

4. Pektus Deformitelerini Değerlendirmek İçin Kullanılan İndeksler

Op. Dr. Melek ERK, Doç. Dr. Yunus SEYREK, Prof. Dr. Levent CANSEVER

SBÜ, Yedekule Göğüs Hastalıkları ve Göğüs Cerrahisi, Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Göğüs Cerrahisi Kliniği, İstanbul

ÖZET

Pektus deformiteleri oldukça heterojen bir grup olup, deformite şiddetini ortaya çıkarmak amacıyla bazı torasik indeksler bulunmaktadır. Deformite şiddetini belirlemek, tedavi stratejilerinin seçimi konusunda yardımcı olur. Literatürde, hangi torasik indeksin altın standart olduğu konusunda bir tanım, sınıflandırma veya fikir birliği bulunmamaktadır. Bu bölüm, ortaya konan pektus deformite indekslerini açıklayarak bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Hangi indeksin kullanıldığı klinik bazında değişmektedir ve her klinik kendine uygun en pragmatik indeksi kullanmaktadır. Günümüzde kullanılması şart olan ve tavsiye edilen mükemmel indeks olarak tabir edilen bir pektus deformite indeksi bulunmamaktadır.

GİRİŞ

Torasik indeks, torasik deformiteyi nitelendirmek veya ölçmek için kullanılan formüldür ve bazı durumlarda tedavi stratejilerini tanımlamak için de kullanılabilir. Literatürde, hangi torasik indeksin altın standart olduğu konusunda bir tanım, sınıflandırma veya fikir birliği bulunmamaktadır (1-3). Torasik indeksler, doğumsal göğüs deformitelerinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu indeksler, defektin şiddetini değerlendirerek, deformitenin ne kadar ciddi olduğunu belirlemeye yardımcı olur. Ayrıca, tedaviye karar verirken kullanılabilecek bir 'cut-off' noktası oluşturur, bu da hangi durumlarda tedavi gerekliliğini gösterir. Torasik indeksler, cerrahların ve uzmanların tedavi stratejilerini tanımlamalarına olanak tanır, böylece en uygun müdahaleyi seçmelerine yardımcı olur. Ayrıca, cerrahi müdahalelerin ardından göğüs şeklinin nasıl değiştiğini ölçmek için de kullanılır, böylece postoperatif iyileşme süreci objektif bir şekilde izlenebilir.

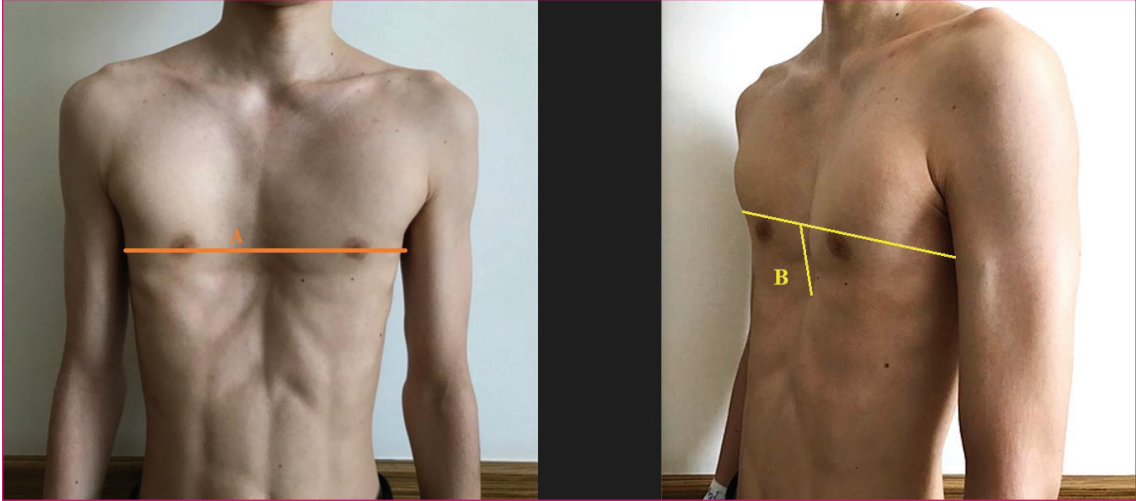
Tanısal İndeksler

Klinik, radyolojik ve diğer indeksler olarak üç ana grupta incelenir (4).

1. Klinik indeksler: Bu indeksler, fiziksel muayene ve hastanın klinik bulgularına dayanarak torasik deformitelerin değerlendirilmesinde kullanılır. Göğüs duvarındaki şekil bozuklukları ve diğer fiziksel işaretler dikkate alınır.

