

Opere Fallot Tetralojisi Hastalarında Kardiyak Manyetik Rezonans Görüntüleme ve Manyetik Rezonans Anjiyografi Bulguları

Cardiac Magnetic Resonance Imaging and Magnetic Resonance Angiography in Surgically Corrected Tetralogy of Fallot Patients

Hasan YİĞİT^a,
Elif ERGÜN^a,
Pınar Nercis KOŞAR^a

^aRadyoloji Kliniği,
Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi,
Ankara, TÜRKİYE

Received: 23.12.2018
Received in revised form: 23.01.2019
Accepted: 25.02.2019
Available online: 05.03.2019

Correspondence:
Hasan YİĞİT
Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi,
Radyoloji Kliniği, Ankara,
TÜRKİYE/TURKEY
hasan.yigit@sbu.edu.tr

ÖZET Amaç: Cerrahi olarak tam düzeltme uygulanmış fallot tetralojisi hastalarında kardiyak MRG ve MR anjiyografi bulgularının ortaya konmasıdır. **Gereç ve Yöntemler:** 1.5 Tesla MR sistemlerinde opere fallot tetralojisi tanısıyla kardiyak MRG ve MR anjiyografi incelemesi gerçekleştirilmiş hastalar görüntüleme arşivinden tarandı ve tanısal iş istasyonlarında değerlendirildi. **Bulgular:** Yaş aralığı 7 ile 50 yıl olan 82 hasta çalışmaya dâhil edildi. En sık görüntüleme bulguları pulmoner yetmezlik (%97,8), sağ ventrikül sistol ve diyastol sonu hacim artışı (sırasıyla %92,7 ve %89) ve trabekülasyon artışı (%91,5) idi. Sağ ventrikül çıkış yolunda akinezi/diskinezi hastaların %75,6'sında görülürken, %59,8'inde sağ ventrikül çıkış yolunda dilatasyon kaydedildi. Sağ aortik ark (%31,7), aberan sağ subklavyen arter (%4,9) ve uzamış transvers aortik ark (%1,2) gibi aortik anomalilerin yanı sıra santral venöz anomaliler de (%7,3) saptandı. Geç kontrastlı görüntüleme gerçekleştirilen hastalar (%40,2)'ın %51,5'inde sağ ventrikül çıkış yolunda fibröz lehine kontrastlanmalar ve %78,8'inde interventriküler septumda/sol ventrikül duvarlarında noniskemik özellikle kontrastlanmalar izlenmiştir. İnterventriküler septumda paradoks hareket, sağ kalp boşluklarında genişleme, triküspid kapakta yetmezlik, pulmoner stenoz, pulmoner arterlerde genişleme, sağ ventrikül sistolik disfonksiyonu, sol ventrikül hacim artışı diğer sık rastlanılan bulguları oluşturmaktadır. **Sonuç:** Opere fallot tetralojisi hastalarında en sık görülen MRG bulgusu pulmoner yetmezlik olup; MRG ile yetmezlik kantifikasyonu yapılmakta, ayrıca ventrikül fonksiyonları ortaya konarak geri dönüşsüz sağ kalp yetersizliği gelişmeden önce kapak replasmanına yönelik uygun zamanlama için değerli bir veri sağlanmaktadır. Bununla sınırlı olmayarak; kardiyak MRG ve MR anjiyografi, kardiyak morfoloji, fonksiyon, miyokardiyal canlılık ve vasküler anatomiyi ortaya koyarak bu hastalarda çok kapsamlı, multiparametrik değerlendirme olanağı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fallot tetralojisi; manyetik rezonans görüntüleme; manyetik rezonans anjiyografi

ABSTRACT Objective: To define the MRI and MR angiography findings in patients with total surgical correction of tetralogy of fallot (TOF). **Material and Methods:** Patients who underwent cardiac MRI and MR angiography due to surgically corrected TOF are retrieved from PACS (Picture Archiving and Communication System) and evaluated on diagnostic work stations. **Results:** 82 patients (age range: 7-50) were included. The most common imaging findings were pulmonary insufficiency (97.8%), increase in right ventricle end diastolic and end systolic volume (92.7% and 89% respectively) and right ventricle trabeculation (91.5%). Akinesia/dyskinesia of right ventricle outflow tract (RVOT) was seen in 75.6% while 59.8% had RVOT dilatation. In addition to aortic anomalies like right aortic arc (31.7%), aberrant right subclavian artery (4.9%) and elongated transverse aortic arc (1.2%) central venous anomalies (7.3%) were also observed. Among the patients in whom delayed enhancement was performed (40.2%), 51.5% had late enhancement in RVOT and 78.8% had non-ischemic type late enhancement in interventricular septum/left ventricle wall. Paradoxical motion of the interventricular septum, dilatation of right heart chambers, tricuspid insufficiency, pulmonary stenosis, dilatation of pulmonary arteries, systolic dysfunction of right ventricle, increase in left ventricular volume were other common findings. **Conclusion:** The most common cardiac MRI finding in surgically corrected fallot tetralogy is pulmonary insufficiency which can be correctly detected and quantified by MRI. In addition, determining the functional status of right ventricle helps optimal timing of surgery before irreversible right ventricular insufficiency occurs. MRI and MR angiography provides multiparametric evaluation including morphological and functional analysis, myocardial viability, vascular anatomy.

Keywords: Tetralogy of fallot; magnetic resonance imaging; magnetic resonance angiography

Cerrahi tekniklerdeki gelişmeler, günümüzde doğumsal kalp hastalıklarına sahip pek çok hastanın yetişkin yaşlara erişmesini sağlamıştır. En sık doğumsal kalp hastalıklarından biri olan fallot tetralojisi [tetralogy of fallot (TOF)] hastalarında cerrahi sonrası dönemde hastaların yaklaşık %10'unda tekrar müdahaleyi gerektirecek komplikasyonlar gelişmektedir.¹ Sağ ventrikül fonksiyonlarında progresif kayıp, egzersiz kapasitesinde bozulma ve öldürücü aritmi gibi risklerin engellenmesinde bu komplikasyonların erken dönemde tanınması ve tedavi edilmesi büyük önem taşımaktadır. Kardiyak manyetik rezonans görüntüleme (MRG); kompleks doğumsal kalp hastalıklarının takibinde, detaylı anatomik ve fonksiyonel değerlendirme olanağı sağlayan, iyonizan radyasyonun ve iyotlu kontrast maddelerin kullanılmadığı noninvaziv bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada, cerrahi olarak tam düzeltme uygulanmış TOF tanısıyla kardiyak MRG ve MR anjiyografi incelemesi gerçekleştirilmiş hastalarımızda saptanan bulguların ortaya konması amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

İnceleme retrospektif olarak planlanmıştır. Merkezimizde opere TOF tanısıyla kardiyak MRG ya da MR anjiyografi incelemesi gerçekleştirilen hastalar görüntüleme arşivinden taranarak çalışmaya dâhil edilmiştir. Tüm hastalardan MRG incelemeleri öncesinde bilgilendirilmiş onam alınmıştır. İncelemenin gerçekleştirildiği merkezin Eğitim Planlama Kurulu bu retrospektif çalışma için Etik Kurulu Onayı gerekmediğine karar vermiştir.

