golgi tendon organı, kasın ve tendonun durumuna ilişkin bilgiyi algılayarak merkezi sinir sistemine iletir. Bu geri bildirim, kas tonusunun düzenlenmesine katkıda bulunan santral mekanizmaları harekete geçirir. Kas içiği ve golgi tendon organı, kas hücrelerinin aktivitesine ilişkin geri bildirim sağlayan kritik yapılardır (10). Kas içiği, kasın uzunluğuna ve hızına duyarlı iki ana tip afferent lif içerir. Grup I afferent lifler, hareketin hızına duyarlıdır; grup II afferent lifler ise kasın boyuna duyarlıdır. Kas içiğinin uyarılması, ilgili kasın (agonist kas) refleks kontraksiyonuna neden olur.

Buna karşın, Golgi tendon organı, tendonlardaki gerilime duyarlıdır. Uyarıldığında, agonist kas için refleks relaksasyon tepkisi meydana getirir. Bu mekanizma, motor nöron havuzuna duysal nöronlar aracılığıyla geri bildirim sağlar ve böylece kas tonusunun aşırı artmasını önleyerek kaslardaki gerilimi dengelemede rol oynar (11).

Refleks arkı, medulla spinalisin dorsal kök ganglionlarındaki duysal nöronların hücre gövdeleri ve bu nöronların motor nöronlar ile olan bağlantıları aracılığıyla oluşur (8, 9). Bu bağlantı, mono- ya da polisaptik yollarla spinal internöronlar üzerinden tamamlanır. Medulla spinalisin ön boynuzunda yer alan alfa motor nöronların aksonları, periferik sinirler boyunca ilerleyerek nöromusküler kavşakta kas hücreleriyle bağlantı kurar. Nöromusküler kavşakta, alfa motor nörondan gelen elektriksel sinyallerin iletimi sonucunda asetilkolin salgılanır. Asetilkolin, kas hücresinin membranındaki reseptörlere bağlanarak iyon kanallarının açılmasını sağlar ve bu süreç, kas hücresinin kontraksiyonunu başlatır (8). Bu mekanizmalar, motor kontrolün hassas bir şekilde gerçekleştirilmesini ve kas tonusunun sağlıklı bir şekilde düzenlenmesini mümkün kılar. Kas içiği ve golgi tendon organları gibi periferik reseptörlerden gelen duysal geri bildirimler, kasların dinamik ve statik gerginliklerini sürekli olarak düzenleyerek, hareketin koordinasyonu ve postüral stabilitenin korunmasında önemli rol oynar.

Elektromiyografik (EMG) değerlendirmelerde kas tonusu, sıklıkla gevşemiş durumdaki bazal EMG aktivitesiyle ilişkilendirilir. Ancak, kas tonusu yalnızca EMG ile tespit edilen motor ünite aktivasyonu yoluyla ortaya çıkan aktif ya da kontraktıl bir bileşenle sınırlı değildir (9). Bunun ötesinde, EMG tarafından algılanamayan ve nöral aktiviteden bağımsız bir pasif veya viskoelastik bileşen de bulunmaktadır (8). Bu viskoelastik bileşen, kas tonusunun önemli bir parçasını oluşturur ve çeşitli biyolojik yapılar ile süreçlere bağlıdır. Sarkomerik düzeyde aktin-miyozin

çapraz köprüleri, kas liflerinin viskozitesi ve elastikiyeti, kontraktıl olmayan proteinler (desmin, titin vb.), hücrel osmotik basınç ve kas çevresindeki bağ dokusu gibi unsurlar bu bileşeni etkileyen başlıca faktörler arasında yer alır. Dolayısıyla, kas tonusu hem aktif kasılma süreçlerini hem de pasif viskoelastik özellikleri içeren çok yönlü bir olgudur (8-10). Bu bağlamda, kas tonusunun anlaşılması, yalnızca motor ünitelerin aktivasyonuna değil, aynı zamanda kas dokusunun biyomekanik özelliklerine ve yapısal bileşenlerine dair kapsamlı bir değerlendirmeyi gerektirmektedir.

Spastisite Mekanizmaları

Spastisite, kas tonusunun düzenlenmesinde önemli rol oynayan eksitator ve inhibitör sinyaller arasındaki hassas dengenin bozulmasıyla ortaya çıkan bir durumdur. Bu bozulma, propriyoseptif reflekslerin spinal seviyede disinhibisyonu ile sonuçlanır ve kasların istemsiz, sürekli kasılı kalmasına yol açar (11). Spastisitenin patofizyolojisi incelendiğinde, hem spinal hem de supraspinal düzeydeki mekanizmaların rol oynadığı görülmektedir. Bu mekanizmaların daha iyi anlaşılması, spastisiteye yönelik tedavi yaklaşımlarının da geliştirilmesine katkı sağlar.

Nöral Mekanizmalar

Spastisite oluşumunda etkili olan nöral mekanizmalar, supraspinal veya spinal kaynaklı nedenlerden kaynaklanır ve spastisitenin şiddetini ile klinik seyrini belirleyen ana unsurlardır (12). Nöral mekanizmalar merkezi sinir sisteminde tonus regülasyonunu sağlayan inhibitör ve eksitator uyarılar arasındaki dengenin eksitasyon yönünde bozulması, alfa motor nöronun uyarılabilme eşiğinin azalması, gama motor nöron spontan deşarjının artışı ve internöronlar aracılığıyla sağlanan resiprokal ve otojenik inhibisyonun bozulması gibi faktörlerin bir veya birkaçının kombinasyonunu içerebilir (12, 13).

Tablo 1. Bilim Haritalama Analizi Araçlarının Özellikleri

İnter Nöronlar	İnhibisyon Tipi	İnhibisyon	Fasilitasyon
Grup I a	Resiprokal	Antagonist kasın alfa motor nöronu	Agonist ve sinerjist kasların alfa motor nöronu
Grup I b	Otojenik	Agonist ve sinerjist kasların alfa motor nöronu	Antagonist kasın alfa motor nöronu
Grup II	Grup II inhibisyonu	Fleksör kasların alfa motor nöronu	Ekstansör kasların alfa motor nöronu
Renshaw	Rekürrens	Kendisini uyararak alfa motor nöron/antagonisti inhibe eden I a internöronu	-

Lezyon ya da bozukluk motor korteks veya inen yollardan (kortikospinal traktus, vestibülospinal traktus, retikülospinal traktus) kaynaklanıyorsa supraspinal mekanizma, medulla spinalis düzeyinde refleks ark bileşenlerinden kaynaklanıyorsa spinal mekanizma söz konusudur.

Supraspinal mekanizmalar, merkezi sinir sisteminin üst merkezlerinde (özellikle motor korteks ve inen yolaklar) meydana gelen hasar ya da disfonksiyonlardan kaynaklanır. Özellikle motor korteks ve beyin sapındaki yolaklardan (kortikospinal traktus, vestibülospinal traktus, retikülospinal traktus) omuriliğe inen inhibitör sinyaller, kas tonusunun düzenlenmesinde kritik bir rol oynar (13). Bu sinyallerin bozulması, omurilikteki reflekslerin kontrolsüz bir şekilde artmasına ve spastisite gelişmesine yol açar. Motor kortekste oluşan bir hasar, inen yolaklardan gelen inhibe edici sinyalleri zayıflatır. Bu durum, kaslarda aşırı eksitasyona yol açar ve refleks kasılmaların şiddetlenmesine neden olur. Benzer şekilde, retikülospinal ve vestibülospinal yolaklardaki bozukluklar, kasların kontrolsüz bir şekilde kasılmasına ve postüral bozulmalara yol açabilir. Supraspinal düzeydeki inhibe edici sinyallerin zayıflaması, alfa motor nöronların daha düşük eşiğe sahip olmasına ve bu nöronların aşırı uyarılmasına neden olur (8).