1.1: Antropometrik indeks: Bu indeks, bireyin fiziksel ölçümlerine dayalı olarak torasik deformitenin değerlendirilmesinde kullanılan bir ölçümdür. Genellikle, göğüs duvarının çeşitli boyutları, özellikle derinlik (B ölçümü) ile en geniş anteroposterior çap (A ölçümü) arasındaki oranı hesaplayarak deformitenin şiddetini belirler (Resim 1). Antropometrik indeks, özellikle PE gibi deformiteler için kullanılır ve genellikle B/A oranı şeklinde tanımlanır. Bu indeks, deformitenin ölçülmesinde ve tedavi stratejilerinin belirlenmesine yardımcı olur (5).

Resim 1. Antropometrik indeks ölçümü için kullanılan anteroposterior çap (A) ve derinlik ölçümü (B).



2. Radyolojik İndeksler

2.1: Göğüs röntgeni indeksleri: Bu indeksler, göğüs röntgeni (X-ışını) kullanılarak torasik deformitenin değerlendirilmesine olanak tanır. Röntgen görüntüleri, deformitenin yapısını ve yayılma seviyesini analiz etmek için kullanılır.

2.1.1: Vertebral indeks: Bu indeks, vertebral yapılarla göğüs duvarı arasındaki ilişkileri değerlendirir. Genellikle, vertebral deformitelerin göğüs deformiteleriyle ne kadar ilişkili olduğunu belirlemek için kullanılır ve göğüs duvarındaki değişikliklerin omurga üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla kullanılır. Bu noktada skolyoz varlığı ve derecesi ortaya çıkarılır.

Vertebral indeks (VI), lateral torasik röntgen görüntüsünden hesaplanır. Bu indeks, vertebral vücut çapının (BC) sagittal çapı ile sternumun posterior tarafının ve vertebral vücutun posterior tarafının sagittal anteroposterior çapı (AC) arasındaki oran olarak tanımlanır. Lower Vertebral Index (LVI), ksifosternal eklemden hesaplanırken (6-9), Upper Vertebral Index (UVI), sternomanubrial eklemden hesaplanır. LVI > 27 için preoperatif kesme noktası belirtilmiştir ve bu değerin üzerindeki hastalar için operasyon endikasyonu konabilir.

2.1.2: Welch indeks: Welch indeksi, PE deformitesinin şiddetini değerlendirmek için kullanılan bir diğer indeks olup, deformitenin derecesini ölçen spesifik bir yöntem sunar. Bu indeks, göğüs duvarındaki çökme ve şekil bozukluklarını sınıflandırmak için kullanılır.

1958 yılında, Welch, PE tedavisi için bir teknik önerdi ve bu teknik, kostal kırıkdağların perikondriyal

kılıflarının tam korunmasını, üst interkostal demetin korunmasını, sternum osteotomisi yapılmasını ve sternumun ipek dikişlerle anterior fiksasyonunun önemini vurguladı (10). Deformitenin şiddeti, göğüs röntgenlerinden yapılan bir dizi ölçümle 1-10 arasında bir ölçekle değerlendirildi (11). Yazarların görüşüne göre, cerrahi onarım, PE hastaları için infantil dönemi geçtikten sonra, esnek olmayan deformite ve Welch İndeksi (WI) ≥ 5 olan şiddetli vakalar için önerilmektedir.

2.1.3: Haje Body Manubral indeks: Bu indeks, sternumun manubrium kısmındaki morfolojik değişiklikleri değerlendirir. Manubriumun şekli, torasik deformitelerin derecesini anlamada önemli bir rol oynar ve bu indeks, özellikle sternumun üst kısmındaki deformiteleri nicelendirmeye yardımcı olur.

Lateral göğüs röntgeni kullanılarak hesaplanır. Hesaplama için, sternumun manubrium kısmı ile gövdesinin uzunlukları santimetre cinsinden ölçülür. Elde edilen oran, ossifiye olmuş sternum gövdesinin (B) uzunluğunun, ossifiye olmuş manubriumun (M) uzunluğuna bölünmesiyle bulunur ve bu orana Body Manubrium (BM) indeksi denir (2). BM indeksi için "cut-off" noktası 2.16'dır. Bu değerden daha düşük BM değerleri, daha kısa sternum gövdesinin varlığını gösterir. Bu değer altındaki hastalarda tek bar genellikle yeterli olur.

2.1.4: Haje Body Manubral Ksifoid indeks: Bu indeks, sternumun manubrium ve ksifoid arasındaki ilişkiyi değerlendirir. Lateral göğüs röntgeni kullanılarak elde edilir. Sternum gövdesinin üst kısmından ksifoid çıkıntısının alt kısmına kadar olan mesafenin

(BX), manubriumun (M) uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanır ve bu oran Body Manubrium Xyphoid (BMX) İndeksi olarak adlandırılır ve BMX İndeksi için “cut-off” noktası 2.73’tür (2).