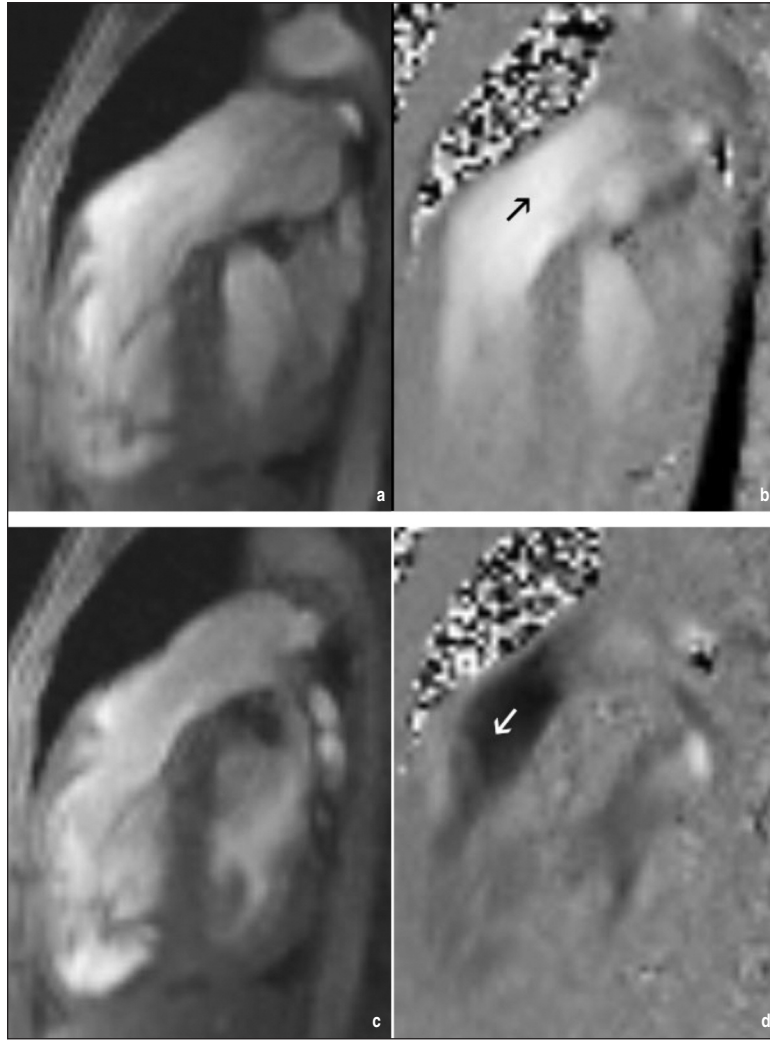
MRG incelemeleri; 1.5 Tesla manyetik alan gücünde, 60 cm (Signa HDi, GE Healthcare, Milwaukee, WI, ABD) ya da 70 cm (Magnetom Aera, Siemens AG, Erlangen, Almanya) gantri açıklığına sahip MRG sistemlerinde gerçekleştirilmiştir. 60 cm gantri açıklığına sahip sistemde 8 kanallı, 70 cm gantri açıklığına sahip sistemde 18 kanallı faz dizilimli vücut yüzey sargıları kullanılmıştır. Görüntülerin büyük bölümü vektör kardiyografi kullanılarak kardiyak siklus ile senkronize ve nefes tutmalı olarak elde edilmiştir.

Kardiyak fonksiyonel ve morfolojik değerlendirme için temel olarak "balanced steady-state free precession (b-SSFP)" sekansı kullanılmıştır. İlk önce kardiyak ve vasküler anatominin genel olarak ortaya konabilmesi için supraaortik düzeyden başlayan ve tüm kalbi içine alan statik düz aksiyel kesitler alınmıştır. Tüm hastalarda bu amaca yönelik statik b-SSFP görüntüleri, bazı hastalarda ayrıca aynı düzlemde siyah kan HASTE (Half-Fourier Acquisition Single-shot Turbo spin Echo) görüntüleri elde edilmiştir. Ardından kalbin 2, 3 ve 4 oda uzun aks görüntüleri, ventrikül bazalinden apekse kadar ardışık kesitler hâlinde kısa aks görüntüleri, sağ ventrikül giriş yolu ve sağ ventrikül çıkış yolu [right ventricle outflow tract (RVOT)] görüntüleri, b-SSFP sine görüntüleri şeklinde elde edilmiştir.

Sine faz kontrast akım çalışmaları ile akım hızları ve debileri değerlendirilmiştir. Önce RVOT trasesindeki akım hızlarını ve siklus boyunca akım yönlerini değerlendirmek için bu düzlemde superior-inferior yönde akım kodlaması ile in-plane akım çalışması gerçekleştirilmiştir (Resim 1a-d). Kesitten geçen akımı değerlendirmeye ve debi hesaplamaya izin veren through-plane akım çalışmaları RVOT, pulmoner kapak düzlemi ve ana pulmoner arter ile bazı hastalarda aortik kapak düzlemi ve sinotübüler bileşke düzeylerinden, akım yönlerine dik düzlemlerde gerçekleştirilmiştir (Resim 2a-d).

Hastaların bir bölümünde büyük damarlara yönelik kontrastlı MR anjiyografi, yüksek zamansal çözünürlüklü (4 boyutlu) teknikle gerçekleştirilmiştir (TRICKS: time-resolved imaging of contrast kinetics/TWIST: time-resolved angiography with interleaved stochastic trajectories). İntravenöz gadolinyum tabanlı kontrast madde otomatik enjektör kullanılarak tek doz (0,1 mmol/kg) olarak 1,8 ml/sn hızda verilmiş ve ardından 20 mL serum fizyolojik gönderilmiştir. Yüksek zamanlı görüntüleri 10-19 zamansal faz olarak elde edilmiştir.

Hastaların bir bölümünde kontrast madde uygulanması sonrasında, RVOT'den ve kısa aks düzlemde ventriküller boyunca geç kontrastlı görüntüleri elde edilmiştir. İntravenöz gadolinyum tabanlı kontrast madde 0,15 mmol/kg dozda veril-



