

5. Pektus Ekskavatumda Kardiyopulmoner Fonksiyonun İlişkisi

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk GÜRZ, Prof. Dr. Ayşen TASLAK ŞENGÜL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Cerrahisi Anabilim Dalı, Samsun

ÖZET

Pektus ekskavatum (PE) en sık görülen göğüs duvarı deformitesidir. Çocukluk ve ergenlik döneminde deformite daha belirgin hale gelir. Yaş gruplarının heterojenliği ve tanı anında deformite şiddetinin farklı derecelerde olması ve tedavi yaklaşımlarındaki çeşitlilik nedeniyle, PE'un kardiyopulmoner fonksiyon üzerindeki etkisini değerlendirmek zor olmaya devam etmektedir. Takip ve tedavi sürecinde hastaların fiziksel gelişimlerini sürdürüyor olması da değerlendirmeyi zorlaştıran önemli bir faktördür. Bu nedenle, PE tedavisinin kozmetik sonuçların ötesinde, kardiyopulmoner fonksiyon üzerindeki potansiyel etkileri devam eden bir araştırma alanı olmaya devam etmektedir.

GİRİŞ

Pektus ekskavatum (PE) en sık görülen göğüs duvarı deformitesidir. Genellikle doğumda veya doğumdan kısa bir süre sonra fark edilir. Çocukluk ve ergenlik döneminde deformite daha belirgin hale gelir (1). PE hastaları genellikle fiziksel deformite nedeniyle ebeveynlerin veya kendinin memnuniyetsizliği için başvururken çok azında efor kapasitesinde azalma, dispne vardır. PE cerrahi tedavisi yeni gelişen tekniklerle hastanın estetik memnuniyetini önemli ölçüde arttırmıştır (2). Beraberinde hastalar genellikle egzersiz toleranslarında da artıştan bahsederler (3). Ancak her zaman cerrahi tedavi sonrası egzersiz toleransındaki fonksiyonel iyileşmeyi verilerle kanıtlamak mümkün olamaz. Cerrahlar bu konu ile yakından ilgilenirse de PE'un solunum ve kardiyak etkileri halen oldukça tartışmalıdır. Cerrahi tedavi genellikle estetik kaygı nedeniyle yapılır. Preoperatif kardiyopulmoner patoloji net olarak tespit edilemediği gibi; cerrahiden sonra da kardiyopulmoner fonksiyonel iyileşme açıkça belirlenememiştir.

Literatürde yayınlanan birçok çalışmada, yaş gruplarının çeşitliliği ve farklı deformite dereceleri, tedaviye farklı tercihler, PE'un kardiyopulmoner etkileri konusunda ortak sonuç almayı zorlaştırır (4). Çocuk hastaların bu tedavi sırasında normal gelişimlerini sürdürüyor olması da değerlendirmeyi zorlaştıran bir diğer etkidir (1). Özellikle küçük çocuklarda, PE'un patofizyolojik değerlendirmesi oldukça zordur. Semptomatik hastalar ise genellikle ergenlik döneminde ve çabuk şikâyet ederler, egzersiz programlarına uyumsuzdurlar. Şiddetli deformite olan ergenlerde ise büyük bir kozmetik etki ve sosyal endişe vardır. Dolayısıyla tariflenen egzersiz dispnesinin nedeni, estetik kaygı nedeniyle olan performans eksikliği olabilir. Çünkü egzersiz dispnesi olan hastalarda kardiyopulmoner değerlendirmede patoloji saptanamayabilir (1). Tüm bu çeşitliliğin yanında halen PE ameliyatları tamamen kozmetik amaçlı bir cerrahi midir? yoksa hasta fizyolojik olarak da fayda görür mü? sorularıyla belirsizlik devam etmektedir (5).

Literatürde ilk olarak 1920 yılında Dr. Sauerbruch tarafından PE'lu solunum sıkıntısı ve efor kapasitesi düşük olarak tanımlanan genç bir hasta yayınlandı. Bu genç hastanın cerrahi tedavisinden sonra fiziksel aktivitelerinde artış olduğu bildirilerek bu süreç başladı (6). Pektus ekskavatumda kardiyopulmoner etkilerle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Haller 2000 yılında 700 hastada 40 yıllık deneyimlerini paylaştığı çalışmasında, oksijen saturasyonunu kardiyak çıkıntının bir belirtisi olarak değerlendirmiştir. Kontrol grubuyla yapılan karşılaştırmada egzersiz sırasında ki solunum parametreleri ameliyattan önce iki grup arasında benzer raporlanmıştır. Yoğun egzersiz programını takiben; cerrahi sonrası PE hastalarının egzersiz toleransında artma ve oksijen saturasyonunun daha yüksek olduğu tespit edilirken kontrol grubunda değişiklik bildirilmemiştir. Çalışmanın sonuçları PE onarımının, yoğun egzersiz sırasında kardiyopulmoner fonksiyonu iyileştirdiğini göstermiştir (1).