2.1.5: Chest X-Ray Haller indeksi: Bu indeks, sternumun en derin noktasının, omurga ile olan mesafesinin, en geniş anteroposterior çapına oranı olarak tanımlanır. Poston ve ark. (12), PE’nin şiddetini göğüs röntgenlerinden belirlemişlerdir, bu sayede pektus hastalarının radyasyon maruziyeti minimize edilmiştir. Yazarlar, göğüs röntgenlerinden (Chest-X-Ray HI) ve göğüs BT taramalarından (Chest CT HI) hesaplanan Haller İndeksleri arasında güçlü bir korelasyon bulmuşlardır ve Chest-X-Ray Haller indeksleri 3.2 ile 3.75 arasında olduğunda, göğüs BT taramalarını doğrulayıcı bir test olarak kullanılması önermiştir.

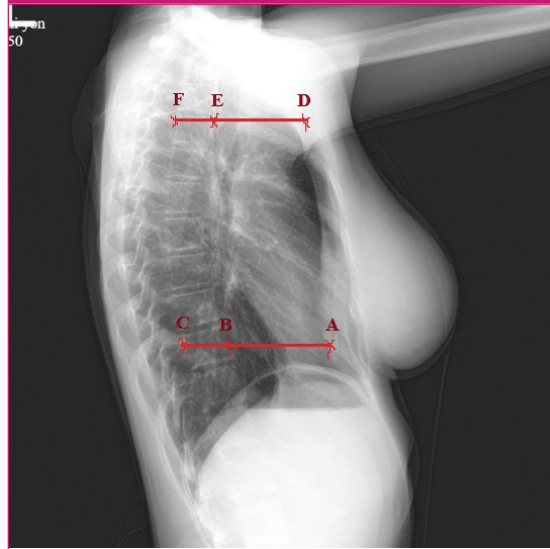
2.1.6: Konfigürasyon indeksi: Konfigürasyon İndeksi (ConI), ksifosternal bileşke ve sternomanubral bileşkede sternumun arka yüzü ile vertebral ön yüzü arasındaki sagittal anteroposterior çapların birbirine oranıdır. Ksifosternal bileşke seviyesindeki ölçümün sternomanubral bileşke seviyesindeki ölçüme bölünmesi ile bulunur. ConI, özellikle kompleks PE hastalarında, genellikle aksiyel sternum rotasyonu ve/veya skolyoz ile birlikte değerli bir ölçüt olmuştur (Resim 2).

2.1.7: Frontosagittal indeksi: Ohno ve ark. tarafından tanımlanan Fronto Sagittal İndeksi (FSI), göğsün maksimum iç enine çapı (T) ile minimum sagittal çapı (D) arasındaki yüzde oranıdır. Bu ölçü, vertebral vücudun ön yüzünden sternum gövdesinin en yakın noktasına kadar olan mesafe kullanılarak yapılır. Yazarlar, postoperatif dönemde LVI değerinin azaldığını, ancak FSI değerinin önemli derecede arttığını gözlemlemişlerdir. Preoperatif FSI için “cut-off” noktası < 29 olarak belirlenmiştir (13).

2.2: Toraks BT (bilgisayarlı tomografi) indeksleri: Toraks BT taramaları, göğüs duvarındaki ve iç organlardaki daha ayrıntılı bilgileri sunar. Bu indeksler, deformitenin anatomik ve fizyolojik etkilerini daha net bir şekilde değerlendirmek için kullanılır.

2.2.1: Haller indeksi: Haller indeksi, PE’nin derinlik şiddetinin değerlendirilmesinde en sık kullanılan ve en çok bilinen preoperatif yöntemdir. Pektus ekskavatumunun şiddetini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan Haller İndeksi, sternumun anteroposterior çapının, göğüs kafesinin en geniş çapına bölünmesiyle hesaplanır. HI değeri 3.25’in üzerinde olan hastalar için cerrahi müdahale önerilebilir (14).

Resim 2. Vertebral indeks ve konfigürasyon indeksi hesaplanması için gerekli ölçümler.



BC= Vertebral gövdenin sagittal çapı.

AC= Sternumun arka yüzünden vertebral gövdenin arka yüzüne kadar olan sagittal anteroposterior çap.