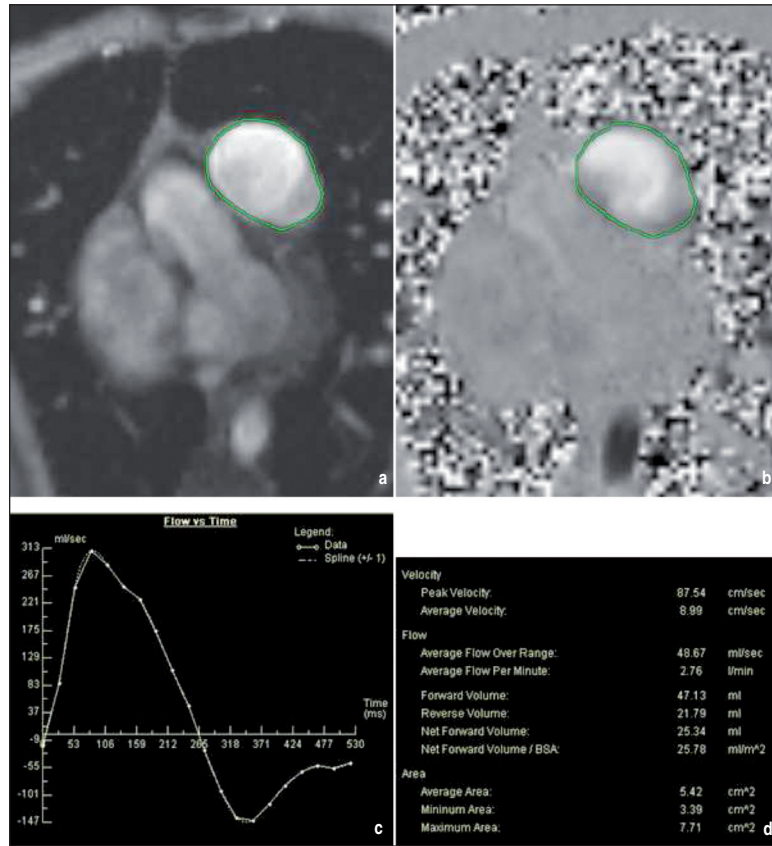
RESİM 1: Sağ ventrikül çıkış yolundan in-plane düzlemde, süperior-inferior yönde akım kodlaması ile elde edilmiş faz kontrast akım çalışmasının magnitud (a, c) ve faz (b, d) görüntüleri. Sistolde (a, b) ileri yönlü akım faz görüntüsünde beyaz renkle kodlanırken (siyah ok), diyastolde (c, d) regürjitan akım faz görüntüsünde siyah renkle kodlanıyor (beyaz ok).

dikten 10 dk sonra single-shot PSIR (Phase Sensitive Inversion Recovery) sekansı ile görüntüleme gerçekleştirilmiştir. Uygun TI (inversion time) zamanı seçim için TI scout yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen single-shot PSIR sekansının yetersiz kaldığı durumlarda, aynı sekansın yüksek çözünürlüklü versiyonu ile görüntüleme tekrar edilmiştir.

Kardiyak MRG ve MR anjiyografi incelemelerinde kullanılan sekansların görüntüleme parametreleri **Tablo 1**'de görülmektedir.

Görüntü analizi ayrı iş istasyonlarında gerçekleştirilmiştir (Advantage Windows, version 4.3 and version 4.4; GE Medical Systems/Leonardo Syngo

MR E11, Siemens Health Care Sector). Kardiyak ölçümler ve fonksiyonel değerlendirme için bir kardiyak analiz yazılımı kullanılmıştır (ReportCard 2.0; GE Medical Systems/Argus; Siemens Health Care Sector). Sol ventrikül anteroseptal ve posterolateral duvar kalınlıkları, diyastol ve sistol sonu çapları, sağ ventrikül majör ve minör aks uzunlukları, her iki ventrikül diyastol ve sistol sonu hacimleri ve atriyum çapları ölçülmüştür. Bu ölçümlere göre her iki ventrikül ejeksiyon fraksiyonları, diyastol ve sistol sonu hacim indeksleri, strok hacimleri ve strok hacim indeksleri, sol ventrikül fraksiyonel kısalması, kardiyak output ve kardiyak indeks, sağ ventrikül majör ve minör aks



RESİM 2: Pulmoner kapak düzeyinden “through-plane” faz kontrast akım çalışmasının magnitud (a) ve faz (b) görüntülerinde pulmoner arteri çevreleyecek şekilde yerleştirilen ROI ile yapılan analiz sonuçları grafik (c) ve kantitatif değerler (d) şeklinde görülmekte.

TABLO 1: Kardiyak manyetik rezonans görüntüleme ve manyetik rezonans anjiyografi görüntüleme parametreleri.

Sekans parametreleri	HASTE	b-SSFP	Faz kontrast akım	TRICKS ^A /TWIST ^B MRA	PSIR
TR/TE (msn)	702/26	3.7/1.6 ^A 35/1.1 ^B	7.3/4.3 ^A 41.8/3.0 ^B	2.9/1.2 ^A 2.7/1.0 ^B	533/1.1 ^C 700/1.2 ^D
FOV (cm ²)	22.8x28	35x35	32x23.3	37x37 ^A 34.5x46 ^B	35x35
Matris	136x256	200x256	192x128	288x180 ^A 320x240 ^B	124x192 ^C 144x256 ^D
Kesit kalınlığı/boşluk (mm)	6/1.5	8/0 ^A 7/1.4 ^B	8 ^A 6 ^B	4/-2 ^A 1.4/0 ^B	7/1.4 ^C 8/1.6 ^D
NEX	1	1	1	1	1
Flip açısı (°)	139	55 ^A 45 ^B	25 ^A 20 ^B	30 ^A 25 ^B	40 ^C 45 ^D
Faz sayısı	-	25	30 ^A 20 ^B	10 ^A 19 ^B	-

A: 60 cm gantri açıklığına sahip 1. MR sisteminde; B: 70 cm gantri açıklığına sahip 2. MR sisteminde; C: Single-shot PSIR sekansı; D: Yüksek çözünürlüklü PSIR sekansı.

HASTE: Half-Fourier Acquisition Single-shot Turbo spin Echo, b-SSFP: Balanced steady-state free precession, TRICKS: time-resolved imaging of contrast kinetics, TWIST: time-resolved angiography with interleaved stochastic trajectories, PSIR: Phase Sensitive Inversion Recovery, TR/TE: repetition time/echo time, FOV: Field of view, NEX: Number of excitations.

indeksleri hesaplanmıştır. Yukarıda belirtilen düzeylerden elde edilen akım çalışmalarında pik hızlar ölçülmüştür. Pulmoner yetmezliği olan hastalarda kapak düzeyinden regürjitasyon hacmi ve regürjitasyon fraksiyonu hesaplanmıştır. İntrakardiyak şantı olan hastalarda ana pulmoner arter proksimalinden ve aort proksimalinden gerçekleştirilen akım çalışması verileri kullanılarak Qp/Qs oranları hesaplanmıştır.

Kontrastlı MR anjiyografide her bir fazın projeksiyon görüntüleri incelenerek pulmoner arter ve aort için en uygun fazlar saptanmıştır. Ardından bu fazlara ait 3 boyutlu görüntü verisi, kaynak görüntülerin yanı sıra; subtrakte görüntüler, 2 boyutlu multiplanar rekonstrüksiyon (MPR) görüntüler ve 3 boyutlu maksimum intensite projeksiyon anjiyogramlar şeklinde değerlendirilmiştir (**Resim 3a,b**). Çap ölçümleri, damarın uzun aksına uygun oblik MPR görüntü çifti üzerinden planlanan, damar aksına tam dik olarak elde edilen görüntü üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çap ölçümleri dışında aortik ve venöz anomaliler yönünden değerlendirme yapılmıştır.

