



DIYAFRAM TONUS BOZUKLUKLARI

Orçin TELLİ ATALAY¹, Sinem KURU², Server ERDOĞMUŞ GÜLCAN³, Seda BAYRAMOĞLU²

¹Pamukkale Üniversitesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Fakültesi, Denizli, TÜRKİYE

²Pamukkale Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Denizli, TÜRKİYE

³Mudanya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Bursa, TÜRKİYE

Öz

Diyafram, toraks ve abdominal kaviteyi ayıran kubbe biçimli muskulofibröz yapı olarak, solunumun temel kası ve yaşam için vazgeçilmez bir organ olarak kabul edilir. Kas liflerinin özgün yapısı ve sinirsel innervasyonu sayesinde, hem istirahat hem de zorlu solunumda kritik bir rol oynar. Diyaframın elektriksel aktivitesi, nörofizyolojik tekniklerle izlenebilmekte ve ventilasyon desteğinin kişiye özel ayarlanmasında önemli bir gösterge olmaktadır.

Ancak çeşitli patolojik durumlar -sinir, kas veya nöromusküler düzeydeki hasarlar- diyafram disfonksiyonuna yol açar; bu durumlar dispne, egzersiz intoleransı ve solunum yetmezliği gibi ciddi klinik tabloları beraberinde getirir. Konjenital evantrasyon, paralizi, spastisite ve myoklonus gibi farklı disfonksiyon formları, solunum fonksiyonlarının bozulmasına ve yaşam kalitesinde düşüşe neden olur. Özellikle nörolojik hastalıklarda diyafram spastisitesi, kas kasılmalarının kısıtlanması yoluyla ventilasyon etkinliğini olumsuz etkiler.

Bu derleme, diyaframın anatomik ve fizyolojik özelliklerini, elektriksel aktivite değerlendirme yöntemlerini ve disfonksiyonlarının klinik etkilerini kapsamlı biçimde ele alarak, diyafram sağlığının korunması ve hastalıkların etkin yönetimi için multidisipliner yaklaşımların önemini vurgulamaktadır.

Anahtar kelimeler: Diyafram, Diyafram eventrasyonu, Diyafragmatik flutter, Elektrofizyoloji, Spastisite

Abstract

The diaphragm, a dome-shaped musculo-fibrous structure separating the thoracic and abdominal cavities, is recognized as the primary muscle of respiration and an indispensable organ for life. Thanks to the unique composition of its muscle fibers and neural innervation, it plays a critical role in both resting and forced breathing.

The electrical activity of the diaphragm can be monitored using neurophysiological techniques, serving as an important indicator for personalized ventilatory support adjustments.

However, various pathological conditions—affecting the nerves, muscles, or neuromuscular junction—lead to diaphragmatic dysfunction, which may cause dyspnea, exercise intolerance, and respiratory failure. Different forms of dysfunction such as congenital eventration, paralysis, spasticity, and myoclonus contribute to impaired respiratory functions and reduced quality of life. Particularly in neurological diseases, diaphragmatic spasticity negatively impacts ventilatory efficiency by limiting muscle contraction capacity.

This review comprehensively discusses the anatomical and physiological features of the diaphragm, methods for assessing its electrical activity, and the clinical implications of its dysfunctions. It highlights the importance of a multidisciplinary approach for preserving diaphragm health and effectively managing related diseases.

Key Words: Diaphragm, Diaphragmatic eventration, Diaphragmatic flutter, Electrophysiology, Spasticity

GİRİŞ

Solunum fizyoterapisi, solunum kaslarını güçlendirmeyi, akciğer ventilasyonunu artırmayı ve hava yolu sekresyonlarının etkin bir şekilde uzaklaştırılmasını hedefleyen bütüncül bir yaklaşım olarak klinik pratiğe entegre edilmektedir. Bu bağlamda, diyafram kası özellikle kritik bir rol oynar; çünkü diyaframın etkin çalışması, solunumun temel mekanizmasını destekler ve ventilasyon-perfüzyon uyumunun sağlanmasına katkıda bulunur (1). Solunum fizyoterapisi sırasında uygulanan çeşitli teknikler, diyaframın aktif katılımını teşvik ederek hem inspiratuvar hem de ekspiratuvar kasların performansını artırır, böylece solunum kapasitesinin



korunmasına ve solunum yükünün azalmasına yardımcı olur. Diyaframın bu merkezi rolü göz önünde bulundurulduğunda, diyafram pacing gibi daha spesifik müdahaleler, yüksek servikal omurilik yaralanması veya nöromüsküler hastalıklar gibi durumlarda, frenik sinire uygulanan elektriksel uyarılar yoluyla diyafram kasılmalarını doğrudan aktive ederek ventilatör bağımlılığını azaltmayı ve spontan solunumu desteklemeyi mümkün kılar (2). Benzer şekilde, noninvaziv ventilasyon uygulamaları da diyaframın etkin çalışmasına destek sağlayarak solunum yükünü hafifletir ve hastaların yaşam kalitesini artırır. Bu yöntemlerin tümü, diyafram fonksiyonunu optimize etmeye yönelik bütüncül bir yaklaşım sunmakta, mekanik ventilasyon gereksinimini azaltmakta ve hastaların günlük yaşam aktivitelerinde bağımsızlıklarını korumalarına katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, her bir yöntemin klinik etkinliği, hasta profili, diyafram kas fonksiyonları ve tedavi süresi dikkate alınarak bireyselleştirilmelidir (3).

Diyafram

Diyafram, eski Yunanca'daki "bölme" anlamındaki 'diaphragma' kelimesinden köken alır. Toraksı ve abdominal kaviteyi birbirinden ayıran, kubbe şeklindeki muskulofibröz anatomik bir yapıdır (4). Diyafram, yetişkinlerde vücut ağırlığının %0,5'inden daha az ağırlığa sahiptir ancak kalp kasından sonra en önemli çizgili kastır (5).

Diyafram embriyogenezisin 4-12. haftalarında dört temel yapıdan kaynak olarak gelişir. Septum transversumdan anterior santral tendon, plöroperitoneal membranlardan dorsolateral kısımlar, özofagus mezenterinden dorsal kruralar ve torasik interkostal kas grubundan ise diyaframın musküler kısımları oluşur. Embriyolojik gelişim sürecinde meydana gelebilecek olan gecikme veya değişimler konjenital diyafram evantrasyonuna ya da herniasyonlara neden olmaktadır (6).

