

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ

ANESTEZİYOLOJİ ANABİLİM DALI



**KORONER ARTER BYPASS GREFTLEME CERRAHİSİNDE
POZİTİF EKSPİRYUM SONU BASINCIN İNTRAOPERATİF
SAĞ VENTRİKÜL FONKSİYONLARINA ETKİSİ**

UZMANLIK TEZİ

Dr. Melis TÜRKER

Ankara, 2014

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ
ANESTEZİYOLOJİ ANABİLİM DALI



KORONER ARTER BYPASS GREFTLEME CERRAHİSİNDE
POZİTİF EKSPİRYUM SONU BASINCIN İNTRAOPERATİF
SAĞ VENTRİKÜL FONKSİYONLARINA ETKİSİ

UZMANLIK TEZİ

Dr. Melis TÜRKER

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Arash PİRAT

Ankara, 2014

ÖZET

Koroner arter bypass greftleme (KABG) cerrahisi dünyada en sık gerçekleştirilen majör cerrahilerin başında yer almaktadır. KABG cerrahisinde en sık rastlanan morbidite ve mortalite nedenleri kardiyak ve solunumsal kökenlidir. Solunumsal sorunların önlenmesi ve tedavisinde sıklıkla pozitif ekspiryum sonu basınç (*positive end-expiratory pressure*, PEEP) kullanılmaktadır. Uygun PEEP seviyeleri hem solunum mekaniklerini hem de hemodinamik parametreleri olumlu yönde etkilerken yetersiz veya aşırı uygulanan PEEP seviyeleri kardiyopulmoner sistem için zararlı olabilir. Uygun PEEP seviyesinin belirlenmesi için bir çok yöntem denenmiştir. Ancak KABG cerrahisi sırasında hemodinamik izlem için sıklıkla kullanılan ve sağ ventrikül fonksiyonları hakkında değerli bilgiler sağlayan transözefageal ekokardiyografi (TÖE) ile PEEP'in ilişkisini inceleyen az sayıda çalışma mevcuttur. Ekokardiyografide kullanılan miyokardiyal *strain* ve *strain* hızı (*strain rate*, SR) her bir kasılma ile ventriküllerde oluşan şekil değişikliğini tanımlayarak miyokardın kasılma ve gevşemesi sırasında ventriküllerin özellikleri ile ilgili bilgiler verir. Benek takibi (*speckle tracking*) en yeni *strain* analiz yöntemi olarak uygulanmaktadır. *Strain* analiz; iskemi, enfarkt, miyokard hastalıkları ve kapak hastalıklarının miyokarda olan etkisi hakkında güvenilir bilgi sağlar. Bu çalışmada KABG cerrahisinde uygulanan PEEP'in benek takibi yöntemi ile sağ ventrikül fonksiyonlarına etkisinin araştırılması amaçlandı.

Başkent Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırma Kurulu ve Etik Kurulu'ndan onay alındıktan sonra Mayıs 2013-Eylül 2013 tarihleri arasında KABG cerrahisi yapılan 20 hasta prospektif olarak incelendi.

Hastalara mekanik ventilasyon sırasında sternotomi öncesi 5 cmH₂O PEEP basınçla başlanarak 5 dakikalık stabilizasyon sürelerini takiben sırasıyla 10 ve 20 cmH₂O PEEP uygulandı. Her PEEP düzeyinde TÖE ile sağ ventrikülün dört boşluk ve iki boşluk görüntüleri kaydedildi. Elde edilen görüntülerden sağ ventrikül çapı, velositesi, *longitudinal strain*i ile SR'i ölçümleri ve sağ ventrikül fraksiyonel alan değişimi (*right ventricle fractional area of change*, RVFAC) hesaplanarak sağ ventrikül fonksiyonunun değerlendirilmesi yapıldı.

Çalışmaya dahil edilen 20 hastanın 17'si (%85) erkek hasta, 3'ü (%15) kadın iken ortalama yaş $59,7 \pm 10,5$ yıl olarak saptandı. İntraoperatif kaydedilen sistolik kan basıncı ($p=0,918$),

diyastolik kan basıncı ($p=0,765$), ortalama kan basıncı ($p=0,808$) ve kalp hızı ($p=0,116$) ölçümleri 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP'te benzer bulundu. RVFAC 5 ve 10 cmH₂O PEEP'te ($\%44,3 \pm 5,4$ ve $\%41,8 \pm 5,6$; $p=0,063$) benzer iken 20 cmH₂O PEEP düzeyinde RVFAC ($\%35,9 \pm 4,9$), anlamlı olarak düşük hesaplandı (5 ve 10 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p<0,001$; $p=0,001$). Sağ ventrikül velositesinin PEEP seviyesindeki artış ile azaldığı ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulundu (5 cmH₂O PEEP $8,0 \pm 1,7$ cm/saniye, 10 cmH₂O PEEP $7,2 \pm 1,4$ cm/saniye, 20 cmH₂O PEEP $5,8 \pm 1,6$ cm/saniye; $p<0,05$). SR 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP sırasında sırasıyla $1,2 \pm 0,2$ saniye⁻¹, $1,2 \pm 0,2$ saniye⁻¹ ve $1,0 \pm 0,3$ saniye⁻¹ olarak ölçüldü. SR ölçümleri 5 ve 10 cmH₂O PEEP düzeyinde benzer ($p=0,20$) iken 20 cmH₂O PEEP düzeyinde, 5 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında anlamlı olarak düşük bulundu ($p=0,03$). Sağ ventrikül çap ölçümünün PEEP'in artırılması ile azaldığı ve bu azalmanın 20 cmH₂O PEEP'te anlamlı olduğu saptandı (5 cmH₂O PEEP: $3,9 \pm 0,4$ cm, 10 cmH₂O PEEP: $3,8 \pm 0,3$ cm ve 20 cmH₂O PEEP: $3,7 \pm 0,4$ cm, 20 cmH₂O PEEP'teki ölçüm diğer iki ölçüm ile karşılaştırıldığında $p < 0,01$). *Strain* değerleri 10 cmH₂O PEEP'te 5 cmH₂O PEEP'e göre olan yüksek hesaplandı; ancak istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($\%22,9 \pm 3,1$ ve $\%23,8 \pm 2,6$; $p=0,21$). 20 cmH₂O PEEP'teki *strain* değerinin ($\%18,9 \pm 2,7$) 5 ve 10 cmH₂O PEEP'teki ölçümlerle karşılaştırıldığında anlamlı olarak azaldığı saptandı (iki karşılaştırma için de $p<0,001$).

Sonuç olarak, KABG cerrahisi geçiren ve sağ ventrikül fonksiyonları normal olan hastalarda 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP uygulamasının hemodinamik verilerde anlamlı değişikliğe neden olmadığını saptadık. Ancak, 5 ve 10 cmH₂O PEEP'e göre 20 cmH₂O PEEP uygulamasının TÖE ile değerlendirilen sağ ventrikül fonksiyonlarında azalmaya neden olduğunu gördük.

Anahtar kelime: Koroner arter *bypass* greftleme, pozitif ekspiryum sonu basıncı, sağ ventrikül fonksiyonu, *spekle tracking* ekokardiyografi

ABSTRACT

Coronary artery bypass grafting (CABG) surgery is one of the most commonly performed major surgeries worldwide. Cardiac and respiratory complications are the most common causes of postoperative mortality and morbidity after CABG. Positive end expiratory pressure (PEEP) is frequently used for the prevention and treatment of respiratory complications after this procedure. While optimal PEEP level has positive effects on respiratory mechanics and hemodynamic parameters, excessive levels of PEEP may play a negative role on both systems. Many methods have been described to determine the optimal PEEP levels. However, there are few studies investigating the relationship between PEEP and transesophageal echocardiography (TEE). TEE, has been gained acceptance as a useful hemodynamic monitoring tool and provides valuable information regarding right ventricle structure and function. Both strain and strain rate that are calculated using echocardiography provide direct assessment of myocardial contractility during systole and diastole. Speckle tracking echocardiography (STE) is a new strain analyze technique. Strain imaging provides reliable information in patients with myocardial ischemia, myocardial infarction, and valvular disease. The aim of this study is to evaluate the effects of different PEEP levels on right ventricle function using speckle tracking in patients undergoing CABG surgery.

After Ethical and Research Committee of Baskent University Medicine and Health Association approval we prospectively analyzed 20 CABG surgery patients between May 2013 and September 2013.

After initiation of mechanical ventilation and before sternotomy 5, 10, and 20 cmH₂O of PEEP were applied sequentially in 5 minutes intervals. After 5 minutes of stabilization at each PEEP level four and two chamber images of right ventricle were recorded using TEE. The right ventricle diameter, velocity, longitudinal strain, strain rate, and fractional area change (RVFAC) were calculated and evaluated from the recorded images.

Seventeen male (85%) and 3 female (15%) patients with the mean age of $59,7 \pm 10,5$ years were studied. Intraoperative mean systolic ($p = 0.918$), diastolic ($p = 0.765$), and mean arterial blood pressure ($p = 0.808$), and heart rate ($p=0,116$) were not significantly different between any of the three PEEP levels. Mean RVFAC measurements were similar between

5 and 10 cmH₂O PEEP ($44.3\% \pm 5.4$ and $41.8\% \pm 5.6$, $p=0.063$). Compared with 5 and 10 cmH₂O PEEP, mean RVFAC significantly decreased at 20 cmH₂O PEEP ($35.9\% \pm 4.9$, $p=0.001$). Right ventricle velocity significantly reduced with incremental PEEP increases (5 cmH₂O PEEP 8.0 ± 1.7 cm/sec, 10 cmH₂O PEEP 7.2 ± 1.4 cm/sec, 20 cmH₂O PEEP 5.8 ± 1.6 cm/sec; $p < 0.05$). Mean strain rate values at 5, 10, and 20 cmH₂O PEEP levels were $1.2 \pm 0.2 \text{ sec}^{-1}$, $1.2 \pm 0.2 \text{ sec}^{-1}$, and $1.0 \pm 0.3 \text{ sec}^{-1}$, respectively 20 cmH₂O PEEP when compare with 5 cmH₂O PEEP ($p=0.03$). Mean right ventricle diameter measurements also decreased with incremental PEEP increases (3.9 ± 0.4 cm at 5 cmH₂O PEEP, 3.8 ± 0.3 cm 10 cmH₂O PEEP, and 3.7 ± 0.4 cm at 20 cmH₂O PEEP), however this decrease was significantly different only between 20 cmH₂O PEEP and other two PEEP levels ($p = 0.01$). Respective mean right ventricular strain values at 5, 10, and 20 cmH₂O PEEP levels were $22.9\% \pm 3.1\%$, $23.8\% \pm 2.6\%$, and $18.9\% \pm 2.7\%$. Mean right ventricle strain value significantly decreased at 20 cmH₂O PEEP when compared with other two PEEP levels ($p<0.001$ for both).

In conclusion, in patients who had normal right ventricle function and underwent CABG incremental increases in PEEP level from 5 cmH₂O to 10 cmH₂O and 10 cmH₂O to 20 cmH₂O did not significantly change mean arterial systolic, diastolic, and mean pressures and heart rate. However, compared with other two PEEP levels, right ventricle functions in terms of strain, SR, right ventricle diameter, and RVFAC were significantly impaired at 20 cmH₂O PEEP level.

Keywords: Coronary artery bypass grafting surgery, positive end expiratory pressure, right ventricle function, spekle tracking echocardiography

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	iii
İNGİLİZCE ÖZET	v
KISALTMALAR	viii
ŞEKİL DİZİNİ	ix
TABLO DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. KABG Cerrahisi İlişkili Akciğerler Komplikasyonları	3
2.1.1. Atelektazi	3
2.1.2. Kardiyopulmoner <i>Bypass</i> -Pompa Akciğeri	3
2.2. Pozitif Ekspiryum Sonu Basıncı (PEEP)	4
2.2.1. PEEP'in Hemodinamik Etkileri	5
2.3. Transözefageal Ekokardiyografi (TÖE)	6
2.4. Sağ Ventrikül Fonksiyonu Değerlendirmesi	8
2.5. Doku Doppler Görüntüleme	11
2.6. Benek Takibi (<i>Speckle Tracking</i>)	12
3. GEREÇ VE YÖNTEM	13
3.1. Cerrahi Prosedür	13
3.2. İstatiksel Analiz	17
4. BULGULAR	18
5. TARTIŞMA	30
6. SONUÇLAR	36
7. KAYNAKLAR	37

KISALTMALAR

ACT	<i>Activated clotting time</i>
ARDS	Akut respiratuar <i>distress</i> sendromu
ASA	<i>American Society of Anesthesiologists</i>
CPAP	<i>Continuous positive airway pressure</i>
EF	Ejeksiyon fraksiyonu
FRK	Fonksiyonel rezidüel kapasite
KABG	Koroner arter bypass greftleme
KPB	Kardiyopulmoner <i>bypass</i>
MRI	<i>Magnetic resonance imaging</i>
PEEP	<i>Positive end-expiratory pressure</i>
PVR	<i>Pulmonary vascular resistance</i>
RV	<i>Right ventricle</i>
RVFAC	<i>Right ventricle fractional area change</i>
SIRS	<i>Systemic inflamatuary response syndrome</i>
SR	<i>Strain rate</i>
STI	<i>Speckle Tracking Imaging</i>
TAPSE	<i>Tricuspid annular plane systolic excursion</i>
TÖE	Transözefageal Ekokardiyografi
TVI	<i>Tissue velocity imaging</i>
VILI	<i>Ventilator induced lung injury</i>
ϵ	<i>Strain</i>

ŞEKİL DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 2.1.	İntraoperatif olarak TÖE ile kalbin dört boşluk görüntülenmesi	7
Şekil 2.2.	Sağ ventrikülün TÖE ile dört boşluk görüntüsü	8
Şekil 2.3.	RVFAC ölçümü	9
Şekil 2.4.	Sağ ventrikül <i>longitudinal strain</i> analizi	10
Şekil 2.5.	Doku Doppler görüntüleme ile velosite, strain hız ve strain eğrisi örnekleri	12
Şekil 2.6.	Diyastolde (A) ve sistolde (B) ventrikül duvarının benek takibi yöntemiyle analizi	13
Şekil 3.1.	TÖE dört boşluk görüntüde sağ ventrikül duvarlarının belirlenmesi	16
Şekil 4.1.	Hastaların 5, 10 ve 20 cmH ₂ O PEEP'teki sistolik kan basınç verileri	20
Şekil 4.2	Hastaların 5, 10 ve 20 cmH ₂ O PEEP'teki diyastolik kan basınç verileri	20
Şekil 4.3.	Hastaların 5, 10 ve 20 cmH ₂ O PEEP'teki ortalama kan basınç verileri	21
Şekil 4.4.	Benek takibi yöntemiyle sağ ventrikül fonksiyonunun değerlendirilmesi.	22
Şekil 4.5	PEEP düzeyinin arttırılması ile <i>strain</i> ölçümlerindeki azalma	23
Şekil 4.6	Hastaların 5, 10 ve 20 cmH ₂ O PEEP seviyelerinde sağ ventrikül <i>strain</i> verileri	23
Şekil 4.7	Sağ ventrikül <i>strain</i> hız analizi	24
Şekil 4.8	Hastaların 5, 10 ve 20 cmH ₂ O PEEP seviyelerinde sağ ventrikül <i>strain</i> hız verileri	25
Şekil 4.9	Hastaların 5,10 ve 20 cmH ₂ O PEEP düzeylerinde sağ ventrikül velosite verileri	26
Şekil 4.10	Sağ ventrikül velosite analizi	27

	Sayfa No
Şekil 4.11 Hastaların 5,10 ve 20 cmH ₂ O PEEP düzeylerinde RVFAC verileri	28
Şekil 4.12 Hastaların 5,10 ve 20 cmH ₂ O PEEP düzeylerinde sağ ventrikül çap ölçüm değerleri	29

TABLO DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 4.1. Hastaların demografik özellikleri	18
Tablo 4.2. Hastaların ameliyat öncesi verileri	18
Tablo 4.3. Hastaların intraoperatif ve postoperatif değerleri	19
Tablo 4.4. Hastaların farklı PEEP seviyelerindeki hemodinamik parametreleri	19
Tablo 4.5. Hastaların farklı PEEP seviyelerindeki ekokardiyografik sağ ventrikül fonksiyonu ölçüm ve hesaplamaları	21

1. GİRİŞ

Koroner arter *bypass* greftleme (KABG) cerrahisi dünyada en sık gerçekleştirilen majör cerrahilerin başında yer almaktadır. Bu ameliyatta morbidite ve mortalite oranları son 20 yılda önemli ölçüde azalmış olsa da halen göreceli olarak sıktır [1]. KABG cerrahisinde en sık rastlanan morbidite ve mortalite nedenleri kardiyak ve solunumsal kökenlidir. Önceden var olan kardiyak ve solunumsal sorunların yanı sıra kardiyopulmoner *bypass* (KPB) sırasında kardiyovasküler ve solunum sistemlerinin etkilenmesi bu sorunların en önemli kaynaklarıdır. Dolayısıyla, KABG cerrahisi geçiren hastaların optimal perioperatif yönetimi için kardiyak ve solunumsal sorunların önlenmesi öncelikli hedefler olmalıdır.

KABG cerrahisi sırasında veya sonrasında karşılaşılan akciğer atelektazisi ve KPB'nin indüklediği sistemik inflamatuvar yanıt sendromuna (*systemic inflammatory response syndrome*, SIRS) bağlı ortaya çıkan akut respiratuvar *distress* sendromu (ARDS) solunumsal sorunların en sık nedenlerindendir. Bu solunumsal sorunların hem önlenmesinde hem de tedavisinde sıklıkla pozitif ekspiryum sonu basınç (*positive end-expiratory pressure*, PEEP) kullanılmaktadır.

Mekanik ventilasyon stratejilerindeki olumlu etkilerinin yanı sıra uygunsuz PEEP'in kardiyopulmoner sistem üzerinde olumsuz etkileride olabilmektedir. Bu nedenle uygun PEEP seviyesinin belirlenerek uygulanması önemlidir. PEEP'in kardiyak etkilerinin etkin bir şekilde izlenmesi, bu uygulamanın olumsuz etkilerinden kaçınırken olumlu etkilerinden yararlanma olanağı sağlayacaktır.

Kardiyovasküler hastalıkların tanısında kullanılan girişimsel olmayan, kullanımı kolay, düşük riskli bir yöntem olan ekokardiyografi kalp cerrahisi anesteziinde de önemli yere sahiptir. Her bir kasılma ile ventriküllerde oluşan şekil değişikliğini tanımlayan miyokardiyal *strain*, *strain* hızı (*strain rate*, SR) ile miyokard ve kalpte kasılma gevşeme sırasında ventriküllerin özellikleri ile ilgili bilgi elde edilir. Miyokard kasılması ve ventrikül duvar hareket özelliklerini tespit eder [2]. Benek takibi en yeni *strain* analiz yöntemlerinden biri olarak uygulanmaya başlamıştır. *Strain* analiz, iskemi, enfarkt, miyokard hastalıkları ve kapak hastalıklarının miyokarda olan etkisi hakkında doğru bilgi sağlar [3].