Geç kontrastlı görüntüleme gerek magnitud gerekse faz görüntülerde RVOT'de fibrözise ait olabilecek kontrastlanmalar araştırılmıştır. Ventriküller boyunca elde edilen görüntülerde de ventrikül duvarlarında olası patolojik kontrastlanmalar yönünden değerlendirme yapılmıştır.

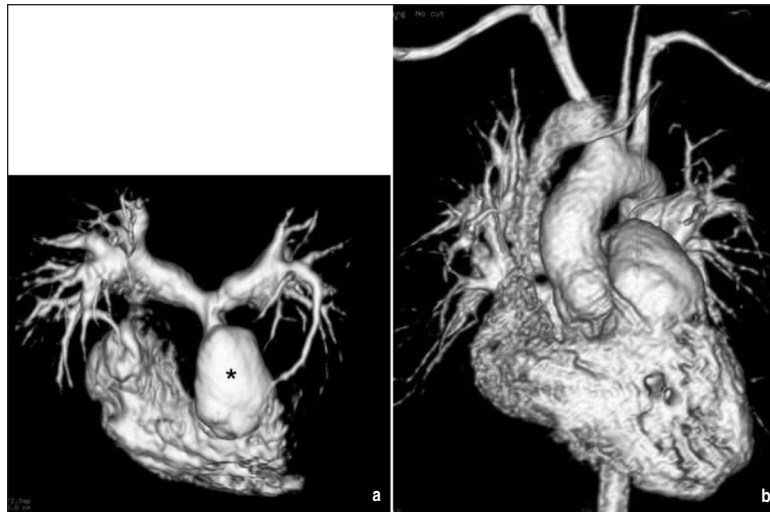
BULGULAR

Çalışmaya, yaş aralığı 7 ile 50 yıl olan 82 hasta dâhil edildi (Ortalama yaş $21 \pm 9,9$ yıl). Bu hastaların 46 (%56,1)'sı erkek, 36 (%43,9)'sı kadındı.

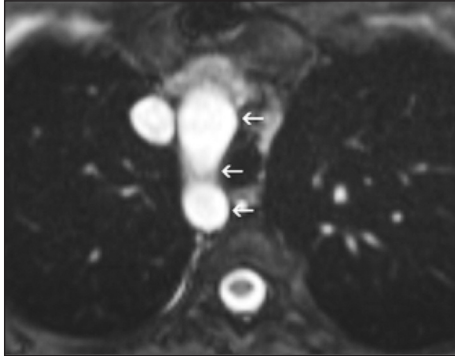
Bireylerin büyük bölümünde, hastaya ait kayıtlarda uygulanan cerrahi prosedüre ilişkin herhangi bir bilgi yer almamakta idi ve görüntüleme bulgularına bakılarak uygulanan cerrahi prosedür anlaşılmaya çalışıldı. Hastaların 62 (%75,6)'sinde RVOT'de yama, 3 (%3,7)'ünde sağ ventrikül ile pulmoner arter arasında kondüit olduğu MRG ile ortaya konabildi. MRG ile yama ya da kondüit varlığı net olarak ortaya konamayan, RVOT'de kas bütünlüğünün ve kontraktilesinin normal izlendiği 17 (%20,7) hasta, infundibulektomi uygulanmış olanlar olarak değerlendirildi.

Yüksek zamansal çözünürlüklü kontrastlı MR anjiyografi 42 (%51,2) hastada protokolde yer almakta idi. Anjiyografi gerçekleştirilmemiş hastalarda ana vasküler yapılar ve dalları b-SSFP/HASTE görüntülerde değerlendirildi.

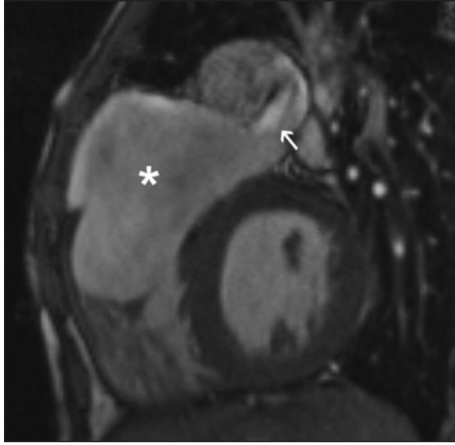
Sağ aortik ark anomalisi 26 (%31,7) hastada saptandı ve hepsi ayna hayali tipi (Tip I) sağ aortik ark idi (**Resim 4**). Dört (%4,9) hastada aberan sağ subklavyen arter mevcuttu. Bir hastada, Turner sendromlularda tanımlanmış bir aortik ark anomalisi olan uzamış transvers aortik ark görünümü izlendi.



RESİM 3: Yüksek zamansal çözünürlüklü MR anjiyografiye ait pulmoner arter fazı (a) ve aortik faz (b) üç boyutlu volüm rendering görüntüleri. Pulmoner arter fazında RVOT ve pulmoner trunkus proksimalinde anevrizmatik dilatasyon (asterisk) ve ana pulmoner arter distalinde stenoz izlenmekte. Pulmoner arter dallarında da genişlemeler mevcut.



RESİM 4: Düz aksiyel b-SSFP görüntülerde aortik ark (oklar) sağda izlenmekte.



RESİM 5: RVOT düzleminde b-SSFP görüntüde sağ ventrikül çıkış yolunda anevrizmatik dilatasyon (asterisk) ve pulmoner kapak düzeyinde stenoza işaret eden jet akım (ok) izlenmekte.

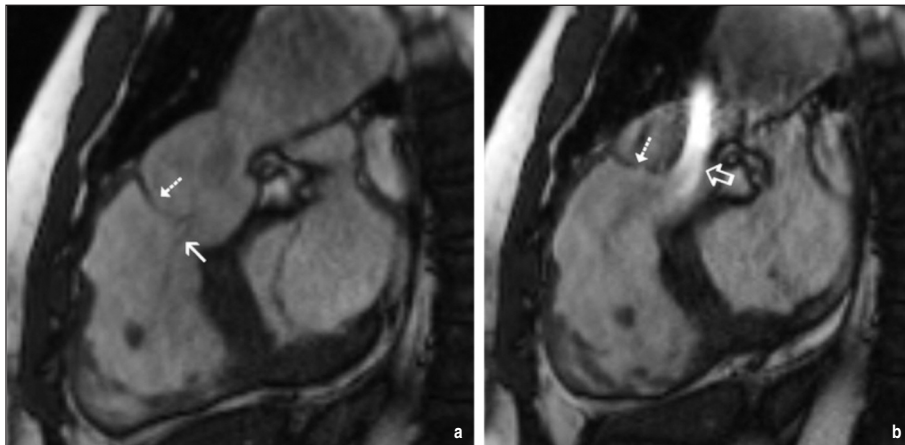
Hastaların 6 (%7,3)'sında santral venöz sistemle ilgili anomaliler saptandı. Üç hastada sol bra-

kiyosefalik vene ait doğumsal anomali kaydedildi; bunlardan birinde sol brakioyosefalik ven, brakioyosefalik arter ile sol ana karotis arter arasından anormal seyir göstermekte ve basiya uğramakta idi. İki hastada retroaortik seyirli sol brakioyosefalik ven mevcuttu. Üçünde persistan sol süperior vena kava kaydedildi. Hastalardan birinde parsiyel anormal pulmoner venöz dönüş anomalisi saptandı.