Diyafram, kasılmayan merkezi fibröz bir bölümden ve sternal, kostal, lomber kas gruplarına ayrılmış periferik bir kas yapısından oluşur (7). Periferdeki kas lifleri diyaframın orta kısmında birleşerek santral tendonu oluştururlar. Bu tendon üç yapraklı bir yoncaya

benzetilebilir. Sağ ve sol yaprak diyaframın kubbesini meydana getirir. Ön yaprağın üst tarafı ise perikard ile kısmen birleşmiş halde bulunur. Diyaframın etrafı plevra ve peritonun ince tabakaları ile kaplıdır (8).

Diyafram; muskulofrenik arter, perikardiyofrenik arter, interkostal arterler ve superior ve inferior frenik arterlerden beslenir (9). Diyaframın motor ve sensöriyel innervasyonu, spinal kordun C3- C5 seviyesinden köken alan frenik sinir tarafından sağlanmaktadır. Frenik sinir, aynı taraf diyafram yaprağının innervasyonunu sağlar ve diyafram innervasyonundan daha çok C4 sorumludur (6).

Kubbe şeklindeki bu yapı, sağ ve sol hemidiyafram olarak iki bölüme ayrılır. Diyaframın asimetrik bir görünümü vardır. Sağ tarafta karaciğerin alttan basısı ve solda kalbin ağırlığı nedeniyle sağ hemidiyafram sola göre daha yukarıda yer almaktadır (8,10).

Diyafram 4 tip kas lifinden oluşmaktadır. Tip 1 lifler, yavaş kasılan, yüksek oksidatif metabolizmaya sahip, yorgunluğa karşı dirençli olan liflerdir. Tip 2a, 2b ve 2x olarak adlandırılanlar ise hızlı kasılma ve çabuk yorulma özelliğine sahiptirler. Diyafram kasında Tip1 ve Tip 2 lif oranları birbirine eşittir. Normal solunumda yavaş lifler esas olarak işlev görürken, hızlı lifler genellikle aktif veya eforlu inspirasyon-ekspirasyonda aktif rol oynar (11,12).

Diyaframın Önemi ve Solunum Fonksiyonları Üzerindeki Etkisi

Diyaframın en önemli anatomik fonksiyonu toraks ve abdomeni birbirinden ayırmaktır. En önemli fizyolojik fonksiyonu ise solunuma olan katkısıdır. Diyafram, ventilasyonun temel kasıdır ve solunum fonksiyonunun yaklaşık %70'inde rol oynamaktadır (5,13). Diyafram inspirasyon sırasında aktiftir, kasıldığında kaudal yönde hareket eder ve torakal kavitenin hacmi artar. Bu hareket intraabdominal basıncı artırır ve intraplevral basıncı düşürür. İntraplevral basınçtaki düşmenin etkisiyle hava atmosferden alveollere doğru hareket eder. Diyaframda oluşan dikey hareket sonucunda sakin solunum sırasında pozisyonu 1-2 cm yer değiştirebilirken, zorlu veya derin solunum sırasında pozisyonu 6-7 cm kadar yer değiştirebilir. Diyaframın her 1 cm'lik vertikal hareketi 300 ila 400 ml havanın içeri alınmasını sağlamaktadır (14,15,16).



GEREÇ VE YÖNTEM

Bu derlemenin kapsamı, diyafram kasının tonus bozukluklarına ilişkin mevcut literatürü incelemek ve klinik açıdan farklı tabloları bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmektir. Bu doğrultuda, diyaframın normal fizyolojik işlevleri, tonus regülasyonu, tonus bozukluklarının (hipotoni, hipertonsite, spastisite, diyafragmatik flutter ve myoklonus gibi) klinik görünümüleri ve tanısallara yaklaşımlarına odaklanan çalışmalar incelenmiştir. Literatür taraması Aralık 2024–Şubat 2025 tarihleri arasında PubMed, Scopus ve Google Scholar veri tabanları kullanılarak yapılmıştır. Taramada “diyafram, solunum, diyafram disfonksiyonu, evantrasyon, diyafragmatik flutter, diyafram myoklonus, elektriksel aktivite, Van Leeuwenhoek hastalığı, spastisite, nöroloji, fizyoterapi” Türkçe anahtar kelimeleri ve “diaphragm, respiratory, diaphragmatic dysfunction, eventration, diaphragmatic flutter, diaphragmatic myoclonus, spasticity, hypotonia, hypertonia, neurology, physiotherapy, rehabilitation” İngilizce anahtar kelimeleri kullanılmış olup ulaşılan makaleler gözden geçirilmiştir. Derlemeye dahil edilme kriterleri arasında; diyafram tonus bozukluklarını doğrudan inceleyen, insanlarda yapılmış klinik araştırmalar, gözlemsel çalışmalar, vaka raporları ve sistematik/narratif derlemeler yer almaktadır. Çalışma kapsamı dışında bırakılan yayınlar ise kadavra çalışmaları, yalnızca özet düzeyinde yayımlanmış bildiriler, metodolojik açıdan yetersiz bulunan çalışmalar ve İngilizce/Türkçe dışındaki dillerde yayımlanmış yayınlardır. Bu sınırlamalar, derlemenin odaklandığı klinik bağlamı korumak ve konuya ilişkin güncel, erişilebilir ve doğrudan ilgili bulguları bir araya getirmek amacıyla belirlenmiştir.

Diyafram Disfonksiyonu

Diyafram disfonksiyonu, merkezi sinir sistemini, frenik siniri, nöromusküler kavşağı veya diyafram kasını etkileyen patolojik süreçler veya yaralanmalardan kaynaklanabilir (14). Diyafram disfonksiyonunun insidansı, etiyolojide birçok hastalığın rol oynaması nedeniyle tam olarak bilinmemektedir. Bu disfonksiyon, solunum semptomlarının varlığı ile ilişkilidir, dispne, egzersiz intoleransı, uyku bozuklukları, hipersomni ve en

ciddi vakalarda sağkalım üzerinde olumsuz bir etkiye yol açabilir (17).

Diyafram disfonksiyonu terimi, evantrasyon, zayıflık ve diyafram paralizisini içermektedir (18). Diyafram evantrasyonu, hemidiyaframın tamamının veya bir kısmının kalıcı olarak yükselmesidir (18,19). Erişkinlerde nadir görülen bir durumdur. Diyafram evantrasyonu primer ya da kazanılmış frenik sinir hasarı sonrası oluşabilir. Konjenital diyafram evantrasyonu genellikle sol hemidiyaframı etkiler ve diyaframda kas lifleri yoğunluğunda belirgin bir azalma ile karakterizedir (20).