Akciğer mekanikleri ve kalp fonksiyonunu araştıran pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen ekokardiyografik olarak ventrikül fonksiyonları ile mekanik ventilasyon

ilişkilisini inceleyen sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmada KABG cerrahisinde uygulanan PEEP'in benek takibi yöntemi ile sağ ventrikül fonksiyonlarına etkisinin araştırılması amaçlandı.

2. GENEL BİLGİLER

KABG cerrahisi, iskemik kalp hastalığının tüm dünyada yaygın olarak uygulanan cerrahi tedavi yöntemidir. Kalp cerrahisi geçiren hastalar, KPB'nin akciğer üzerine bilinen olumsuz etkileri ve cerrahi ile ilişkili faktörler nedeniyle postoperatif akciğer komplikasyonları açısından risk altındadırlar. Akciğer ilişkili komplikasyonların gelişmesi kalp cerrahisi sonrası mortalite, morbidite ve hastanede kalış süresini uzatarak maliyeti arttırabilmektedir [1, 4, 5].

Sigara kullanımı, kronik obstrüktif akciğer hastalığı varlığı, preoperatif albümin düzeyi düşüklüğü, ameliyat öncesi hastanede 4 günden uzun süre kalan ve Amerikan Anestezi Birliği (*American Society of Anesthesiologists*, ASA) sınıflamasında 2'den yüksek skor alan hastalarda postoperatif akciğer komplikasyon gelişim riskinin arttığı çalışmalarda gösterilmiştir [6-8]. Plevral efüzyon, hemotoraks, atelektazi, akciğer ödemi, frenik sinir hasarına bağlı diyafragmada fonksiyon kaybı, pnömotoraks, pulmoner emboli, akciğer enfeksiyonu ve mekanik ventilasyon gerektiren solunum yetmezliği KABG cerrahisi sonrası meydana gelebilen akciğer komplikasyonlarıdır [9].

2.1. KABG Cerrahisi İlişkili Akciğerler Komplikasyonları

2.1.1. Atelektazi

Postoperatif atelektazi, ameliyattan sonra ilk 48 saatte ve genellikle akciğer bazallerinde görülen ve bir çok nedene bağlı ortaya çıkan sık rastlanan bir akciğer komplikasyonudur. Cerrahiye bağlı göğüs duvarı kompliyansında ve akciğer volümlerinde azalma, anestezinin rezidüel etkisi ile siliyer fonksiyon kaybı atelektazi gelişiminde rol oynadığı bilinen mekanizmalardır. Bu hastalarda ameliyat sonrası dönemde atelektazi gelişimine bağlı akciğer volümleri ile statik kompliyansa azalma ve yetersiz gaz değişimi meydana gelir [10-14]. Tüm bu etkiler sonucunda şant oranı yükselerek alveolar-arteriyel oksijen farkı artar ve hastalarda hipoksemi ortaya çıkar [9, 15].

2.1.2. Kardiyopulmoner Bypass-Pompa Akciğeri

KPB, cerrahi işlem sırasında cerrahi görüşün ve güvenliğin sağlanması amacıyla kalp ve akciğerin fonksiyonlarının bir süreliğine ekstrakorporeal olarak gerçekleştirilmesidir. KPB

SIRS ve postoperatif ciddi organ yetmezliklerine neden olur [16]. Pennock ve arkadaşları [17] 1977'de KPB'nin akciğer problemlerinde önemli rol oynadığını bildirlerdir.

Kanın sentetik yüzeylerle teması, iskemi-reperfüzyon hasarı, endotoksemi ve cerrahi travma sistemik inflamatuvar yanıt oluşumunda rol oynayan mekanizmalardır. KPB kullanımına bağlı gelişen SIRS akciğerlerde hasar sonucu hipoksemiye yol açar [11]. Akciğerlerde ARDS benzeri tablo oluşur [9, 16]. Bu tablo pompa akciğeri (*pump lung*) veya pompa sonrası akciğer sendromu (*post perfusion lung syndrome*) olarak tanımlanmaktadır. İnsidansı iskemi-reperfüzyon süresi ile ilişkilidir. Genellikle solunum desteği tedavisine iyi yanıt veren bu durumun önlenmesinde intraoperatif akciğer koruyucu mekanik ventilasyon ve PEEP uygulaması yer almaktadır [9, 18].

2.2. Pozitif Ekspiryum Sonu Basıncı (PEEP)

PEEP kritik hasta yönetiminde mekanik ventilasyon uygulamasında akciğer mekanikleri ve gaz değişimindeki etkileri nedeniyle önemli yere sahiptir. İlk olarak 1938 yılında Barach ve arkadaşları tarafından tanımlanan PEEP'in, ARDS'de oksijenizasyonu iyileştirici etkisi ve düşük oksijen konsantrasyonu ile ventilasyona imkan sağlayan özellikleri Asbaugh [19] ve arkadaşları tarafından da vurgulanmıştır.

PEEP uygulaması ile ekspiryum sonunda alveollerdeki basınç atmosferik basınç üzerinde kalır, alveollerin kapanması engellenir; böylece mekanik ventilasyon sırasında atelettazi gelişimi ve alveollerin döngüsel açılıp kapanmasına bağlı ventilatör ilişkili akciğer hasarı (*ventilator induced lung injury*, VILI) önlenmiş olur. Fonksiyonel rezidüel kapasitede (FRK) artış, alveolar *recruitment*, akciğer ekstrasvasküler hacminin yeniden düzenlenmesi ve ventilasyon perfüzyon uyumunda artış PEEP uygulamasının oksijenizasyonu iyileştirici etkisinde rol oynayan mekanizmalardır. Bu mekanizmaların sonucu olarak arteriyel oksijen basıncında artış ve alveolar-arteriyel oksijen basınç farkı ile intrapulmoner şantlaşmada azalma meydana gelir [20, 21].

PEEP uygulamasının bir diğer önemli etkisi mekanik ventilasyon sırasında sürfaktan fonksiyonunu korumasıdır. Bu etkisini açıklamak amacıyla değişik teoriler öne sürülmüştür [22-24]. Ancak aşırı PEEP uygulaması bazı olumsuz etkilere yol açabilir. PEEP intraplevral basıncı arttırarak normal alveollerde hiperinflasyona bağlı barotravmaya yol açabilir [25]. Aşırı PEEP uygulaması ölü boşluk ventilasyonunu arttırarak, ventilasyon perfüzyon

uyumsuzluğu yaratabilir. Yine aşırı PEEP uygulaması akciğer kompliyansını azaltabilir. Yüksek hava yolu basınçlarına bağlı kardiyovasküler sistem de olumsuz etkilenebilir. Bu nedenle uygun PEEP düzeyinin belirlenmesi önemlidir.

Son 30 yıldır yapılan çalışmalarda PEEP düzeyi belirlenirken akciğer mekanikleri, inspiratuar basınç-zaman eğrisi, solunum sistemi kompliyansı, oksijenizasyon, karbondioksit miktarı gibi farklı parametrelere odaklanılmıştır [26]. Yapılan üç büyük klinik çalışmada (ALVEOLI, LOV, ExPress) düşük ve yüksek düzeyde PEEP uygulanan gruplarda mortalite oranları benzer bulunurken, yüksek basınç gruplarında oksijenizasyonda belirgin düzelme olduğu gösterilmiştir [27-29]. Bu 3 çalışmanın dahil edildiği meta-analizde ise yüksek PEEP uygulamasının ARDS kriterlerini sağlayan hastalarda hastane mortalitesini azalttığı, diğer hasta gruplarında yüksek PEEP uygulamasının zararlı olabileceği bildirilmiştir [30].

2.2.1. PEEP'in Hemodinamik Etkileri

Akut akciğer hasarında yüksek PEEP düzeyi ödem, inflamasyon ve infiltrasyonun akciğerlerde oluşturduğu etkiyi dengelemesi, alveollerin döngüsel açılıp kapanmasına bağlı hasarı önlemesi, *recruitment* sağlaması, FRK'yi normal seviyede tutması açısından önemlidir [31]. Oksijenizasyonu iyileştirici etkisinin yanı sıra yüksek düzeydeki PEEP uygulamasının hemodinamik ve kardiyak açıdan etkilerinin bilinmesi önemlidir.

Coumand ve arkadaşları [32] PEEP'in genellikle kalp debisini azalttığını göstermişlerdir. Çalışmalarda PEEP'in toraks içi basıncı arttırdığı ve ventrikül kompliyansını, venöz dönüşü, sağ ve sol ventrikül ön yükünü azaltarak kalp debisinde düşüşe yol açtığı gösterilmiştir [32-34].

Kalp hızı PEEP düzeyinden genellikle etkilenmemekte, kalp debisindeki azalmanın temel nedeni olarak sol ventrikül atım volümündeki azalma gösterilmektedir [3]. Pinsky'e göre [32, 34] PEEP ve pozitif basınçlı ventilasyonun tüm hemodinamik etkileri akciğer volümü ve intratorasik basınçtaki değişim sonucu sol ventrikül ön yük, ard yük ve kasılabilirliğinin etkilenmesi ile oluşmaktadır.

PEEP, pulmoner vasküler direnci (*pulmonary vascular resistance*, PVR) dolayısı ile sağ ventrikül ard yükünü etkilemektedir. İlk olarak, hipoksik pulmoner vazokonstriktör yanıtla ilişkili olarak pulmoner vazomotor yanıtı arttırarak PVR'yi azaltmaktadır. PEEP ile kollabe akciğerde meydana gelen *recruitment* sonucu hipoksik vazokonstriktör yanıt azalır,

pulmoner vazomotor tonus düşer ve sağ ventrikül atım fonksiyonu artar [3]. İkincil olarak, PEEP akciğer volümlerini değiştirerek PVR'yi etkiler. Akciğer volümleri rezidüel volümden FRK'ye kayarsa PVR azalır ve vasküler kapasitans artar. Akciğer volümleri FRK'den total akciğer kapasitesine doğru artış gösterirse PVR artar ve damar kapasitansı azalır. Bu iki yönlü etki intra ve ekstra alveolar damar etkileşimi ile açıklanmaktadır [3, 35-37].

PEEP'in sağ ventriküle olan etkisi normal FRK'ye bağlı olarak akciğer volümünü nasıl değiştirdiğine, hipoksik vazokonstrüktör yanıtı ve pulmoner arteriyel basınç değişimine bağlıdır [3]. Luecke ve arkadaşları [38] sağ ventrikül diyastol sonu volümün ve sağ ventrikül atım fraksiyonunun 20 cmH₂O PEEP ile korunduğunu göstermişlerdir. Cheatham ve arkadaşlarının [39] ARDS'li hastalarda yaptıkları çalışmada da benzer sonuçlar saptanmıştır. Fellahi ve arkadaşlarının [40] yoğun bakımda mekanik ventilatördeki hastalarda TÖE ile kalp fonksiyonları ile PEEP düzeyi ilişkisini araştırdıkları çalışmada PEEP'in sol ventrikül ön-yükünü azalttığını yüksek PEEP basıncında ise plevral basınç artışı nedeni ile sol ventrikül ard-yükünü azalttığı saptanmış.

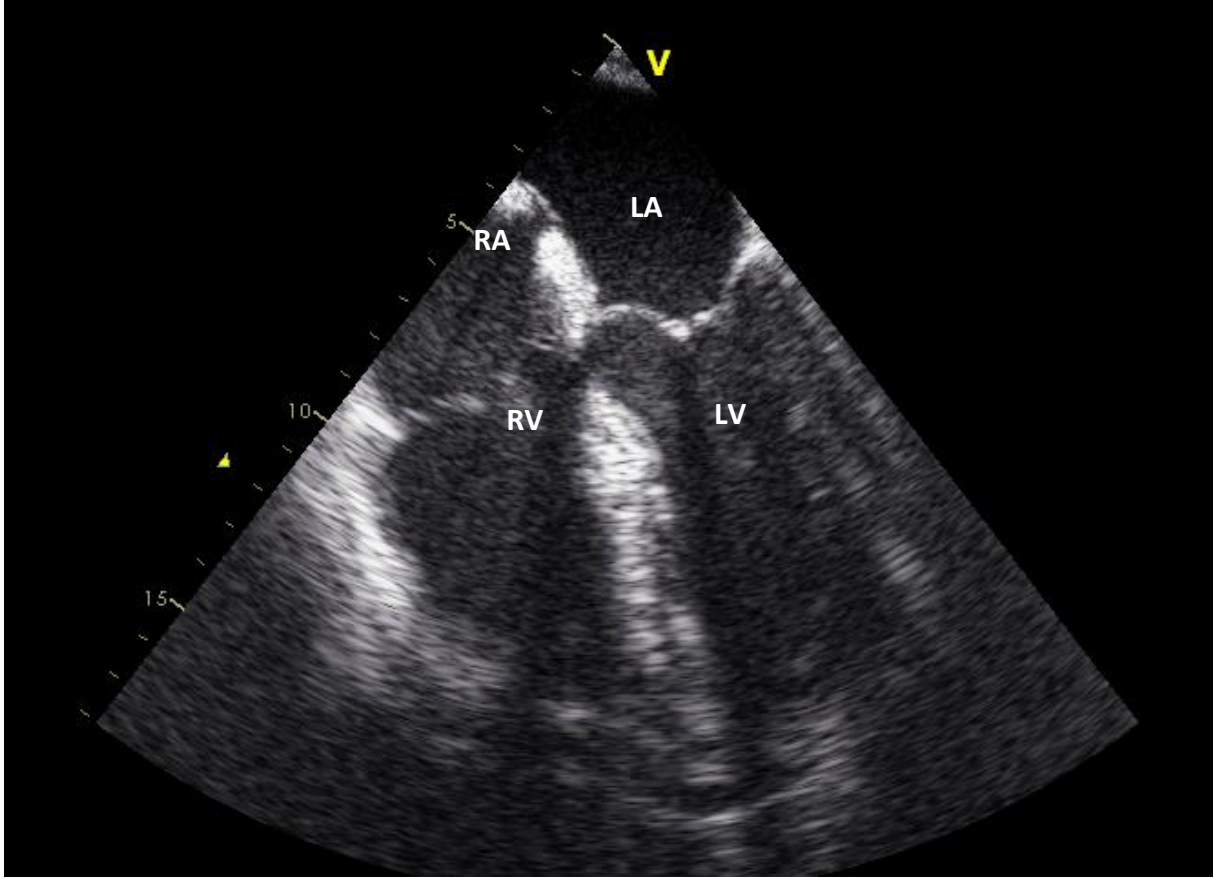
2.3. Transözefageal Ekokardiyografi (TÖE)

Miyokard fonksiyonunun ekokardiyografik görüntülenmesi iskemik kalp hastalığının tanı ve yönetiminde önemli yer tutmaktadır [41]. Ekokardiyografinin kolay uygulanabilir, taşınabilir ve girişimsel olmayan bir yöntem olması avantajları arasında yer alırken uygulayıcıya bağımlı ve subjektif olması güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu nedenle miyokardın kasılabilirliği ve performansını değerlendirmek için daha objektif verilere gereksinim duyulmaktadır.

TÖE introperatif süreçte ameliyathanede özellikle kalp cerrahisi operasyonlarında ve yoğun bakımda kardiyak cerrahi geçiren ve geçirmeyen vakalarda sol ventrikül volümü ve bölgesel ve global fonksiyonu izlemek amacıyla kullanılmaktadır.

TÖE uygulamalarının değeri özellikle çalışan kalpte yapılan KABG cerrahilerinin yaygınlaşması ile giderek artmıştır. Bergquist ve arkadaşları [42, 43] sol ventrikül fonksiyonlarını, bölgesel duvar anormalliklerini ve miyokardiyal iskemiyi, Savage ve arkadaşları [42, 43] ise yüksek riskli KABG hastalarında TÖE'nin etkinliğini değerlendirmiştir. Özellikle KABG operasyonlarında pompadan çıkışta sol ventrikül global ve bölgesel fonksiyonlarını, ventrikül dolumunu ve hipovolemiyi değerlendirmede ayrıca

yeniden pompaya girilmesi gibi durumları belirlemede TÖE oldukça hassas bir yöntemdir [44].



Şekil 2.1. İntraoperatif olarak TÖE ile kalbin dört boşluk görüntülenmesi.

KABG planlanan hastalarda eşlik eden kapak lezyonlarının değerlendirilmesinde de TÖE önem kazanmakta ve cerrahiyi yönlendirmektedir (Şekil 2.1). Kalp cerrahisi sonrası gelişen sağ ventrikül fonksiyon bozuklukları (%20) mortalite açısından oldukça önemlidir [45]. Sağ ventrikül dilatasyonu, hipertrofisi, paradoksal ventriküler septal hareket, sağ-sol atriyal deviasyon ve triküspit kapak yetersizliği sağ ventrikül yetersizliği bulgularıdır. Pulmoner arter kateterine göre özellikle diyastolik fonksiyon bozukluğu olan hastada volüm durumunu, mitral yetersizlik ve sol ventrikül çıkış yolu darlığına bağlı hemodinamik bozuklukları TÖE ile saptamak daha kolaydır.

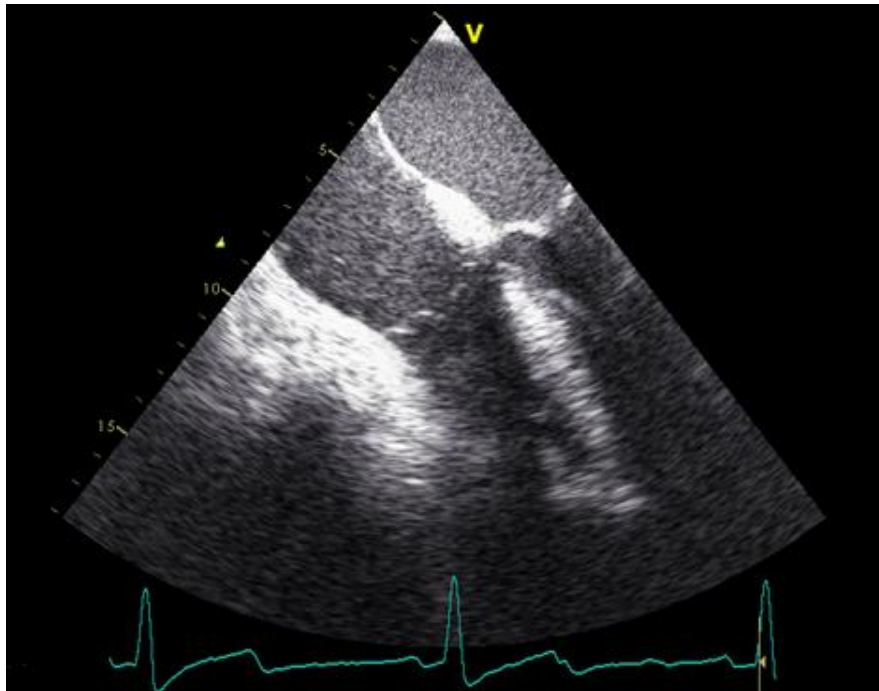
TÖE teknikleri gastroskop benzeri bir probun ucuna bir ultrason transdüseri eklenmesiyle geliştirilmiştir. Transdüserden ultrason sinyallerinin iletilerek geri dönen sinyallerin işlenmesi esasına dayanır. Transtorasik ekokardiyografiye göre sağ ventrikül değerlendirilmesinde TÖE'nin daha başarılı olduğu gösterilmiştir [46]. Kalbin hemen tüm

sahalarını görüntüleyebilmesi, kalp patolojilerini yüksek doğrulukla teşhis edilmesine olanak sağlaması ve kalpteki ince ayrıntıları görüntüleyebilmesi (kapak kordaları, valvüler papillomalar, trombüsler ve vejetasyonlar gibi) uygulamadaki avantajlarıdır. Uygulanmasındaki zorluk, uyanık hastalarda kooperasyon gerektirmesi, prob yerleştirilmesi sırasında meydana gelebilecek komplikasyonlar ve kontrendikasyon yaratan durumların olması dezavantajlarından [47].