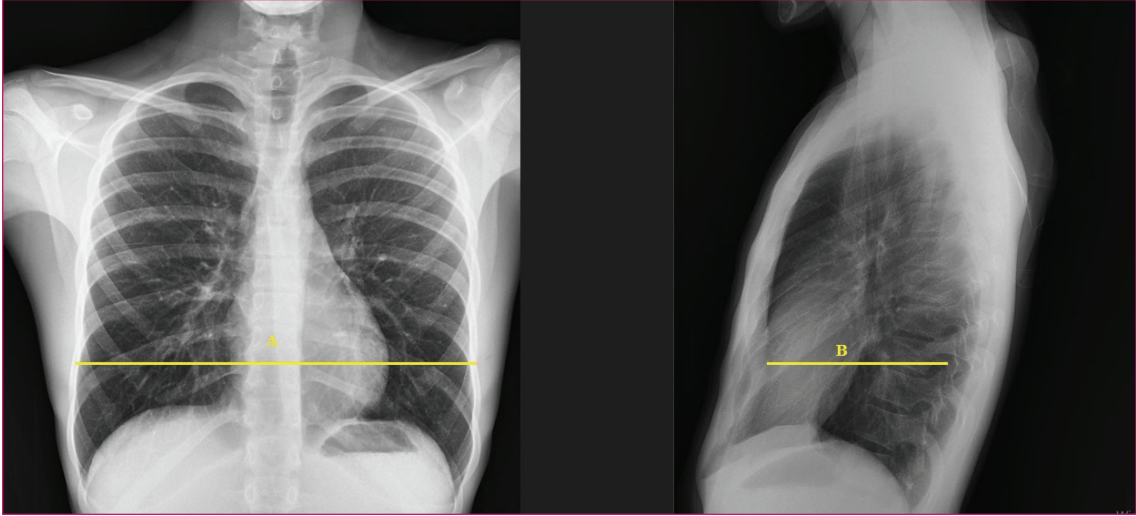
EF= Vertebral gövdenin sagittal çapı.

DE= Sternumun arka yüzünden vertebral gövdenin arka yüzüne kadar olan sagittal anteroposterior çap. Konfigürasyon indeksi, sternumun arka yüzü ile vertebral gövdenin ön yüzü arasındaki sagittal anteroposterior çapının, ksifosternal (DE) ve sternomanubrial (AB) eklemlerindeki oranıdır.

Pektus ekskavatum şiddetine göre hafif, orta veya şiddetli olarak sınıflandırılır. Normal bir toraks anatomisinde HI 2 veya daha azdır. 2 ile 3,2 arasındaki değerler hafif deformiteyi, 3,2 ile 3,5 arasındaki değerler orta derece deformiteyi, 3,5 ve üzeri değerler ise şiddetli deformiteyi gösterir. Haller İndeksi deformitenin en derin noktasından ölçülmelidir. Eğer göğüs duvarının en derin noktası vertebranın ön yüzeyi ile aynı sagittal düzlemde değilse HI iki paralel çizgi kullanarak hesaplanmalıdır. Bu çizgilerden biri vertebranın önüne diğeri ise sternumun en derin noktasının arka yüzüne teyet olacak şekilde çizilmeli, bu iki çizgi arasındaki mesafe derinlik değeri (B) değeri olarak kabul edilmelidir.

Modifiye Haller indeksi geleneksel HI’ne ek olarak, diğer faktörleri de göz önünde bulundurarak daha hassas bir değerlendirme yapmayı amaçlar. Albertal ve ark. anterior-posterior çap değerlerinin son-

Resim 3. Chest X-Ray Haller İndeksi ölçümü. (A) Sternumun en arka projeksiyon noktası tespit edilir ve bu segment ile ilgili vertebranın ön kısmı arasındaki mesafe ölçülür. (B) Lateral çap, anteroposterior görüşte vertebral gövde seviyesinde ölçülür.



inspirasyon ile son-ekspirasyon arasında değiştiğini ve bunun HI değerlerinde önemli değişikliklere karşılık geldiğini bulmuşlardır (15). Çalışmaları, HI'nin son-ekspirasyonda son-inspirasyona göre daha şiddetli olduğunu ve bunun cerrahi adaylığı artırdığını göstermiştir.

2.2.2: Haje Width uzunluk indeksi: Bu indeks, Haje ve ark. tarafından önerilmiştir ve koronal BT taramaları kullanılarak, sternumun osifiye olmuş gövdesinin maksimum genişliğinin, uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanır. Geniş sternum gövdeleri için daha yüksek WLI indeksleri elde edilir ve pektus deformitelerinin prognozu ile tedavisini etkileyebilir.