Diyafram zayıflığı, yeterli ventilasyon için gerekli basıncı oluşturmak için kas gücünün kısmen kaybıdır, paralizisi ise bu kapasitenin tamamen yokluğu anlamına gelmektedir. Bu bozukluk nedene bağlı olarak tek taraflı veya bilateral, geçici veya kalıcı olabilmektedir (19,21,22).

Fıtık, diyaframdaki bir defektten batın içi organların veya dokunun dışarı çıkmasıdır. En sık görülen konjenital fıtıklar Bochdalek ve Morgani ve edinilmiş olanlar arasında hiatus fıtığıdır (19,23).

Diyafram disfonksiyonunun nadir görülen bir formu olan diyafragmatik flutter ise, düzenli istemsiz kasılmaların tekrarlayan, değişken süreli ataklarının ortaya çıkmasıyla karakterize bir disfonksiyondur (24).

Diyafram Tonus Bozuklukları

Diyaframda santral tendona bitişik bir şekilde bulunan kas iğcikleri diyaframda germe refleksinin olduğunu güçlü bir şekilde ortaya koymaktadır (25). Oluşabilecek germe refleksi, diyaframın elektriksel aktivitesini etkileyebilir (26).

Diyaframın elektriksel aktivitesi, diyafram elektromiyografisi (dEMG), nöral olarak ayarlanmış ventilasyon yardımı (NAVA) gibi yöntemlerle invaziv veya noninvaziv olarak ölçülebilir (27,28,29,30). Elektrofizyolojik teknikler, diyaframın elektriksel aktivitesinin, sakin solunum veya maksimum solunum çabaları sırasındaki kuvvet üretimiyle ilişkilendirilmesi, diyafragmatik zayıflığı ve artan yük koşulları altında yorulma eğilimini değerlendirmek için kullanılır (31,32,33,34). Diyaframın elektriksel aktivitesinin



izlenmesi, ventilasyon ayarlarının her hastanın özel atrofisine karşı koruma sağlanmasına olanak tanır (35). durumuna göre daha iyi ayarlanmasına ve diyafram

Tablo 1. Demg ve NAVA avantajları ve sınırlılıkları (36,37,38,39)

Yöntem	Avantajları	Sınırlılıkları
dEMG	Kas aktivitesini gerçek hareket sırasında ölçer.	Elektrot yerleşimi ve cilt-iletişimi sinyal kalitesini etkiler.
	Fonksiyonel değerlendirme (yürüme, merdiven çıkma vb.) yapmaya olanak tanır.	Hareket sırasında gürültü (artefakt) riski yüksektir.
	Kas aktivasyon paternlerini, zamanlamayı ve simetriyi gösterir.	Kasların derinliklerine ulaşamaz (yüzeysel kaslarla sınırlı).
	Rehabilitasyon ve cerrahi sonuçlarını takip etmeye uygundur.	Klinik yorumlama uzmanlık gerektirir.
	Spor performans analizi ve yaralanma risk değerlendirmesinde kullanılabilir.	Ekipman maliyetlidir.
	Ventilatör desteği hastanın diyafram aktivitesiyle senkronize olur.	Diyaframdan Edi kateteri yerleştirilmesi gerekir (invaziv sayılır).
NAVA	Hasta-ventilatör uyumunu artırır.	Diyafram EMG sinyalleri zayıf veya bozursa çalışmaz.
	Aşırı veya yetersiz ventilasyonu önler.	Teknik bilgi ve özel ekipman gerektirir.
	Tidal volüm ve basınç hastanın ihtiyacına göre ayarlanır.	Her merkezde mevcut değildir.
	Sedasyon ihtiyacını azaltabilir.	Maliyet yüksektir.
	Yenidoğan ve pediatrik hastalarda özellikle etkilidir.	

dEMG: Diyafragmatik Elektromyografi, **NAVA:** Noninvasive Neurally Adjusted Ventilatory Assist.

Solunum işinin diyaframın elektriksel aktivitesiyle ilişkili olduğunu öne süren bazı çalışmalar vardır (40). Yenidoğan ve pediatrik yoğun bakım ünitesinde bulunan bebeklerde yapılan çalışmalarda bebekler mekanik ventilasyondan ayırılırken veya daha az destekleyici uygulamalara geçirilirken diyaframdaki elektriksel aktivitenin arttığı gözlemlenmiştir (41). Ayrıca bu artışın en çok ayırma

girişiminde başarısız olan bebeklerde belirgin olduğu belirtilmiştir (27,42). Bu durum diyafram aktivitesinin solunum yükündeki artışı telafi etmek için arttığı hipotezini desteklemektedir (42).

Ekspirasyon boyunca devam eden diyafram aktivasyonu 'tonik diyafragmatik aktivite' olarak tanımlanır ve diyaframın kalıcı aktivasyonunu yansıtır (43). Bu kalıcı



aktivasyon hem mekanik ventilasyon uygulanan hem de kendiliğinden nefes alan bebeklerde ve daha büyük çocuklarda hastalık durumlarında tanımlanmıştır (44). Yükselmiş tonik diyafragmatik aktivite varlığının hipoksemiye önlemek için ekspirasyon sonu akciğer hacminin korunmasında rol oynadığı düşünülmektedir (43). Ancak sürekli yüksek seyreden tonik diyafragmatik aktivite diyaframda yorgunluğa neden olabilir (45).

Diyaframın elektriksel aktivitesi ve tonik diyafragmatik aktivite dikkatli bir şekilde takip edilmeli ve oluşabilecek olumsuzluklar önlenmelidir.

Diyafram tonusundaki bozukluklar, hem nörolojik hem de mekanik nedenlerle ortaya çıkabilir ve solunum kapasitesi ile ventilasyon-perfüzyon uyumunu doğrudan etkiler (46) Klinik olarak diyafram tonus bozuklukları, artmış tonus (hipertonik), azalmış tonus (hipotonik) ve dalgalı veya periyodik tonus değişiklikleri şeklinde sınıflandırılabilir (47).

Hipertonik diyafram bozuklukları genellikle inspirasyon sırasında artan direnç veya kas sertliği ile karakterizedir. Bu durum, yüksek servikal omurilik yaralanması, serebral palsi veya bazı nöromusküler hastalıklarda gözlenebilir ve solunum etkinliğini kısıtlayabilir. Hipertonik diyaframda kas kasılmaları artarken, diyaframın alt segmentlerinin yeterli genişlemesi engellenebilir, bu da akciğer volümlerinin azalmasına yol açar (48).