Hastaların %59,8'inde RVOT'de dilatasyon mevcuttu (**Resim 5**). Hastaların %75,6'sında RVOT'de akinezi/diskinezi kaydedildi. Ana pulmoner arterde genişleme %40,2 oranında, pulmoner arter dallarında genişleme %28 oranında görüldü.

Pulmoner kapak, hastaların %45,1'inde kısmen ya da tümüyle görüntülenebildi. Hastaların %20,7'sinde pulmoner kapağın olmadığı MRG ile açık bir şekilde ortaya konabilmesine karşılık, %34,1'inde pulmoner kapak varlığı/yokluğu konusunda yorum yapılamadı. Pulmoner kapak/trunkusta 34 (%41,5) hastada stenoz mevcuttu; bunların 32'si hafif, 2'si orta dereceli stenoz idi (**Resim 6**). Hastaların %36,6'sında pulmoner arter dallarında stenoz saptandı. Seksen iki hastanın 80 (%97,8)'inde pulmoner yetmezlik vardı. Pulmoner yetmezlik olan hastaların %17,5'i hafif, %33,8'i orta, %48,8'i ağır pulmoner yetmezlikti.

Sağ ventrikülde boyut artışı 60 (%73,2) hastada saptandı. Sağ ventrikül diyastol sonu hacminin 73 (%89) hastada artmış olduğu görüldü ve hastaların



RESİM 6: RVOT düzleminde b-SSFP görüntülerde pulmoner kapak yapısı ayırt edilebiliyor (çizgili oklar). Diyastolde (a) regürjitan akım (düz ok), sistolde (b) sınırlı kapak hareketine bağlı stenoza işaret eden jet akım (açık ok) izlenmekte.

25 (%30,5)'inde sağ ventrikül fonksiyonlarının düzelmesi açısından kötü prognostik kriter olan 170 mL/m^2 'nin üzerinde idi. Sistol sonu hacmi 76 mL/m^2 hastada artmıştı ve 25 (%30,5)'inde sağ ventrikül fonksiyonlarının düzelmesi açısından kötü prognostik kriter olan 85 mL/m^2 'nin üzerinde idi. Sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu 48 (%58,5) hastada normal sınırlarda iken, 34 (%41,5)'ünde normalden düşük hesaplandı. Altı (%7,3) hastada sağ ventrikül serbest duvarda hipokinezi saptandı. İnterventriküler septumda düzleşme ya da siklusun bir bölümünde paradoks hareket 49 (%59,8)'unda görüldü. Hastaların %48,8'inde sağ ventrikülde duvar kalınlaşması, %91,5'inde trabekülasyon artışı, %53,7'sinde triküspid yetmezliği, %51,2'sinde sağ atriyum genişlemesi eşlik etmekte idi.

Rezidü ventriküler septal defekt (VSD) 11 (%13,4) hastada ortaya kondu. Birinde ostiyum sekundum tip atriyel septal defekt, 1 hastada da patent foramen ovale izlendi. Bu hastalarda Qp/Qs oranı 1-2,6 arasında değişmekte idi (ortalama $1,35 \pm 0,5$). İki hastada Qp/Qs oranı 1,5'in üzerinde bulundu.

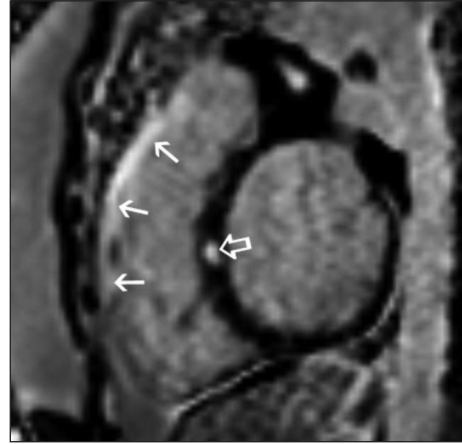
Hastaların 17 (%20,7)'sinde sol ventrikül genişlemesi eşlik etmekte idi. Sol ventrikül diyastol sonu hacmi hastaların %31,7'sinde, sistol sonu hacmi %29,3'ünde normal sınırların üzerinde bulundu. Sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonu 3 hastada normalden düşük, diğerlerinde normal sınırlarda saptandı. Sine görüntülerde 6 (%7,3)'sında mitral yetmezliği, 17 (%20,7)'sinde aort yetmezliği lehine regürjitan akımlar kaydedildi.

Otuz üç (%40,2)'ünde geç kontrastlı görüntülere protokole yer verilmiştir. Bu hastaların %51,5'inde RVOT'de fibrözis lehine kontrastlanma kaydedildi (Resim 7). Bu hastaların %78,8'inde sol ventrikül duvarlarında, özellikle interventriküler septumda, noniskemik tarzda fibrözis lehine kontrastlanmalar mevcuttu (Resim 8).

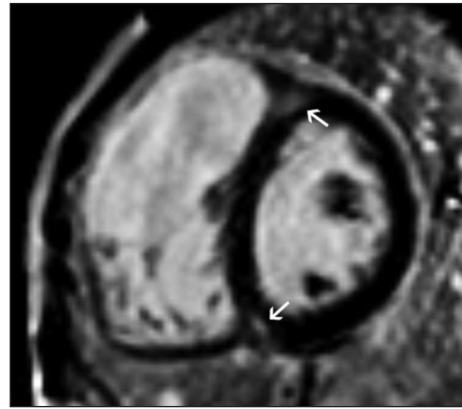
Çalışma grubumuzda saptanan patolojiler sıklık sırasına göre Tablo 2'de görülmektedir.

TARTIŞMA

Fallot hastalarında cerrahi düzeltme VSD'nin bir yama ile kapatılmasını ve RVOT'nin genişletilme-



RESİM 7: RVOT düzeyinde elde edilen geç kontrastlı görüntüde sağ ventrikül çıkışı yolu anteriorunda fibrözis lehine kontrastlanma izlenmekte (düz oklar). Ayrıca interventriküler septumda fokal fibrözis lehine kontrastlanma mevcut (açık ok).



RESİM 8: Kısa aks düzleminde elde edilen geç kontrastlı görüntüde sağ-sol ventrikül birleşim noktalarında sağ ventrikül volüm yükü artışına sekonder kontrastlanmalar izlenmekte (düz oklar).

sini içermektedir. RVOT'nin genişletilmesi kas rezeksiyonuna dayanan infundibulektominin yanı sıra transanüler yama ile genişletme ya da sağ ventrikül ile pulmoner arter arasına kondüit yerleştirme şeklinde yapılabilmektedir.¹ Hastalarımızın büyük bölümünde, hastaya ait kayıtlarda uygulanan cerrahi prosedüre ilişkin herhangi bir bilgi yer almadığından, uygulanan cerrahi prosedür görüntüleme bulgularıyla anlaşılmaya çalışılmıştır. RVOT'nin anteriorda duvarda kas yapısının izlenmemesi, dışı kabarıklık, akinezi ya da diskinezi MRG'de yama lehine bulgular olup, bu hastalarda geç kontrastlı görüntülerde fibrözis lehine kontrastlanmalar da daha sıktır.² Bu bulgularla hastalarımızın büyük bölümünün RVOT'sinin yama ile

TABLO 2: Sıklık sırasına göre görüntüleme bulguları.