Spinal mekanizmalar ise, omurilik düzeyinde yer alan refleks arklar ve internöronlar arasındaki etkileşimlere dayanır. Omurilikteki refleks kontrolü, propriyoseptif reseptörlerden gelen duysal geri bildirimlerle düzenlenir ve normal şartlarda omurilikteki internöronlar aracılığıyla sağlanan inhibitör sinyaller, reflekslerin aşırı olmasını önler (10). Ancak spinal düzeyde meydana gelen patolojiler, bu inhibitör sinyallerin bozulmasına ve reflekslerin kontrolsüz şekilde artmasına yol açar (12). Alfa motor nöronların uyarılabilirlik eşliğinin azalması, bu nöronların daha düşük seviyede uyarıcılarla tetiklenmesine yol açar. Gama motor nöronların spontan deşarjının artması ise, kas içiciklerinin aşırı duyarlı hale gelmesine neden olur ve refleksif kasılmaların şiddetlenmesine katkıda bulunur (12,13). İnternöron aracılı inhibisyonun bozulması, kas grupları arasındaki koordinasyonu ve dengeyi etkileyerek antagonist kasların düzgün bir şekilde çalışmasını engeller. Özellikle resiprokal ve otojenik inhibisyon mekanizmalarının bozulması, refleks aktivitesinin kontrolsüz şekilde artmasına yol açar (14).

Spastisitenin gelişiminde bu iki nöral mekanizma genellikle birlikte çalışır. Üst motor nöron hasarları, omurilikteki motor devrelerin inhibe edilmesini

zorlaştırarak reflekslerin artmasına ve spastisiteye yol açar. Spinal düzeydeki mekanizmalar ise bu refleks aktivitesinin kontrolsüz hale gelmesinden sorumludur. Sonuç olarak, spastisiteye neden olan nöral mekanizmalar, merkezi sinir sistemindeki tonus regülasyonunu sağlayan eksitator ve inhibitör uyarılar arasındaki dengenin eksitasyon lehine bozulması, alfa motor nöronların uyarılabilirlik eşliğinin düşmesi, gama motor nöronların spontan deşarjında artış ve internöronlar aracılığıyla sağlanan resiprokal ve otojenik inhibisyonun bozulması gibi faktörlerin bir veya birkaçının kombinasyonunu içerebilir (12,15).

Non-Nöral Mekanizmalar

Spastisitenin klinik sonuçları, kas ve eklem düzeyinde gözlemlenen yapısal ve fonksiyonel değişiklikleri kapsamaktadır. Bu non-nöral mekanizmalar, kas ve eklemlerin fizyolojik özelliklerinde zamanla ortaya çıkan bozulmalarla ilişkilidir ve spastisitenin ilerleyen aşamalarında belirgin bir rol oynar (16). Spastisitenin erken dönemlerinde, kasın pasif gerilime karşı gösterdiği direnç hıza bağımlı bir karakter taşıırken, non-nöral mekanizmaların devreye girmesiyle bu direnç giderek hızdan bağımsız hale gelir. Bu durum, zamanla kas ve eklemlerde deformitelerin gelişmesine ve hastanın fonksiyonel kapasitesinin daha da sınırlanmasına yol açar (15-17).

Non-nöral mekanizmalar, spastisitenin ilerlemesiyle birlikte kas ve eklemlerde görülen yapısal değişikliklerle karakterizedir. Bu mekanizmalar kapsamında kaslarda ve eklemlerde viskoelastik özelliklerin değişmesi, sarkomerlerin yerini yağ ve bağ dokusunun alması ve ekstraselüler matrikste titin birikimi sonucunda elastikiyetin kaybı gibi süreçler yer almaktadır (14). Bu yapısal değişiklikler, kasın viskoelastik özelliklerinde bozulmalara, elastikiyet kaybına ve kas fonksiyonunun kademeli olarak azalmasına yol açar (13). Non-nöral mekanizmalar sonucunda, kas dokusunun kontraktıl kapasitesi azalır ve kasların üretebileceği maksimum kuvvet önemli ölçüde düşer. Ek olarak, eklemler ve çevresindeki bağ dokularında meydana gelen değişiklikler, kas-iskelet sisteminin fonksiyonel bütünlüğünü olumsuz etkileyerek spastisiteye bağlı postüral bozukluklar ve hareket kısıtlılıklarının gelişmesine neden olur (17).

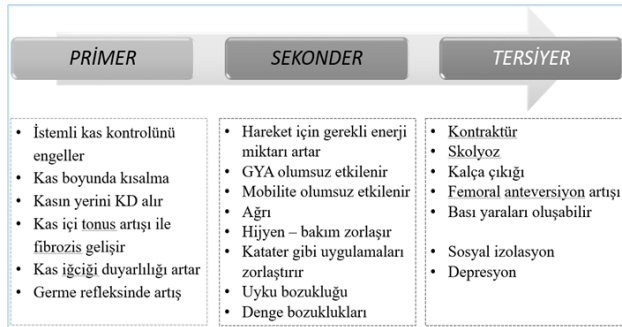
Sonuç olarak, spastisite, yalnızca nöral mekanizmalarla açıklanamayacak kadar karmaşık bir patofizyolojik sürecin ürünü olduğu görülmektedir. Spastisitenin ortaya çıkmasında ve şiddetlenmesinde hem nöral (artmış motor nöron eksitabilitesi, gama motor nöron aktivitesinin artışı,

inhibitör yolların disfonksiyonu) hem de non-nöral (kas ve eklemlerde viskoelastik değişiklikler, yağ ve bağ dokusu infiltrasyonu, elastikiyet kaybı) mekanizmalar önemli rol oynar (13,15-17).

Spastisitenin Klinik Özellikleri

Hipertoni kavramı altında yer alan spastisite, klinik olarak artmış kas tonusu, hiperaktif derin tendon refleksleri, kas güçsüzlüğü ve zayıf koordinasyon ile karakterize edilen bir motor bozukluktur. Bu klinik özellikler, merkezi sinir sistemindeki lezyonun oluş zamanı, büyüklüğü, lokalizasyonu ve dağılımına bağlı olarak farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır (1,15).

Spastisite, yalnızca motor sistemi etkileyen bir patoloji olmayıp, pek çok sorunu da beraberinde getirmektedir. Spastisitenin neden olduğu birincil problemler, zaman içinde ikincil ve üçüncül komplikasyonlara dönüşebilmekte ve bu durum hastaların günlük yaşam aktivitelerini belirgin ölçüde kısıtlayarak yaşam kalitesinde ciddi düşüşlere neden olabilmektedir (18). Şekil 1’de, spastisitenin neden olduğu birincil, ikincil ve üçüncül problemlere örnekler sunulmuştur.



GYA: günlük yaşam aktiviteleri, KD: konnektif doku.

Şekil 1. Spastisitenin neden olduğu klinik problemler

Spastisitenin çoğunlukla olumsuz etkiler doğurduğu ve bu etkilerin tedavi gerektirdiği bilinmektedir. Bununla birlikte, bazı nörolojik hastalıkların karmaşık klinik tabloları içinde spastisitenin olumlu etkilerinin de bulunabileceği göz önünde bulundurulmalı ve spastisite tedavisinde klinik karar sürecinde bu faktörler dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla, spastisite yalnızca gerektiği ölçüde ve doğru yaklaşımla tedavi edilmelidir. Spastisitenin pozitif olarak kabul edilebilecek etkileri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (13,15):

- Ekstansör spastisite ayakta durma ve yürüme fonksiyonlarına destek olabilir,
- Kas atrofisini geciktirme potansiyeline sahiptir,

• Venler üzerinde oluşturduğu pompalama etkisi sayesinde ödemi ve derin ven trombozu riskini azaltabilir,

• Kemik üzerinde oluşturduğu stres, kemik mineralizasyonunu pozitif etkileyerek osteoporoz oluşumunu kısmen geciktirebilir,

• Torasik ve abdominal kasların spastisitesi öksürmeye ve bronşiyal sekresyonların temizlenmesine yardımcı olabilir.