Pektus ekskavatumlu hastaları, sınıflandırarak daha spesifik verilere ulaşmak isteyen çalışmalar yapılmıştır. Gaston ve ark. PE'un kardiyak morfoloji ve fonksiyonlar üzerindeki etkisini, deformitenin maksimum kompresyon bölgesine göre değerlendirmiştir (7). 59 hastalı çalışmalarında toraks tomografisi yanında kardiyak manyetik rezonans (CMR) ve stres ekokardiyografi (eko) kullanıldı; Stres sırasında diastolik fonksiyon, trans-triküspit gradyanı, sistolik fonksiyonu ve solunumla ilişkili septal duvar hareket anormallikleri (CMR) değerlendirildi. Hastalar kardiyak kompresyon bölgesine göre tip 0 (kardiyak kompresyon olmadan); tip 1 (sağ ventrikül); ve tip 2 [sağ ventrikül ve atriyoventriküler (AV) oluk] olarak sınıflandırıldı. Özellikle sağ ventrikül ve AV oluğu etkileyen kompresyonlara neden olan PE hastalarında efor, inspirasyon ve diastolik fonksiyonla ilişkili kardiyak anormallikler olduğu sunuldu. Sigalet ve ark. minimal invazif pektus ekskavatum düzeltme cerrahisi (MIRPE) sonrası hastalarda egzersiz toleransında iyileşme bildirse de postoperatif üçüncü ayda akciğer fonksiyon testlerinde ve VO_{2max} 'da belirgin azalma ve kalp atım hacminde artış bildirdiler (ameliyat öncesi atım hacmi, 61.6 ± 25 e kıyasla ameliyat sonrası 77.5 ± 23 mL) (8). Sonuçlarını MIRPE sonrası kardiyak fonksiyonda artış ve pulmoner fonksiyonda azalmayla beraber kişisel olarak solunum fonksiyonlarında düzelme sağladığı şeklinde yorumladılar. Bununla birlikte, O'Keefe ve ark. MIRPE sonrası PE'nin uzun dönem sonuçlarını pulmoner ve aerobik egzersiz fonksiyonunda artış tespit ettiklerini bildirdiler (9). Ancak verilerinin görünüm ve kendi kendine al-

gılanan iyilik hali üzerindeki etkinin fiziksel etkiden daha büyük olduğunu belirttiler. Literatürde konuya açıklık getirebilmek için farklı testlerle çalışmalar yapılmıştır. Remi Nevire ve ark. PE'lu hastaları preoperatif kas gücünü değerlendirmek için; inspiratuar kas gücü, maksimal statik solunum basıncı (PI_{max}) ve burundan nefes alma basıncı (SNIP) ortalaması ile değerlendirdi (10). SNIP, ekspiryum sonunda maksimal nefes alma sırasında tıkalı bir burun deliğindeki pik burun basıncının ölçülmesi olarak tariflendi. Dolayısıyla SNIP'in özofageal basıncı ve inspiratuar kas gücünü yakından yansıttığı üzerinden çalışmalarını planladı. Preoperatif PE hastalarında PI_{max} ve SNIP azalması, kas gücü zayıflığı olarak bildirildi. Ayrıca, egzersiz toleransının bozulması ve ventriküler atım hacminin non-invaziv göstergesi olan azalmış oksijen saturasyonu da bu veriyi doğruladı. Açık cerrahi tamirden bir yıl sonra, kontrol PI_{max} ve SNIP artması solunum kaslarında güçlenme ve intratorasik negatif basıncın artmasına katkı olarak yorumlandı. Ancak maalesef bu çalışmada efor kapasitesinde artış tespit edilmedi. Aynı zamanda postoperatif bir yıl içinde oluşabilecek kondisyon değişikliklerinin sonuçlara etkisi de değerlendirilemedi. Maagard ve ark. MIRPE uygulanan 49 hastayı kontrol grubu (26 hasta) ile karşılaştırdı (11). Çalışmanın temeli, bar çıkarıldıktan sonra kardiyopulmoner fonksiyonlarda düzelmenin daha etkin olacağını ispatlamaktı. Ameliyat öncesi ve postop birinci yıl ve üçüncü yıl bar çıkarıldıktan sonra istirahat ve bisiklete binme egzersizi ile hastalar değerlendirildi. Eko ve spirometre dinlenme sırasında yapıldı. Ameliyat öncesi kardiyak indeks PE hastalarında kontrol grubuna göre oldukça düşükken; birinci ve üçüncü yılda PE hastalarında kardiyak indeksde artış görüldü. Hatta üçüncü yılda kontrol grubu ile aralarında fark yoktu. Ameliyat öncesi hastalarda ekspirasyonun ilk saniyesindeki zorlu ekspiratuar hacim kontrol grubuna göre daha düşüktü (FEV_1 ; %86/94). Ameliyat sonrası dönemde iki grup arasında sadece FEV_1 'de fark bulunmadı. Yine de üçüncü yıl ve bar çıkarıldıktan sonra, hastalarda egzersiz sırasında kardiyopulmoner fonksiyon normale dönmüştü. Bu veriler eşliğinde yazarlar, PE cerrahi tedavisinin yalnızca kozmetik etki için değil fizyolojik düzelme sağlamak amaçlı yapılacağını desteklediğini belirttiler.