Hipotonik Diyafram bozuklukları ise diyafram kasının gevşek ve düşük tonuslu olduğu durumlardır. Bu durum, nöromusküler hastalıklar, kas distrofileri veya uzun süreli ventilatör kullanımı sonrası gözlenebilir. Hipotonik diyafram, inspiratuvar basıncı üretmekte yetersiz kalır ve bu da hipoventilasyon riskini artırır (49)

Periyodik veya dalgalı diyafram tonusu bozuklukları, myoklonus veya flutter benzeri kısa süreli, tekrarlayan kasılmalar ile karakterizedir. Bu tür bozukluklar, özellikle bazı nörolojik hastalıklarda diyaframın ritmik kasılmalarında düzensizlik yaratır ve solunum etkinliğini bozabilir (2)

Diyafragmatik Myoklonus (Flutter)

Diyafragmatik myoklonus, diyaframın yüksek frekanslı,

ani ve kısa süreli, şok benzeri istemsiz kasılmasıdır (50,51). Birkaç dakika süren ve günde 10-15 kez meydana gelen karın duvarının istemsiz hızlı kasılmaları olarak ortaya çıkar (52). Van Leeuwenhoek hastalığı veya diyafram flutter olarak da adlandırılır (53). Yenidoğanlarda, bebeklerde, adölesanlarda ve yetişkinlerde her iki cinsiyette de görülebilmektedir (54,55,56,57,58). Nefes darlığı, çarpıntı, göğüs ağrısı, karın ağrısı gibi semptomlar gözlenir (57). Tanısı dEMG veya floroskopi ile doğrulanabilir (59).

Diyafragmatik myoklonus fizyolojik, esansiyel, epileptik ve semptomatik nedenlerle ortaya çıkabilir (60). Ancak çoğu nedeni semptomatiktir ve posthipoksi, toksik-metabolik bozukluklar, ilaçlara reaksiyonlar, enfeksiyonlar ve nörodejeneratif bozuklukları içerir (51).

Hipertansiyon, hafif düzey böbrek yetmezliği olan daha sonra Alzheimer teşhisi nedeniyle artan dozlarda ilaç tedavisine başlanan vakada ilaç kullanımından 2 hafta sonra karın kasılmalarının başladığı bildirilmiştir. Yapılan nörolojik değerlendirmelerde herhangi bir anormal bulgunun olmadığı, diyafragmatik myoklonusun farmakolojik toksisite nedeniyle olabileceği şüphesiyle yeni başlanan ilacın kesildiği bildirilmiştir. Ve sonucunda semptomlarda düzelme gözlenmiştir (60).

Borroni ve ark. 2020 yılında Dünya Sağlık Örgütü tarafından pandemi ilan edilen Covid-19 salgınından sonra diyafragmatik myoklonus tanısı alan iki vakayı incelemişlerdir. Her iki vakada solunum şikayetlerinin geçmesine rağmen diyaframın sarsıntılı kasılmalarının geçmediğini ve bu kasılmaların nefes darlığına neden olduğunu bildirmişlerdir. Her iki vakada da merkezi sinir sisteminin hasarına dair bulgu tespit edilmemiştir. Birinci vakada, EEG'de herhangi bir kortikal korelasyon bulunmadığı için myoklonusun kortikal kökenli olmadığı düşünülmektedir. Ancak ikinci vakada, EEG'de, diyafragmatik myoklonik hareketlerle senkron ve asenkronize lateralize periyodik deşarjlar gözlemlenmiştir. Korteks değişiklikleri ile myoklonik sarsıntular arasındaki zaman aralığına bakıldığında, bunların düzensiz olduğu görülmüştür ancak ilaca verilen iyi yanıtla birlikte korteksin en azından kısmen tutulduğu düşünülmektedir. Ancak patogenetik mekanizma açıklanamamaktadır (55).

Panigrahy ve ark. term dönemde, 3100 gram doğan



solunum sıkıntısı ve aşırı tükürük salgısı nedeniyle yenidoğan yoğun bakım ünitesine alınan bir vakayı takip etmişlerdir. Entübe edilmesine rağmen solunum problemlerinde bir düzelme olmadığı, laterjik olduğu, kas tonusu ve reflekslerinin zayıf olduğunu bildirmişlerdir. Floroskopi ile tanı doğrulanmış ve farmakolojik tedavi ile iyileşme gözlemlendiği bildirilmiştir (54).

17 yaşında ani başlayan karın kasılmalarıyla hastaneye başvuran vakada floroskopi sonucunda diyaframın istemsiz kasılmaları görülmüştür. Uygulanan farmakolojik tedavi ve frenik sinir bloğu sonrası anormal hareketlerin kaybolduğu ancak 6 ay sonra tekrar başladığı bildirilmiştir (58).

Diyafragmatik myoklonusa neden olan tüm bu etkenlerin yanında iatrojenik nedenlerle de diyafragmatik myoklonus görülebilir. Onesti ve ark. bir vakada kalp pilinin yanlış yerleştirilmesi sonucu diyafragmatik myoklonus görüldüğünü bildirmişlerdir (61). Bedarf ve ark. da implante kardiyoverter/defibrilatör elektrot dislokasyonu nedeniyle oluşan tek taraflı diyafram myoklonuslu bir vaka bildirmişlerdir (50).

Diyafram myoklonusuna birçok farklı etkenin neden olmasının yanında tedavisinde de farklı yöntemler kullanılmaktadır. Tedavilerde sebep olan etkenin tedavisinin yanı sıra, oral farmakoterapi (fenitoin, haloperidol, klorpromazin vs.), botulinum toksin ve frenik sinir bloğu kullanılmıştır (53,54,56,57,58,62).

Yapılan bir çalışmada devamlı pozitif hava yolu basıncı (CPAP) uygulanan yenidoğanda alınan zayıf yanıt nedeniyle nazogastrik tüp ile bölünmüş dozlarda klorpromazin başlanmıştır. 48 saat içerisinde semptomlarda iyileşme görülmüş ve CPAP'tan ayrılmıştır (54). 1 ay boyunca takip edilmiş ve takiplerin normal olduğu, tekrarlama olmadığı bildirilmiştir. Katz ve ark. da yaptıkları çalışmada bebeklere klorpromazin kullanmışlar ve semptomların ortadan kalktığını, tekrarlama ve herhangi bir yan etkinin olmadığını bildirmişlerdir (62).