Spastisitenin klinik özelliklerinin yanı sıra, spastisiteyi etkileyen faktörlerin de göz önünde bulundurulması önemlidir. Bu faktörler, hem spastisitenin değerlendirilmesi hem de tedavi sürecinde dikkate alınmalıdır. Spastisite, çeşitli tıbbi, çevresel ve kişisel etkenlerden etkilenmektedir. Tıbbi etkenler arasında kontraktürler, enfeksiyonlar (örn. tırnak enfeksiyonları, idrar yolu enfeksiyonları), dekübit ülserleri, egzema gibi cilt lezyonları ve kas-iskelet sistemi patolojileri yer almaktadır (17). Bireysel etkenler ise depresyon, stres, korku, yorgunluk, duygusal bozukluklar ve mental etkilenim düzeyi olarak sıralanabilir. Ayrıca, spastisite, aşırı sıcak veya soğuk ortamlar, yüksek nem oranı, gürültü ve fazla uyaran gibi çevresel faktörlerden de olumsuz etkilenmektedir (16).

Spastisitenin Değerlendirilmesi

Spastisite, genellikle yaşam boyu süren kronik bir durumun parçasıdır. Spastisitenin etkin bir şekilde yönetilebilmesi için bu durumun özelliklerinin ayrıntılı olarak bilinmesi, hastanın spastisite tablosunun kapsamlı şekilde analiz edilmesi ve uygun multidisipliner yaklaşımlar ile klinik kararların alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda, spastisitenin değerlendirilmesi yalnızca tedavi öncesinde değil, tedavi sırasında yapılan ara kontrollerde de düzenli ve ayrıntılı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Bu süreç, tedavinin dinamik olarak planlanmasını, klinik prognozunu farklı evrelerde izlenmesini, ilerleme veya gerilemelerin saptanmasını ve hastanın ihtiyaçlarına uygun olarak tedavi programında gerekli güncellemelerin yapılmasını sağlayacaktır.

Klinik değerlendirme:

Spastisitenin klinik değerlendirilmesi, hastanın öyküsünün ve fizik muayenesinin kapsamlı bir şekilde ele alınmasıyla başlar. Klinik değerlendirme, spastisitenin sıklığı, şiddeti, lokalizasyonu, süresi, uyku ve günlük yaşam aktiviteleri üzerindeki etkileri ile daha önce denenen tedaviler ve kullanılan ilaçların incelenmesini içerir.

Anamnezde hastanın tıbbi ve ailesel geçmişi, önceki tedaviler, kullanılan ilaçlar ve sosyoekonomik koşullar mutlaka değerlendirilmelidir. Spastisitenin önemli bir subjektif klinik semptomu olan ağrı, bu patolojiyi etkileyebilecek veya spastisiteden etkilenen bir faktördür (19). Bu bağlamda, ağrının tipi, lokalizasyonu, süresi ve şiddeti detaylı şekilde sorgulanmalıdır. Hastanın fonksiyonel durumu, günlük yaşam aktivitelerini gerçekleştirebilme düzeyi ve sosyal katılım seviyesi subjektif değerlendirme ölçekleri aracılığıyla belirlenmelidir (6). Ayrıca hastanın bir bakım verene ihtiyaç duyup duymadığı ve bakım verenin özellikleri de incelenmelidir. Bireyin kognitif ve emosyonel durumu, hem değerlendirme sürecini hem de tedavi sonuçlarını etkileyebileceğinden mutlaka dikkate alınmalıdır (6,12). Bununla birlikte, hastanın ve bazı durumlarda ailesinin öncelikli hedefleri (fonksiyonel iyileşme, ağrı yönetimi, öz bakım, estetik kaygılar vb.) değerlendirme sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır.

Spastisitenin klinik değerlendirilmesinde birden fazla yöntem bulunmaktadır. En temel yöntemlerden biri olan inspeksiyon (gözlem), hasta kapıdan içeri girdiği anda başlamalıdır. Hastanın hangi aktiviteleri ne kadar yardımla yapabildiği belirlenmeli ve oturma, sırtüstü yatma gibi farklı pozisyonlarda dinlenme postürleri gözlemlenmelidir. Kas tonusu değerlendirilmeden önce, ilgili eklem aktif ve pasif hareket açıklıkları ölçülmeli ve spastisite değerlendirmesini etkileyebilecek deformiteler ya da kontraktürler gibi bulgular varsa kaydedilmelidir. Spastisitenin yalnızca tek bir pozisyonda değerlendirilmesi yanıltıcı olabileceğinden, farklı pozisyonlarda değerlendirilmesi önem arz etmektedir (6).

Modifiye Ashworth Skalası (MAS), spastisite değerlendirmesinde klinikte en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu değerlendirme yöntemi, hastanın rahat bir pozisyonda bulunduğu sırada uygulanır. İlgili eklem, pasif olarak, tekrarlayıcı ve hızlı bir şekilde hareket ettirilir ve kasın gösterdiği dirence göre spastisite şiddeti evrelendirilir (Tablo 2). MAS, herhangi bir ekipman gerektirmemesi ve klinikte kolayca uygulanabilmesi nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir (20). Literatürde yer alan çeşitli

çalışmalarda, MAS'ın inme ve serebral palsili hastalarda güvenilir olduğu gösterilmiştir (21-23); örneğin, kalça fleksörlerinde orta ila iyi düzeyde güvenilirlik ($ICC=0,61\sim0,87$) sunmuştur (21).

MAS klinikte yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, çeşitli endişeler bildirilmiştir (20, 24). Bu endişeler arasında, güvenilir değerlendirmeler için yeterli eğitim ve standart tekniklerin gerekliliği, yalnızca pasif harekete karşı direnci ölçen sınırlı bir yöntem olması, direncin hıza bağlı bileşenini izole etmemesi ve kontraktil olmayan yumuşak doku özellikleri, eklem sertliği ve gerilme refleksi yanıtlarından etkilenmesi bulunmaktadır (24). Diğer yandan bir klinik çalışmada, MAS temelinde makine öğrenimi modelleriyle desteklenen otomatik bir spastisite değerlendirmesi geliştirmek amaçlanmış; daha spesifik ve veri odaklı bir sınıflandırıcı önerilmiştir (25). Önerilen model, dirsek hareketi, miyo-elektrik sinyali ve kas kuvveti gibi nicel veri girdilerini, 0'dan 4'e kadar tahmin ederek MAS ölçeğine dönüştürmektedir. Çalışmada sınıflandırıcının performansının, özellikle 2. ve 3. MAS seviyeleri için daha kapsamlı veri setleri toplayarak geliştirilebileceğini rapor etmişlerdir (25). Bu çalışma sıklıkla kullanılan klinik değerlendirme yöntemleri ile teknolojik gelişmelerin entegrasyonu açısından umut vericidir.

Tardieu Skalası (TS), spastisitenin değerlendirilmesi için geliştirilmiş geçerli ve güvenilir bir ölçektir ve hipertonus ile kontraktürü ayırt etmede yarar sağlar (26,27). TS ile kas tonusunun şiddeti, belirlenmiş değişik hızlarda (V1, V2, V3) değerlendirilir. V2; ekstremitenin yerçekimi ile düşüş hızını ifade etmektedir ve diğer iki hızın standardizasyonu için kullanılır. V1; mümkün olduğunca yavaş, V3; mümkün olduğunca hızlı şeklinde tanımlanır. Eklem hareketi sırasında direnç artışının saptandığı ilk açı değeri kaydedilir (R1). Hareket açıklığının sonundaki açı ile kıyaslanır (R2). İki ölçüm arasındaki fark spastisite şiddeti olarak yorumlanır (Tablo 3). TS, yavaş ve hızlı hızlardaki direnci ayırt edebilmesine rağmen, önemli derecede eğitim ve deneyim gerektirmesi ve yalnızca pasif direnci ölçmesi, zayıf yanları olarak kabul edilmektedir (27,28).