2.4. Sağ Ventrikül Fonksiyonu Değerlendirmesi

Sağ ventrikül klinik kalp hastalıklarında önemli rol oynamaktadır. Sağ ventrikül yetmezliği, sol ventrikül yetmezliği ve konjenital kalp hastalıklarında önemli bir prognostik değişkendir ve özellikle sol ventrikül yetmezliğinin bulunduğu durumlarda perioperatif morbidite ve mortalitenin bağımsız risk faktörüdür. KPB, perioperatif miyokard iskemisi, intraoperatif miyokard hasarı, kardiyopleji ve perikardiyal adezyonlar KABG cerrahisi sonrası görülen sağ ventrikül yetmezliğinin olası nedenleridir [53].

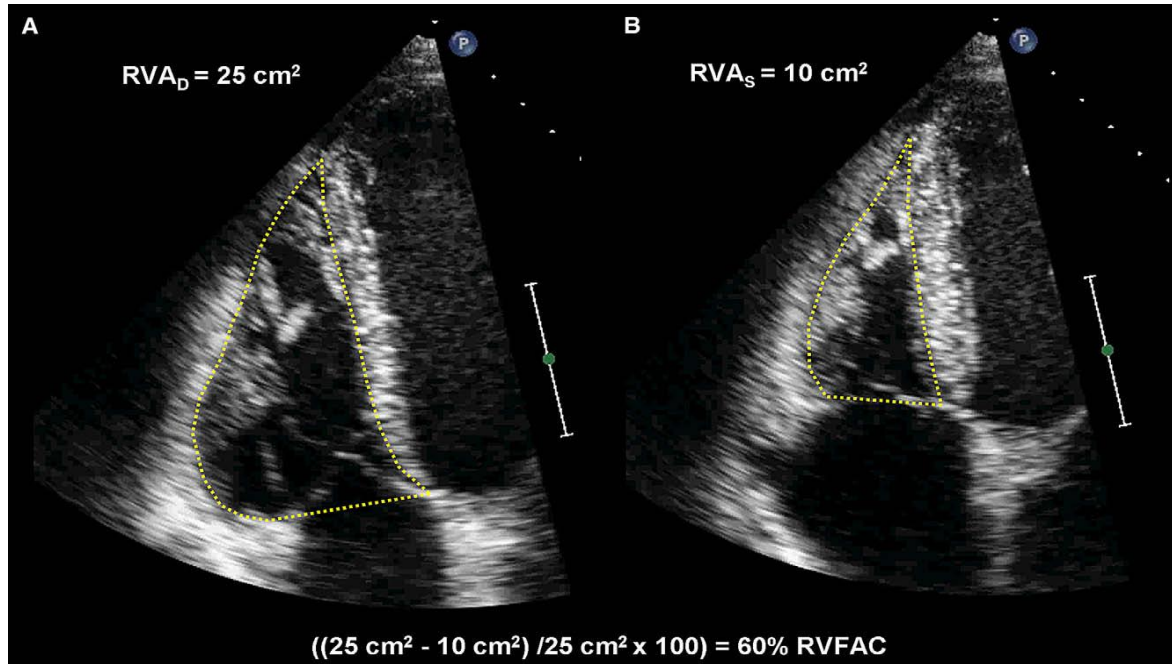
Sağ kalp, anatomi ve fonksiyonunun karmaşıklığı nedeniyle mümkün olduğu kadar çok planda incelenmelidir. En çok parasternal sağ ventrikül giriş ve çıkışı, parasternal kısa aks, apikal dört boşluk görüntülerden yararlanır. Transgastrik kısa aks ve transözefageal dört boşluk görüntülemeye yararlanan TÖE planlarıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Sağ ventrikülün TÖE ile dört boşluk görüntüsü.

Perioperatif dönemde sağ ventrikül değerlendirilmesinde zorluklarla karşılaşmaktadır. Ejeksiyon fraksiyonu (EF), fraksiyonel alan değişimi (*fractional area of change*, FAC) gibi volümetrik veya alan bağımlı ölçümlerin güvenilirliği tartışmalıdır. *Tricuspid annular plane systolic excursion* (TAPSE) ölçümü ise ventrikül hareketlerinden etkilenmektedir.

Sağ ventrikül fraksiyonel alan değişimi (*right ventricle fractional area of change*, RVFAC) apikal dört boşluktan ölçülen bir parametre olup sağ ventrikül alan değişimi ve sistolik fonksiyonlar hakkında bilgi verir (Şekil 2.3). RVFAC'nin sağ ventrikül sistolik fonksiyonlarının belirlenmesinde güvenilir olduğu bildirilmiştir. Ancak, ölçümünde iki ayrı sağ ventrikül alanı kullanılması ve sağ ventrikül endokardının çok iyi takip edilmesi zorunluluğu gibi nedenlerle sağ ventrikül EF'si kadar olmasa da hatalara açık olan ve dikkat isteyen bir yöntemdir.

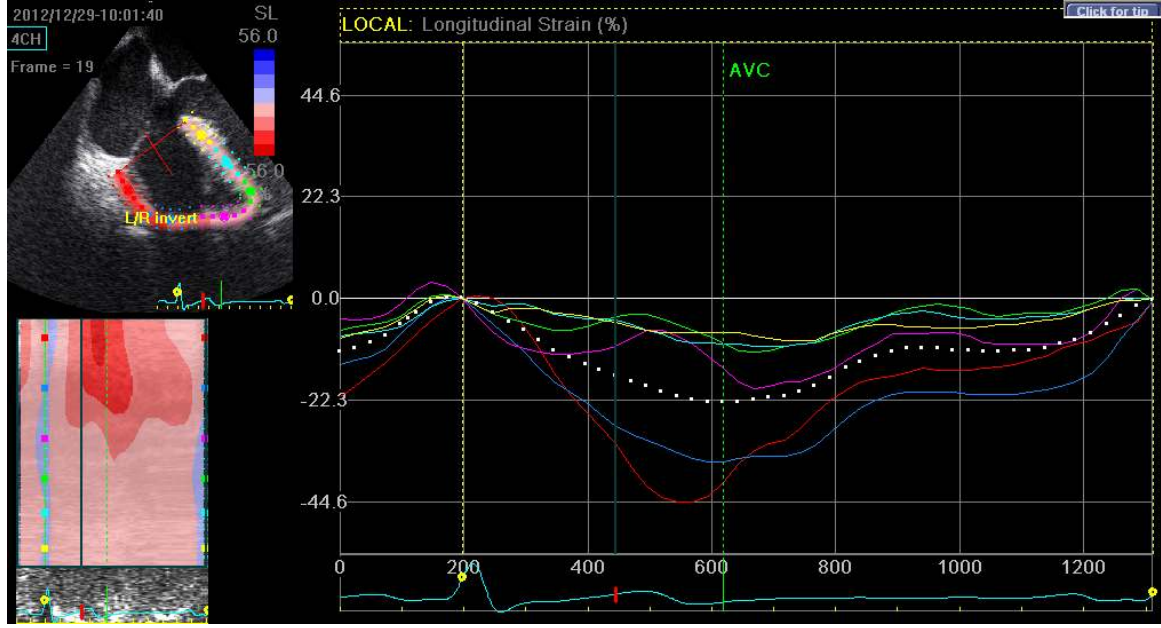


Şekil 2.3. RVFAC ölçümü.

Diyastol sonu alan, RVA_d (A); Sistol sonu alan, RVA_s (B)

$\text{RVFAC} = (\text{Diyastol sonu alan} - \text{Sistol sonu alan}) / \text{Diyastol sonu alan} \times 100$

Strain ve SR gibi deformasyon parametreleri daha etkin değerlendirme sağlamaktadır. Doppler açısı bağımlı oluşu nedeniyle bu yöntemlerin uygulanmasında sınırlılık mevcut iken, açıdan bağımsız değerlendirme imkanı sağlayan benek takibi yöntemi sağ ventrikül değerlendirilmesinde daha etkindir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Sağ ventrikül *longitudinal strain* analizi

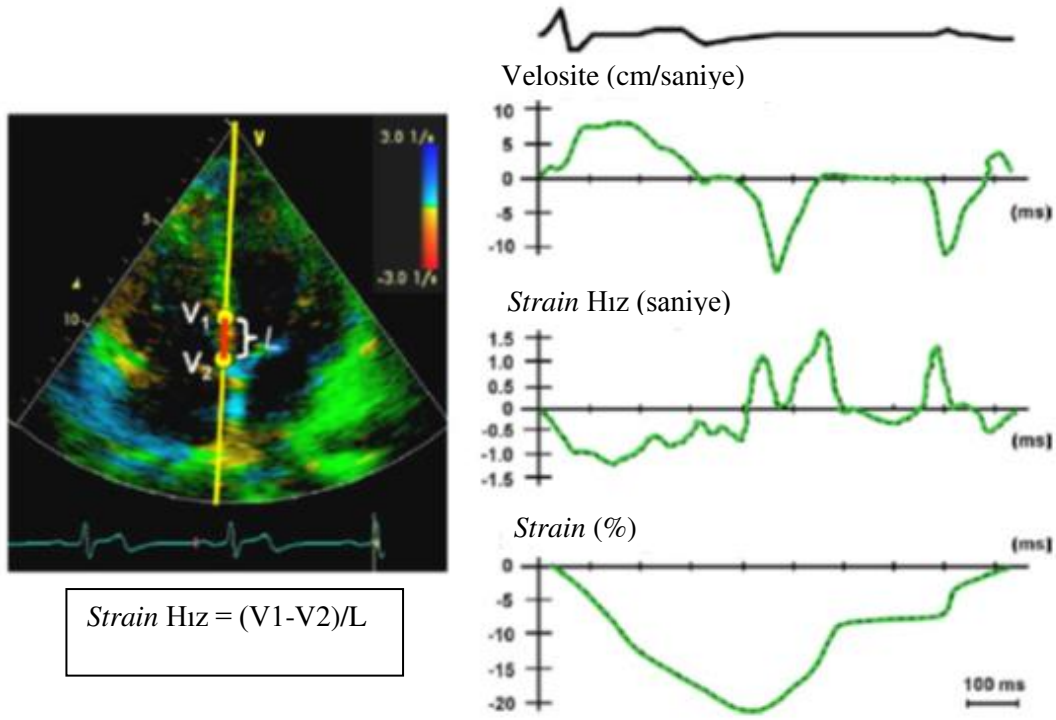
2.5. Doku Doppler Görüntüleme

Doku Doppler görüntüleme (*tissue velocity imaging*-TVI) sistol ve diyastol süresince miyokard yoğunluğunu değerlendirerek ventrikül fonksiyonu ile ilgili bilgi verir ve kasılma sırasında meydana gelen değişikliklerin daha hassas değerlendirmesine imkan sağlar [41].

TVI, hareketi belirleyip hızı hesapladığından elde edilen temel parametre hızdır. Dokunun ne derece yer değiştirmiş olduğu hız ve zaman çarpımıyla belirlenir. İki noktanın analizinden çıkarılabilecek en basit hesaplama hızları arasındaki mutlak farktır. Klinikte tüm miyokard duvarındaki mutlak hız azalmasından daha hassas olarak iskemiye gösterebilen endokard ve epikard hızları arasındaki farklılığın belirlenmesinde uygulanabilirliği vardır. Bu ölçümlerin karmaşık türevleri *strain* ve SR analizidir [47].

Strain analiz en yeni ekokardiyografi uygulamalarındandır. *Strain* bölgesel deformasyonu, SR ise bu deformasyonun hızını gösterir. *Strain* ve SR hesaplanması için doku TVI ya da benek takibi tekniği kullanılabilir. Benek takibi dijital görüntüleri konvansiyonel iki boyutlu ekokardiyografi görüntülerinden miyokardiyal *straini* hesaplamak için geliştirilmiş bir tekniktir. Kardiyak döngü sırasında ventriküler şekil ve mekaniklerin analizi deformasyon analizi olarak bilinir. Deformasyon, kasılma ile birlikte olan şekil değişikliğinin farklı parametrelerini tanımlayan miyokardiyal *strain*, SR veya torsiyon ile karakterize edilir (Şekil 2.5). Bu yöntemlerle komşu miyokardiyal segment refere edilmek üzere miyokardiyal bölge değerlendirilebilir. Kardiyak döngü sırasında ventrikülde meydana gelen değişikliklerle ilgili bilgi verir [47].

Strain analiz yöntemi ile değerlendirilen segmentin uzunluğu ve değerlendirilen bölgedeki annüler veya perikardiyal dokularla ilişkili faktörler nedeniyle yapılan ölçümlerde miyokardiyal segmentler arasında homojen değerlendirme sağlamamaktadır. En önemli kısıtlaması ise normal değerlerin hastadan hastaya geniş bir aralıkta olması ve normal değerlerin miyokard içinde de heterojen olmasıdır. Aynı hastadan yapılan ardışık ölçümlerdeki farklılıkların klinikle korelasyonunun daha doğru değerlendirme sağlayabileceği düşünülmektedir. Oldukça kantitatif ve detaylı olan bu tetkikler duvar hareket özelliklerinin analiziyle miyokard hasarını erken dönemde tespit edebilmeleri açısından klinikte önemli yere sahiptirler [47].



Şekil 2.5. Doku Doppler görüntüleme ile velosite, strain hız ve strain eğrisi örnekleri.

V = velosite, L = uzunluk

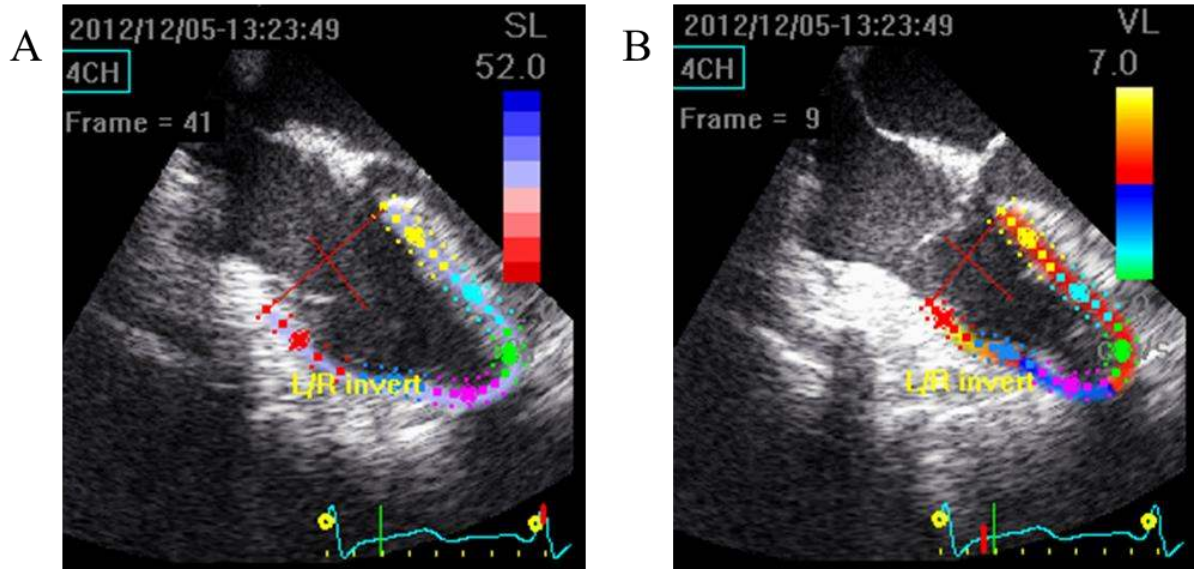
$\epsilon = \Delta L / L_0$ $\epsilon = strain$ $\Delta L =$ uzunluk değişim miktarı $L_0 =$ başlangıçtaki uzunluk

2.6. Benek Takibi (Speckle Tracking)

Benek takibi ekokardiyografi kantitatif ve objektif olarak global ve bölgesel miyokardın değerlendirilmesini sağlayan yeni geliştirilmiş ultrason görüntüleme yöntemidir. Rutin iki boyutlu gri skala görüntülerinde seçilen kalp bölgesindeki duvarın kalınlaşma (radyal) ya da kılma (longitudinal) miktarını sayısal olarak değerlendirmeye yarar [48, 49]. Doppler esasına dayanmadığından açı bağımsızdır ve bu sayede tüm bölgelerin incelenmesine olanak sağlar.

Kolay uygulanabilmesi ve ölçümlerin yenilenmesinin pratik olması sonucu ventrikül fonksiyonunu değerlendirilmesinde manyetik rezonans (*magnetic resonance imaging*-MRI) görüntülemeye alternatif olmuştur. Endokardın optimal şekilde görüntülenmesi ve hız bağımlı görüntülerin analiz için gerekli olması uygulamada karşılaşılan zorluklardır [49]. Benek takibi ile yapılan analizlerle atım fonksiyonu arasındaki korelasyon ve uzun eksen *strainin* sistolik

fonksiyon yetmezliğini erken dönemde tanınmasında etkin olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir [50-52].



Şekil 2.6. Diyastolde (A) ve sistolde (B) ventrikül duvarının benek takibi yöntemiyle analizi.

İleriye dönük çok merkezli yapılan STAR çalışmasında kardiyak resenkronizasyon tedavisi sonrası uygulanan benek takibi dissenkroninin atım fraksiyonu ve uzun dönem sağ kalım ile ilişkili olduğunu saptamıştır [52].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmaya Başkent Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırma ve Etik Kurulları'ndan (05/04/2013 tarihli, KA 13/22 numaralı proje) onay alındıktan sonra elektif KABG cerrahisi planlanan 20 hasta prospektif olarak dahil edildi. Kalp yetmezliği ($EF < \%40$), ciddi kalp kapak hastalığı, ritim bozukluğu, pulmoner hipertansiyonu, ciddi kronik obstrüktif akciğer hastalığı, organ yetmezliği bulunan, ASA 4 olan, ameliyat sırasında komplikasyon gelişen ve cerrahi başlangıcında hemodinamisi stabil olmayan hastalar çalışma dışı bırakıldı.

3.1. Cerrahi Prosedür

Tüm hastalar ameliyat öncesi 8 saat aç bırakıldı. Premedikasyonda ameliyat öncesi gece saat 23:00'te per oral 0,1 mg/kg diazepam (Diazem®) ve 40 mg famotidin HCl (Famodin®), ameliyattan 30 dakika önce ise per oral 0,1 mg/kg midazolam (Dormicum®) verildi.

Ameliyat odasına alınan hastalar 5 kanallı EKG ve nabız oksimetresi ile monitörize edildi. Kan basıncı ölçümü için indüksiyon öncesinde sedoanaljezi ile sağ radiyal artere 20 G kateter yerleştirilerek invaziv arteriyel basınç ölçümü yapıldı. Ameliyat odasında rutin hasta monitorizasyonu tamamlandıktan sonra fentanil (5 µ/kg indüksiyon, 5 µ/kg cerrahi insizyon başlangıcı) ve midazolam (0,1 mg/kg)'a tamamlandı ve veküronyum (0,1 mg/kg) ile de kas gevşemesi sağlandı. Entübasyon sonrası 5 cmH₂O PEEP, 6-8 ml/kg tidal volüm, 10-15 soluk/dakika ve %50 oksijen ile mekanik ventilasyon uygulandı. Solunum sayısı end-tidal CO₂ değeri 30-40 mmHg olacak şekilde ayarlandı.