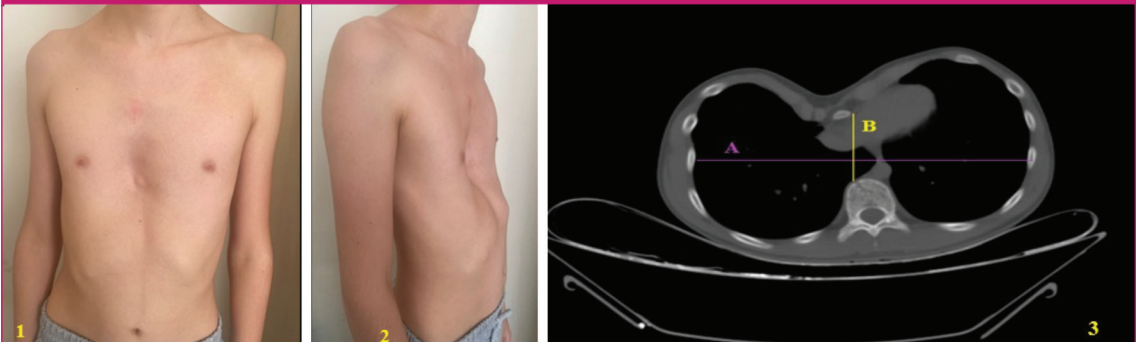
2.2.3: Correction indeks: St. Peter ve ark. tarafından tanımlanmıştır (16). Bu çalışmada HI'nin genişliğe bağlı olduğu ve defektin derinliğini doğru şekilde değerlendirmedeği gözlemlenmiştir.

Correction indeksi (CI), pektus deformitesinin derinliğinin ölçülmesini değerlendirmek için kullanılır. Cerrahiden önce ve sonra yapılan ölçümler arasındaki farkları belirleyerek, tedaviye yanıtı ölçmeye olanak tanır (17). Tersine, bu, bar yerleştirilerek düzeltilmesi gereken göğüs derinliğinin yüzdesini temsil eder. CI'nin "cut-off" noktası, kontrol grupları ile PE hastalarını ayırt etmek için %10 olarak belirlenmiştir.

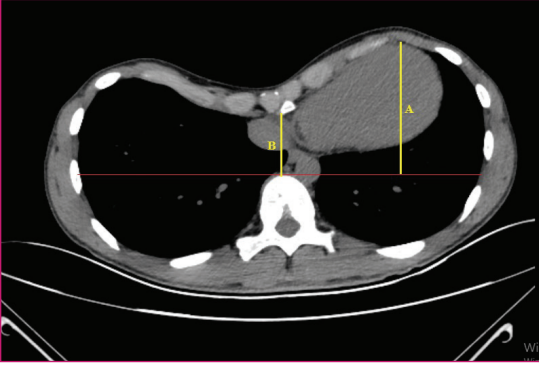
2.2.4: Asimetri indeksi: Göğüs kafesindeki asimetrik deformitelerin derecesini ölçer. Sternumun sol ve sağ tarafları arasındaki farklılıklar değerlendirilerek, deformitenin ne kadar asimetrik dair bilgi verir (18).

2.2.5: Vertebral indeks: Bu indeks, lateral göğüs röntgeni üzerinden hesaplanır ve vertebra ile sternum arasındaki mesafeyi ölçerek, pektus deformitesinin omurga üzerindeki etkisini değerlendirir (19,20).

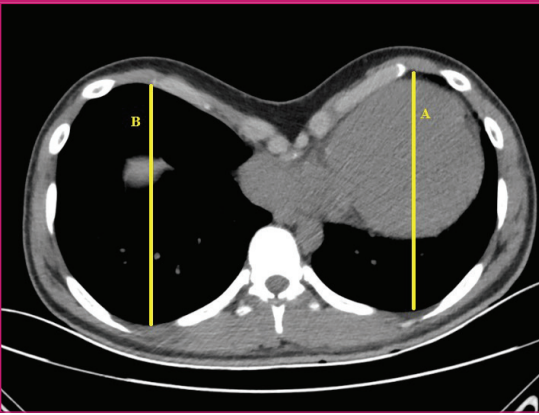
Resim 4. Toraks BT HI ölçümü. 1: Hastanın anteriordan görünüşü. 2: Hastanın oblik görüntüsü. 3: Hastanın toraks BT'sinde en geniş toraks çapı ölçümü (A), en dar anteroposterior çap ölçümü (B). Haller indeksi= A/B.



Resim 5. Correction indeks hesaplanması. Bir yatay çizgi anterior omurga boyunca çizilir. Ardından, CI, posterior sternum ile anterior omurga arasındaki minimum mesafeyi (en dar nokta) [B], anterior omurga ile göğsün anterior kısmı arasındaki maksimum mesafeyi (en geniş nokta) [A] ölçer. Bu değerler arasındaki fark (en geniş nokta eksi en dar nokta), diğer bir deyişle defektin miktarı, en geniş noktaya bölünür ve son olarak 100 ile çarpılır, böylece hastanın eksik olan PE derinliğinin yüzdesi elde edilir. $CI = ((A-B)/A) \times 100$.