Tablo 2. Tardieu Skalasına göre Spastisite Evrelendirmesi

Modifiye Ashworth Skalası	
0	Tonus artışı yok
1	Hareket açıklığının sonunda yakalama ve gevşeme veya minimal bir direnç ile karakterize hafif tonus artışı mevcut
1+	Eklem hareket açıklığının yarıdan azı boyunca, minimal direncin izlendiği hafif kas tonusu artışı mevcut
2	Kas tonusu tüm eklem hareket açıklığı boyunca ve daha fazla artmış, fakat eklemler kolayca hareket ettirilebiliyor
3	Pasif hareketi zorlaştıran belirgin tonus artışı mevcuttur
4	Etkilenen kısımlar fleksiyon ve ekstansiyonda rijittir

Tablo 3. Tardieu Skalasına göre Spastisite Evrelendirmesi

Derece	Tanımlama
0	Pasif hareket boyunca direnç yok
1	Pasif hareket boyunca hafif direnç ancak herhangi bir spesifik açıda yakalama hissi yok
2	Pasif hareket spesifik açıda yakalama hissi ile kesilir daha sonra rahatlama olur
3	Basınç devam ettirildiğinde spesifik bir açıda oluşan 10 saniyeden daha az devam eden yorgunluk oluşturan klonus
4	Basınç devam ettirildiğinde spesifik bir açıda oluşan 10 saniyeden daha fazla devam eden yorgunluk oluşturan klonus
Değerlendirilemeyen	Tutarsız ölçümler ya da farklı açılarda yakalama hissi olduktan sonra rahatlama olmaması

Modifiye Tardieu Skalası (MTS), ekstremitelerde değerlendirme pozisyonlarını genişletmiş; yavaş ve hızlı pasif germe arasındaki göreceli farkı belirleyerek kas kontraktürünün dinamik bileşenini ortaya çıkarmak üzere geliştirilen, TS'in güncellenmiş versiyonudur (26). MTS yüksek güvenilirliğe (ICC=0.847) sahiptir (27) ve hızla bağımlı değerlendirme protokolü nedeniyle, Ashworth veya MAS'a kıyasla daha uygun bir değerlendirme aracı olarak kabul edilmektedir (28).

Triple Spasticity Scale (TSS), spastik kastaki değişiklikleri yakalamak için hareket hızı, klonus durumu ve dinamik kas uzunluğunu dikkate alır. TSS, üç alt bileşenden oluşur: I) Artan direnç ve artan hız, II) Klonusun süreklilik zamanı ve III) dinamik kas uzunluğu (29). TSS puanları, 0 ile 10 arasında değişir, 0 spastisite olmadığını, 10 ise ciddi spastisiteyi gösterir. TSS toplam puanının test-tekrar test güvenilirliği yüksek düzeyde bulunmuştur (ICC = 0,905~0,918) (30).

MAS, TS ve TSS spastisitenin klinik değerlendirmesinde en sık kullanılan, pratik, geçerli ve kabul görmüş değerlendirme yöntemleridir. Bu yöntemlere ek olarak kullanılan diğer ölçekler arasında Modifiye Penn Spazm Ölçeği, Australian Spasticity Assessment Scale (ASAS), Sayısal Oranlama Ölçeği (NRS-S; Numeric Rating Scale for Spasticity), Hypertonia assessment tool ve Multipl Skleroz Spastisite Ölçeği (MSSS) sayılabilir. Bu ölçekler çoğunlukla spastisite şiddetini belirlemekten ziyade hipertonisite türlerini ayırmak için kullanılmaktadır (6,24).

Bu ölçekler arasında diğerlerine göre nispeten daha yeni ve güncel olanlar NRS-S ve MSSS'dir (24). NRS-S; son 24 saat içinde hastanın algıladığı ortalama spastisiteyi 0-10 arasında derecelendirmesine dayanır. Sıfır değeri 'spastisite yok' olarak ifade edilirken, on değeri 'en şiddetli spastisite' anlamına gelmektedir. Ancak hastanın spastisite algısı gerçek spastisiteden farklı olabileceği için güvenilirliği düşük bir testtir (31). MSSS ise multipl skleroz tanılı hastalar için geliştirilmiş olup, hastanın spastisitenin etkilerini

nasıl algıladığı değerlendirilir. Kas sertliği, ağrı ve huzursuzluk, kas spazmı, günlük yaşam aktiviteleri, vücut hareketleri, yürüyüş, emosyonel durum ve sosyal fonksiyonları içeren 8 alt başlıktan oluşmaktadır. Multipl skleroz tanılı hastalarda geçerli ve güvenilir olduğu Hobart ve ark. tarafından bildirilmiştir (32). ASAS, spastisiteyi değerlendirirken hızla bağımlı özellikleri dikkate almakta ve klinik uyum açısından MAS'a benzer şekilde beş dereceli bir puanlama kullanmaktadır. ASAS, hem üst hem de alt ekstremitelerde değerlendirilmesinde iyi düzeyde güvenilirlik göstermiştir (33).

Biyomekanik ve cihaz temelli değerlendirmeler:

Klinik ölçekler spastisitenin şiddetini değerlendirmek için sıklıkla kullanılmakta olup pratik avantajlar sunsa da, bu yöntemler genellikle subjektif değerlendirmelere dayanmakta ve hız, kas tonusu gibi biyomekanik değişkenleri yeterince dikkate almamaktadır. Dolayısıyla biyomekanik ve cihaz temelli değerlendirme yöntemleri, spastisitenin objektif ölçümüne ve nörofizyolojik mekanizmalarının daha detaylı analizine olanak tanıyan önemli araçlardır.

Spastisite, kas tonusunda artış ve refleks yanıtların anormal şekilde güçlenmesi ile karakterize olduğu için biyomekanik açıdan incelenmesi, spastik kasların mekanik özelliklerinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Biyomekanik yöntemler, eklem hareketleri sırasında kas tonusu ve sertliğinin nesnel olarak değerlendirilmesini sağlar. Bu yöntemler arasında Pendulum testi, kuvvet/tork ölçümü, atalet sensörleri ve robot destekli değerlendirmeler öne çıkmaktadır.

Pendulum testi, spastisitenin şiddetini belirlemek amacıyla Wartenberg tarafından geliştirilmiş bir biyomekanik değerlendirme yöntemidir. Bu test, alt ekstremitenin yerçekimi etkisiyle serbest bırakıldığında sarkaç benzeri bir salınım hareketi yaparak, kasın ani bir gerilme karşısındaki refleks yanıtını ölçer (34). Test sırasında oluşan kas gerilimi ve bunun sonucunda meydana gelen fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri gözlemlenir ve bu salınımlar,

spastisitenin derecesini değerlendirmek için kullanılır (35). Sıklıkla diz eklemine uygulanan pendulum testi ile m. quadricepsi değerlendirmek için; hasta yarı yatar veya sırtüstü pozisyonunda, dizi muayene masasının kenarında olacak şekilde pozisyonlanır. Değerlendirici hastanın bacağına kaldırdıktan sonra, bacağın yer çekimi etkisiyle serbestçe düşmesi ve sallanmasına izin vererek oluşan hareketin serbestliğini değerlendirir. Değerlendirme için kabul edilmiş, standardize bir ölçek bulunmamaktadır (36). Yüksek tekrarlanabilirlik sunması ve non-invaziv olması avantajları; deneyim gerektirmesi, hastanın iş birliği yapmasını gerektirmesi, her kas için uygulanabilir olmaması dezavantajlarındandır (24). Değerlendiriciler arası güvenilirliği serebral palsili çocuklarda ve normal gelişim gösteren çocuklarda iyi düzeyde bulunmuştur (sırasıyla ICC=0,79~0,95 ve 0,88~0,99) (37,38). Pendulum testinin daha gelişmiş versiyonlarında, kas aktivitesini daha objektif şekilde ölçmek amacıyla elektromiyografi (EMG) cihazı eklenmiştir. Ayrıca, diz eklem açısının daha hassas bir şekilde kaydedilmesi için elektrogonyometre kullanılarak testin doğruluğu artırılmıştır. EMG, kas aktivitesinin elektriksel potansiyellerini ölçerek spastisitenin daha detaylı bir analizi için önemli veriler sağlar (36).