Bulgular	Oran (%)
Pulmoner yetmezlik	80/82 (%97,8)
Sağ ventrikül sistol sonu hacim artışı	76/82 (%92,7)
Sağ ventrikülde trabekülasyon artışı	75/82 (%91,5)
Sağ ventrikül diyastol sonu hacim artışı	73/82 (%89)
İnterventriküler septumda/sol ventrikülde kontrastlanmalar	26/33 (%78,8)
Sağ ventrikül çıkış yolunda akinezi/diskinezi	62/82 (%75,6)
Sağ ventrikül genişlemesi	60/82 (%73,2)
Sağ ventrikül çıkış yolunda genişleme	49/82 (%59,8)
İnterventriküler septumda düzleşme/paradoks hareket	49/82 (%59,8)
Triküspid kapakta yetmezlik	44/82 (%53,7)
Sağ ventrikül çıkış yolunda kontrastlanma	17/33 (%51,5)
Sağ atriyumda genişleme	42/82 (%51,2)
Sağ ventrikül duvar kalınlaşması	40/82 (%48,8)
Pulmoner kapak/trunkusta stenoz	34/82 (%41,5)
Sağ ventrikül düşük EF	34/82 (%41,5)
Ana pulmoner arter genişlemesi	33/82 (%40,2)
Pulmoner arter dallarında stenoz	30/82 (%36,6)
Sağ aortik ark	26/82 (%31,7)
Sol ventrikül diyastol sonu hacim artışı	26/82 (%31,7)
Sol ventrikül sistol sonu hacim artışı	24/82 (%29,3)
Pulmoner arter dallarında genişleme	23/82 (%28,1)
Sol ventrikül genişlemesi	17/82 (%20,7)
Aortik kapakta yetmezlik	17/82 (%20,7)
Rezidü VSD	11/82 (%13,4)
Santral venöz sistem anomalileri	6/82 (%7,3)
Mitral kapakta yetmezlik	6/82 (%7,3)
Aberan sağ subklavyen arter	4/82 (%4,9)
Sol ventrikül düşük EF	3/82 (%3,7)
Parsiyel anormal pulmoner venöz bağlantı	1/82 (%1,2)
Uzamış transvers aortik ark	1/82 (%1,2)
ASD	1/82 (%1,2)
PFO	1/82 (%1,2)

EF: Ejeksiyon fraksiyonu, ASD: Atriyal septal defekt, VSD: Ventriküler septal defekt, PFO: Patent foramen ovale.

genişletilmiş hastalardan oluştuğu değerlendirilmiştir. Yalnızca üç hastada kondüit ortaya konabilmiş iken, geri kalan vakalar RVOT'de intakt miyokard ve normal kontraktilite nedeni ile infundibulektomi lehine değerlendirilmiştir.

Kardiyovasküler MRG ventrikül hacim ve fonksiyonlarının değerlendirilmesinde, yetmezlik kantifikasyonunda ve miyokardiyal canlılığın değerlendirilmesinde altın standart inceleme yöntemi olup, cerrahi olarak düzeltilmiş TOF hastalarının takibinde önemli bir yere sahiptir.³ Opere fallot hastalarında kardiyak MRG'nin en temel işlevi,

pulmoner yetmezliğin ve sağ ventrikül fonksiyonlarının kantitatif değerlendirilmesidir.⁴ Bu şekilde sağ ventrikül sistolik fonksiyonlarında geri dönüşüz bozulma oluşmadan önce kapak replasmanına karar vermede kılavuzluk yapmaktadır.² Opere TOF hastalarında pulmoner yetmezlik %80'in üzerinde yüksek oranlarda bildirilmekte olup, çalışma grubumuzda da iki olgu haricinde geri kalan tüm hastalarda değişik derecede pulmoner yetmezlik mevcuttu. Literatürde, sağ ventrikül diyastol ve sistol sonu hacim indeksleri için pulmoner kapak replasmanı sonrasında sağ ventrikül fonksiyonunda iyileşme beklentisinin düşük olduğu cutt-off değerlerini öneren çalışmalar mevcut olup, genellikle sırasıyla 150-170 mL/m² ve 80-85 mL/m² arasında değişmektedir.⁵⁻¹⁰ Çalışmamızda, sağ ventrikül diyastol ve sistol sonu hacimleri hastaların büyük çoğunluğunda artmıştır; diyastol sonu hacim için 170 mL/m²'yi, sistol sonu hacim için 85 mL/m²'yi cutt-off değerleri olarak dikkate aldığımızda, hastaların yaklaşık 1/3'ünde diyastol ve sistol sonu hacim indeksleri bu değerin üzerinde bulunmuştur. Sağ ventrikül sistolik disfonksiyonuna işaret eden düşük ejeksiyon fraksiyonu (EF) ise yaklaşık %42 oranında saptanmıştır.

Opere fallot hastalarında, sağ ventrikül dışında sol ventrikül fonksiyonlarında da bozulma görülebilmektedir.¹¹ Çalışma grubumuzda, sol ventrikülde diyastol ve sistol sonu hacim artışı %30 kadar hastada görülmüş olmakla birlikte, sol ventrikül EF yalnızca üç hastada normalden düşük saptanmıştır.

Çalışmamızda, her iki ventrikül hacim hesaplaması için ventrikülleri kateden ardışık sine görüntüler tüm hastalarda kısa aks düzleminde elde edilmiştir ve aynı görüntülerden hem sol hem de sağ ventrikül hacimleri hesaplanmıştır. İnceleme süresini uzatması, zaten uzun olan inceleme süresini hastaların kolay tolere edememesi nedenleri ile, sağ ventrikül hacim hesabı için ayrıca ardışık aksiyel sine görüntüler elde edilmemiştir. Bununla birlikte, zorunlu olmasa da sağ ventrikül hacim hesabı için aksiyel düzlemde elde edilen görüntüler idealdir.¹²

RVOT'de dilatasyon, akinezi ya da diskinezi özellikle yama uygulanmış hastalarda sık görülen

bulgular olup, çalışmamızda görülme sıklıkları literatüre göre genel olarak daha yüksektir.^{1,2,13} Bu sonucun çalışma grubumuzdaki hastaların büyük bölümünün RVOT'de yama uygulanmış olan hastalardan oluşmasına bağlı olduğunu düşünmekteyiz.

Rezidü pulmoner stenoz %10-15 kadar hastada bildirilmekle birlikte, çalışma grubumuzda bu oran %40'ın üzerinde bulunmuştur.² Bununla birlikte, orta dereceli stenoz (iki hasta) dışında hemen hepsi hafif pulmoner stenozdu ve ağır pulmoner stenoz çalışma grubumuza dâhil hastaların hiçbirinde izlenmemiştir.