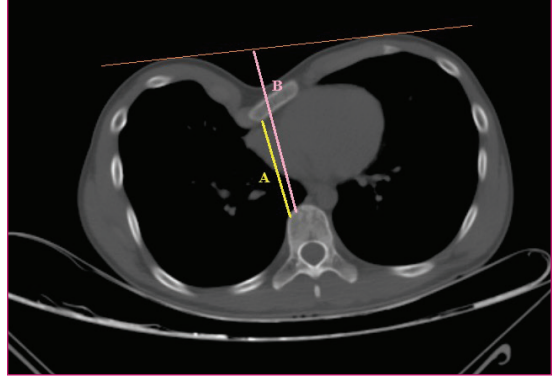
Resim 6. Asimetri indeksi (AI)= A/B
AI= 100; R= L; Simetrik PE
AI > 100; R > L; Sağ Asimetrik PE
AI < 100; R < L; Sol Asimetrik PE



2.2.6: Frontosagittal indeks: Bu indeks, göğüs kafesinin en geniş iç enine çapı ile en kısa sagittal çapı arasındaki oranı ifade eder (21). FSI, PE'nin postoperatif sonuçlarını değerlendirmek için kullanılır.

2.2.7: Steepness indeksi: Bu indeks, sternumun ve çevresindeki kaburga kırıkdağlarının eğimini ölçerek göğüs duvarındaki çökme şiddetini değerlendirir (22). Daha dik eğimler, daha belirgin deformiteleri gösterir.

Resim 7. Depresyon İndeksi (DI) hesaplanması
DI=A/B.



2.2.8: Excavatum volüm indeksi: Pektus ekskavatum deformitesinin hacmini hesaplayan bu indeks, deformitenin ne kadar geniş bir alanı etkilediğini ölçer ve deformitenin boyutları hakkında bilgi verir (22).

2.2.9: Depresyon indeksi: Göğüs duvarının derinliğini ölçen bir indeks olup, deformitenin en derin noktasını belirleyerek çökme seviyesini nicelendirmeye yardımcı olur (23).

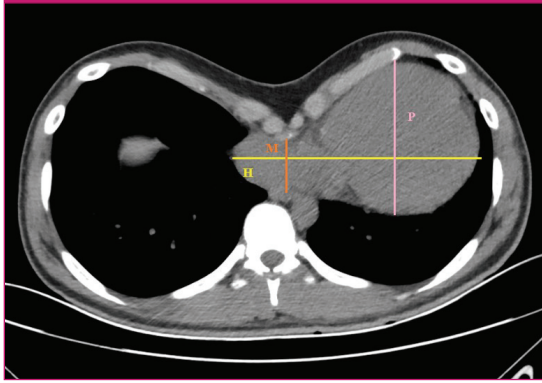
2.2.10: Unbalance indeksi: Bu indeks, göğüs duvarındaki simetriyi değerlendirir ve deformitenin her iki tarafında dengesizlik olup olmadığını ölçer.

2.2.11: Flatness indeksi: Bu indeks, göğüs duvarının düzlüğünü ölçer. Göğüs duvarı ne kadar düzse, bu indeks değeri o kadar yüksek olur ve deformitenin daha hafif olduğunu gösterir.

2.2.12: Sirkülarite indeksi: Bu indeks, göğüs duvarının yuvarlaklık derecesini ölçer ve deformitenin şeklinin ne kadar yuvarlak ya da düzensiz olduğunu nicelendirmeye yardımcı olur.

2.2.13: Kardiyak kompresyon indeksi ve kardiyak asimetri indeksi: Pektus ekskavatumun takibinde dolaşım problemleri oluşturan olası mekanizmalar şunlardır: kalp rotasyonu ve büyük damarların dönmesi nedeniyle azalmış giriş, kardiyak kompresyon, diyastolik genişlemenin engellenmesi, azalmış solunum çabası. Kardiyak Kompresyon İndeksi (CCI), H/M oranından türetilir ve Kardiyak Asimetri İndeksi (CAI) ise P/M oranından türetilir (Resim 8). CCI için "cut-off" noktası 1.82 iken, CAI için "cut-off" noktası 1,15'tir (29).

2.3: Toraks ve kardiyak MRI indeksleri: Manyetik rezonans görüntüleme (MRI) teknikleri hem göğüs duvarı hem de kalp üzerindeki etkileri değerlendirir.

Resim 8. CCI ve CAI hesaplanması.

dirmek için kullanılır. MRI, yumuşak doku ve damar yapılarının daha ayrıntılı görüntülerini sağlar.