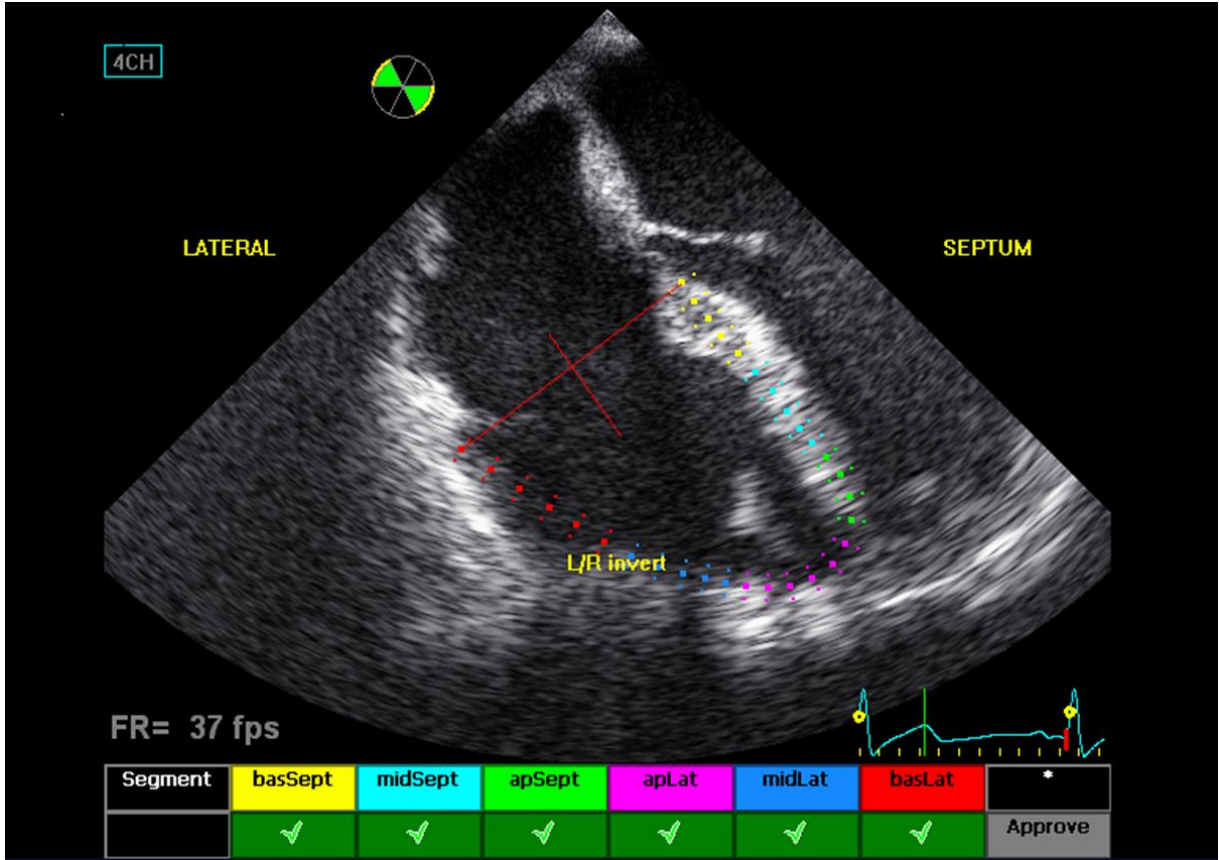
Santral venöz kanülasyon ultrasonografi eşliğinde sağ internal juguler venden yapıldı. İdrar miktarının takibi için mesane sondası, sıcaklık takibi için ise nazofaringeal ve rektal probalar yerleştirildi. Vazodilatör olarak öncelikle nitrogliserin, eğer yeterli cevap alınamazsa sodyum nitroprussid kullanıldı. Dopamin infüzyonu santral venöz kateterin tek bir lümeninden 2 mcg/kg/dk olacak şekilde başlandı. İnotropik destek gereken hastalarda doz 5-10 mcg/kg/dk olacak şekilde artırıldı. Her hastaya vaka boyunca toplam 3 gram sefazolin sodyum ile antibiyotik profilaksisi uygulandı. Arteriyel kan gazı analizi için ise arteriyel kan örneği alındı. Hastanın kan basıncının bazal kan basıncı değeri $\pm$ %20 olacak ve ortalama kan basıncı < 60 mmHg olmayacak şekilde dopamin ve vazodilatör desteği ayarlandı. Tüm hastalarda kristalloid sıvı infüzyonu santral venöz basınçları 6-10 mmHg arasında olacak şekilde yapıldı. Antikoagülasyon için heparin 4 mg/kg kullanıldı. Greftlerin çıkarılması esnasında göğüs kavitesinde biriken kan, ACT değeri 250 saniyenin üzerinde olduğunda pompa aspiratörleriyle pompaya alındı. Aorta, venöz ve kardiyopleji kanüllerinin konmasını takiben pompaya giriş hazırlandı. ACT değerinin 450 saniyeden uzun olması KPB için yeterli kabul edildi. Pompa *prime* solüsyonu hastanın hematokrit değeri % 26-28 olacak şekilde laktatlı Ringer, modifiye jelatin solüsyonu ve heparin ile hazırlandı. KPB başlangıcında 0,05 mg/kg midazolam, 10 mg/kg metilprednizolon ve 0,05 mg/kg veküronyum bromür eklendi. Hasta 30 °C'ye soğutulduğunda 5 mg/kg sodyum tiyopental, KPB sırasında sistemik hipotermi hastaya uygulanacak distal greft sayısına göre 28-30 °C olacak şekilde ayarlandı. Hipotermi eksternal (su blanketi) ve internal (KPB) soğutma kullanılarak sağlandı. KPB esnasında membran oksijenatörü kullanıldı ve ortalama arteriyel basınç 55-65 mmHg olacak şekilde pompa akım hızı ayarlandı. KPB süresince alfa-stat pH stratejisi uygulandı.

Uygun hipotermi sağlanınca aortanın klemplenmesini takiben miyokardın korunması soğuk potasyumlu kristalloid kardiyopleji (10 ml/kg) ve topikal soğutma ile sağlandı.

Yeniden ısınmanın başlatıldığı dönemde 5 mg/kg sodyum tiyopental, 0,05 mg/kg midazolam ve 0,05 mg/kg veküronyum bromür tekrarlandı. Son distal anastomozun tamamlanmasının ardından aorta klemp kaldırıldı. Yeterli hemodinamik stabilizasyon, normotermi, yeterli oksijenizasyon, uygun asit-baz ve elektrolit dengesi sağlandıktan sonra KPB sonlandırıldı. Distal ve proksimal anastomozların tamamlanması ve son kanama kontrollerinin ardından cerrahi ve perfüzyonist ekiplerle temas kurularak protamin ile heparin antagonize edildi. Kanamanın sürdüğü durumlarda ACT kontrolü yapılarak gerektiğinde ek doz protamin verildi. Santral venöz basınç, hematokrit ve hemodinamik duruma göre eritrosit süspansiyonu, taze donmuş plazma veya kristalloid sıvılarla yeterli intravasküler hacim sağlandı. Alınan kan gazı örneklerindeki bulgulara bakılarak elektrolit dengesizliği, baz açığı ve hematokrit değerleri KPB esnasında ve sonrasında düzeltildi. Kanama kontrolü ve hemodinamik stabilizasyonu takiben hastalar entübe olarak kalp cerrahisi yoğun bakıma alındı. Anesteziklerin etkisinin azalması ve uyanıklığın artması ile hastalar zaman içerisinde Y-konnektör ile spontan solunuma bırakıldı ve ekstübasyon için uygun koşullar sağlanınca hastalar ekstübe edildi.

Hastaların ameliyat öncesinde demografik özellikleri (yaş, cinsiyet, kilo, ek sistemik hastalıklar), ameliyat öncesi laboratuvar değerleri (kan üre nitrojeni, kreatinin, alanin transaminaz, aspartat aminotransferaz, serum elektrolitleri, hemoglobin) ekokardiyografik verileri (RVFAC, sağ ventrikül velositesi, sağ ventrikül çapı ve sağ ventrikül *straini*); ameliyat sırasındaki hemodinamik değerleri (sistolik kan basıncı, diyastolik kan basıncı, ortalama kan basıncı, nabız), kan gazı ölçüm değerleri, anestezi süresi, cerrahi süre, KPB süresi, aorta klemp süresi ile hastanede ve yoğun bakımda kalış süreleri kaydedildi.

Anestezi indüksiyonu, endotrakeal entübasyon ve santral venöz kateterizasyon gerçekleştirildikten sonra GE Vivid 7'ye ait 6T; 2,9-7,0 MHz *multiplane* erişkin TÖE probu yerleştirildi. Analizleri gerçekleştirmek üzere sağ ventrikülün dört boşluk ve iki boşluk görüntüleri kaydedildi.



Şekil 3.1. TÖE dört boşluk görüntüde sağ ventrikül duvarlarının belirlenmesi.

Entübasyon sonrası ayarlanan 5 cmH₂O PEEP değerinde alınan ilk TÖE görüntülerinden sonra PEEP değeri sırasıyla 10 ve 20 cmH₂O olacak şekilde ayarlandı. Her PEEP seviyesinde 5 dakikalık stabilizasyon süresini takiben aynı görüntüler tekrar kaydedildi. Stabilizasyon süreleri içerisinde çalışma protokolünden bağımsız olarak hemodinamisi bozulan ve yüksek doz inotrop ihtiyacı olan veya hipoksemisi gelişen hastalarda çalışma sonlandırıldı.

TÖE ile elde edilen görüntülerden daha sonra sağ ventrikül çapı ve RVFAC ölçümleri ile *GE-Echo PAC Clinical Workstation Software* programı ile sağ ventrikül pik sistolik *strain*, *strain* hız ile velosite ölçüm ve hesaplamaları yapıldı.

3.2. İstatiksel Analiz

Çalışmaya dahil edilecek hasta sayısının belirlenmesi için TÖE kayıt arşivimizden bu çalışma için uygun olan 10 hastanın görüntüleri kullanılarak *GE-Echo PAC Clinical Workstation Software* programı ile sağ ventrikül global *strain*'leri hesaplandı. Bu hastaların hepsinde rutin uygulama gereği 5 cmH₂O PEEP uygulanmıştı. Bu 10 hasta için hesaplanan sağ ventrikül global *strain* ortalaması $22,2 \pm 3,4$ idi. Bu ortalamaya göre $\alpha = 0,05$ ve $1 - \beta = 0,90$ ve başlangıca göre global *strain*'in %20 azalması için çalışmaya 14 hastanın dahil edilmesi gerektiği hesaplandı (<http://biostat.mc.vanderbilt.edu/wiki/Main/PowerSampleSize>). Çalışmaya dahil edilecek hastaların ekokardiyografik görüntülerinin analiz için yetersiz olabilmesi olasılığı dikkate alınarak 20 hastanın çalışmaya dahil edilmesi planlandı. Verilerin istatistiksel analizinde SPSS 17 programı kullanıldı. Başlangıç değerlere göre farklı PEEP seviyelerindeki global *strain* değişiminin analizi için *paired t-test* ve *repeated measures analysis of variance* testleri kullanıldı. Çalışmanın istatistiksel analizi çalışma yürütücüleri tarafından yapıldı.

4. BULGULAR

Çalışmaya dışlama kriterleri sonrası 20 hasta dahil edildi. Hiçbir hastada çalışmayı sonlandırma kriterleri (hemodinamik instabilite veya hipoksemi) ile karşılaşılmadı. 20 hastanın 17'si (%85) erkek hasta, 3'ü (%15) kadın iken ortalama yaş $59,7 \pm 10,5$ yıl olarak saptandı. Çalışmaya alınan hastaların demografik özellikleri incelendiğinde sigara kullanımı (%65), hipertansiyon (%70) ve hiperlipidemi (%55) sıklığı yüksek bulundu. Hastaların demografik özellikleri tablo 4.1'de, preoperatif verileri tablo 4.2'de ve intraoperatif ile postoperatif verileri tablo 4.3'te verildi.

Tablo 4.1. Hastaların demografik özellikleri (Ortalama $\pm$ standart sapma veya sayı [%]).

Yaş (yıl)	$59,7 \pm 10,5$
Cinsiyet (K/E)	3/17
Ağırlık (Kg)	$83,3 \pm 17,1$
Eşlik eden hastalıklar (n/%)	
Hipertansiyon	14 (70)
Diabetes Mellitus	5 (25)
Hiperlipidemi	11 (55)
Obezite	4 (20)
Sigara kullanımı	13 (65)
Miyokard Enfarktüsü	4 (20)

Tablo 4.2. Hastaların ameliyat öncesi verileri (Ortalama $\pm$ standart sapma veya sayı [%]).

Ejeksiyon fraksiyonu (%)	$57,9 \pm 9,4$
Pulmoner arter basıncı (mmHg)	$30,0 \pm 14,1$
Hemoglobin (mg/dL)	$14,2 \pm 1,3$
Kan üre nitrojeni (mg/dL)	$15,5 \pm 4,7$
Kreatinin (mg/dL)	$0,9 \pm 0,2$
Alanin transaminaz (U/L)	$23,1 \pm 10,1$
Aspartat aminotransferaz (U/L)	$21,2 \pm 6,3$
Sodyum (mmol/L)	$140,7 \pm 2,3$
Potasyum (mmol/L)	$4,2 \pm 0,5$

Tablo 4.3. Hastaların intraoperatif ve postoperatif verileri (Ortalama $\pm$ standart sapma).

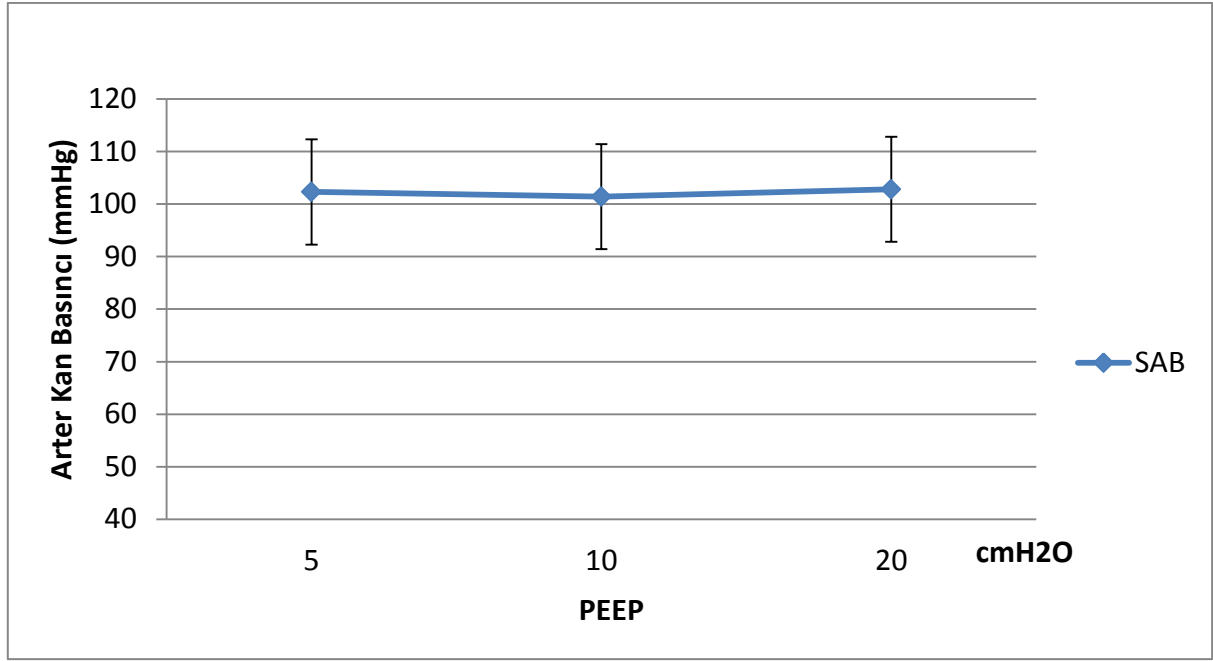
Anestezi süresi (dakika)	278,5 $\pm$ 47,9
Kardiyopulmoner <i>bypass</i> süresi (dakika)	83,4 $\pm$ 25,3
Aort klemp süresi (dakika)	47,0 $\pm$ 13,1
Entübasyon süresi (saat)	13,2 $\pm$ 5,4
Yoğun bakımda kalış süresi (gün)	2,8 $\pm$ 1,4
Hastanede kalış süresi (gün)	6,5 $\pm$ 2,6

Hastaların 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP'teki hemodinamik verileri birbiri ile karşılaştırıldığında sistolik kan basıncı (Şekil 4.1), diyastolik kan basıncı (Şekil 4.2), ortalama kan basıncı (Şekil 4.3) ve kalp hızının PEEP düzeyindeki artış ile değişmediği saptandı (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Hastaların farklı PEEP seviyelerindeki hemodinamik parametreleri (Ortalama $\pm$ standart sapma).

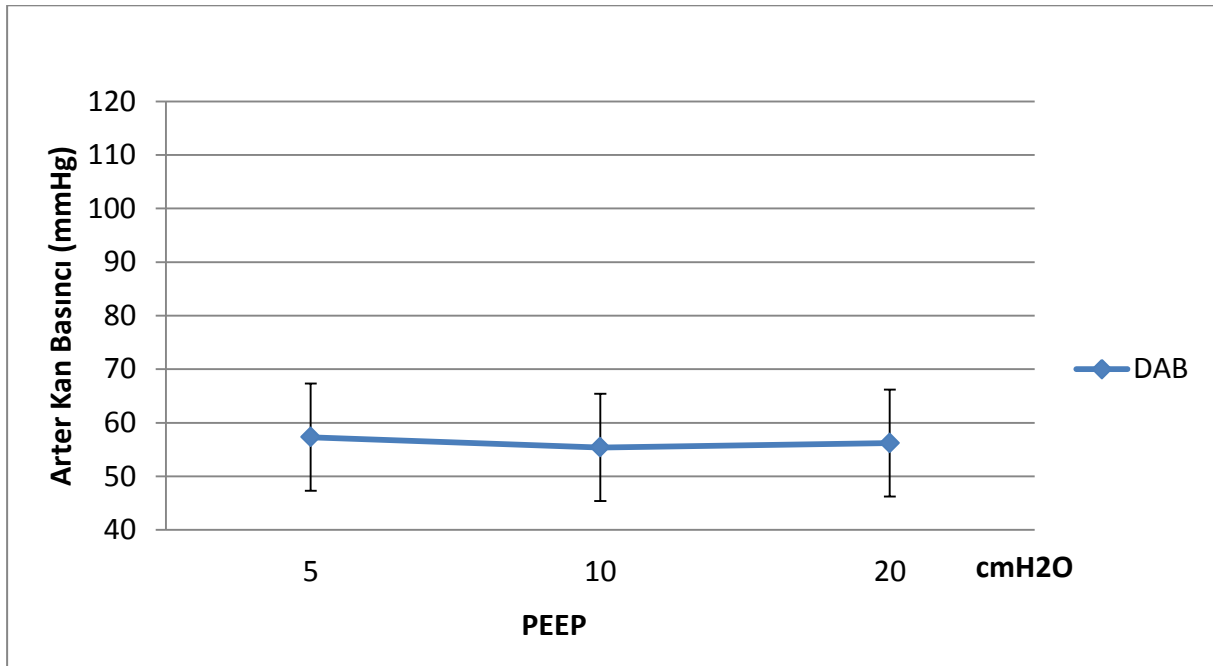
	5 cmH ₂ O PEEP	10 cmH ₂ O PEEP	20 cmH ₂ O PEEP	<i>P</i>
Sistolik Arter Kan Basıncı (mm Hg)	102,3 $\pm$ 16,4	101,4 $\pm$ 16,1	102,8 $\pm$ 12,2	0,918
Diyastolik Arter Kan Basıncı (mm Hg)	57,3 $\pm$ 12,4	55,4 $\pm$ 9,8	56,2 $\pm$ 11,7	0,765
Ortalama Arter Kan Basıncı (mm Hg)	72,3 $\pm$ 12,6	55,4 $\pm$ 9,8	71,7 $\pm$ 11,1	0,808
Kalp hızı (atım/dakika)	59,5 $\pm$ 11,8	60,6 $\pm$ 11,0	64,5 $\pm$ 13,3	0,116

Tüm ölçümler arası karşılaştırmalar için $p>0,05$. PEEP, Pozitif ekspiryum sonu basıncı.