Opere TOF hastalarında triküspid yetmezlik sık görülen bir bulgu olup, çoğunlukla hafif ya da orta derecelidir.¹⁴ Sağ ventrikül genişlemesi ve buna sekonder anüler genişlemeye bağlı olabileceği gibi, VSD kapatılması sırasında doku hasarına da bağlı olabilmektedir.¹ Hastalarımızın yarısından fazlasında sine sekanslarda triküspid regürjitan akım izlenmiş olmakla birlikte, çoğunda triküspid kapağı tümüyle kateden ardışık uzun aks görüntüler olmadığından, bazılarında hafif ya da ekzantrik triküspid regürjitan akımlar standart düzlemdeki görüntülerle saptanamamış olabilmektedir. Zaten uzun olan inceleme süresini artırıp hasta toleransını düşürmemek için çoğu hastada triküspid yetmezliğe yönelik ayrıntılı ek görüntüleme yapılmamıştır.

Pulmoner arter ve dallarının görüntülenmesinde gerek standart 3 boyutlu kontrastlı MR anjiyografi gerekse yüksek zamansal çözünürlüklü 4 boyutlu kontrastlı MR anjiyografi, iyonizan radyasyonun ve iyotlu kontrast maddenin kullanılmadığı önemli bir noninvaziv seçenektir. Yapılan çalışmalar, MR anjiyografi ile konvansiyonel anjiyografi arasında iyi bir korelasyon ortaya koymaktadır.¹⁵ İnceleme, yüksek zamansal çözünürlüklü anjiyografi yöntemi ile gerçekleştirildiğinde farklı fazlara ait üç boyutlu veri nedeni ile, pulmoner arter ve aort için en uygun fazların ayrı ayrı elde edilmesi, uzaysal çözünürlükten bir miktar feraget etme pahasına mümkün olmaktadır. Bununla birlikte, inceleme süresi bir nefes tutma süresinin üzerine çıkabilmekte, hastanın inceleme boyunca birkaç kez nefesini bırakıp tekrar nefes tutması gerekebilme, bu da görüntülerde başta damar kon-

turlarında bulanıklaşma olmak üzere solunuma bağlı artefaktlar ile sonuçlanmaktadır. Yine de en uygun fazları elde etme ve çok fazlı görüntüleme avantajı nedeni ile merkezimizde yüksek zamansal çözünürlüklü anjiyografi tercih edilmiştir. Ana vasküler yapılarla ilgili birçok anormal bulgu, anjiyografi verisi olmaksızın, konvansiyonel MRG ile ortaya konabilirse de özellikle periferik pulmoner arterlerin değerlendirilmesinde, ayrıca ana vasküler yapıların damarın seyrine en uygun oblik düzlemlerde gösterilmesinde anjiyografik yöntemler idealdir.

Çalışmamızda saptanan arteriyel ve venöz anomaliler ile görülme sıklıkları opere fallot hastaları için literatürde yer alan verilere benzerdir. Aortik ark anomalileri içerisinde sağ aortik ark fallot hastalarında oldukça sık görülmekte olup, literatürde bu hasta grubunda %18-33 oranında bildirilmektedir.¹⁶⁻¹⁸ Hastalarımızın da yaklaşık üçte birinde sağ aortik ark izlenmiştir. Genel olarak en sık görülen sağ aortik ark tipi aberan sol subklavyen arterin eşlik ettiği Tip II sağ aortik ark olmakla birlikte, TOF vb. konjenital kalp hastalıklarında en sık beklenen tipi ayna hayali tipi (Tip I) aortik arktır.^{19,20} Hastalarımızdaki sağ aortik arkların tümü ayna hayali tipi sağ aortik arktır. İlk olarak Turner sendromlu hastalarda tanımlanan, ancak daha sonra Turner sendromuna özgü olmadığı ortaya konan uzamış transvers ark görünümü ise bir hastada izlenmiştir.²¹

Geç kontrastlı görüntülemelerde, RVOT'de, özellikle yama uygulanmış hastalarda yama düzeyi-çevresinde fibrözis lehine kontrastlanmalar sıktır.²² Sağ ventrikülde volüm yükü artışına bağlı, her iki ventrikül birleşim noktalarında kontrastlanmalar ile özellikle interventriküler septumda olmak üzere sol ventrikül duvarlarında non-iskemik tarzda lineer fibrotik kontrastlanmalar da nadir olmayarak görülmektedir. Çalışma grubumuzda, çoğu sağ-sol ventrikül birleşim noktalarında ve interventriküler septumda olmak üzere, bu tarz kontrastlanmalar, RVOT kontrastlanmalarından daha sık görüntülenmiştir. Koroner arter sulama alanlarına uyan iskemik kontrastlanmalar daha nadir olup, çalışma grubumuzda hiçbir hastada enfarkta ait tipik kontrastlanma izlenmemiştir. Skar dokusu olarak

nitelendirilebilecek bu tür anormal kontrastlanmalar ventrikül disfonksiyonu ve artimi riski yönünden olumsuz bir göstergedir.²³

Çalışmamızın kısıtlılıklarının başında, nispeten sınırlı hasta sayısı belirtilebilirse de MRG ve MR anjiyografi uygulanmış hastalara ilişkin veriler literatürde genel olarak daha kısıtlıdır. Her hastada kontrastlı MR anjiyografi gerçekleştirilmemiş olduğundan, periferik pulmoner genişleme ve darlıklar gerçekte olduğundan daha düşük saptanmış olabilmektedir. İnceleme sürelerini makul sınırlarda tutmaya yönelik olarak pulmoner kapak dışındaki diğer kapakların genellikle standart düzlemlerde sine görüntülerde değerlendirilmiş olması ve bu kapaklara yönelik genellikle ek görüntüleme yapılmamış olması, bu kapaklardaki regürjitan akımların olduğundan daha düşük oranda saptanması ile sonuçlanmış olabilmektedir. Yine inceleme sürelerini makul sınırlarda tutmaya yönelik olarak, sağ ventrikül hacim hesabı için ek olarak düz aksiyel düzlemde ardışık sine görüntüleme yapılmamış olması, her iki ventrikül hacimlerinin standart kısa aks görüntülerden hesaplanmış olması sağ ventrikül hacim hesabı için ideal olmayan bir değerlendirme anlamına gelmektedir. Tüm hastalarda geç kontrastlı görüntüleme gerçekleştirilmemiş olması, skar yönünden değerlendirmenin daha küçük bir hasta grubunda yapılmasına neden olmuştur. Son olarak; cerrahi prosedür hakkında hasta kayıtlarında genellikle herhangi bir bilginin yer almaması, cerrahi prosedüre ilişkin verilerin görüntüleme bulgularına bakılarak tahmin edilmiş olması hatalı tahmin olasılığını da barındırmaktadır.