Son yıllarda yapılan en geniş makale verisine sahip derleme 2016 yılında Maagard tarafından derlenmiştir (12). Bu derlemede, 1972 ile 2016 yılları arasında yayınlanmış 838 hastadan oluşan, 21 makale çalışmaya dahil edilmişti. Hastalar geniş yaş aralığındaydı (5-33 yaş) ve takip süreleri de postoperatif 16 yıla

kadar devam ediyordu. Literatür taramasının amacı hem istirahatte hem de egzersiz sırasında cerrahi düzeltmeden sonraki kardiyak sonucu tanımlamaktır. PE için cerrahi tedavi uygulanan çalışmalarda aşağıdaki kriterlerden herhangi birini değerlendiren makale çalışmaya dahil edilmiştir:

1. Sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonu,
2. Kardiyak çıktı,
3. Atım hacmi,
4. Kardiyak indeks,
5. Atım indeksi,
6. Sağ ventrikül son diyastolik hacim indeksi açısından ekokardiyografik parametreler veya kg başına pik O₂ alımı, 7-O₂ saturasyonu, 8-pik atım indeksi veya pik kardiyak indeks açısından egzersiz testi parametreleri.

Yaklaşık yarı yarıya açık ve kapalı cerrahi prosedürler uygulanmıştı. Sadece iki çalışmada kardiyak çıktıda anlamlı artış tespit edildi. Chao ve ark. tarafından yapılan en son çalışma, MIRPE prosedürünün hemen ardından 42 hastada kardiyak çıktıda %36 artış ve stroke hacminde %34 artış buldu (13). Sigalet ve ark. 2007'de MIRPE barının çıkarılmasından sonra kardiyak çıktıda %15 artış ve stroke hacminde %22 artış gösterdi (14). Ancak bu artışın çalışma süresi boyunca gelişen büyümeye bağlı olup olmadığı anlaşılamadı. Hastaların değerlendirilirken, sağlıklı, yaş ve cinsiyete uygun kontrollerin dahil edilmesi önerildi (12). Ancak yukarıda belirtilen çalışmalardan hiçbiri bunu dikkate almamıştır.

Peterson ve ark. (15) ile Kowalewski ve ark. (16) tarafından açık cerrahi ile yapılan iki çalışma da sağ ventrikül diyastolik sonu hacim indeksinde artışlar gösterdi; bu veri ameliyattan sonra bir miktar kardiyak kompresyon rahatlamasını gösterebilir. Yine de iyileştirmelerin kalıcı olup olmadığını gözlemlemek için uzun vadeli takiplere ihtiyaç vardır. Özellikle sağ ventriküle odaklanan çalışmalarda stroke volümde artışın sağ ventrikülün sola göre daha az esnek olmasına bağlanabilir. Ayrıca, sağ ventrikül daha önde yer aldığı için sternum basısından daha fazla etkilenebilir (12). Aynı zamanda göğüs duvarı yükseltilerek elde edilen negatif torasik basınçtaki artış, kardiyak dolumun iyileşmesini sağlayarak egzersiz performansındaki artışa neden olabilir. Nevire ve ark. açık cerrahi sonrası birinci yılda 20 hastada yaptıkları çalışmada, inspiratuar basınç ve statik solunum basıncı, egzersiz oksijen saturasyonu ve pik O₂/kg ile birlikte önemli ölçüde arttığını göstermiştir (10). Zens ve ark. 345 ardışık