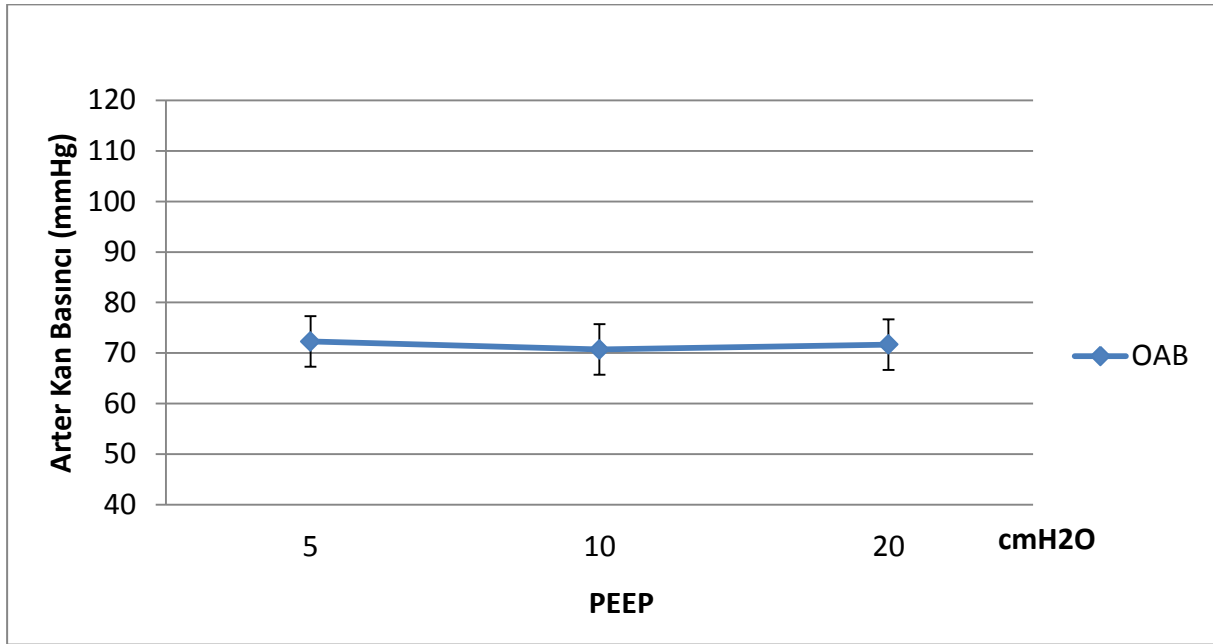
Şekil 4.1. Hastaların 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP'teki sistolik kan basınç verileri.

Tüm ölçümler arası karşılaştırmalar için $p>0,05$. SAB, Sistolik arter kan basıncı; PEEP, Pozitif ekspiryum sonu basınç.



Şekil 4.2. Hastaların 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP'teki diyastolik kan basınç verileri.

Tüm ölçümler arası karşılaştırmalar için $p>0,05$. DAB, Diyastolik arter kan basıncı; PEEP, Pozitif ekspiryum sonu basınç.



Şekil 4.3.Hastaların 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP'teki ortalama kan basınç verileri.

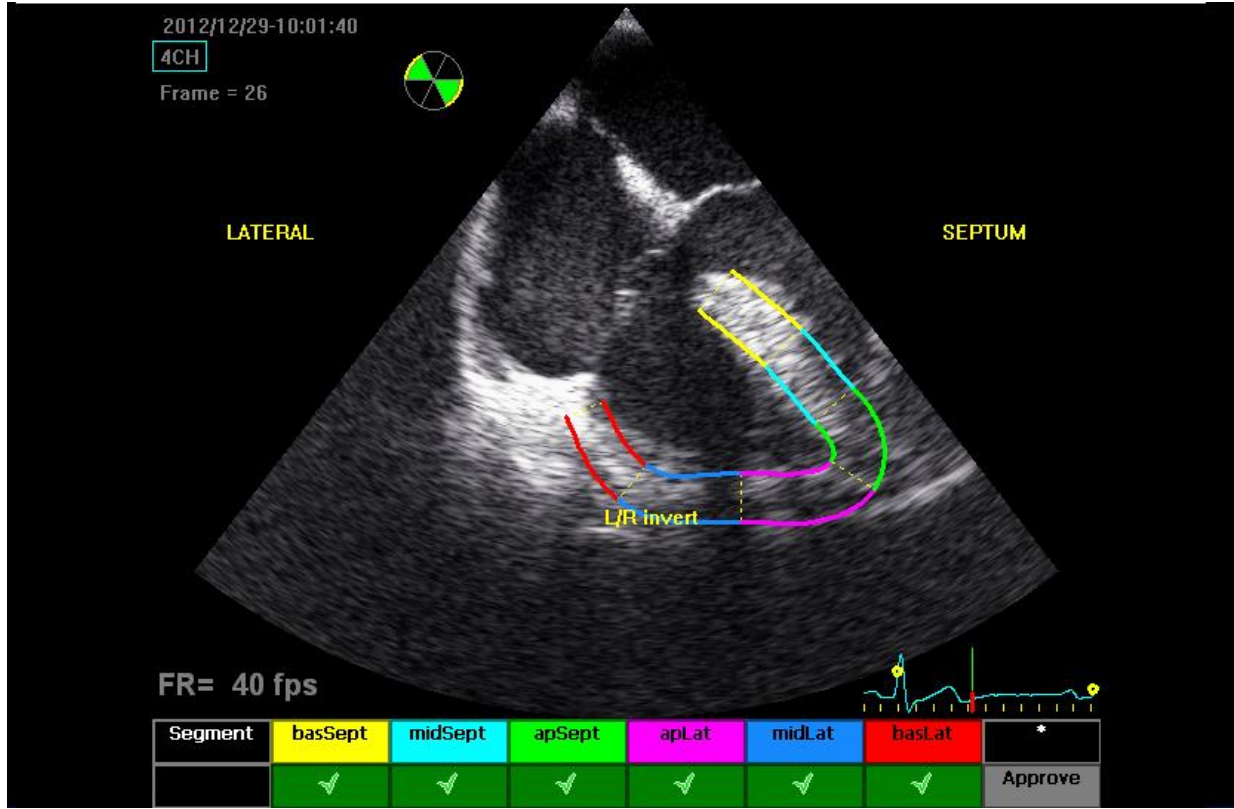
Tüm ölçümler arası karşılaştırmalar için $p>0,05$. OAB, Ortalama arter kan basıncı; PEEP, Pozitif ekspiryum sonu basınç.

Hastaların 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP düzeylerinde ekokardiyografik olarak incelenen sağ ventrikül fonksiyon ile ilgili verileri tablo 4.5'te verildi.

Tablo 4.5. Hastaların farklı PEEP seviyelerindeki ekokardiyografik sağ ventrikül fonksiyonu ölçüm ve hesaplamaları (Ortalama $\pm$ standart sapma)

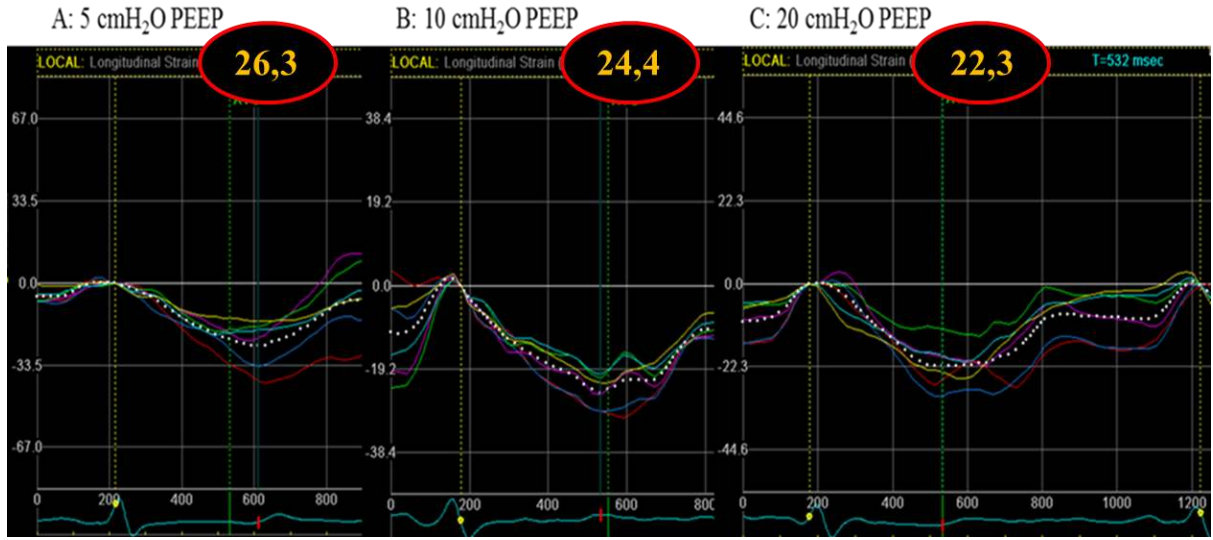
	5 cmH ₂ O PEEP	10 cmH ₂ O PEEP	20 cmH ₂ O PEEP
Strain (%)	22,9 $\pm$ 3,1	23,8 $\pm$ 2,6	18,9 $\pm$ 2,7 ^a
Strain hızı (1/saniye)	1,2 $\pm$ 0,2	1,1 $\pm$ 0,2	1,0 $\pm$ 0,3 ^b
Velosite (cm/saniye)	8,0 $\pm$ 1,7	7,2 $\pm$ 1,4 ^b	5,8 $\pm$ 1,6 ^a
RVFAC (%)	44,3 $\pm$ 5,4	41,8 $\pm$ 5,6	35,9 $\pm$ 5,0 ^a
Sağ ventrikül çapı (cm)	3,9 $\pm$ 0,4	3,9 $\pm$ 0,4	3,7 $\pm$ 0,4 ^a

^a Diğer iki PEEP değerindeki ölçümler ile karşılaştırıldığında $p<0,05$; ^b Beş cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p<0,05$. PEEP, Pozitif ekspiryum sonu basınç; RVFAC, Sağ ventrikül fraksiyonel alan değişimi.

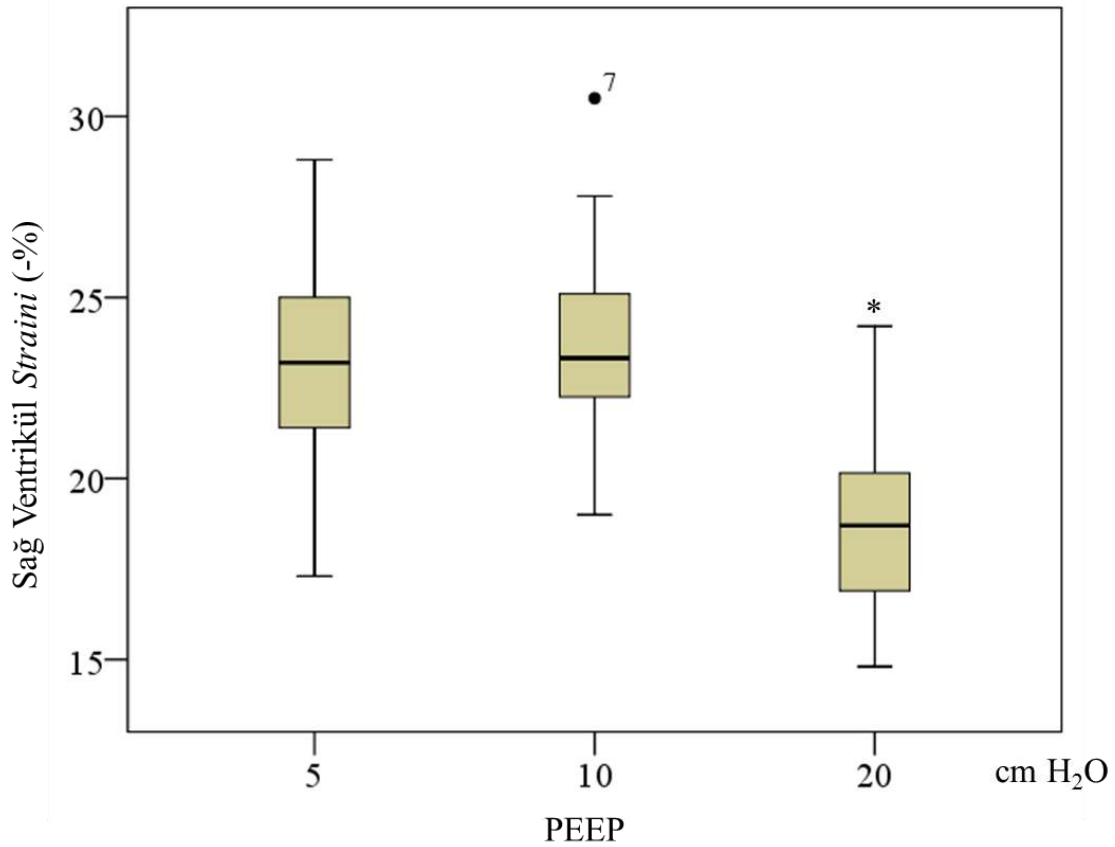


Şekil 4.4. Benek takibi yöntemiyle sağ ventrikül fonksiyonunun değerlendirilmesi.

Strain değerleri benek takibi yöntemi ile hesaplandı (Şekil 4.4). Beş ve 10 cmH₂O PEEP karşılaştırıldığında 10 cmH₂O PEEP'te *strain* değeri 5 cmH₂O PEEP'e göre yüksek hesaplandı; ancak istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı (sırasıyla $22,9 \pm 3,1$ ve $23,8 \pm 2,6$; $p > 0,05$). Yirmi cmH₂O PEEP'teki *strain* değerinin ($18,9 \pm 2,7$) 5 ve 10 cmH₂O PEEP'teki ölçümlerle karşılaştırıldığında anlamlı olarak azaldığı saptandı (her iki karşılaştırma için $p < 0,001$) (Şekil 4.5 ve 4.6).



Şekil 4.5. PEEP düzeyinin artırılması ile *strain* ölçümlerindeki azalma. (A, 5 cmH₂O PEEP; B, 10 cmH₂O PEEP; C, 20 cmH₂O PEEP)

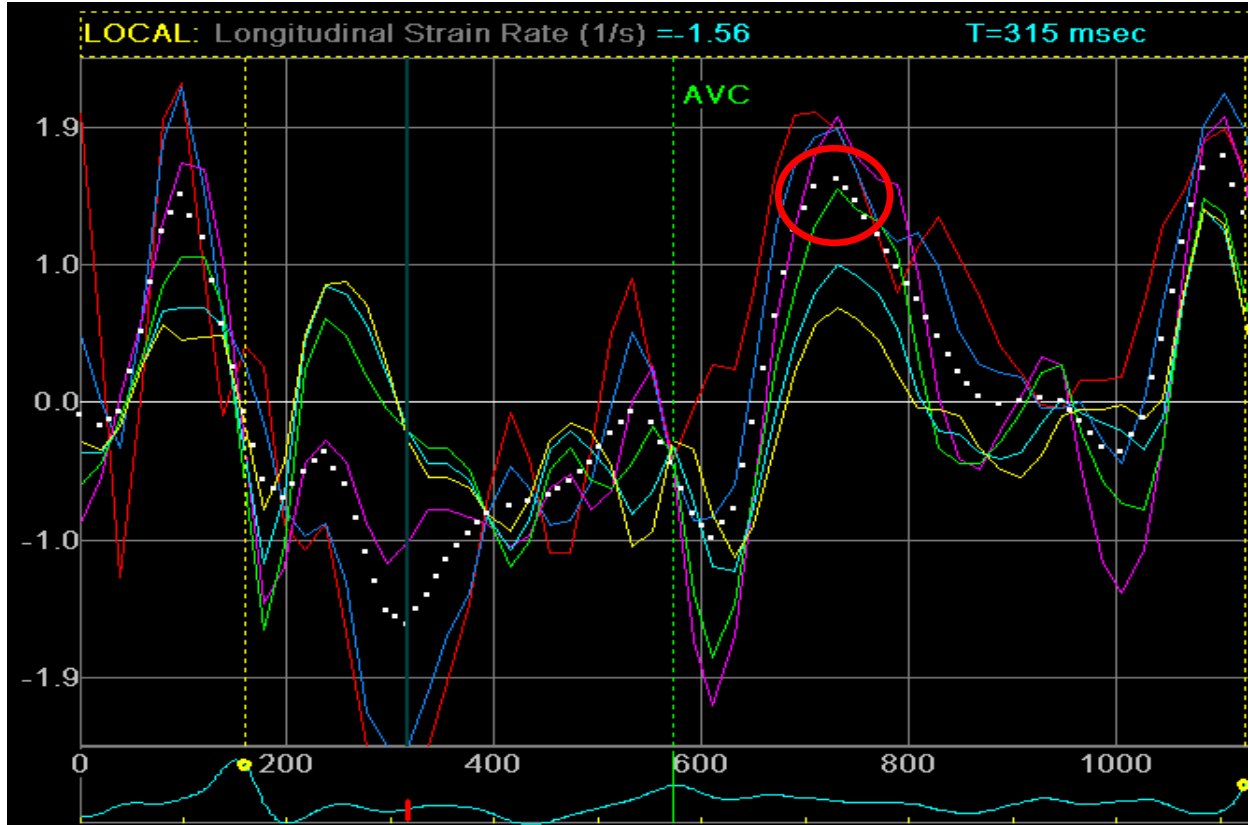


Şekil 4.6. Hastaların 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP seviyelerinde sağ ventrikül *strain* verileri.