Botulinum toksin A, nöromüsküler kavşakta asetilkolinin etkisini bloke etme etkisi nedeniyle kas spazmlarını hafifletmede yardımcıdır. Botulinum toksin uygulamasının tedavide etkili olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur (56). Botulinum toksin diyafram ve

rektus abdominis kasına birlikte uygulanabileceği gibi sadece rektus abdominis kasına da uygulanabilir. Krastev ve ark. yaptıkları çalışmada sadece rektus abdominis kasına botulinum toksin uygulaması yapmışlar ve myoklonusun ortadan kalktığını bildirmişlerdir (57).

Frenik sinir bloğu, diyafragmatik myoklonusun inflamatuvar kökenli olduğu durumlarda kullanılır ve kasılmaları geçici bir süre durdurur. Yapılan çalışmada bir hastada farmakolojik tedaviyle birlikte frenik siniri C4 düzeyinde bloke etmişler ve semptomların iyileştiğini ancak 6 ay sonra tekrar başladığını bildirmişlerdir (58).

Farklı etkenler sonucu ortaya çıkabilen diyafragmatik myoklonusun tanısını klinisyenin aşırı şüphesi, floroskopi veya dEMG yöntemleri kullanılmadan koymak oldukça zordur. Nefes darlığı gibi hayati problemlere neden olmasına rağmen tedavisi konusunda tam bir netlik yoktur.

Diyafram Spastisitesi

Diyafram spastisitesi, diyafram kasının hareketliliğini ve kasılma kapasitesini sınırlayarak, üst motor nöron hasarının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Spastisite, diyafram kasının maksimum kasılma sırasında bile yeterli mobilizasyonuna izin vermemektedir. Diyafram kasının kısılma yeteneğini ve dolayısıyla kasılma sırasında oluşan motor yanıtın büyüklüğünü etkilemektedir. Bu spastik diyafram durumu, özellikle amyotrofik lateral skleroz (ALS) ve primer lateral skleroz (PLS) gibi hastalıklarda diyaframın motor yanıtındaki fizyolojik değişkenliği etkilemektedir (63).

111 ALS ve 15 PLS hastasının çalışma grubunu, ALS veya PLS tanısı almayan ve diyafram fonksiyonlarını etkileyebilecek başka bir hastalığı bulunmayan 36 sağlıklı bireyin de kontrol grubunu oluşturduğu, spastisitenin diyafram kasılmaları üzerindeki etkisini elektrofizyolojik yöntemlerle inceleyen bir çalışmada, amyotrofik lateral skleroz (ALS) ve primer lateral skleroz (PLS) hastalarındaki diyafram bileşik kas aksiyon potansiyelleri (CMAP) analiz edilmiştir. ALS hastalarının diyafram CMAP'lerinde uzamış gecikme süresi, düşük amplitüd ve negatif tepe alanı ölçülmüştür. Spastik ALS hastalarında diyaframın tam inspirasyon sırasında kasılma kapasitesinde (CMAP değişim yüzdesi) bir azalma olduğu



gözlemlenmiştir. PLS hastalarında benzer değişiklikler görülmüş ancak bu değişiklikler ALS hastalarına kıyasla daha az belirgin olduğu bildirilmiştir. Bu çalışma, spastisitenin diyaframın kasılma sırasında meydana gelen bileşik kas aksiyon potansiyeli (CMAP) amplitüdünde ve şekil değişiminde azalmaya yol açtığını göstermektedir. Bu değişiklikler, diyaframın kasılma sırasında yeterli mobilite sağlayamamasına ve solunum fonksiyonlarının kısıtlanmasına neden olabilir. Dolayısıyla, diyafram spastisitesi, bu hastalarda solunum yetmezliğini ve ventilasyon sorunlarını kötüleştiren bir faktör olarak değerlendirilmektedir (63).

Spastik SP'li 56 yatan hastada ve 40 sağlıklı çocukta maksimal istemli inspirasyonda ve maksimal istemli ekspirasyonda göğüs çevresi ve göğüs ekspansiyonu sırasında inspirasyon ve ekspirasyon arasındaki fark ölçülerek yapılmış olan bir çalışmada göğüs ekspansiyonu ölçümleri yoluyla göğüs hareketliliğini değerlendirilmiş SP'li çocuklarda sağlıklı kontrollere kıyasla göğüs duvarı hareketliliğinde ve solunum fonksiyonunda azalma olduğu bildirilmiştir (64).

Nörolojik hastalarda gelişen abdominal kas spazmları abdominal basınçta artış meydana getirmektedir. Bu basınç da esophageal basınca yansımakta ve inspirasyonun etkili hale gelmesi için diyaframın daha fazla çabayla çalışmasını gerektirmektedir. Bu sırada diyaframın oluşturduğu transdiyafragmatik basınç (Pdi), maksimum kapasitesine (%100 Pdi max) yakın bir seviyeye ulaşmaktadır. Bu yoğun çabaya rağmen ventilasyon ciddi şekilde azalmakta ve solunum etkinliği düşmektedir. C4 seviyesinde travmatik omurilik yaralanması sonrası gelişen tetraplejisi olan bir hastada, karın kaslarının spastik kasılmaları sırasında nefes darlığı yaşandığı bildirilmiştir. Elektrofizyolojik değerlendirmede, hastanın sol frenik sinirinde aksonal nöropati tespit edilmiştir. Bu durum, diyaframın fonksiyonel kapasitesinde zayıflığa işaret etmektedir (65).

TARTIŞMA

Diyafram, solunumun temel kası olması nedeniyle yaşam kalitesi ve hayati fonksiyonlar üzerinde kritik bir role sahiptir (66). Bu derlemede diyaframın anatomik yapısı,

embriyolojik gelişimi, kas liflerinin özellikleri ve sinirsel innervasyonu ayrıntılı şekilde ele alınmış; ayrıca diyafram disfonksiyonlarının çeşitliliği, elektriksel aktivite izleme yöntemleri ve bu durumların klinik yansımaları kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir.

Özellikle diyafram disfonksiyonu, farklı patolojik süreçlerin ortak noktası olarak solunum yetmezliği, dispne ve egzersiz intoleransı gibi ağır klinik tabloların temel nedenlerinden biri olarak ortaya çıkmaktadır (67). Embriyolojik gelişim anomalilerinden kaynaklanan konjenital diyafram evantrasyonu gibi yapısal bozuklukların yanı sıra, frenik sinir hasarı, kas liflerinde zayıflama veya spastisite gibi fonksiyonel bozukluklar solunum etkinliğini doğrudan olumsuz etkilemektedir (66). Spastisite özellikle nörolojik hastalıklarda, diyafram kasının kasılma kapasitesini kısıtlayarak ventilasyonun etkinliğini azaltmakta, bu durum hastaların solunum fonksiyonlarının daha da kötüleşmesine neden olmaktadır (63).