Spasticity Assessment System (SPAS), pendulum testine dayalı olarak geliştirilen bu test sırasında kasların istemsiz refleks aktivasyonunu ve bu aktivasyondan kaynaklanan spastik torku değerlendirmeyi amaçlar. Bu sistem, iki ataletsel sensör ve iki yüzey elektromyografi (sEMG) kayıt birimi kullanarak spastik kasların refleks yanıtlarını analiz eder (38). SPAS, spastik torku iki temel parametre ile değerlendirir: Parametre a, torkun gücüyle ilişkili olup kasın gerilme karşısındaki direncini gösterirken, parametre b ise nötr pozisyona gevşemenin süresi ile ilişkilidir. Ancak, bu yeni yöntemin güvenilirliğini ve etkinliğini değerlendirmek amacıyla daha geniş örneklem grupları üzerinde yapılacak randomize kontrollü çalışmalara (RKÇ) ihtiyaç duyulmaktadır (26).

Taşınabilir sensör tabanlı spastisite değerlendirme cihazları genellikle açısız, atalet, tork veya yüzey elektromiyografi (sEMG) sensörlerine dayalı olarak geliştirilmektedir (39,40). Bu cihazlar, atalet sensörleri, tork ölçerler veya sEMG gibi sensörler kullanarak eklem açısı, kas aktivitesi ve pasif germe sırasında ortaya çıkan direnç gibi verileri toplar. Ataletsel sensörler, küçük boyutları, hafiflikleri ve yüksek doğrulukları nedeniyle insan hareket takibi için popüler bir seçimdir. Atalet sensörleri ile hareket

verileri kaydedilir ve bu veriler makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak işlenir, böylece kasların spastik yanıt düzeyleri belirlenir (41). Güncel bir çalışmada, dirseğin dorsal tarafına yerleştirilen üç atalet sensöründen alınan veriler değerlendirilmiş; atalet verilerine dayalı makine öğrenimi algoritmalarının dirsek kasının spastisitesini sınıflandırmada %95,4 doğrulukla iyi performans gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca, alt ekstremitelerin pasif germe hızına ek olarak anormal kas tepkisi gibi ek bilgiler sağlamak için atalet sensörü tabanlı cihaza görsel biyogeribildirim eklenmiştir. Cihaz, diz fleksör ve ekstansör ve ayak bileği plantar fleksöründe iyi bir test-tekrar test güvenilirliği göstermektedir (ICC>0,8) (40). Taşınabilir sensör tabanlı spastisite değerlendirme cihazların genellikle spastisiteyi sınıflandırmada yüksek doğruluk sağladığı bildirilmiş olsa da, bu alanda yapılacak geniş kapsamlı yeni çalışmalar sonuçların doğrulanmasını ve olası iyileştirmelerin planlanmasını mümkün kılabilir.

Elektrofizyolojik ölçümler, spastisite değerlendirilmesinde önemli bir araç olarak kullanılmakta olup, bu değerlendirme genellikle çok kanallı dinamik EMG ile yapılır. Bu yöntemle kas aktivitesi detaylı bir şekilde incelenir ve sinir-kas sistemi arasındaki anormal iletimler tespit edilebilir (26). Elektrofizyolojik ölçümler için yanıtlar genellikle şu üç yöntemle elde edilir: kası innerve eden periferik sinirin elektriksel uyarılmasıyla oluşan H-refleksi, kasın pasif olarak gerilmesiyle ortaya çıkan gerilme refleksi ve/veya tendon vuruşuyla tetiklenen T-refleksi. H-refleksi, spastik kasın elektriksel uyarımına verilen EMG yanıtını ölçer. İlk olarak M-dalgası olarak adlandırılan birinci yanıtın ve ardından H-refleksi olarak bilinen ikinci yanıtın büyüklüğü kaydedilir. H-refleksi ile M-dalgası arasındaki oran (H/M oranı), spastisiteyi değerlendirmek için bir ölçüt olarak kullanılabilir (42). Gerilme refleksi, kasın gerilmesiyle oluşan biyoelektrik yanıtın EMG aracılığıyla kaydedilmesini içerir. Bu refleks manuel olarak veya bir motor sistemi kullanılarak tetiklenebilir. Veriler daha sonra spastisiteyi değerlendirmek için analiz edilir. T refleksi, spastik kasın farklı hızlı gerilmeleri sırasında eklem açısının bir elektrogonyometre ile kaydedilmesi ve kasın biyoelektrik yanıtının EMG ile ölçülmesiyle elde edilir (17,43).

Tonus Germe Refleks Eşiği (TSRT), spastik kasın çeşitli hızlarda gerilmesi sırasında eklem açısının bir elektrogonyometre ile ve miyo-elektrik yanıtın EMG kullanılarak ölçülmesiyle belirlenmektedir (44).

TSRT indeksi, gerilme refleksi eşiği açısı ve hız verileri kullanılarak doğrusal regresyon yöntemiyle hesaplanır (29, 36). Nörofizyolojik ölçümler, motor sistemlerin çeşitli uyarıcılara verdiği elektriksel aktiviteleri tespit ettikleri için spastisiteyi ölçmede en doğru yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu ölçümler, güvenilirlik ve ayırt edici geçerlilik açısından en umut verici olmakla birlikte; yüksek değişkenlik, çevresel koşullar ile bilişsel yetenekler tarafından etkilenme ve klinik uygulanabilirlikte sınırlılık gibi bazı sınırlamaları vardır (45, 36).

Robot destekli spastisite cihazları, EMG elektrotlarına ek olarak gonyometreler ve basınç sensörleri kullanarak spastisite değerlendirmesinin doğruluğunu artırabileceği düşünülen cihazlardır. Bu cihazların hastaya özgü rehabilitasyon için klinik ortamlarda kullanılabileceği ve spastisite değerlendirmesini otomatikleştirerek önemli ve objektif bir alternatif olabileceği öne sürülmektedir (46). Önde gelen robot destekli spastisite değerlendirme cihazı olan Lokomat, nörolojik hareket bozukluğu olan bireylerde, kısmi vücut ağırlığı desteğiyle robotik yardımlı yürüyüş rehabilitasyonu amacıyla tasarlanmıştır (47). Lökomatla yürüyüş sırasında eklem sertliğini belirlemek üzere geliştirilen L-STIFF aracı, önceden tanımlanmış pasif hareketler sırasında kalça ve diz eklemlerinde, fleksiyon ve ekstansiyon esnasında direnç torkundaki değişiklikleri ölçer. Bu ölçüm, eklemin sabit bir hızda ve kontrollü hareket aralığında hareket ettirilmesiyle gerçekleştirilir (46,47). Cherni ve ark., otomatik robot destekli cihazların klinik spastisite değerlendirmesi için alternatif olabileceği öne sürülmüştür. Çalışmalarında alt ekstremitte spastisitesinin değerlendirilmesinde hızlı ve orta hareket hızlarında yavaş hızlara kıyasla değerlendiriciler arası güvenilirliği daha iyi olduğunu bildirmişlerdir (46). Bu alanda yeni teknolojik gelişmelerle, kanıt düzeyi yüksek bilimsel çalışmaların entegrasyonu belirleyici olacaktır.