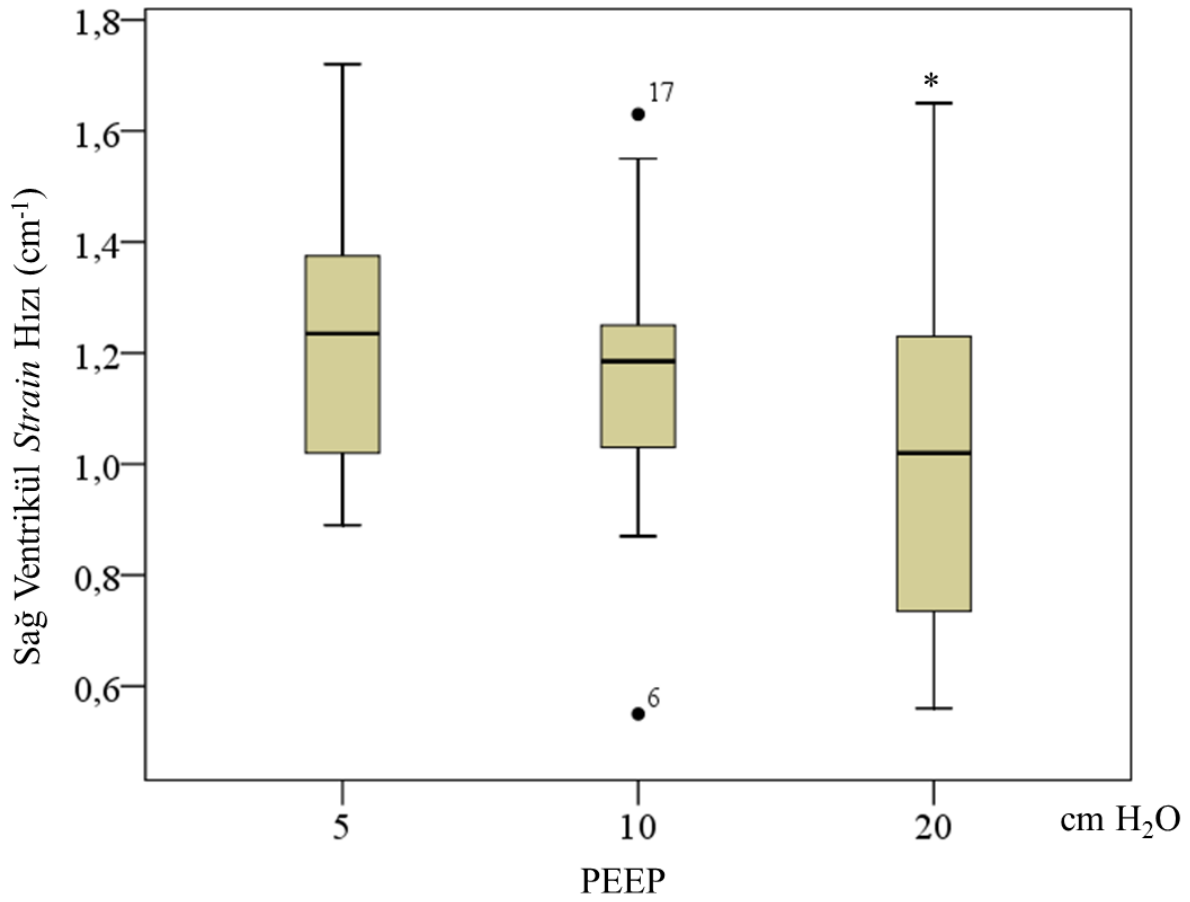
*Beş ve 10 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p < 0,001$.

PEEP, pozitif ekspiryum sonu basınç.

Strain hızı benek takibi yöntemi ile 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP için sırasıyla $1,2 \pm 0,2$ saniye⁻¹, $1,2 \pm 0,2$ saniye⁻¹ ve $1,0 \pm 0,3$ saniye⁻¹ olarak ölçüldü (Şekil 4.7). *Strain* hız ölçümleri 20 cmH₂O PEEP düzeyinde, 5 cmH₂O PEEP düzeyi ile karşılaştırıldığında anlamlı olarak düşük bulundu (5 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p=0,03$).



Şekil 4.7. Sağ ventrikül *strain* hız analizi.

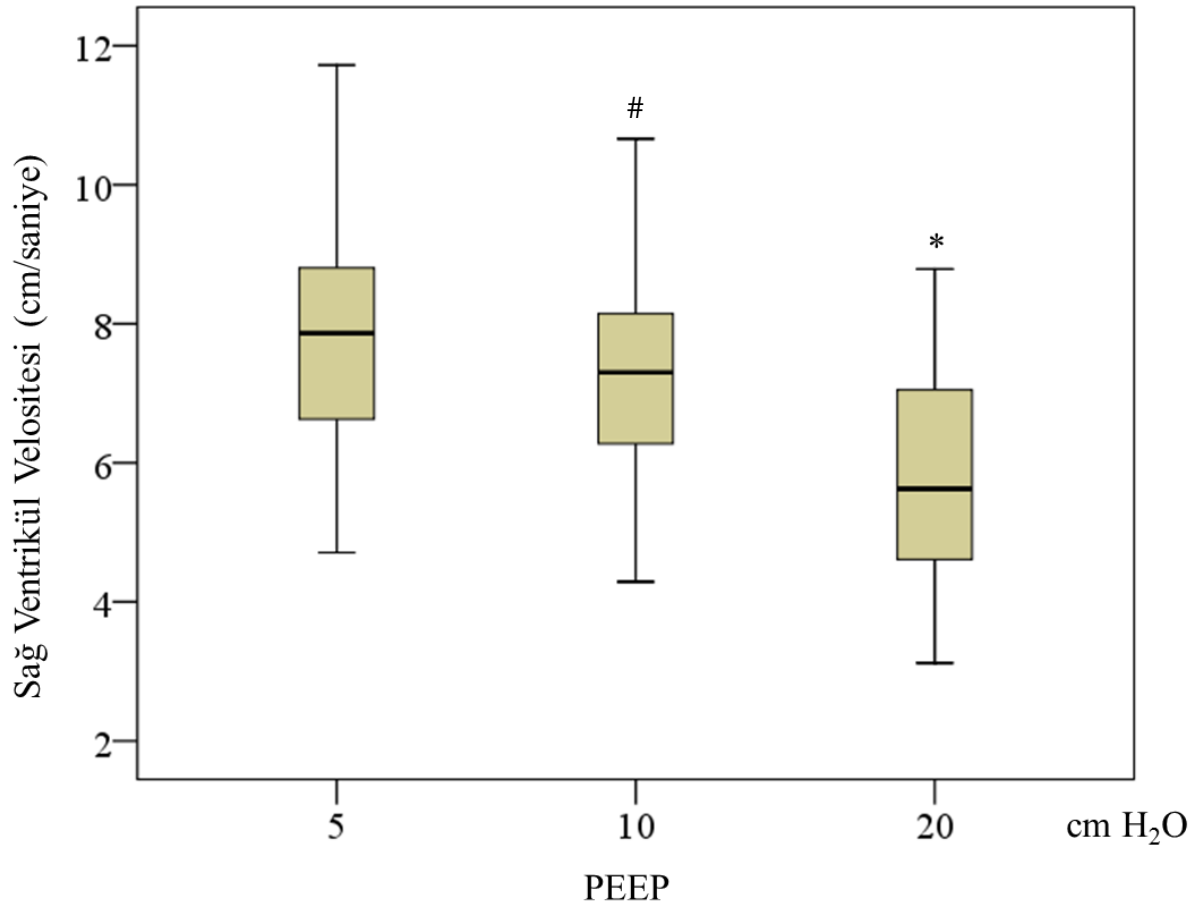


Şekil 4.8. Hastaların 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP seviyelerinde sağ ventrikül *strain* hız verileri.

*Beş cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p<0,05$.

PEEP, pozitif ekspiryum sonu basınç.

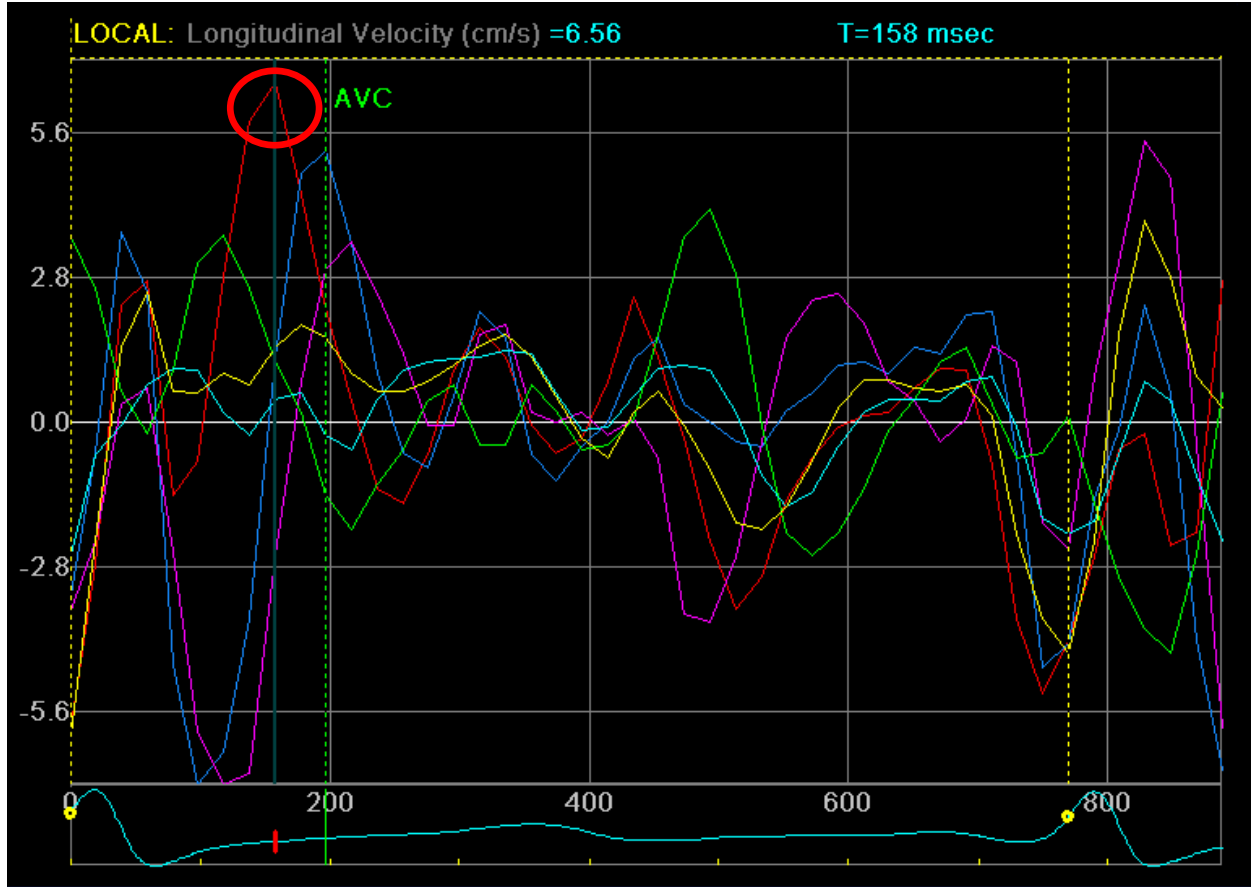
Sağ ventrikül velositesi benek takibi yöntemi ile 5 cmH₂O PEEP'te $8,0 \pm 1,7$ cm/saniye, 10 cmH₂O PEEP'te $7,2 \pm 1,4$ cm/saniye ve 20 cmH₂O PEEP'te $5,8 \pm 1,6$ cm/saniye ölçüldü. Sağ ventrikül velositesinin PEEP seviyesindeki artış ile azaldığı ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptandı. (5 ve 10 cmH₂O PEEP karşılaştırıldığında $p=0,04$; 5 ve 20 cmH₂O PEEP karşılaştırıldığında $p<0,001$; 10 ve 20 cmH₂O PEEP karşılaştırıldığında $p=0,002$)



Şekil 4.9. Hastaların 5,10 ve 20 cmH₂O PEEP düzeylerinde sağ ventrikül velosite verileri.

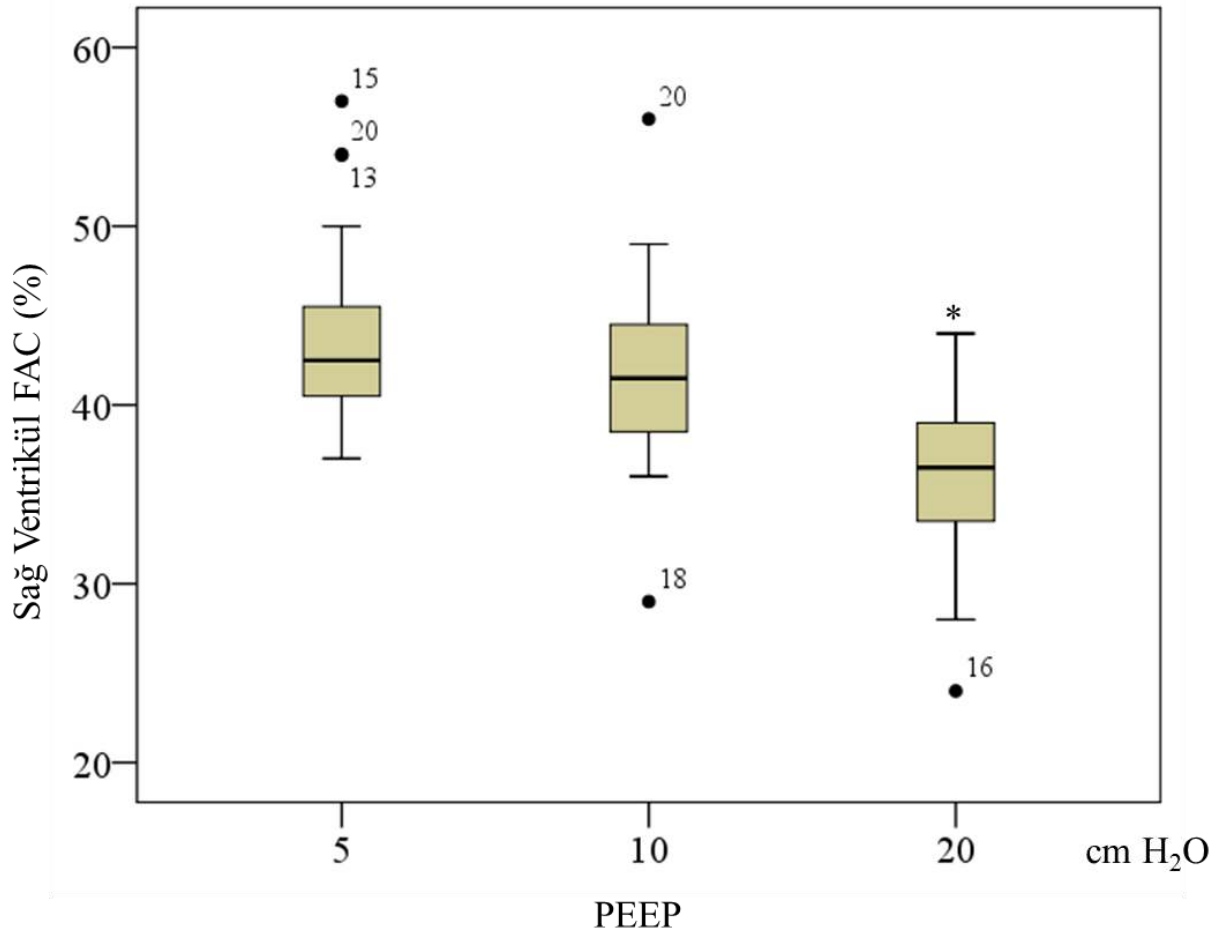
#Beş cmH₂O PEEP karşılaştırıldığında $p<0,05$; *Beş ve 10 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p<0,05$.

PEEP, pozitif ekspirum sonu basınç.



Şekil 4.10. Sağ ventrikül velosite analizi.

RVFAC 10 cmH₂O PEEP’te 5 cmH₂O PEEP’e kıyasla daha düşük hesaplandı; ancak istatistiksel olarak anlamlılık saptanmadı (sırasıyla $44,3 \pm 5,4$ ve $41,8 \pm 5,6$; $p=0,063$). 20 cmH₂O PEEP düzeyinde RVFAC ($35,9 \pm 4,9$) 5 ve 10 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında daha düşük hesaplandı. Bu azalma istatistiksel olarak anlamlı bulundu (5 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p=0,001$ ve 10 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p<0,001$) (Şekil 4.11).

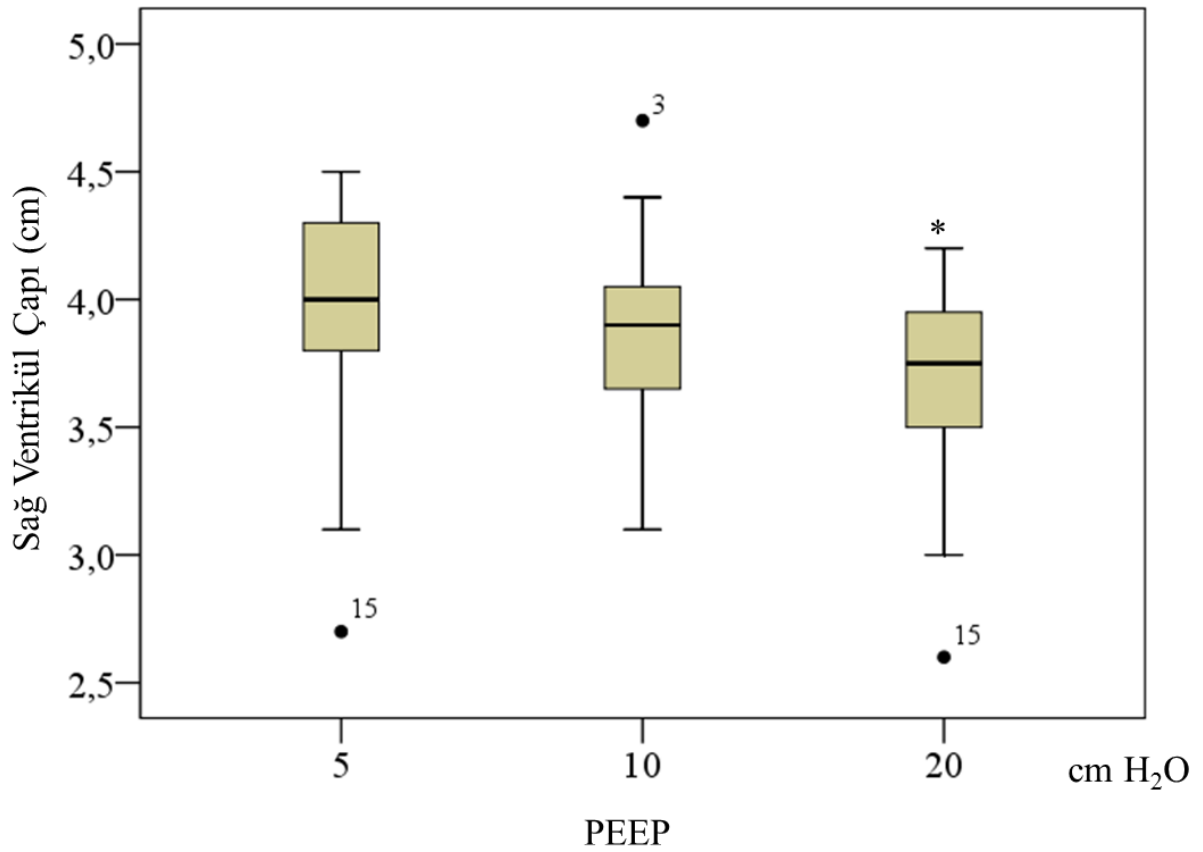


Şekil 4.11. Hastaların 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP düzeylerinde RVFAC verileri.