Elektrofizyolojik yöntemlerle diyaframın elektriksel aktivitesinin izlenmesi, hem disfonksiyonun şiddetinin değerlendirilmesinde hem de ventilatör ayarlarının hastaya özgü optimize edilmesinde önemli bir araçtır. NAVA ve dEMG gibi teknikler, diyafram kasının gerçek zamanlı fonksiyonel durumunu ortaya koymakta ve böylece ventilasyonun gereksinimlere uygun biçimde düzenlenmesini sağlamaktadır. Bu yöntemlerin özellikle kritik bakımda bulunan pediatrik ve yenidoğan hastalarda mekanik ventilasyondan ayrılma süreçlerinde sağladığı katkı, klinik pratikte giderek artan bir öneme sahiptir (28, 68)

Diyafragmatik myoklonus ve flutter gibi nadir fakat yaşam kalitesini ciddi şekilde etkileyen tonus bozukluklarının tanısında elektrofizyolojik testlerin rolü büyüktür. Bu bozuklukların etiyolojisi oldukça heterojen olup; nörolojik, metabolik, farmakolojik ve iatrojenik faktörler etkili olabilmektedir. Klinik olarak tanı koymanın güçlüğü, hastaların tedavisinde gecikmelere yol açabilmekte ve bu nedenle klinisyenlerin bu durumlara karşı yüksek şüphe ile yaklaşmaları gerekmektedir (69,70). Tedavi seçenekleri arasında farmakoterapi, botulinum toksin uygulamaları ve frenik sinir blokajı gibi yöntemler yer almakla birlikte, kesin ve standart bir tedavi



protokolü henüz oluşturulamamıştır (71).

Nörolojik hastalıklarda diyafram spastisitesi üzerine yapılan elektrofizyolojik çalışmalar, spastisitenin diyafram kasılma kapasitesinde azalma ve elektriksel aktivitede değişimlere yol açtığını göstermektedir. Bu durum, ventilasyon yetersizliğinin ve solunum komplikasyonlarının artmasına neden olarak hastaların prognozunu olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, diyafram fonksiyonlarının detaylı ve hassas şekilde değerlendirilmesi, solunum desteği stratejilerinin planlanmasında önemli bir yere sahiptir (63). Ayrıca abdominal kas spastisitesinin solunum üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, multidisipliner yaklaşımlarla hem diyafram hem de yardımcı solunum kaslarının durumu birlikte ele alınmalıdır (65).

Genel olarak, diyaframın fonksiyonel durumu ve disfonksiyonlarının etkileri, özellikle kronik nörolojik hastalıklarda ve yoğun bakım süreçlerinde solunum yönetimi açısından hayati önemdedir. Elektrofizyolojik değerlendirme yöntemlerinin klinik uygulamada yaygınlaştırılması ve diyafram sağlığının korunmasına yönelik koruyucu ve rehabilitatif stratejilerin geliştirilmesi, hastaların yaşam kalitesini artırmak ve mortaliteyi azaltmak açısından gereklidir. İleriye dönük olarak, diyafram disfonksiyonlarının erken tanısı, farklı patolojik süreçlere özgü tedavi yaklaşımlarının belirlenmesi ve yenilikçi nöromodülasyon tekniklerinin araştırılması, bu alandaki bilgi birikimini ve tedavi başarısını artıracaktır (72).

Sonuç olarak, diyafram hem anatomik hem de fonksiyonel özellikleriyle solunum sağlığının merkezinde yer almakta; disfonksiyonları ise multidisipliner bir yaklaşımla ele alınması gereken karmaşık klinik problemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu derleme, diyaframın fizyolojisi ve patolojisi hakkında güncel verileri sunarak, alanında yapılacak araştırmalara ışık tutmayı ve klinik uygulamalarda farkındalık yaratmayı amaçlamaktadır.

Destekleyen kuruluş: Çalışmamız hiçbir kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Çıkar çatışması: Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Yazar Katkıları: Fikir Kavram: OÇT; Tasarım: OÇT, SK, SEG, SB; Denetleme/Danışmanlık: OÇT; Veri Toplama: SK, SEG, SB; Analiz ve yorumlama: OÇT, SK, SEG, SB; Literatür taraması: OÇT, SK, SEG, SB; Makale yazımı: SK, SEG, SB; Eleştirel inceleme: OÇT, SK, SEG, SB.

KAYNAKLAR

1. Tsimouris D, Arvanitidis M, Moutzouri M, Koumantakis GA, Gioftos G, Papandreou M, Grammatopoulou E. Is manual therapy of the diaphragm effective for people with obstructive lung diseases? A systematic review. *Respiratory Medicine and Research* 2023;83:101002.
2. Liberati C, Byrne BJ, Fuller DD, Croft C, Pitts T, Ehrbar J, Leon-Astudillo C, Smith BK. Diaphragm pacing and independent breathing in individuals with severe Pompe disease. *Front Rehabil Sci.* 2023;4:1184031.
3. Criner GJ, Gayen S, Zantah M, Dominguez Castillo E, Naranjo M, Lashari B, Pourshahid S, Gangemi A. Clinical review of non-invasive ventilation. *Eur Respir J.* 2024;64(5):2400396.
4. Campbell NA, Reece JB, Urry LA, Cain ML, Wasserman SA, Minorsky PV, Jackson RB, eds. *Biology.* 8th ed. Sydney: Pearson/Benjamin Cummings Co; 2008:334.
5. Arora NS, Rochester DF. Effect of body weight and muscularity on human diaphragm muscle mass, thickness, and area. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1982;52(1):64-70.
6. Downey R. Anatomy of the normal diaphragm. *Thorac Surg Clin.* 2011;21:273-9.
7. Dubé BP, Dres M. Diaphragm dysfunction: diagnostic approaches and management strategies. *J Clin Med.* 2016;5(12):113.
8. Shields TW. Embryology and anatomy of the diaphragm. In: Shields TW, LoCicero J, Reed CE, Feins RH (ed). *General Thoracic Surgery.* 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2009:690-2.
9. Hussain SN, Magder S. Diaphragmatic intramuscular