Miyonometri ise, spastisite değerlendirmesinde kasların biyomekanik özelliklerini objektif bir şekilde ölçmeye olanak sağlayan bir yöntemdir. Geleneksel germe tekniklerinden farklı olarak, miyonometri, spastik kaslara kısa darbeler gönderen bir prob kullanarak kas sertliği gibi parametreleri nicel olarak değerlendirir (26). Araştırmalar, miyonometri ile yapılan ölçümlerin, inne geçiren hastalarda bilek sertliğinin sağlıklı bireylere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğunu göstermiştir (48). Ayrıca, Yamaguchi ve arkadaşları, miyonometri kullanarak

spastik hastaların kas-tendon-eklem sertliğini değerlendirmiş ve ölçümlerin hem değerlendiriciler arası hem de aynı değerlendiricinin tekrarlı ölçümleri arasında yüksek güvenilirlik sağladığını ortaya koymuştur (49). Diğer yandan, Li ve arkadaşları, myonometri ile pasif germe testleri arasındaki negatif ilişkiyi ($r < -0,5$; $p < 0,05$) vurgulayarak bu yöntemin geçerliliğinin daha fazla araştırılması gerektiğini belirtmiştir (50). Myionometri, spastisite değerlendirmesinde nörolojik ve yapısal bileşenlerin ayrımını yaparak kanıta dayalı tedavi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilme potansiyeline sahiptir; ancak etkinliğini daha iyi anlayabilmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, miyonometri kullanımındaki temel sınırlama, donanımlı laboratuvarların ve deneyimli uygulayıcıların eksikliğidir. Ayrıca, bu cihazlar klinik ortamlar için uygun olmayabilir ve klinisyenlerin öğrenme sürecini zorlaştırabilir (49,50). Bu nedenle, miyonometri, spastisitenin patofizyolojik mekanizmalarını inceleyen bilimsel çalışmalar için daha uygunken, rutin klinik değerlendirmelerde daha az kullanışlı olacağı düşünülebilir.

Ultrason elastografi, yumuşak doku elastikiyetini değerlendirmede kullanılan yeni bir yöntem olarak klinik uygulamalarda giderek yaygınlaşmıştır (51). Shear wave ve strain elastografi yöntemleri, spastik biceps ve gastrocnemius kaslarının, nonparetik kaslara veya sağlıklı bireylere kıyasla daha sert olduğunu göstermiştir (52,53). Post-stroke spastisite hastalarında ultrason elastografinin kullanımına dair çalışmalar artmakla birlikte, PSS'nin ölçüm ve tedavi takibindeki etkinliği konusunda net bir görüş birliği oluşmamıştır. Ultrason elastografi tedavi yanıtını izlemek için yararlı olsa da, çalışma tasarımlarındaki çeşitlilik ve operatöre bağımlılık gibi sınırlamalar mevcuttur (51).

Yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS), kas hemodinamiği ve metabolizmasını non-invaziv bir şekilde gerçek zamanlı ölçen bir optik yöntemdir (54). NIRS'in spastik kaslardaki kan hacmi ve oksidatif kapasite değişikliklerini non-invaziv olarak tespit edebilmesi, MAS ve EMG gibi yöntemlerle ilişkilendirilerek spastisite değerlendirme yöntemi olarak kullanımını mümkün kılmaktadır. Ancak, çalışmalarda spastisitenin tanımlanmasındaki farklılıklar, NIRS'in etkinliğine ilişkin karşılaştırmalar yapmayı zorlaştırmakta ve sonuçların genel geçerliği konusunda sınırlamalar yaratmaktadır (55).

NIRS'in spastisiteyi ölçme konusunda işlevsel bir cihaz olup olmadığını kesinleştirmek için, NIRS verilerinin raporlanmasında standartlaştırılmış, tekrarlanabilir ve güvenilir bir format benimsenmesi gereklidir.

Nöromüsküloskeletal Modeller

Nöromüsküloskeletal modeller, spastisiteyi kasların gerilme sırasında verdiği refleks yanıtları, eklem hareketliliği ve kas-tendon dinamiklerini simüle ederek değerlendirir. Bu süreçte kas aktivasyonu, germe refleksleri ve eklemlerde oluşan tork gibi veriler kullanılarak spastik kasların mekanik ve nörolojik davranışları analiz edilir. Nöromüsküloskeletal modeller, spastik kasların altında yatan patolojiyi anlamada önemli bilgiler sunabilir, özellikle kas refleks aktiviteleri ve doku davranışları hakkında veri sağlayabilir (56,57). Ancak, bu modellerin geliştirilmesi, spastisite kaslarının karmaşıklığı nedeniyle zordur ve doğrulama için çeşitli deneysel verilere ihtiyaç vardır (58).

Van der Krogt ve ekibi, serebral palsili çocuklarda hamstring kaslarının spastisite ve kontraktür değerlendirmesini nöromüsküloskeletal modellerle gerçekleştirmiş ve başarılı sonuçlar elde etmiştir (57). Ayrıca, bir çalışma inme sonrası hastaların spastisite tepkilerini MAS modeli ile simüle etmiş, ancak dirsek spastisitesi ölçümünde güvenilirlik eksikliği bulunmuştur (59). Mevcut bulgular, bu modellerin spazm değerlendirmesinde potansiyel taşıdığını, ancak klinik uygulamada sınırlı kaldığını göstermektedir.

Klinisyenlerin kullanımı için geliştirilmiş nöral sensör tabanlı çok modlu eldiven, spastisite değerlendirmesi alanındaki en güncel yöntemlerden biri olarak literatüre eklenmiştir (60). Spastisitenin daha doğru ve objektif şekilde ölçülmesi için geliştirilen bu taşınabilir, çok modlu sensör eldiveni, biyomekanik verilerle spastisitenin dinamik özelliklerini ortaya koyarak, sinirsel ve yapısal bileşenlerin ayrımını yapmayı amaçlamıştır. Bu çalışmanın limitasyonları, genel anestezi gerektiren hastalarla sınırlı ölçümler yapılmış olması ve farklı değerlendiriciler arasında ölçüm tutarlılığının incelenmemesidir (60). Gelecekte anestezi gerektirmeyen hastaların incelenmesi, sensör eldiveninin biyomekanik özellikleri farklı hastalarda izlenmesi ve farklı değerlendiriciler arasında tutarlılık değerlendirmeleri yapılması, yöntemin geçerliliği, güvenilirliği ve kullanabilirliği açısından belirleyici olacaktır.

Tele-değerlendirme

Yakın geçmişte yaşadığımız COVID-19 pandemisi pek çok hastalık ve semptomun değerlendirmesini zorlaştırdığı gibi, spastisite değerlendirmesini de olumsuz etkilemiştir. Spastisite değerlendirilmesinin takip ve tedavi için önemi ve gerekliliği, bu alanda tele-değerlendirmenin bir çözüm olarak öne çıkmasına neden olmuştur. Spastisite için tele-değerlendirme uygulamaları, klinisyenlerin bakım verenleri yönlendirdiği sanal yöntemlerle gerçekleştirilmiştir (61). Çeşitli çalışmalar tele-değerlendirmelerin güvenilirliğini incelemiştir. Harper ve arkadaşları, tele-değerlendirme ile yapılan spastisite taramasının yüz yüze değerlendirme ile %94 doğrulukla ($\kappa = 0.875$) benzer sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir (62). Kim ve arkadaşları ise dirsek fleksör gücü ve spastisite için uzaktan ve yüz yüze değerlendirme arasında kısmi uyum bulmuştur ($\kappa = 0.643$ ve $\kappa = 0.308$) (63). Öte yandan, De Donno ve arkadaşları, tele-değerlendirmenin etik, hukuki ve teknik sorunlar nedeniyle yetersiz kaldığını belirtmiştir (64).