PE Tanısı İçin MR'ın Alternatif Olarak Kullanımı

Son çalışmalar, radyasyon maruziyetini azaltmak amacıyla PE tanısında BT yerine MRI kullanımını incelemeye başlamıştır. MRI, göğüs duvarının hareketini değerlendirmenin yanı sıra, pektus deformitesinin fizyolojik yönlerine dair daha ayrıntılı bilgiler sağlayabilir (24).

Cine MR ve Göğüs Duvarı Kinetiği

Cine MR teknolojisi, göğüs morfolojisinin ve hareketinin dinamik yönlerini değerlendirmede faydalı olmuştur (25). Bu teknik, pektus ekskavatumun fonksiyonel etkilerini anlamak için önemlidir, özellikle nefes alma kapasitesini ve egzersiz dayanıklılığını nasıl etkilediğini incelemek açısından kullanılır.

İnspirasyon ve Ekspirasyon MR Sekansları

Bazı çalışmalar hem inspirasyon hem de ekspirasyon MR sekanslarının edinilmesinin ek fonksiyonel bilgiler sağlayabileceğini ve pektus ekskavatumun fizyolojik etkilerini daha iyi anlamak için önemli olabileceğini önermiştir. Ekspirasyonda deformitenin kötüleşebileceği bu bilgilerle ilgili araştırmalar bulunmaktadır (26).

3. Diğer İndeksler

Bu kategori, diğer tanısal araçlar ve ölçüm tekniklerini içerir. Örneğin, ultrason veya 3D görselleştirme gibi alternatif yöntemler de bazen kullanılarak deformitenin değerlendirilmesine katkı sağlanır.

3.1: Kardiyak Stress testi: Kardiyak stres testleri, pektus deformiteleri (özellikle PE ve pektus karinatum) olan hastalarda, kalp fonksiyonlarını değerlendirmek ve deformitenin kardiyovasküler sisteme et-

kilerini incelemek için kullanılır (27). Bu testin amacı şunları içerir:

- 1. Kardiyak fonksiyonların değerlendirilmesi:** Pektus deformiteleri, kalbin yerini değiştirebilir veya kalp üzerindeki baskıyı artırabilir. Kardiyak stres ultrasonu, kalp hareketlerini ve fonksiyonlarını değerlendirerek, deformitenin kalbin sağlıklı çalışmasına etkisini belirlemeye yardımcı olur.
- 2. Egzersizle ilişkili belirtilerin izlenmesi:** Pektus deformiteleri, egzersiz yaparken egzersiz intoleransı, yorgunluk ve nefes darlığı gibi kardiyorespiratuar semptomlara neden olabilir. Kardiyak stres ultrasonu, egzersiz sırasında kalp performansını gözlemleyerek, hastanın egzersize verdiği tepkiyi değerlendirir.
- 3. Deformite şiddetinin izlenmesi:** Pektus deformitesinin şiddeti, kalp üzerindeki baskıyı ve dolayısıyla kalp fonksiyonlarını etkileyebilir. Kardiyak stres ultrasonu, kalp sağlığı üzerinde deformitenin ne kadar etkili olduğunu belirlemek için kullanılabilir.
- 4. Cerrahi müdahale kararını destekleme:** Kardiyak stres ultrasonu, cerrahi müdahaleye karar verilirken, deformitenin kardiyovasküler sisteme olan etkilerinin anlaşılmasını sağlar. Bu test, cerrahi düzeltme gerekliliğini belirlemeye yardımcı olabilir.

Özetle, kardiyak stres ultrasonu, pektus deformitelerinin kalp üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve cerrahi müdahaleye karar verirken faydalı bir araç olabilir.

3.2: Pletismografi: Optoelektronik pletismografi kinematik analiz, Nuss onarımı sırasında göğüs duvarı yeniden şekillendirmesinin, torasik hacmin artmasına yol açtığını göstermektedir (28). Pektus defektindeki göğüs duvarı hareketi disfonksiyonu, Nuss onarımı sonrası tersine döner. Ayrıca, abdominal solunum katkıları da belirgin bir şekilde azalır.

KAYNAKLAR

1. Haje SA, Haje Dde P, Silva Neto M. Pectus deformities: tomographic analysis and clinical correlation. *Skeletal Radiol.* 2010;39(8):773-82.
2. Haje SA, Harcke HT, Bowen JR. Growth disturbance of the sternum and pectus deformities: imaging studies and clinical correlation. *Pediatr Radiol.* 1999;29(5):334-41.
3. Haje SA, Haje Dde P. Abordagem ortopédica das deformidades pectus: 32 anos de estudos. *Rev Bras Ortop.* 2009;44(3):191-