- pressure in relation to tension, shortening, and blood flow. *J Appl Physiol*. 1991;71(1):159-67.
10. Özkan S. Diyafram evantrasyonu ve cerrahi tedavisi. In: Yücel O, Genç (ed). *Torasik Konjenital Anomaliler ve Cerrahisi*. Ankara: Derman Tıbbi Yayıncılık; 2011:88-98.
 11. Geiger PC, Cody MJ, Macken RL, Sieck GC. Maximum specific force depends on myosin heavy chain content in rat diaphragm muscle fibers. *J Appl Physiol*. 2000;89(2):695-703.
 12. Polla B, D'Antona G, Bottinelli R, Reggiani C. Respiratory muscle fibres: specialisation and plasticity. *Thorax*. 2004;59:808-17.
 13. Pacia EB, Aldrich TK. Assessment of diaphragm function. *Chest Surg Clin N Am*. 1998;8(2):225-36.
 14. McCool FD, Manzoor K, Minami T. Disorders of the diaphragm. *Clin Chest Med*. 2018;39(2):345-60.
 15. De Troyer A, Sampson M, Sigrist S, Macklem PT. Action of costal and crural parts of the diaphragm on the rib cage in dog. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1982;53(1):30-9.
 16. Rochester DF. The diaphragm: contractile properties and fatigue. *J Clin Invest*. 1985;75(5):1397-402.
 17. Gibson GJ. Diaphragmatic paresis: pathophysiology, clinical features, and investigation. *Thorax*. 1989;44:960-70.
 18. Nason LK, Walker CM, McNeeley MF, Burivong W, Fligner CL, Godwin JD. Imaging of the diaphragm: anatomy and function. *Radiographics*. 2012;32(1):51-70.
 19. Roberts HC. Imaging the diaphragm. *Thorac Surg Clin*. 2009;19(3):431-50.
 20. Wright CD, Williams JG, Ogilvie CM, Donnelly RJ. Results of diaphragmatic plication for unilateral diaphragmatic paralysis. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1985;90(2):195-8.
 21. McCool FD, Tzelepis GE. Dysfunction of the diaphragm. *N Engl J Med*. 2012;366(10):932-42.
 22. Kharma N. Dysfunction of the diaphragm: imaging as a diagnostic tool. *Curr Opin Pulm Med*. 2013;19(4):394-8.
 23. Salvatierra A. Trastornos del diafragma. In: Martín P, Ramos G, Sanchis J (ed). *Medicina Respiratoria*. 2nd ed. Madrid: Aula Médica Ediciones; 2006:1243-53.
 24. Ricoy J, Rodríguez-Núñez N, Álvarez-Dobaño JM, Toubes ME, Riveiro V, Valdés L. Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonology*. 2019;25(4):223-35.
 25. Muller N, Volgyesi G, Becker L, Bryan MH, Bryan AC. Diaphragmatic muscle tone. *J Appl Physiol*. 1979;47(2):279-84.
 26. Wu XY, Huang YZ, Liu HG, Huang DY, Tang R, Qiu HB. Effects of pulmonary stretch reflex on lung injury in rabbits with acute respiratory distress syndrome. *World J Emerg Med*. 2011;2(4):296-301.
 27. Kraaijenga JV, de Waal CG, Hutten GJ, de Jongh FH, van Kaam AH. Diaphragmatic activity during weaning from respiratory support in preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2017;102(4):307-11.
 28. Stein H, Firestone K, Rimensberger PC. Synchronized mechanical ventilation using electrical activity of the diaphragm in neonates. *Clin Perinatol*. 2012;39(3):525-42.
 29. O'Brien MJ, van Eykern LA, Prectl HF. Monitoring respiratory activity in infants: a non-invasive diaphragm EMG technique. In: Rolfe P (ed). *Non-invasive physiological measurements*. London: Academic Press Inc; 1983:131-77.
 30. Stein H, Beck J, Dunn M. Non-invasive ventilation with neurally adjusted ventilatory assist in newborns. *Semin Fetal Neonatal Med*. 2016;21(3):154-161.
 31. Patel N, Chong K, Baydur A. Methods and applications in respiratory physiology: respiratory mechanics, drive and muscle function in neuromuscular and chest wall disorders. *Front Physiol*. 2022;13:838414.
 32. Bellemare F, Grassino A. Effect of pressure and timing of contraction on human diaphragm fatigue. *J Appl Physiol*. 1982;53(5):1190-5.
 33. Bellemare F. Strength of the respiratory muscles. In: Roussos C (ed). *The Thorax. Lung Biology in Health and Disease*. 1995; 85:1161-97.
 34. Sarmiento A, Fregonezi G, Lira M, Marques L, Pennati F, Resqueti V, et al. Changes in electromyographic activity, mechanical power, and relaxation rates following inspiratory ribcage muscle fatigue. *Sci Rep*. 2021;11:12475.
 35. Ducharme-Crevier L, Du Pont-Thibodeau G, Emeriaud G. Interest of monitoring diaphragmatic electrical activity in the pediatric intensive care unit.