SONUÇ

Çalışmamız, cerrahi olarak tam düzeltme uygulanmış TOF hastalarında kardiyak MRG ve MR anji-

yografi bulgularını ortaya koymakta, bu bulguların görülme sıklıkları ile ilgili literatüre katkı sağlamaktadır. Bu hastalarda en sık görülen bulgu pulmoner yetmezlik olup; MRG ile yetmezlik kantifikasyonu yapılmakta, ayrıca ventrikül fonksiyonları ortaya konularak geri dönüşsüz sağ kalp yetmezliği gelişmeden önce kapak replasmanına yönelik uygun zamanlama için değerli bir veri sağlanmaktadır. Bununla sınırlı olmayarak; kardiyak MRG ve MR anjiyografi, kardiyak morfoloji, fonksiyon, miyokardiyal canlılık ve vasküler anatomiye ortaya koyarak bu hastalarda çok kapsamlı, multiparametrik değerlendirme olanağı sunmaktadır.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Hasan Yiğit, Elif Ergün, Pınar Nercis Koşar; **Tasarım:** Hasan Yiğit, Elif Ergün; **Denetleme/Danışmanlık:** Hasan Yiğit, Elif Ergün, Pınar Nercis Koşar; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Hasan Yiğit; **Analiz ve/veya Yorum:** Hasan Yiğit, Elif Ergün, Pınar Nercis Koşar; **Kaynak Taraması:** Hasan Yiğit; **Makalenin Yazımı:** Hasan Yiğit; **Eleştirel İnceleme:** Elif Ergün, Pınar Nercis Koşar; **Kaynaklar ve Fon Sağlama:** Pınar Nercis Koşar.

KAYNAKLAR

1. Ordovas KG, Muzzarelli S, Hope MD, Naeger DM, Karl T, Reddy GP, et al. Cardiovascular MR imaging after surgical correction of tetralogy of Fallot: approach based on understanding of surgical procedures. *Radiographics*. 2013;33(4):1037-52. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
2. Vaujois L, Gorincour G, Alison M, Déry J, Poirier N, Lapierre C. Imaging of postoperative tetralogy of Fallot repair. *Diagn Interv Imaging*. 2016;97(5):549-60. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
3. Villafañe J, Feinstein JA, Jenkins KJ, Vincent RN, Walsh EP, Dubin AM, et al. Hot topics in tetralogy of Fallot. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62(23):2155-66. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
4. Valente AM, Cook S, Festa P, Ko HH, Krishnamurthy R, Taylor AM, et al. Multimodality imaging guidelines for patients with repaired tetralogy of fallot: a report from the American Society of Echocardiography: developed in collaboration with the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance and the Society for Pediatric Radiology. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014;27(2):111-41. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
5. Oosterhof T, van Straten A, Vliegen HW, Meijboom FJ, van Dijk AP, Spijkerboer AM, et al. Preoperative thresholds for pulmonary valve replacement in patients with corrected tetralogy of Fallot using cardiovascular magnetic resonance. *Circulation*. 2007;116(5):545-51. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
6. Geva T. Indications and timing of pulmonary valve replacement after tetralogy of Fallot repair. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu*. 2006;11-22. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
7. Therrien J, Provost Y, Merchant N, Williams W, Colman J, Webb G. Optimal timing for pulmonary valve replacement in adults after tetralogy of Fallot repair. *Am J Cardiol*. 2005;95(6):779-82. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
8. Frigiola A, Giamberti A, Chessa M, Di Donato M, Abella R, Foresti S, et al. Right ventricular restoration during pulmonary valve implantation in adults with congenital heart disease. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2006;29 Suppl 1:S279-85. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
9. Tatewaki H, Shiose A. Pulmonary valve replacement after repaired Tetralogy of Fallot. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;66(9):509-15. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
10. Olejník P, Neuschl V, Bérecová Z, Glézlová A, Šimková J. Optimal timing for pulmonary valve replacement in asymptomatic patients after tetralogy of Fallot repair using cardiac magnetic resonance imaging. *Kardiol Pol*. 2018;76(8):1271-3. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
11. Ait Ali L, Trocchio G, Crepaz R, Stuefer J, Stagnaro N, Siciliano V, et al. Left ventricular dysfunction in repaired tetralogy of Fallot: incidence and impact on atrial arrhythmias at long term-follow up. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2016;32(9):1441-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
12. Schelhorn J, Neudorf U, Schemuth H, Nensa F, Nassenstein K, Schlosser TW. Volumetric measurements in patients with corrected tetralogy of Fallot: comparison of short-axis versus axial cardiac MRI and echocardiography. *Acta Radiol*. 2015;56(11):1315-22. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
13. Schvlouros PA, Kilner PJ, Hornung TS, Li W, Francis JM, Moon JC, et al. Right ventricular function in adults with repaired tetralogy of Fallot assessed with cardiovascular magnetic resonance imaging: detrimental role of right ventricular outflow aneurysms or akinesia and adverse right-to-left ventricular interaction. *J Am Coll Cardiol*. 2002;40(11):2044-52. [[Crossref](#)]
14. Woudstra OI, Bokma JP, Winter MM, Kiès P, Jongbloed MRM, Vliegen HW, et al. Clinical course of tricuspid regurgitation in repaired tetralogy of Fallot. *Int J Cardiol* 2017;243:191-3. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
15. Rao UV, Vanajakshamma V, Rajasekhar D, Lakshmi AY, Reddy RN. Magnetic resonance angiography vs. angiography in tetralogy of Fallot. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2013;21(4):418-25. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
16. Mirowitz SA, Gutierrez FR, Canter CE, Vannier MW. Tetralogy of Fallot: MR findings. *Radiology*. 1989;171(1):207-12. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
17. Piran S, Bassett AS, Grewal J, Swaby JA, Morel C, Oechslin EN, et al. Patterns of cardiac and extracardiac anomalies in adults with tetralogy of fallot. *Am Heart J*. 2011;161(1):131-7. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
18. Oswal N, Christov G, Sridharan S, Khambadkone S, Bull C, Sullivan I. Aberrant subclavian artery origin in tetralogy of Fallot with pulmonary stenosis is associated with chromosomal or genetic abnormality. *Cardiol Young*. 2014;24(3):478-84. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
19. Arazińska A, Polguj M, Szymczyk K, Kaczmarek M, Trębiński Ł, Stefańczyk L. Right aortic arch analysis-anatomical variant or serious vascular defect? *BMC Cardiovasc Disord*. 2017;17(1):102. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
20. Hanneman K, Newman B, Chan F. Congenital variants and anomalies of the aortic arch. *Radiographics*. 2017;37(1):32-51. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
21. Ece B, Yiğit H, Ergün E, Koşar PN. Elongated transverse aortic arch in subjects without turner syndrome: a preliminary computed tomography study. *Clin Anat*. 2018;31(6):887-90. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
22. Ylitalo P, Pitkänen OM, Lauerma K, Holmström M, Rahkonen O, Heikinheimo M, et al. Late gadolinium enhancement (LGE) progresses with right ventricle volume in children after repair of tetralogy of fallot. *Int J Cardiol Heart Vessel*. 2014;3:15-20. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
23. Babu-Narayan SV, Kilner PJ, Li W, Moon JC, Goktekin O, Davlouros PA, et al. Ventricular fibrosis suggested by cardiovascular magnetic resonance in adults with repaired tetralogy of fallot and its relationship to adverse markers of clinical outcome. *Circulation*. 2006;113(3):405-13. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]