*Beş ve 10 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p<0,05$. FAC, fraksiyonel alan değişimi.

PEEP, pozitif ekspiryum sonu basınç

Sağ ventrikül çapı 5 cmH₂O PEEP'te $3,9 \pm 0,4$ cm, 10 cmH₂O PEEP'te $3,8 \pm 0,3$ cm ve 20 cmH₂O PEEP'te $3,7 \pm 0,4$ cm ölçüldü (Şekil 4.12). PEEP düzeyindeki artış ile azaldığı, bu azalmanın 20 cmH₂O PEEP'te 5 ve 10 cmH₂O PEEP ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptandı (sırasıyla 5 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p=0,001$ ve 10 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p=0,004$).



Şekil 4.12. Hastaların 5,10 ve 20 cmH₂O PEEP düzeylerinde sağ ventrikül çap ölçüm değerleri.

*Beş ve 10 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında $p<0,05$. PEEP, pozitif ekspiryum sonu basınç

5.TARTIŞMA

KABG cerrahisi ve yoğun bakım yönetimindeki gelişmelere rağmen postoperatif akciğer komplikasyonlarına bağlı mortalite ve morbidite sık gözlenmektedir. KABG cerrahisi sonrası akciğerlerde hasar oluşum mekanizması çok faktörlüdür. KPB'ye bağlı SIRS en sık neden iken cerrahiye bağlı faktörler (sternotomi ve plevranın açılması gibi), genel anestezi ve yapılan transfüzyonlar akciğerlerde hasara yol açan diğer nedenlerdir [54]. KPB sırasında uygulanan hipotermi, kanın mekanik yüzeyle teması, iskemi-reperfüzyon hasarı, kan ürünü kullanımı ve ventilasyonun durdurulması akciğerlerde hasara yol açar [55]. Bu hasar postoperatif dönemde sıklıkla akciğer ödemi, atelektazi ve şantlaşmaya bağlı anormal gaz değişimi ve hipoksemi ile kliniğe yansır.

KABG cerrahisinin KPB kullanılmaksızın (*off-pump*) uygulanması ile KPB'nin olumsuz etkileri ortadan kaldırılır ve KPB'a bağlı akciğer hasarı gelişimi riski azalır [55]. İntraoperatif ve postoperatif uygulanan PEEP kalp cerrahisi hastalarında akciğer komplikasyonlarını önlemede yardımcı bir diğer uygulamadır. PEEP uygulaması intraoperatif atelektazilerin önlenmesi ve alveolar-arteriyel oksijen farkının azalması ile oksijenizasyonda iyileşme ve postoperatif akciğer komplikasyonlarında azalma sağlamaktadır.

Atelektatik alveollerin ve distal hava yollarının mekanik ventilasyon sırasında döngüsel açılıp kapanması VILI'nin temel mekanizmalarındandır. ARDS hastalarında VILI gelişimini önlemek için yüksek düzeyde uygulanan PEEP ile ödem, inflamasyon ve infiltrasyon sonucu azalan akciğer volümü dengelenmekte ve FRK korunmaktadır [31, 56]. Kalp cerrahisi hastalarında KPB'a bağlı akciğer disfonksiyonunu önlemek amacıyla KPB süresince PEEP, düşük tidal hacimle ventilasyon ve postoperatif devamlı pozitif hava yolu basınç (*continuous positive airway pressure*, CPAP) uygulaması gibi farklı ventilasyon teknikleri denenmiştir [57]. On altı çalışmanın dahil edildiği bir meta-analizde KPB sırasında uygulanan PEEP'in oksijenizasyonu iyileştirdiği ve alveolar-arteriyel oksijen farkı ile şant fraksiyonunu azalttığı sonucuna varılmıştır [57].

KABG cerrahisindeki uygulamalara bağlı postoperatif FRK ve akciğer kompliyansı azalmaktadır [58]. Cerrahiye bağlı akciğerlerde meydana gelen bu değişikliklere ek olarak uzun süre supin pozisyonda kalış ve yüksek miktarda sedatif ilaç kullanımı hastaların postoperatif dönemde mekanik ventilatörden ayrılmasını zorlaştırabilmektedir. Hastaların intraoperatif dönemdeki ventilasyon yönetimi ve uygun PEEP seviyesinin belirlenmesi bu

nedenle oldukça önemlidir. Son yıllarda PEEP ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen uygun PEEP seviyesinin ne olduğu halen tartışmalıdır. Pratikte uygun PEEP seviyesi Albert'in [59] tanımına göre fraksiyonel oksijen düzeyi 0,60'ın altında iken uygun parsiyel arteriyel oksijen basıncını sağlayan PEEP seviyesi olarak belirlenmektedir.

Farklı hasta gruplarında ve farklı seviyelerde uygulanan PEEP'in kardiyopulmoner sistem üzerinde farklı etkileri vardır. Yüksek düzeyde uygulanan PEEP ile barotravma ve hemodinamik instabilite oluşabilir. On iki ARDS hastası ile yapılmış prospektif klinik bir çalışmada açık akciğer stratejisi ile gerçekleştirilen *recruitment* manevrasının hemodinamiye ve oksijenizasyona olan etkisi araştırılmıştır. Yirmi cmH₂O PEEP'in oksijenizasyonu ve akciğer kompliyansını arttırdığı ve majör hemodinamik bir yan etkiye yol açmamakla beraber sağ ventrikül fonksiyonunda iyileşme sağladığı gösterilmiştir [60]. Michalopoulos ve arkadaşları [61] kalp cerrahisi hastalarında 10 cmH₂O PEEP basıncından düşük PEEP değerlerinin oksijenizasyonu iyileştirmede yetersiz olduğunu saptamışlardır. ARDS hastalarındaki çalışmalarında Ranieri ve arkadaşları [62] 10 cmH₂O ve üzerindeki PEEP uygulamaları ile arteriyel oksijen seviyelerinde artış olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak, seçilen hasta grubunda oksijenizasyonda düzelme sağlayan ve kardiyovasküler sistemde yan etkiye yol açmayan uygun PEEP seviyesinin belirlenmesi önemlidir. Biz çalışmamızda literatür doğrultusunda solunumsal etkinliği gösterilmiş PEEP (5, 10 ve 20 cmH₂O) düzeylerini KABG cerrahisi planlanan hastalara uyguladık ve sağ ventrikül fonksiyonuna olan etkisini araştırdık.

PEEP uygulamasının kardiyovasküler sistemi nasıl etkilediği ile ilgili literatürde kesin bir görüş birliği olmamakla birlikte toraks içi basıncı ve akciğer volümlerini değiştirerek olumsuz etkileyebildiği bilinmektedir. PEEP, toraks içi basınç artışına bağlı venöz dönüşü (ön-yük) azaltırken, sağ ventrikül ard-yükünü arttırmaktadır [3, 63]. Yüksek seviyede uygulanan PEEP pulmoner aşırı gerilmeye yol açarak PVR'de yani sağ ventrikül ard-yükünde artış ve interventriküler septumda sola kayma meydana getirir [3]. Ventriküler septumun sola kayması sonucunda ise sol ventrikül atım fonksiyonu azalır [3]. PEEP'in tüm bu hemodinamik etkileri intravasküler volüm durumuna ve pulmoner gerilmenin şiddetine bağlı olarak değişir [3].

Literatürdeki çalışmalara baktığımızda ilk kez Cournand [32] pozitif basınçlı ventilasyon uygulanması ile kalp debisinin azaldığını göstermiştir. Biondi ve arkadaşları [33]

farklı cerrahi hasta gruplarını içeren çalışmalarında termodilüsyon yöntemi kullanarak sağ ventrikül atım fonksiyonunun 15 cmH₂O PEEP basınçta azaldığını saptamışlardır. Pinsky ve arkadaşları [64] kalp cerrahisi hastalarında 0, 5 ve 10 cmH₂O PEEP seviyelerinde kalp hızı, kalp debisi, sağ ventrikül diyastol ve sistol sonu volümleri ile sağ ventrikül atım fonksiyonlarında farklılık saptamamışlardır. Franchi ve arkadaşları [65] yoğun bakım hasta grubundaki çalışmalarında 5, 10 ve 15 cmH₂O PEEP'te ortalama kan basıncı ve kalp hızının sabit kaldığını; kalp debisinde ise PEEP artışı ile azalma olduğunu bildirmişler. Biz çalışmamızda kalp debisi ve kalp volümlerini değerlendirmedik. Ancak KABG cerrahisi hastalarında anestezi indüksiyonunu takiben kaydedilen sistolik, diyastolik, ortalama kan basınçlarının ve kalp hızının 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP'te sabit kaldığını saptadık. Çalışma hastalarında çalışma protokolüne bağlı komplikasyon gözlenmezken, 20 cmH₂O düzeyinde PEEP hemodinamik instabiliteye neden olmadan güvenle uygulandı.

Mekanizması tam bilinmemekle birlikte KPB, perioperatif miyokard iskemisi, intraoperatif miyokard hasarı, kardiyopleji ve perikardiyal adhezyonlar KABG cerrahisi sonrası gelişen sağ ventrikül yetmezliğinin olası nedenleridir [66, 67]. Bu hastalarda mekanik ventilasyonun sağ ventrikülde oluşturacağı olumsuz etkilerden kaçınmak önemlidir. Yüksek tidal volüm ve PEEP ile mekanik ventilasyon uygulaması sağ ventrikül fonksiyonunu olumsuz etkiler. Pulmoner arter ve sağ atriyumda basınç artışına bağlı triküspit yetmezliği artar, sağ ventrikül ard-yükü artar ve venöz dönüş ile ön-yük azalır. Sonuç olarak, sağ ventrikül yetmezliği oluşur [68]. Ventilasyon sırasında hiperkapni ve hiperventilasyona dikkat edilmelidir. Hiperkapni pulmoner vasküler yatakta vazokonstrüksiyona yol açarak pulmoner arter basıncını arttırır ve sağ ventrikül yetmezliğini arttır [69, 70]. Hiperventilasyon ise asidozun indüklediği pulmoner arter vazokonstrüksiyonunu azaltmasına rağmen hiperinflasyon sonucu toraks içi basınç artışına ve sağ ventrikül yetmezliğinde artışa neden olur [70]. Tüm bu etkiler göz önünde bulundurularak mekanik ventilasyon oksijenizasyonu sağlayan, akciğer komplikasyonlarını önleyecek uygun tidal volüm ve PEEP ile sağlanmalıdır [71]. Çalışmamızda entübasyonu takiben ventilatör ayarlarımızı 6-8 ml/kg tidal volüm, 10-15 soluk/dakika ve 30-40 mmHg end-tidal CO₂ olacak şekilde ayarlayarak hiperventilasyondan ve hiperkapniden kaçındık.

Ekokardiyografi kalp fonksiyonlarının değerlendirilmesinde girişimsel olmayan, kolay uygulanabilir, ucuz bir yöntemdir. Üç boyutlu görüntüleme, Doppler ve benek takibi gibi yeni yöntemlerle ekokardiyografinin doğruluğu artmış; yoğun bakımda kritik hasta yönetimi ve

perioperatif dönemde hasta takibi gibi klinik uygulamada geniş yer bulmuştur. Ekokardiyografi, ARDS gibi yüksek PEEP uygulanan ciddi solunum yetmezliğindeki hastalarda mekanik ventilasyon sırasında kalp fonksiyonlarının değerlendirilmesinde önemli yere sahiptir [72-74]. Ancak açı bağımlı parametrelerin mekanik ventilatördeki kritik hastalarda supin pozisyonda kolay görüntülenememesi gibi nedenlerden ötürü yoğun bakımda ekokardiyografi uygulanmasında zorlukla karşılaşmaktadır [75, 76]. Benek takibi ekokardiyografinin objektif, kantitatif, açı bağımsız ve tekrar değerlendirilebilir oluşu diğer ekokardiyografi yöntemleriyle kıyaslandığında miyokardın daha iyi değerlendirilmesine olanak sağlar [65].

Kalp cerrahisi hastalarında transtorasik ekokardiyografiyle kıyaslandığında intraoperatif daha kolay uygulanabilmesi, daha net görüntü sağlaması ve cerrahiye engel olmaması gibi nedenlerle TÖE tercih edilmektedir. TÖE kalp cerrahisi anesteziinde intraoperatif ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilerek kritik hastaların perioperatif daha etkin yönetimine olanak sağlamaktadır. KABG hastalarında intraoperatif uygulanan TÖE ile erken dönemde ventrikül fonksiyonları ile ilgili bilgi edinmek ve oluşabilecek komplikasyonları en aza indirmek mümkün olmuştur. Çalışmamızda sağ ventrikül fonksiyonunun değerlendirmesini, intraoperatif TÖE ile dört boşluk ve iki boşluk görüntülerden elde ettiğimiz veriler doğrultusunda gerçekleştirdik.

Sol ventrikül ile kıyaslandığında sağ ventrikülün kompleks geometrisi, geniş değer aralığında dolum özelliği ve bölgesel duvar fonksiyonlarındaki heterojenite nedeniyle değerlendirilmesi zordur. Sağ ventrikülün sistolik fonksiyonu TAPSE, RVFAC, sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu, velosite, longitudinal *strain* ile *strain* hızı ve MRI görüntüleme gibi pek çok yöntemle değerlendirilebilir. MRI, ventrikül *strain* değerlendirmesinde altın standart görüntüleme yöntemidir. Ancak pahalı oluşu, yavaş değerlendirme hızı ve kolay ulaşılabilir olmaması gibi dezavantajları söz konusudur. RVFAC'nin sağ ventrikül değerlendirilmesinde sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu ve MRI inceleme ile uyumlu bilgi sağladığı [77] ve kalp yetmezliği, inme, pulmoner emboli [78] ve miyokard enfarktüsünde mortalitede [79] bağımsız belirleyici olduğu gösterilmiştir.

Açı bağımsız oluşu, dolum miktarından daha az etkilenmesi ve bölgesel deformasyonu yansıtma özellikleriyle ile *strain* ve *strain* hız analizleri sağ ventrikülün objektif, ucuz ve kolay bir şekilde değerlendirilmesini sağlar [80]. Pulmoner hipertansiyonlu hastalarda sağ

ventrikül fonksiyonunun değerlendirilmesinde farklı yöntemlerin tanındaki etkinliğinin araştırıldığı bir çalışmada, sağ ventrikülün benek takibi ile *longitudinal strain* değerlendirilmesi, RVFAC ve TAPSE ile karşılaştırıldığında bağımsız ön belirleyici olarak saptanmıştır [81]. Sol ventrikül *assist device* hastalarında yapılan bir çalışmada da benzer şekilde sağ ventrikül yetmezliğini saptamada *strain* analiz yöntemi bağımsız belirleyici olarak bulunmuştur [82]. Benek takibi ile diğer yöntemlerin kombine edilmesinin uzun dönemde daha etkin bilgi sağlayabileceği belirtilmiştir [53, 81]. Biz de yapılan çalışmaları göz önünde bulundurarak güvenilirliği gösterilmiş bir yöntem olması nedeniyle sağ ventrikül fonksiyonunu değerlendirmede benek takibi yöntemi ile *strain* analizi kullandık.

Benek takibi yöntemi hem patolojik hem fizyolojik durumlarda klasik ekokardiyografi tekniklerinden daha detaylı sistol ve diyastolde miyokardın değerlendirilmesini sağlar. Choi ve arkadaşları [83] *longitudinal strain*'in asemptomatik iskemik kardiyomiyopatili hastalarda duvar hareketleri henüz normalken tanıda güçlü bir ön belirleyici olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarda sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonu ile *strain* arasında iyi bir korelasyon saptanmış olmasına rağmen *longitudinal strain* değerlendirilmesinin ejeksiyon fraksiyonu henüz normal iken miyokard disfonksiyonunu saptamada üstün olduğu bildirilmiştir [50-52]. Roshanali ve arkadaşları [53], KABG cerrahisi hastalarının ameliyattan bir yıl sonra sağ ventrikül fonksiyonlarında azalma olduğunu saptadıkları çalışmalarında sağ ventrikül değerlendirmesinde *strain* analizinin TAPSE'ye iyi bir alternatif olduğunu bildirmişlerdir[53]. Çalışmamızda sağ ventrikül fonksiyonunu benek takibi ekokardiyografi yöntemi ile değerlendirdik. *Strain*, *strain* hız, velosite, RVFAC ve sağ ventrikül çapı verilerini kullandık.

Çalışmamızda sağ ventrikül *strain*, *strain* hız, velosite ve RVFAC hesaplamalarının 10 cmH₂O PEEP seviyesinde 5 cmH₂O PEEP ile aynı olduğunu, 20 cmH₂O PEEP düzeyine çıkıldığında ölçülen bu değerlerin azaldığını saptadık. Mekanik ventilatördeki hastalarda PEEP seviyesinin 15 cmH₂O'ya çıkarılması ile sağ ventrikül *strain*'inin azaldığı bildirilmiştir. Biz KABG cerrahisi hastalarındaki çalışmamızda benek takibi yöntemi ile hesaplanan sağ ventrikül *strain*'i 5 ve 10 cmH₂O PEEP'te sabit iken 20 cmH₂O PEEP'te düşük bulduk. Jardin ve arkadaşları [84] akut solunum yetmezliği hastalarındaki çalışmalarında 10 ve 20 cmH₂O PEEP'te RVFAC'de anlamlı azalma saptamışlardır. Çalışmamız bu sonuçları desteklemektedir. KABG cerrahisi hastalarında PEEP artışı ile RVFAC'de azalma olduğunu saptadık. Beş cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında bu azalma 10 cmH₂O PEEP'te istatistiksel olarak anlamlı bulunmazken, 20 cmH₂O PEEP'te bu azalmanın anlamlı olduğunu saptadık.

Sağ ventrikül çap ölçümünde 20 cmH₂O PEEP seviyesinde 5 ve 10 cmH₂O PEEP ile karşılaştırıldığında azalma saptadık. Sağ ventrikül fonksiyonunu değerlendirirken kullandığımız parametreler doğrultusunda sağ ventrikül fonksiyonunun PEEP seviyesindeki artış ile azaldığını bulduk. Ancak sağ ventrikül fonksiyonundaki azalma ile sağ ventrikül çap ölçümünde artış olması beklenmektedir. Çalışmamızdaki sağ ventrikül çap ölçümünde anlamlı artma saptanmış olsa da ölçüm değerleri normal sınırlar içerisindedir. Yani sağ ventrikül çap ölçümündeki azalma sağ ventrikül fonksiyonundaki azalmayla ilişkili değildir.