PE hastasını, kardiyak manyetik rezonans (CMR) görüntüleme, kardiyopulmoner egzersiz testi (CPET) ve pulmoner fonksiyon testi (PFT) ile kardiyopulmoner disfonksiyon arasındaki ilişkiyi değerlendirdiler (17). En geniş serilerden olan çalışmada, Haller indeksi (HI), düzeltme indeksi (CI), depresyon indeksi (DI), kardiyak kompresyon indeksi (CCI), kardiyak asimetri indeksi ve sternal torsiyon derecesi gibi indeksler kullanıldı. Dikkat çekici olarak, hiçbir hastada orta veya şiddetli ventriküler sistolik disfonksiyon yoktu. Kardiyopulmoner egzersiz testi, testi tamamlayabilen 261 hastanın %33'ü anormaldi. Hastaların 270'inde PFT yorumlanabildi ve %23,1'i anormaldi. Hastaların preoperatif egzersiz kapasitesi azken, postoperatif egzersiz kapasitesinde %33 azalma bildirildi. Zens çalışmasının sonucunda pektus deformitesinin RV ve LV sistolik fonksiyonun olumsuz etkilediğini; dolayısıyla egzersiz kapasitesinin azaldığını göstermektedir. Ayrıca, PE'lu hastalarda CMR'ın kardiyak fonksiyonu, miyokardiyal hacimleri, kütle ve doku karakterizasyonunu değerlendirmesi nedeniyle kardiyak görüntüleme için altın standart olduğunu savunmuştur. Ekokardiyografinin PE'lu hastada huni şeklinde perikarddan dolayı uygun pencereyi bulmakta zorlanmanın ve sonografi deneyimi gibi faktörlerin standartizasyona engel olabileceğini vurgulamıştır (18). Buna karşılık deformitenin şiddeti ile kardiyopulmoner disfonksiyon arasında açık bir korelasyon olmasına rağmen halen cerrahiden sonra kardiyopulmoner patolojilere etkisinin daha fazla araştırma ihtiyacını olduğunu bildirmiştir (19).

Son yıllarda PE'lu hastalarda yapılan transözofageal EKO çalışmalarıyla intraoperatif olarak kardiyak kompresyonu değerlendirdiler. Chao ve ark. 168 erişkin hastada ve 17 bar çıkarılmış kontrol grubunda transözofageal eko ile ameliyattan sonra sağ atriyum (%15,1), triküs pit annulus (%10,9) ve sağ ventrikül çıkış yolu (%6,1) boyutunda artış raporladı (13). Sağ ventrikül kardiyak çıktısı 42 hastada (%38) düzeldi. PE deformitesinin cerrahi olarak düzeltilmesinin sağ ventrikül boyutunda ve kalp debisinde anlamlı iyileşmeye neden olduğu sonucuna varıldı. Lain pediatrik hastalarda pektus ekskavatum düzeltmesi sırasında intraoperatif transözofageal ekokardiyografi ile değerlendirdi (20). Bu çalışmada, 21 hastanın preoperatif Haller İndeksi 6,3 (+/- 2,63) ve Düzeltme İndeksi %47,63 (+/- 12,4) idi. Çoğu Nuss tekniği ile yapılan cerrahide, preoperatif transözofageal ekokardiyografi hepsinde sağ kalp kompresyonu ve triküs pit annulusunun deformasyonunu gösterdi. Sternal elevasyon sırasında sağ atriyum, ventrikül ve triküs pit annulusunun çapları arttı. Bu çalışmalar sternum depresyonunun kardiyak bası bulgularını gösterdi.