- 8.
4. Martinez-Ferro, M. (2016). *Indexes for pectus deformities. Chest wall deformities and corrective procedures*, 35-60.
5. Rebeis EB, Campos JR, Moreira LF. Variation of the Anthropometric Index for pectus excavatum relative to age, race, and sex. *Clinics (Sao Paulo)*. 2013; 68(9):1215-9.
6. Cartoski MJ, Nuss D, Goretsky MJ. Classification of the dysmorphology of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2006;41(9):1573-81.
7. Derveaux L, Clarysse I, Ivanoff I. Preoperative and postoperative abnormalities in chest x-ray indices and in lung function in pectus deformities. *Chest*. 1989;95(4):850-6.
8. Malek MH, Berger DE, Housh TJ. Cardiovascular function following surgical repair of pectus excavatum: A metaanalysis. *Chest*. 2006;130(2):506-16. Review.
9. Maagaard M, Tang M, Ringgaard S. Normalized cardiopulmonary exercise function in patients with pectus excavatum three years after operation. *Ann Thorac Surg*. 2013;96(1):272-8.
10. Welch KJ. Satisfactory surgical correction of pectus excavatum deformity in childhood; a limited opportunity. *J Thorac Surg*. 1958;36(5):697-713.
11. Shamberger RC, Welch KJ. Surgical repair of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 1988;23(7):615-22.
12. Poston PM, Patel SS, Rajput M. Defining the role of chest radiography in determining candidacy for pectus excavatum repair. *Innovations (Phila)*. 2014;9(2):117-21; discussion 121.
13. Ohno K, Nakahira M, Takeuchi S. Indications for surgical treatment of funnel chest by chest radiograph. *Pediatr Surg Int*. 2001;17(8):591-5
14. Haller Jr JA, Kramer SS, Lietman SA. Use of CT scans in selection of patients for pectus excavatum surgery: a preliminary report. *J Pediatr Surg*. 1987; 22(10):904-6.
15. Albertal M, Vallejos J, Bellia G. Changes in chest compression indexes with breathing underestimate surgical candidacy in patients with pectus excavatum: a computed tomography pilot study. *J Pediatr Surg*. 2013;48(10):2011-6.
16. St Peter SD, Juang D, Garey CL. A novel measure for pectus excavatum: the correction index. *J Pediatr Surg*. 2011;46(12):2270-3.
17. Shamberger, Robert C., and Kenneth J. Welch. "Surgical repair of pectus excavatum." *Journal of pediatric surgery* 23.7 (1988): 615-622.
18. Lawson ML, Barnes-Eley M, Burke BL. Reliability of a standardized protocol to calculate cross-sectional chest area and severity indices to evaluate pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2006;41(7):1219-25.
19. Kilda A, Basevicius A, Barauskas V. Radiological assessment of children with pectus excavatum. *Indian J Pediatr*. 2007;74(2):143-7.
20. Kilda A, Lukosevicius S, Barauskas V. Radiological changes after Nuss operation for pectus excavatum. *Medicina (Kau-nas)*. 2009;45(9):699-705.
21. Backer, O. G., Brünner, S., & Larsen, V. (1961). Radiologic evaluation of funnel chest. *Acta radiologica*, (4), 249-256.
22. Masaoka A, Kondo S, Sasaki S. Thirty years' experience of open-repair surgery for pectus excavatum: development of a metal-free procedure. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2012;41(2):329-34.
23. Fagelman, K. M., Methratta, S., Cilley. (2015). The Depression Index: an objective measure of the severity of pectus excavatum based on vertebral diameter, a morphometric correlate to patient size. *Journal of pediatric surgery*, 50(7), 1130-1133.
24. Viña, N. A., Carrascosa, P., Mogensen, V. C. (2019). Evaluation of pectus excavatum indexes during standard cardiac magnetic resonance: potential for single preoperative tool. *Clinical imaging*, 53, 138-142.
25. Herrmann KA, Zech C, Strauss T. Cine MRI of the thorax in patients with pectus excavatum. *Radiologe*. 2006;46(4):309-16. German.
26. Raichura N, Entwisle J, Leverment J. Breath-hold MRI in evaluating patients with pectus excavatum. *Br J Radiol*. 2001;74(884):701-8.
27. Sonaglioni, A., Nicolosi, G. L., Trevisan, R. (2023). The influence of pectus excavatum on cardiac kinetics and function in otherwise healthy individuals: A systematic review. *International Journal of Cardiology*, 381, 135-144.
28. Redlinger Jr, Richard E., et al. "Regional chest wall motion dysfunction in patients with pectus excavatum demonstrated via optoelectronic plethysmography." *Journal of Pediatric Surgery* 46.6 (2011): 1172-1176.
29. Kim M, Lee KY, Park HJ. Development of new cardiac deformity indexes for pectus excavatum on computed tomography: feasibility for pre- and post-operative evaluation. *Yonsei Med J*. 2009;50(3):385-90.