Tele-değerlendirmenin uzun vadeli kullanım potansiyeli yüksektir ve pandemi sonrasında da gelişmeye devam etmesi öngörülmektedir (65). Ancak, tele-tıp ile spastisite değerlendirmeleri için standart bir prosedür yoktur ve güvenilirlik doğrulamaları yetersizdir (26). Bu yöntem özellikle yatağa bağımlı hastalar için uygun olabilir, ancak birden fazla kişinin katılımını gerektiren karmaşık bir süreç olması ve literatürdeki çelişkili sonuçlar, tele-değerlendirmenin spastisite için henüz uygun bir yöntem olmadığını düşündürmektedir. Bu alan teknolojik gelişmelere açık olmakla birlikte yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Spastisitenin kapsamlı şekilde değerlendirmesi, hastaların yaşam kalitesini iyileştirmek ve uygun tedavi yöntemlerini belirlemek için kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte değerlendirme öncesinde spastisitenin yararlı ve zararlı etkileri analiz edilmesi ve sonuçların bu bağlamda yorumlanması gerekir. Günümüzde mevcut değerlendirme yöntemlerinin standart olmayan ölçüm protokolleri, tutarsız güvenilirlik sonuçları ve üst motor nöron lezyonlarında nöronal ve nöronal olmayan faktörleri ayırt etme becerilerinin yetersizliği gibi sınırlılıkları bulunmaktadır. Biyosensörler, robotik ve biyomekanik cihazlar ile tele-değerlendirme gibi yeni nesil spastisite değerlendirme yöntemleri, daha nicel ve doğru değerlendirmelere olanak tanıyarak mevcut klinik değerlendirme yöntemlerinin etkinliğini

artırmaya yönelik olarak geliştirilmiştir. Bununla birlikte, spastisitenin genellikle aktif hareketler sırasında daha belirgin patolojik bulgular sergilediği göz önüne alındığında, mevcut değerlendirme yöntemlerinin çoğunlukla pasif değerlendirmeyi ön planda tutarken aktif hareket sırasındaki değerlendirmeyi göz ardı etme eğiliminde olması önemli bir sınırlılıktır. Aktif hareketler sırasında ortaya çıkan spastik reaksiyonlar, hastaların günlük yaşam aktivitelerini doğrudan etkilemekte ve bu durum, tedavi yaklaşımlarını da zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, gelecekteki araştırmaların, spastisitenin kapsamlı bir değerlendirmesini sağlamak için hem aktif hem de pasif motor değerlendirmeleri birleştirmesi ve hasta öz bildirimlerini de değerlendirmeye dahil etmesi daha bütünsel bir yaklaşım geliştirmeye olanak tanıyacaktır. Gelecekteki araştırmalar spastisite değerlendirmelerinin kalitesini ve etkinliğini artırmak için büyük bir potansiyele sahiptir. Spastisiteyi daha bütüncül bir perspektiften anlamak ve değerlendirme doğruluğunu artırmak, klinik pratikte daha etkili müdahale stratejilerinin geliştirilmesine ve hastalarının yaşam kalitesinin iyileştirilmesine önemli ölçüde katkı sağlayabilir.

Çıkar çatışması ▪ Conflict of interest: Yazar ya da yazı ile ilgili bildirilen herhangi bir çıkar çatışması yoktur. ▪ There is no conflict of interest declared regarding the author or the article.

Maddi destek ▪ Financial support: Yazar maddi destek almadıklarını beyan ederler. ▪ The authors declare that they received no financial support.

KAYNAKLAR

1. Mukherjee A, Chakravarty A. Spasticity mechanisms- for the clinician. *Frontiers in neurology*, 2010;1, 149.
2. Good JM. The study of medicine, vol 4. Baldwin, Cradock and Joy, London, 1829;182.
3. Thilmann A.F. Spasticity: History, Definitions, and Usage of the Term. In: Thilmann AF, Burke DJ, Rymer WZ. (eds) *Spasticity*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1993; 245.
4. Lance JW. "Symposium," in *Spasticity: Disordered motor control*, eds RG Feldman, RR Young, and WP Koella (Chicago: Year Book Medical Pubs), 1980;485-495.
5. Li S, Francisco GE, Rymer WZ. A new definition of poststroke spasticity and the interference of spasticity with motor recovery from acute to chronic stages. *Neurorehabil Neural Repair*. 2021;35(7):601-610.
6. Verduzco-Gutierrez M, Raghavan P, Prunte J, Moon D, List CM, Hornyak JE et al. AAPM&R consensus guidance on spasticity assessment and management. *PMR*. 2024;16(8):864-887.
7. Delp MD, Laughlin MH. Regulation of skeletal muscle perfusion during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 1998;162(3): 411-419.
8. Masi AT, Hannon JC. Human resting muscle tone (HRMT): narrative introduction and modern concepts. *J Bodyw Mov Ther*. 2008;12(4):320-32.
9. Ganguly, J., Kulshreshtha, D., Almotiri, M., Jog, M. Muscle tone physiology and abnormalities. *Toxins*. 2021;13(4), 282.
10. Carello, C., Turvey, M. T. Physics and psychology of the muscle sense. *Current directions in psychological science*. 2004;13(1), 25-28.
11. Zhang LQ, Chen K, Kang SH, Sliwa JA, Cohen BA, Rymer WZ, et al. Characterizations of reflex and nonreflex changes in spastic multiple sclerosis. *Journal of neuroscience methods*, 2014;231:3-8.
12. Raghavan P. Neural basis of spasticity. In: Raghavan P, ed. *Spasticity and Muscle Stiffness: Restoring Form and Function*. 1st ed. Springer Nature;2022.
13. Kirischuk S, Sinning A, Blanquie O, Yang JW, Luhmann HJ, Kilb W. Modulation of neocortical development by early neuronal activity: physiology and pathophysiology. *Front Cell Neurosci*. 2017;11:379.
14. Pandyan AD, Gregoric M, Barnes MP. Spasticity: clinical perceptions, neurological realities and meaningful measurement. *Disabil Rehabil*. 2005;27(1-2):2-6.
15. Sáinz-Pelayo MP, Albu S, Murillo N, Benito-Penalva J. Spasticity in neurological pathologies. An update on the pathophysiological mechanisms, advances in diagnosis and treatment. *Rev Neurol*. 2020;70(12):453-460.
16. Stecco, A., Stecco, C., Raghavan, P. Peripheral mechanisms contributing to spasticity and implications for treatment. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*. 2014;2, 121-127.
17. Xu, D., Wu, Y. N., Gaebler Spira, D., Gao, F., Clegg, N. J., Delgado, M. R., Zhang, L. Q. Neural and nonneural contributions to ankle spasticity in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2020;62(9), 1040-1046.