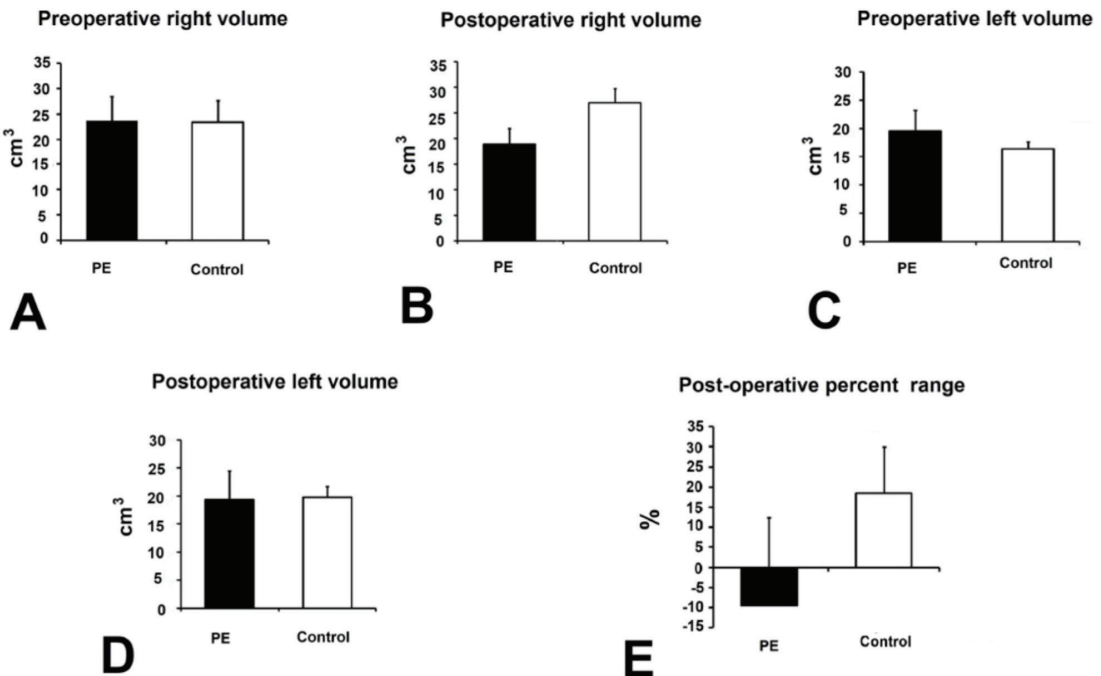
Literatürde çoğu çalışma hem akciğer hem de kardiyak parametreleri içerir. Ancak halen akciğer fonksiyonuyla ilgili sonuçlar kesin değilken, kardiyak parametreler cerrahiden sonra iyileşmiş kardiyak fonksiyona işaret etme eğilimindedir (11,21). Pektus ekskavatam onarımının akciğer fonksiyonuna olan faydası tartışmalı olmaya devam etmektedir. Malek ve ark. tarafından yapılan 2006 tarihli bir meta-analizde, cerrahi tedaviden sonra akciğer fonksiyonunda önemli bir iyileşme gösterilememiştir (22); ancak bu sonuçlar, metodolojideki yüksek düzeydeki çeşitlilik nedeniyle eleştirilmiştir. Buna karşılık, Tang ve ark. MIRPE prosedüründen bir yıl sonra FEV₁'de iyileşme gösterdiler (23). Sigalet ve ark. barın çıkarılmasından üç ay sonra FEV₁, TLC, difüzyon akciğer kapasitesi, O₂ saturasyonu, VO₂ maks. ve solunum katsayısının önemli ölçüde iyileştiğini belirttiler (14).

Göğüs duvarı esnekliğinin, solunum fizyolojisi üzerinde güçlü etkisi vardır. Özellikle açık cerrahi prosedürde yapılan kıkırdak kot eksizyonu sonrası perikondriyal kılıf içinde iyileşme sürecinin; göğüs duvarının ekspansiyon kabiliyetini ve dolayısıyla solunum fonksiyonlarını etkiler (24). PE açık cerrahi tedavisinin göğüs duvarına ve akciğer hacmi üzerine etkisini değerlendirmek için tarafımızdan tavşanlarla yapılan