Franchi ve arkadaşları [65] ciddi solunum yetmezliği olan yoğun bakım hastalarında benek takibi analizi ile PEEP seviyesindeki artışın sağ atriyum, sol atriyum ve sağ ventrikül *strain* 'lerinde azalmaya neden olduğunu, sol ventrikül ön-yükünü azaltarak sol ventrikül debisini azalttığını ancak sol ventrikül *strain* değerlerini etkilemediğini göstermişlerdir. PEEP'in sağ ventriküle olan etkisi bizim çalışmamızda da benzer saptanmıştır. Biz çalışmamızda ileri kardiyovasküler kateterizasyon yöntemleriyle hemodinamik ölçümleri, Doppler ekokardiyografi uygulamadık. Bu parametrelerin değerlendirilmesi benek takibi ile yapılan analizlerin güvenilirliğini arttırabilirdi.

Benek takibi yönteminin uygulamasında sınırlılıklar da mevcuttur. Tek miyokardiyal döngüde normal elektrokardiyografi ritmine bağlı analiz yapan bir program olması nedeniyle aritmisi olan hastalarda uygulanamamaktadır [49]. Endokard sınırının belirlenmesinde aynı görüntüden tekrarlanan değerlendirmelerde bile farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle biz çalışmamızda tek uygulayıcı tarafından 3 farklı görüntüden elde edilen ölçüm değerlerinin ortalamasını alarak hata payını en aza indirmeye çalıştık.

6. SONUÇLAR

KABG cerrahisi planlanan ve sağ ventrikül fonksiyonları normal olan hastalarda 5, 10 ve 20 cmH₂O PEEP'in sağ ventrikül fonksiyonuna etkisini araştırdık. TÖE ile elde ettiğimiz görüntülerden sağ ventrikül pik sistolik *strain*, *strain* hız, RVFAC ve velosite hesaplamaları ile sağ ventrikül çapı ölçümelerini değerlendirdik. Çalışmamızın sonuçlarını özetlersek:

- Beş, 10 ve 20 cmH₂O PEEP seviyelerinde sistolik kan basıncı, diyastolik kan basıncı, ortalama kan basıncı ve kalp hızları arasında anlamlı farklılık saptamadık.
- Beş ve 10 cmH₂O PEEP'teki *strain*, *strain* hız, RVFAC ve sağ ventrikül çap ölçümelerini benzer bulduk.
- Yirmi cmH₂O PEEP'te sağ ventrikül *strain*, RVFAC, velosite ve sağ ventrikül çap ölçümünün diğer iki PEEP düzeyine göre anlamlı azaldığını saptadık.
- Yirmi cmH₂O PEEP'te sağ ventrikül *strain* hız ölçümünün 5 cmH₂O PEEP ile karşılaştırdığımızda anlamlı azaldığını saptadık.
- Sağ ventrikül velosite ölçümünün 10 cmH₂O PEEP'te 5 cmH₂O PEEP ile karşılaştırdığımızda ve 20 cmH₂O PEEP'te diğer iki PEEP düzeyi ile karşılaştırdığımızda anlamlı azaldığını saptadık.

Çalışmamızın sonuçları doğrultusunda PEEP düzeyinde 20 cmH₂O'ya kadar olan artışın hemodinamiyi değiştirmeden sağ ventrikül fonksiyonlarında azalmaya neden olduğunu saptadık.

7. KAYNAKLAR

1. Taylor, G.J., et al., *Determinants of hospital charges for coronary artery bypass surgery: the economic consequences of postoperative complications*. Am J Cardiol, 1990. **65**(5): p. 309-13.
2. Marshall, B.E., et al., *Role of hypoxic pulmonary vasoconstriction in pulmonary gas exchange and blood flow distribution. 2. Pathophysiology*. Intensive Care Med, 1994. **20**(5): p. 379-89.
3. Luecke, T. and P. Pelosi, *Clinical review: Positive end-expiratory pressure and cardiac output*. Crit Care, 2005. **9**(6): p. 607-21.
4. Celli, B.R., K.S. Rodriguez, and G.L. Snider, *A controlled trial of intermittent positive pressure breathing, incentive spirometry, and deep breathing exercises in preventing pulmonary complications after abdominal surgery*. Am Rev Respir Dis, 1984. **130**(1): p. 12-5.
5. Stiller, K., et al., *Efficacy of breathing and coughing exercises in the prevention of pulmonary complications after coronary artery surgery*. Chest, 1994. **105**(3): p. 741-7.
6. Garibaldi, R.A., et al., *Risk factors for postoperative pneumonia*. Am J Med, 1981. **70**(3): p. 677-80.
7. Hall, J.C., et al., *A multivariate analysis of the risk of pulmonary complications after laparotomy*. Chest, 1991. **99**(4): p. 923-7.
8. Svensson, L.G., et al., *A prospective study of respiratory failure after high-risk surgery on the thoracoabdominal aorta*. J Vasc Surg, 1991. **14**(3): p. 271-82.
9. Schuller, D. and L.E. Morrow, *Pulmonary complications after coronary revascularization*. Curr Opin Cardiol, 2000. **15**(5): p. 309-15.
10. Craig, D.B., *Postoperative recovery of pulmonary function*. Anesth Analg, 1981. **60**(1): p. 46-52.
11. Tulla, H., et al., *Respiratory changes after open-heart surgery*. Intensive Care Med, 1991. **17**(6): p. 365-9.
12. Hedenstierna, G., *Gas exchange during anaesthesia*. Br J Anaesth, 1990. **64**(4): p. 507-14.
13. Jonmarker, C., L. Nordstrom, and O. Werner, *Changes in functional residual capacity during cardiac surgery*. Br J Anaesth, 1986. **58**(4): p. 428-32.
14. Valta, P., et al., *Effects of PEEP on respiratory mechanics after open heart surgery*. Chest, 1992. **102**(1): p. 227-33.
15. Hachenberg, T., et al., *Gas exchange impairment and pulmonary densities after cardiac surgery*. Acta Anaesthesiol Scand, 1992. **36**(8): p. 800-5.
16. Asimakopoulos, G., et al., *Lung injury and acute respiratory distress syndrome after cardiopulmonary bypass*. Ann Thorac Surg, 1999. **68**(3): p. 1107-15.
17. Pennock, J.L., W.S. Pierce, and J.A. Waldhausen, *The management of the lungs during cardiopulmonary bypass*. Surg Gynecol Obstet, 1977. **145**(6): p. 917-27.
18. Slinger, P. and B. Kilpatrick, *Perioperative lung protection strategies in cardiothoracic anesthesia: are they useful?* Anesthesiol Clin, 2012. **30**(4): p. 607-28.
19. Ashbaugh, D.G., et al., *Acute respiratory distress in adults*. Lancet, 1967. **2**(7511): p. 319-23.
20. Villar, J., *The use of positive end-expiratory pressure in the management of the acute respiratory distress syndrome*. Minerva Anesthesiol, 2005. **71**(6): p. 265-72.
21. Gilbert, J., et al., *Intermittent-flow expiratory ventilation (IFEV): delivery technique and principles of action--a preliminary communication*. Biomed Instrum Technol, 1991. **25**(6): p. 451-6.
22. Verbrugge, S.J., et al., *Surfactant impairment after mechanical ventilation with large alveolar surface area changes and effects of positive end-expiratory pressure*. Br J Anaesth, 1998. **80**(3): p. 360-4.
23. Wyszogrodski, I., et al., *Surfactant inactivation by hyperventilation: conservation by end-expiratory pressure*. J Appl Physiol, 1975. **38**(3): p. 461-6.

24. Houmes, R.J., J.A. Bos, and B. Lachmann, *Effect of different ventilator settings on lung mechanics: with special reference to the surfactant system*. Appl Cardiopulm Pathophysiol, 1992. **5**(2): p. 117-27.
25. Nieszkowska, A., et al., *Incidence and regional distribution of lung overinflation during mechanical ventilation with positive end-expiratory pressure*. Crit Care Med, 2004. **32**(7): p. 1496-503.
26. Gattinoni, L., et al., *Positive end-expiratory pressure*. Curr Opin Crit Care, 2010. **16**(1): p. 39-44.
27. Brower, R.G., et al., *Higher versus lower positive end-expiratory pressures in patients with the acute respiratory distress syndrome*. N Engl J Med, 2004. **351**(4): p. 327-36.
28. Meade, M.O., et al., *Ventilation strategy using low tidal volumes, recruitment maneuvers, and high positive end-expiratory pressure for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial*. JAMA, 2008. **299**(6): p. 637-45.
29. Mercat, A., et al., *Positive end-expiratory pressure setting in adults with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial*. JAMA, 2008. **299**(6): p. 646-55.
30. Briel, M., et al., *Higher vs lower positive end-expiratory pressure in patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: systematic review and meta-analysis*. JAMA, 2010. **303**(9): p. 865-73.
31. Maggiore, S.M., et al., *Alveolar derecruitment at decremental positive end-expiratory pressure levels in acute lung injury: comparison with the lower inflection point, oxygenation, and compliance*. Am J Respir Crit Care Med, 2001. **164**(5): p. 795-801.
32. Cournand, A., H.L. Motley, and et al., *Physiological studies of the effects of intermittent positive pressure breathing on cardiac output in man*. Am J Physiol, 1948. **152**(1): p. 162-74.
33. Biondi, J.W., et al., *The effect of incremental positive end-expiratory pressure on right ventricular hemodynamics and ejection fraction*. Anesth Analg, 1988. **67**(2): p. 144-51.
34. Pinsky, M.R., *The hemodynamic consequences of mechanical ventilation: an evolving story*. Intensive Care Med, 1997. **23**(5): p. 493-503.
35. Whittenberger, J.L., et al., *Influence of state of inflation of the lung on pulmonary vascular resistance*. J Appl Physiol, 1960. **15**: p. 878-82.
36. West, J.B., C.T. Dollery, and A. Naimark, *Distribution of Blood Flow in Isolated Lung; Relation to Vascular and Alveolar Pressures*. J Appl Physiol, 1964. **19**: p. 713-24.
37. Burton, A.C. and D.J. Patel, *Effect on pulmonary vascular resistance of inflation of the rabbit lungs*. J Appl Physiol, 1958. **12**(2): p. 239-46.
38. Luecke, T., et al., *Assessment of cardiac preload and left ventricular function under increasing levels of positive end-expiratory pressure*. Intensive Care Med, 2004. **30**(1): p. 119-26.
39. Cheatham, M.L., et al., *Right ventricular end-diastolic volume index as a predictor of preload status in patients on positive end-expiratory pressure*. Crit Care Med, 1998. **26**(11): p. 1801-6.
40. Fellahi, J.L., et al., *Does positive end-expiratory pressure ventilation improve left ventricular function? A comparative study by transesophageal echocardiography in cardiac and noncardiac patients*. Chest, 1998. **114**(2): p. 556-62.
41. Hoit, B.D., *Strain and strain rate echocardiography and coronary artery disease*. Circ Cardiovasc Imaging, 2011. **4**(2): p. 179-90.
42. Bergquist, B.D., W.H. Bellows, and J.M. Leung, *Transesophageal echocardiography in myocardial revascularization: II. Influence on intraoperative decision making*. Anesth Analg, 1996. **82**(6): p. 1139-45.
43. Savage, R.M., et al., *Intraoperative echocardiography is indicated in high-risk coronary artery bypass grafting*. Ann Thorac Surg, 1997. **64**(2): p. 368-73; discussion 373-4.
44. Qaddoura, F.E., et al., *Role of intraoperative transesophageal echocardiography in patients having coronary artery bypass graft surgery*. Ann Thorac Surg, 2004. **78**(5): p. 1586-90.

45. Reichert, C.L., et al., *Transesophageal echocardiography in hypotensive patients after cardiac operations. Comparison with hemodynamic parameters.* J Thorac Cardiovasc Surg, 1992. **104**(2): p. 321-6.
46. Tousignant, C., et al., *Speckle tracking for the intraoperative assessment of right ventricular function: a feasibility study.* J Cardiothorac Vasc Anesth, 2010. **24**(2): p. 275-9.
47. Armstrong WF, R.T., , in *Feigenbaum's Echocardiography*, 2005. p. 47.
48. Sade, L.E., *[Echocardiographic longitudinal, radial, circumferential and rotational synchronization disturbance in predicting response to cardiac resynchronization therapy]*. Anadolu Kardiyol Derg, 2010. **10**(1): p. 81-7.
49. Mondillo, S., et al., *Speckle-tracking echocardiography: a new technique for assessing myocardial function.* J Ultrasound Med, 2011. **30**(1): p. 71-83.
50. Brown, J., C. Jenkins, and T.H. Marwick, *Use of myocardial strain to assess global left ventricular function: a comparison with cardiac magnetic resonance and 3-dimensional echocardiography.* Am Heart J, 2009. **157**(1): p. 102 e1-5.
51. Choi, J.O., et al., *Effect of preload on left ventricular longitudinal strain by 2D speckle tracking.* Echocardiography, 2008. **25**(8): p. 873-9.
52. Edvardsen, T., T. Helle-Valle, and O.A. Smiseth, *Systolic dysfunction in heart failure with normal ejection fraction: speckle-tracking echocardiography.* Prog Cardiovasc Dis, 2006. **49**(3): p. 207-14.
53. Roshanali, F., et al., *Decreased right ventricular function after coronary artery bypass grafting.* Tex Heart Inst J, 2008. **35**(3): p. 250-5.
54. Kilpatrick, B. and P. Slinger, *Lung protective strategies in anaesthesia.* Br J Anaesth, 2010. **105** Suppl 1: p. i108-16.
55. Apostolakis, E., et al., *Lung dysfunction following cardiopulmonary bypass.* J Card Surg, 2010. **25**(1): p. 47-55.
56. Dreyfuss, D. and G. Saumon, *Ventilator-induced lung injury: lessons from experimental studies.* Am J Respir Crit Care Med, 1998. **157**(1): p. 294-323.
57. Schreiber, J.U., et al., *The effect of different lung-protective strategies in patients during cardiopulmonary bypass: a meta-analysis and semiquantitative review of randomized trials.* J Cardiothorac Vasc Anesth, 2012. **26**(3): p. 448-54.
58. Shapira, N., et al., *Determinants of pulmonary function in patients undergoing coronary bypass operations.* Ann Thorac Surg, 1990. **50**(2): p. 268-73.
59. Albert, R.K., *Least PEEP: primum non nocere.* Chest, 1985. **87**(1): p. 2-4.
60. Gernoth, C., et al., *Respiratory and haemodynamic changes during decremental open lung positive end-expiratory pressure titration in patients with acute respiratory distress syndrome.* Crit Care, 2009. **13**(2): p. R59.
61. Michalopoulos, A., et al., *Effects of positive end-expiratory pressure (PEEP) in cardiac surgery patients.* Respir Med, 1998. **92**(6): p. 858-62.
62. Ranieri, V.M., et al., *Effects of positive end-expiratory pressure on alveolar recruitment and gas exchange in patients with the adult respiratory distress syndrome.* Am Rev Respir Dis, 1991. **144**(3 Pt 1): p. 544-51.
63. Fougères, E., et al., *Hemodynamic impact of a positive end-expiratory pressure setting in acute respiratory distress syndrome: importance of the volume status.* Crit Care Med, 2010. **38**(3): p. 802-7.
64. Pinsky, M.R., J.M. Desmet, and J.L. Vincent, *Effect of positive end-expiratory pressure on right ventricular function in humans.* Am Rev Respir Dis, 1992. **146**(3): p. 681-7.
65. Franchi, F., et al., *Influence of positive end-expiratory pressure on myocardial strain assessed by speckle tracking echocardiography in mechanically ventilated patients.* Biomed Res Int, 2013. **2013**: p. 918548.

66. Alam, M., et al., *Right ventricular function before and after an uncomplicated coronary artery bypass graft as assessed by pulsed wave Doppler tissue imaging of the tricuspid annulus*. Am Heart J, 2003. **146**(3): p. 520-6.
67. Brookes, C.I., et al., *Validation of a new intraoperative technique to evaluate load-independent indices of right ventricular performance in patients undergoing cardiac operations*. J Thorac Cardiovasc Surg, 1998. **116**(3): p. 468-76.
68. Jardin, F. and A. Vieillard-Baron, *Right ventricular function and positive pressure ventilation in clinical practice: from hemodynamic subsets to respirator settings*. Intensive Care Med, 2003. **29**(9): p. 1426-34.
69. Balanos, G.M., et al., *Human pulmonary vascular response to 4 h of hypercapnia and hypocapnia measured using Doppler echocardiography*. J Appl Physiol (1985), 2003. **94**(4): p. 1543-51.
70. Bindslev, L., et al., *Hypoxic pulmonary vasoconstriction in the human lung: effect of repeated hypoxic challenges during anesthesia*. Anesthesiology, 1985. **62**(5): p. 621-5.
71. Lahm, T., et al., *Medical and surgical treatment of acute right ventricular failure*. J Am Coll Cardiol, 2010. **56**(18): p. 1435-46.
72. Au, S.M. and A. Vieillard-Baron, *Bedside echocardiography in critically ill patients: a true hemodynamic monitoring tool*. J Clin Monit Comput, 2012. **26**(5): p. 355-60.
73. Brochard, L., et al., *Clinical review: Respiratory monitoring in the ICU - a consensus of 16*. Crit Care, 2012. **16**(2): p. 219.
74. Schmitt, J.M., et al., *Positive end-expiratory pressure titration in acute respiratory distress syndrome patients: impact on right ventricular outflow impedance evaluated by pulmonary artery Doppler flow velocity measurements*. Crit Care Med, 2001. **29**(6): p. 1154-8.
75. Vignon, P., *Hemodynamic assessment of critically ill patients using echocardiography Doppler*. Curr Opin Crit Care, 2005. **11**(3): p. 227-34.
76. Feltracco, P., et al., *Limits and pitfalls of haemodynamic monitoring systems in liver transplantation surgery*. Minerva Anesthesiol, 2012. **78**(12): p. 1372-84.
77. Anavekar, N.S., et al., *Two-dimensional assessment of right ventricular function: an echocardiographic-MRI correlative study*. Echocardiography, 2007. **24**(5): p. 452-6.
78. Nass, N., et al., *Recovery of regional right ventricular function after thrombolysis for pulmonary embolism*. Am J Cardiol, 1999. **83**(5): p. 804-6, A10.
79. Anavekar, N.S., et al., *Usefulness of right ventricular fractional area change to predict death, heart failure, and stroke following myocardial infarction (from the VALIANT ECHO Study)*. Am J Cardiol, 2008. **101**(5): p. 607-12.
80. La Gerche, A., R. Jurcut, and J.U. Voigt, *Right ventricular function by strain echocardiography*. Curr Opin Cardiol, 2010. **25**(5): p. 430-6.
81. Motoji, Y., et al., *Efficacy of right ventricular free-wall longitudinal speckle-tracking strain for predicting long-term outcome in patients with pulmonary hypertension*. Circ J, 2013. **77**(3): p. 756-63.
82. Grant, A.D., et al., *Independent and incremental role of quantitative right ventricular evaluation for the prediction of right ventricular failure after left ventricular assist device implantation*. J Am Coll Cardiol, 2012. **60**(6): p. 521-8.
83. Choi, J.O., et al., *Longitudinal 2D strain at rest predicts the presence of left main and three vessel coronary artery disease in patients without regional wall motion abnormality*. Eur J Echocardiogr, 2009. **10**(5): p. 695-701.
84. Jardin, F., et al., *Combined thermodilution and two-dimensional echocardiographic evaluation of right ventricular function during respiratory support with PEEP*. Chest, 1991. **99**(1): p. 162-8.