18. Gormley ME Jr, Krach LE, Piccini L. Spasticity management in the child with spastic quadriplegia. *Eur J Neurol*. 2001;8(Suppl 5):127-135.
19. Flanigan M, Gaebler-Spira D, Kocherginsky M, Garrett A, Marciniak C. Spasticity and pain in adults with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2020;62(3):379-385.
20. Lin JP, Brown JK, Brotherstone R. Assessment of spasticity in hemiplegic cerebral palsy. II: Distal lower-limb reflex excitability and function. *Dev Med Child Neurol*. 1994; 36:290-303.
21. Mutlu A, Livanelioglu A, Gunel MK. Reliability of Ashworth and Modified Ashworth scales in children with spastic cerebral palsy. *BMC Musculoskelet Disord*. 2008; 9:44.
22. Clopton N, Dutton J, Featherston T, Grigsby A, Mobley J, Melvin J. Interrater and intrarater reliability of the modified ashworth scale in children with hypertonia. *Pediatr Phys Ther* 2005;17:268-274.
23. Gregson JM, Leathley M, Moore AP, Sharma AK, Smith TL, Watkins CL: Reliability of the tone assessment scale and the modified ashworth scale as clinical tools for assessing poststroke spasticity. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80:1013-1016.
24. Hugos CL, Cameron MH. Assessment and measurement of spasticity in MS: State of the Evidence. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2019;19(10):79.
25. Yee J, Low CY, Mohamad Hashim N, Che Zakaria NA, Johar K, Othman NA et al. Clinical Spasticity Assessment Assisted by Machine Learning Methods and Rule-Based Decision. *Diagnostics*. 2023;13:73-9.
26. He J, Luo A, Yu J, Qian C, Liu D, Hou M, et al. Quantitative assessment of spasticity: a narrative review of novel approaches and technologies. *Front Neurol*. 2023;14:1121323.
27. Patrick E, Ada L. The Tardieu Scale differentiates contracture from spasticity whereas the Ashworth Scale is confounded by it. *Clin Rehabil*. 2006;20:173– 82.
28. Haugh AB, Pandyan AD, Johnson GR. A systematic review of the Tardieu Scale for the measurement of spasticity. *Disabil Rehabil*. 2006;28:899–907.
29. Li F, Wu YD, Xiong L. Reliability of a new scale for measurement of spasticity in stroke patients. *J Rehabil Med*. 2014;46:746–53.
30. Qin W, Yang M, Li F, Chen C, Zhen L, Tian S. Influence of positional changes on spasticity of the upper extremity in poststroke hemiplegic patients. *Neurosci Lett*. 2019;712:134479.
31. Biering-Sørensen F, Nielsen JB, Klinge K. Spasticity-assessment: a review. *Spinal cord*, 2008;44.12: 708.
32. Hobart JC, Riazi A, Thompson AJ, Stiles IM, Ingram W, Vickery PJ et al. Getting the measure of spasticity in multiple sclerosis: the Multiple Sclerosis Spasticity Scale (MSSS-88). *Brain*. 2006;129: 224–34.
33. Calame A, Singer BJ. Inter-and intra-rater reliability of the Australian spasticity assessment scale in adults with acquired brain injury. *Open J Therapy Rehabil*. 2015;3:77.
34. Wartenberg R. Pendulousness of the legs as a diagnostic test. *Neurology*. 1951;1(1):18-24.
35. Rahimi F, Eyvazpour R, Salahshour N, Azghani MR. Objective assessment of spasticity by pendulum test: a systematic review on methods of implementation and outcome measures. *Biomed Eng Online*. 2020;19:18.
36. Aloraini SM, Alassaf AM, Alrezgan MM, Aldaihan MM. Spasticity Measurement Tools and Their Psychometric Properties Among Children and Adolescents With Cerebral Palsy: A Systematic Review. *Pediatr Phys Ther*. 2022;34(4):449-463.
37. Szopa A, Domagalska-Szopa M, Kidon Z, Syczewska M. Quadriceps femoris spasticity in children with cerebral palsy: measurement with the pendulum test and relationship with gait abnormalities. *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11:10.
38. Aleksić A, Popović DB. New scale for assessing spasticity based on the pendulum test. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2022;25(6):593-602.
39. Wang C, Peng L, Hou ZG, Zhang P. The assessment of upper-limb spasticity based on a multi-layer process using a portable measurement system. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2021;29:2242–51.
40. Choi S, Shin YB, Kim SY, Kim JA novel sensor-based assessment of lower limb spasticity in children with cerebral palsy. *J Neuroeng Rehabil*. 2018;15:16.
41. Zhang H, Xiao Z, Wang J, Li F, Szczerbicki E. A novel IoT-perceptive human activity recognition (HAR) approach using multihead convolutional attention. *IEEE Int Things J*. 2020;7:1072–80.

42. Kohan AH, Abootalebi S, Khoshnevisan A, Rahgozar M. Comparison of modified Ashworth scale and Hoffmann reflex in study of spasticity. *Acta Med Iran*. 2010;48(3):154-157.
43. Germanotta M, Taborri J, Rossi S, Frascarelli F, Palermo E, Cappa P et al. Spasticity measurement based on tonic stretch reflex threshold in children with cerebral palsy using the PediAnklebot. *Front Hum Neurosci*. 2017;11:277.
44. Nourizadeh, M., Shadgan, B., Abbasidezfouli, S. Juricic M, Mulpuri K. Methods of muscle spasticity assessment in children with cerebral palsy: a scoping review. *J Orthop Surg Res* 2024;19:401.
45. Malhotra S, Pandyan AD, Day CR, Jones PW, Hermens H. Spasticity, an impairment that is poorly defined and poorly measured. *Clin Rehabil*. 2009;23(7):651-658.
46. Cherni Y, Ballaz L, Girardin-Vignola G, Begon M. Intra- and inter-tester reliability of spasticity assessment in standing position in children and adolescents with cerebral palsy using a paediatric exoskeleton. *Disabil Rehabil*. 2021;43:1001-7.
47. Schmartz AC, Meyer-Heim AD, Muller R, Bolliger M. Measurement of muscle stiffness using robotic assisted gait orthosis in children with cerebral palsy: a proof of concept. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2011;6(1): 29-37.
48. Rydahl SJ, Brouwer BJ. Ankle stiffness and tissue compliance in stroke survivors: a validation of Myotonometer measurements. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85:1631-7.
49. Yamaguchi T, Petersen TH, Kirk H, Forman C, Svane C, Kofoed-Hansen M et al. Spasticity in adults with cerebral palsy and multiple sclerosis measured by objective clinically applicable technique. *Clin Neurophysiol*. 2018;129:2010- 21.
50. Li X, Shin H, Li S, Zhou P. Assessing muscle spasticity with Myotonometric and passive stretch measurements: validity of the Myotonometer. *Sci Rep*. 2017;7:44022.
51. Lin MT, Yang SM, Wu HW, Chen YH, Wu CH. Utility of ultrasound elastography to evaluate poststroke spasticity and therapeutic efficacy: A narrative review. *J Med Ultrasound*. 2023;31:171-7.
52. Wu CH, Lin YY, Chen WS, Wang TG. Sonoelastographic evaluation of plantar fascia after shock wave therapy for recalcitrant plantar fasciitis: A 12-month longitudinal follow-up study. *Sci Rep*. 2020;10:2571.
53. Sigrist RMS, Liao J, Kaffas AE, Chammas MC, Willmann JK. Ultrasound Elastography: Review of Techniques and Clinical Applications. *Theranostics*. 2017; 7:1303-1329.
54. Ferrari M, Mottola L, Quaresima V. Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy, *Can. J. Appl. Physiol*. 2004; 29:463-487.
55. McDougall J, Chow E, Harris RL, Mills PB. Near-infrared spectroscopy as a quantitative spasticity assessment tool: A systematic review. *J Neurol Sci*. 2020;412:116729.
56. Bar-On L, Aertbeliën E, Molenaers G, Desloovere K. Muscle activation patterns when passively stretching spastic lower limb muscles of children with cerebral palsy. *PLoS one*. 2014;9:e917-59.
57. Van der Krogt MM, Bar-On L, Kindt T, Desloovere K, Harlaar J. Neuro-musculoskeletal simulation of instrumented contracture and spasticity assessment in children with cerebral palsy. *J Neuroeng Rehabil*. 2016; 13:11.
58. Yee J, Low CY, Hashim NM, Hanapiah FA, Soh WS, Zakaria NAC et al. Data-driven model for upper limb spasticity detection. *Int J Integ Eng*. 2021; 13:180-8.
59. Park J-H, Lee K-J, Yoon Y-S, Son E-J, Oh J-S, Kang SH et al. Development of elbow spasticity model for objective training of spasticity assessment of patients post stroke. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*. 2017:146-51.
60. Amit M, Yalcin C, Liu J, Skalsky A, Garudadri H, Nga N. Multimodal assessment of spasticity using a point-of-care instrumented glove to separate neural and biomechanical contributions. *iScience*. 2022; 25:10,5286.
61. Verduzco-Gutierrez M, Bean AC, Tenforde AS, Tapia RN, Silver JK. How to conduct an outpatient telemedicine rehabilitation or prehabilitation visit. *PM R*. 2020;12:714-20.
62. Harper KA, Butler EC, Hacker ML, Naik A, Eoff BR, Phibbs FT et al. A comparative evaluation of telehealth and direct assessment when screening for spasticity in residents of two long-term care facilities. *Clin Rehabil*. 2021;35:589-94.
63. Kim J, Sin M, Kim WS, Min YS, Kim W, Park D et al. Remote assessment of post-stroke elbow function using internet-based telerobotics: a proof-of-concept study. *Front Neurol*. 2020;11:583101.

64. De Donno A, Acella A, Angrisani C, Gubinelli G, Musci G, Gravili G et al. Suspension of care for patients with spasticity during COVID-19 pandemic: ethical and medico-legal point of view starting from an Italian study. *Front Med*. 2021;8:10.
65. Knox L, McDermott C, Hobson E. Telehealth in long-term neurological conditions: the potential, the challenges and the key recommendations. *J Med Eng Technol*. 2022; 46:1–12.