deneysel çalışmada, kıkırdak kot rezeksiyonunun akciğer hacmi üzerindeki etkisini değerlendirdik. Sağ 4. ve 5. kıkırdak kot eksizyonu yaptığımız deneklerin akciğer hacimlerini pre ve postoperatif BT eşliğinde stereolojik olarak hesapladık. Cerrahi ve kontrol grubu ile yapılan çalışmada, normal büyüme sürecinin etkilerini görmek için 4 haftalık genç denekler kullanıldı ve bir ay sonra kontrolleri yapıldı. Kontrol grubunda bilateral akciğer hacimleri artarken (sırasıyla %15,75 ve %20,62 sağ ve sol akciğerler). Cerrahi grupta hem cerrahi taraf hem de karşı akciğer hacmi azaldı (sırasıyla %20,09 ve %1,07 sağ ve sol akciğerler). Sınırlı sayıda tek taraflı kıkırdak kot rezeksiyonu sonrası, her iki akciğerde hacim azalmasının tespiti, göğüs duvarı deformitelerinin tedavisinde kostal kıkırdak rezeksiyonlu açık cerrahinin son seçenek olarak düşünülmesi önerildi (Şekil 1) (24).

İntratorasik negatif basınç varlığı, kalbe venöz dönüş ve kardiyak out-put'dan sorumlu etkenlerdir. Solunum sırasında inspiyum kasları ile göğüs kafesinin genişleyerek intratorasik basıncın azalması kardiyak atımı iyileştirir. PE deformite derecesine bağlı olarak göğüs duvarının inspiyum sırasında genişlemesini etkileyerek bu negatif basıncın yeterince olmasını engelleyebilir. Aynı zamanda sternumun mekanik

Şekil 1. Tüm grupların BT görüntülerinde Cavalieri prensibi kullanılarak tahmin edilen ameliyat öncesi ve sonrası akciğer hacimleri. Akciğer hacimleri cerrahi grupta ameliyat öncesi hacimlerinden daha azdı. Ameliyatsız (kontrol) ve ameliyatl (PE) grupların ameliyat sonrası toplam akciğer hacmini değerlendirirken gruplar arasında anlamlı fark vardı ($p < 0.05$) (A-E) (24).



olarak hemen arkasında yer alan sağ ventriküle basısı da kaçınılmazdır. Tüm bu etkiler bozulmuş kardiyovasküler fonksiyonu açıklayabilir (25,26). Bu etkiler kliniğe sağ ve sol ventriküler disfonksiyon olarak yansiyabilir.