- Crit Care Res Pract. 2013;2013:384210.
36. Wu M, Yuan X, Liu L, Yang Y. Neurally adjusted ventilatory assist vs. conventional mechanical ventilation in adults and children with acute respiratory failure: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Medicine*, 2022;9:814245.
 37. Shah SD, Shah M, Anjum F. Neurally adjusted ventilatory assist (NAVA). In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing. 2024 [cited 20 Dec 2024] Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK572111/>
 38. Al-Ayyad M, Owida HA, De Fazio R, Al-Naami B, Visconti P. Electromyography monitoring systems in rehabilitation: A review of clinical applications, wearable devices and signal acquisition methodologies. *Electronics*, 2023;12(7):1520.
 39. Campanini I, Cosma M, Manca M, Merlo A. Added value of dynamic EMG in the assessment of the equinus and the equinovarus foot deviation in stroke patients and barriers limiting its usage. *Frontiers in neurology*, 2020;11:583399.
 40. Guslits BG, Gaston SE, Bryan MH, et al. Diaphragmatic work of breathing in premature human infants. *J Appl Physiol*. 1987;62(4):1410–5.
 41. Pham TM, O'Malley L, Mayfield S, et al. The effect of high flow nasal cannula therapy on the work of breathing in infants with bronchiolitis. *Pediatr Pulmonol*. 2015;50(7):713–20.
 42. Van Leuteran RW, de Waal CG, de Jongh FH, Bem RA, van Kaam AH, Hutten G. Diaphragm activity pre and post extubation in ventilated critically ill infants and children measured with transcutaneous electromyography. *Pediatr Crit Care Med*. 2021;22(11):950–9.
 43. Emeriaud G, Beck J, Tucci M, et al. Diaphragm electrical activity during expiration in mechanically ventilated infants. *Pediatr Res*. 2006;59(5):705–10.
 44. Larouche A, Massicotte E, Constantin G, et al. Tonic diaphragmatic activity in critically ill children with and without ventilatory support. *Pediatr Pulmonol*. 2015;50(12):1304–12.
 45. Allo JC, Beck JC, Brander L, et al. Influence of neurally adjusted ventilatory assist and positive end-expiratory pressure on breathing pattern in rabbits with acute lung injury. *Crit Care Med*. 2006;34(11):2997–3004.
 46. Chen Y, Li P, Wang J, Wu W, Liu X. Assessments and targeted rehabilitation therapies for diaphragmatic dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A narrative review. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 2022;17:457–473.
 47. Woo A, Tchoe HJ, Shin HW, Shin CM, Lim CM. Assisted Breathing with a Diaphragm Pacing System: A Systematic Review. *Yonsei Med J*. 2020;61(12):1024-1033.
 48. Le Pimpec-Barthes F, Legras A, Arame A, Pricopi C, Boucherie JC, Badia A, Panzini CM. Diaphragm pacing: the state of the art. *J Thorac Dis*. 2016;8(Suppl 4):S376-86.
 49. Vashisht R, Chowdhury YS. Diaphragmatic pacing. In StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing 2023 [20 Dec 2024] Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557793/>
 50. Bedarf JR, Nitsch L, Malotki R, Andrié R, Reimann J. Diaphragmatic myoclonus owing to electrode dislocation of implantable cardioverter defibrillator. *Parkinsonism Relat Disord*. 2019;63:232–4.
 51. Caviness JN, Brown P. Myoclonus: current concepts and recent advances. *Lancet Neurol*. 2004;3(10):598–607
 52. Kothiala A, Shankar V, Desai S. Myoclonus associated with infections: a narrative review. *Ann Mov Disord*. 2022;5(3):137–52.
 53. Ghosh R, León-Ruiz M, Bandyopadhyay S, Roy D, Benito-León J. Scrub typhus presenting as diaphragmatic myoclonus. *Neurol Sci*. 2022;43(6):4023–4.
 54. Panigrahy N, Kumar PP, Chirla DK. Respiratory flutter syndrome in a neonate. *Indian Pediatr*. 2013;50(2):242–3.
 55. Borroni B, Gazzina S, Dono F, et al. Diaphragmatic myoclonus due to SARS-CoV-2 infection. *Neurol Sci*. 2020;41(12):3471–4.
 56. He YJ, Li B, Pan YG, Zhang XL, Jin LJ. Botulinum toxin A for treatment of diaphragmatic myoclonus. *Chin Med J (Engl)*. 2017;130(6):753–4.
 57. Krastev G, Daniš M, Haring J. Severe diaphragmatic myoclonus treated with unconventional therapy: a



- case report. *Respir Med Case Rep.* 2024;51:102074.
58. Ramírez JD, Gonzales M, Hoyos JA, Grisales L. Diaphragmatic flutter: a case report and literature review. *Neurologia.* 2015;30(4):249–51.
 59. Koul R, Alfutaisi A. Diaphragmatic myoclonus. *Indian Pediatr.* 2017;54:326.
 60. Hernández-Fernández F, Pardal-Fernández JM, García-Martínez E, Segura T. Respiratory myoclonus, a side effect of galantamine. *Farm Hosp.* 2011;35(2):97–9.
 61. Onesti E, Ceccanti M, Rubino A, Frasca V, Inghilleri M. Atypical case of diaphragmatic pseudo myoclonus. *Parkinsonism Relat Disord.* 2017;43:118–9.
 62. Katz ES, Gauda E, Crawford T, Ogunlesi F, Lefton-Greif MA, McGrath-Morrow S, Marcus CL. Respiratory flutter syndrome: an underrecognized cause of respiratory failure in neonates. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001;164(7):1161–4.
 63. Miranda B, Pinto S, de Carvalho M. The impact of spasticity on diaphragm contraction: electrophysiological assessment. *Clin Neurophysiol.* 2018;129(8):1544–50.
 64. Ersöz M, Selcuk B, Gündüz R, Kurtaran A, Akyüz M. Decreased chest mobility in children with spastic cerebral palsy. *Turk J Pediatr.* 2006;48(4):344–50.
 65. Laffont I, Durand MC, Rech C, De La Sotta AP, Hart N, Dizien O, Lofaso F. Breathlessness associated with abdominal spastic contraction in a patient with C4 tetraplegia: a case report. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;84(6):906–8.
 66. Konstantinidi A, Liakou P, Kopanou Taliaka P, Lampridou M, Kalatzi N, Loukas I, Sokou R. Congenital diaphragmatic eventration in the neonatal period: Systematic review of the literature and report of a rare case presenting with gastrointestinal disorders. *Pediatric Reports.* 2023;15(3): 442-51.
 67. O'Connor BR, Teague WJ. What Is the Best Approach to Evaluation and Treatment of Children with Diaphragmatic Eventration? In *Difficult Decisions in Pediatric Surgery Cham: Springer Nature Switzerland;* 2025:215-29.
 68. Cheng J, Parmar T, Smyth J, Bolisetty S, Lui K, Schindler T. Non-invasive neurally adjusted ventilatory assist (NIV-NAVA) in the neonatal intensive care unit (NICU): an Australian NICU experience. *BMC pediatrics.* 2024;24(1):514.
 69. Ramos VFML, Considine E, Karp BI, Lungu C, Alter K, Hallett M. Ultrasound as diagnostic tool for diaphragmatic myoclonus. *Movement disorders clinical practice,* 2016;3(3):282-4.
 70. Chen KHS, Keng LT, Kuo YT, Tai YC, Chen R. Ultrasound-Guided Needle Electromyography for Assessing Diaphragmatic Myoclonus. *Movement Disorders Clinical Practice,* 2020;7(7):870.
 71. Whitlock WL, Young CR. Treatment strategies for diaphragmatic myoclonus. *Chest,* 1995;108(5):1471-2.
 72. Panelli A, Verfuß MA, Dres M, Brochard L, Schaller SJ. Phrenic nerve stimulation to prevent diaphragmatic dysfunction and ventilator-induced lung injury. *Intensive Care Medicine Experimental,* 2023;11(1):94.