Sonuç olarak, PE tedavisi sonrası genellikle egzersiz performansında iyileşmeler olduğu bildirilmektedir. Ancak cerrahinin fizyolojik parametreler üzerindeki etkisini araştıran çok sayıda çalışmaya rağmen henüz bir fikir birliğine varılamadığı unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Haller JA, Loughlin GM. Cardiorespiratory function is significantly improved following corrective surgery for severe pectus excavatum. Proposed treatment guidelines J Cardiovasc Surg (Torino) 2000; 41(1):125-30.
- Jacobsen EM, Thastum M, Jeppesen JH et al. Health-related quality of life in children and adolescents undergoing surgery for pectus excavatum. Eur J Pediatr Surg 2010; 20(2):85-91. doi: 10.1055/s-0029-1243621. Epub 2010 Jan 28.
- Kelly RE, Jr, Cash TF, Shamberger RC, et al. Surgical repair of pectus excavatum markedly improves body image and perceived ability for physical activity: multicenter study. Pediatrics 2008; 122:1218-22. doi:10.1542/peds.2007-2723.
- Sesia SB, Obermeyer RJ, Mayr J et al. Pulmonary function in pectus excavatum patients before repair with the Nuss procedure. Postgrad Med. 2016; 128(6):598-602.
- Maagaard M, Pilegaard HK. Cardiopulmonary Function in Relation to Pectus Excavatum. In: Kolvekar SK, Pilegaard HK (eds), Chest Wall Deformities and Corrective Procedures, first ed (pp. 87-90), Springer International Publishing Switzerland 2016
- Sauerbruch F. Die chirurgie die brustorgane. From Springer Forlag or Verlag von Julius Springer; 1920. p. 437-44. 2.
- Rodriguez-Granillo GA, Raggio IM. Impact of pectus excavatum on cardiac morphology and function according to the site of maximum compression: effect of physical exertion and respiratory cycle. Eur Heart J Cardiovasc Imaging 2020;21(1):77-84. doi: 10.1093/ehjci/jez061.
- Sigalet DL, Montgomery M, Harder J. Cardiopulmonary effects of closed repair of pectus excavatum. J Pediatr Surg 2003; 38:380-5. doi:10.1053/jpsu.2003.50112
- O'Keefe J, Byrne R, Montgomery M et al. Longer term effects of closed repair of pectus excavatum on cardiopulmonary status. J Pediatr Surg 2013; 48(5): 1049-54. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2013.02.024.
- Neviere R, Benhamed L, Duva Pentiah A, et al. Pectus excavatum repair improves respiratory pump efficacy and cardiovascular function at exercise. J Thorac Cardiovasc Surg 2013; 145:605-6. doi: 10.1016/j.jtcvs.2012.07.078
- Maagaard M, Tang M, Ringgaard S, et al. Normalized cardiopulmonary exercise function in patients with pectus excavatum three years after operation. Ann Thorac Surg. 2013; 96(1):272-8. doi: 10.1016/j.athoracsurg.2013.03.034. Epub 2013 May 14. PMID: 23684487
- Maagaard M, Heiberg J. Improved cardiac function and exercise capacity following correction of pectus excavatum: a review of current literature. Ann Cardiothorac Surg. 2016; 5:485-492. doi:10.21037/acs.2016.09.03. PMID: 27747182
- Chao CJ, Jaroszewski DE, Kumar PN, et al. Surgical repair of pectus excavatum relieves right heart chamber compression and improves cardiac output in adult patients--an intraoperative transesophageal echocardiographic study. Am J Surg 2015; 210:1118-24. discussion 1124-5. doi: 10.1016/j.amjsurg.2015.07.006.
- Sigalet DL, Montgomery M, Harder J, et al. Long term cardiopulmonary effects of closed repair of pectus excavatum. Pediatr Surg Int 2007;23:493-7. doi:10.1007/s00383-006-1861
- Kowalewski J, Barcikowski S, Brocki M. Cardiorespiratory function before and after operation for pectus excavatum: medium-term results. Eur J Cardiothorac Surg 1998; 13:275-9. doi:10.1016/S1010-7940(97)00326-6
- Peterson RJ, Young WG, Jr Goldwin JD et al. Noninvasive assessment of exercise cardiac function before and after pectus excavatum repair J Thorac Cardiovasc Surg 1985; 90:251-60.
- Zens TJ, Casar Berazaluce AM, Jenkins TM et al. The Severity of Pectus Excavatum Defect Is Associated With Impaired Cardiopulmonary Function. Ann Thorac Surg 2022; 114:1015-21.
- Feigenbaum, H. · Armstrong, W.F. · Ryan, T. Feigenbaum's Echocardiography. Lippincott Williams & Wilkins, 2004.
- Seraphim A, Knott KD, Augusto J. Quantitative cardiac MRI. J Magn Reson Imaging. 2020; 51:693-71.
- Lain A, Giralt G, Gine C et al. Transesophageal echocardiography during pectus excavatum correction in children: What happens to the heart? J Pediatr Surg 2021; 56(5): 988-994. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2020.06.009.
- Kubiak R, Habelt S, Hammer J, et al. Pulmonary function following completion of Minimally Invasive Repair for Pectus Excavatum (MIRPE). Eur J Pediatr Surg 2007; 17:255-60. 10.1055/s-2007-965060
- Malek MH, Berger DE, Housh TJ. Cardiovascular function following surgical repair of pectus excavatum: A metaanalysis. Chest. 2006; 130:506-516. doi: 10.1378/chest.130.2.506.
- Tang M, Nielsen HH, Lesbo M. Improved cardiopulmonary exercise function after modified Nuss operation for pectus excavatum. Eur J Cardiothorac Surg. 2012; 41:1063-1067. doi: 10.1093/ejcts/ezr170.
- Taslak Sengul A, Bilgin Buyukkarabacak Y, Altunkaynak B et al. Does costal cartilage resection reduce lung volume? (An experimental stereological study). J Exp Clin Med 2021; 38(2): 61-65. doi: 10.52142/omujecm.38.2.2
- Morshuis WJ, Folgering HT, Barentsz JO et al Exercise cardiorespiratory function before and one year after operation for pectus excavatum. J Thorac Cardiovasc Surg. 1994; 107:1403-1409.
- Neviere R, Montaigne D, Benhamed L et al. Cardiopulmonary response following surgical repair of pectus excavatum in adult patients. Eur J Cardiothorac Surg. 2011; 40: e77-e82. doi: 10.1016/j.ejcts.2011.03.045.