

TESIS DOCTORAL

COMPLICACIONES TARDÍAS EN PACIENTES CON
COARTACIÓN DE AORTA TRATADA CON STENT:
SEGUIMIENTO A MUY LARGO PLAZO
LATE COMPLICATIONS AFTER AORTIC STENTING
FOR COARCTATION OF THE AORTA. VERY LONG
TERM FOLLOW UP



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Tesis doctoral presentada por Cristina Pericet Rodríguez, Graduada en Medicina, por la que opta al grado de Doctora en Medicina.

Director:

- Dr. Manuel Pan Álvarez-Ossorio

Tutor:

- Dr. Manuel Pan Álvarez-Ossorio

Programa de Doctorado de Biomedicina, Febrero 2024

TITULO: *Complicaciones tardías en pacientes con Coartación de aorta tratada con Stent: Seguimiento a largo plazo*

AUTOR: *Cristina Pericet Rodríguez*

© Edita: UCOPress. 2024
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
ucopress@uco.es



INFORME RAZONADO DE LAS/LOS DIRECTORAS/ES DE LA TESIS

Este documento se presentará junto con el depósito de la tesis en <https://moodle.uco.es/ctp3/>



DOCTORANDA/O

CRISTINA PERICET RODRIGUEZ

TÍTULO DE LA TESIS:

Complicaciones tardías en pacientes con coartación de aorta tratada con stent: seguimiento a muy largo plazo

INFORME RAZONADO DE LAS/LOS DIRECTORAS/ES DE LA TESIS

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma)

La tesis que presenta la doctoranda Dña. Cristina Pericet Rodríguez es fruto de un trabajo investigación que se ha distinguido por un rigor y seriedad sobresalientes.

Parte de los resultados obtenidos de este trabajo se han presentado en el congreso americano de cardiología intervencionista (Transcatheter Cardiovascular Therapeutics conference) y han sido publicados como artículo original en Revista Española de Cardiología (Cuartil 1). Cabe destacar la formación técnica y científica alcanzada por la doctoranda. El desarrollo de la tesis le ha permitido adquirir conocimientos teóricos y metodológicos que la capacitan para desarrollar nuevas hipótesis y participar activamente en la redacción y coordinación de nuevos artículos científicos y proyectos de investigación.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, a 30 de enero de 2024

Las/los directoras/es

PAN ALVAREZ

OSSORIO

MANUEL -

31594361C

Firmado digitalmente

por PAN ALVAREZ

OSSORIO MANUEL -

31594361C

Fecha: 2024.01.30

16:54:22 +01'00'

Fdo.:Manuel Pan Álvarez-Ossorio

RESUMEN

a) Introducción

La coartación de aorta (CoAo) supone una de las cardiopatías congénitas más frecuentes. Las complicaciones tras el tratamiento con Stent son raras pudiendo ocurrir inmediatamente y en el seguimiento temprano o tardío. Los objetivos del estudio fueron describir la incidencia de aneurisma aórtico y fractura de stent en pacientes con CoAo tratada de forma percutánea en el seguimiento a largo plazo valorada mediante TC con contraste de aorta y fluoroscopia, identificar factores clínicos, angiográficos y radiológicos que actuaran como predictores en el seguimiento de los pacientes, determinar la necesidad de reintervención y la mortalidad en el seguimiento.

b) Pacientes y métodos

Se realizó un estudio observacional, analítico y prospectivo incluyendo de forma secuencial los pacientes tratados de Coartación de aorta de manera percutánea en el periodo comprendido entre 1993 a 2018 en el Hospital Universitario Reina Sofía. Durante el seguimiento se les realizó al menos un estudio de imagen a nivel de aorta con TC, angiografía o cardioRMN para descartar o confirmar la presencia de daño de pared y una fluoroscopia para valorar la integridad del stent.

c) Resultados

Se incluyeron un total de 167 pacientes (72% varones) con una edad media en el momento del implante de 19 ± 15 años. La CoAo era nativa en 117 (70%), post angioplastia en 25 (15%) y post cirugía en 25 (15%). Tras un seguimiento medio de 206 ± 91 meses se observaron 21 aneurismas (13%), encontrando como únicos factores predictores en el análisis multivariante el uso del stent PALMAZ (OR = 3,09; IC95%, 1,11-9,49; p = 0,036) y la longitud del stent (OR = 0,94; IC95%, 0,89-0,99; p = 0,039). La incidencia de fracturas de Stent fue de 56 (34%) encontrando como factores predictores independientes de riesgo el sexo varón (OR = 4,00; IC95%, 1,51-12,50; p = 0,008), edad <12 años (OR = 3,57; IC95%, 1,54-8,33; p = 0,003) e inversamente con el uso de stent Palmaz (OR = 0,29; IC95%, 0,12-0,67; p = 0,005). La necesidad de reintervención fue del 44% de los cuales sólo en el 10% de los casos por necesidad de tratar un aneurisma aórtico y el resto por crecimiento somático del paciente. Nueve pacientes (5%) fallecieron durante el periodo de seguimiento sin que se pudiesen identificar factores predictores para dicho evento en este estudio.

d) Conclusiones

La incidencia de fracturas de stent y aneurismas en nuestra serie fue significativa, sin un peor pronóstico ni mayor desarrollo de otras complicaciones. Parece aconsejable una vigilancia periódica mediante pruebas de imagen.

ABSTRACT

a) Introduction

Coarctation of the aorta (CoAo) is one of the most common congenital heart diseases. Complications after Stent treatment are rare and can occur immediately and during early or late follow-up. The objectives of the study were to describe the incidence of aortic aneurysm and stent fracture in patients with CoAo treated percutaneously in long-term follow-up assessed by contrast-enhanced CT of the aorta and fluoroscopy, to identify clinical, angiographic and radiological factors that acted as predictors, determine the need for reintervention and mortality in the follow-up.

b) Patients and methods

An observational, analytical and prospective study was carried out sequentially including patients treated for coarctation of the aorta percutaneously in the period from 1993 to 2018 at the Reina Sofía University Hospital. During follow-up, they underwent at least one imaging study at the level of the aorta with CT, angiography or cardioMRI to rule out or confirm the presence of wall damage and fluoroscopy to assess the integrity of the stent.

c) Results

A total of 167 patients were included (72% men) with a mean age at the time of implantation of 19 ± 15 years. The CoAo was native in 117 (70%), post angioplasty in 25 (15%) and post-surgery in 25 (15%). After a mean follow-up of 206 ± 91 months, 21 aneurysms were observed (13%), finding the use of the PALMAZ stent (OR = 3.09; 95% CI, 1.11-9.49; $p = 0.036$) and stent length (OR = 0.94; 95% CI, 0.89-0.99; $p = 0.039$) as the only predictive factors in the multivariate analysis. The incidence of Stent fractures was 56 (34%) and the independent risk predictors were male sex (OR = 4.00; 95% CI, 1.51-12.50; $p = 0.008$), age <12 years. (OR = 3.57; 95% CI, 1.54-8.33; $p = 0.003$) and inversely with the use of the Palmaz stent (OR = 0.29; 95% CI, 0.12-0.67; $p = 0.005$). The need for reintervention was 44%, of which only 10% of the cases were due to the need to treat an aortic aneurysm and the rest due to somatic growth of the patient. Nine patients (5%) died during the follow-up period without predictive factors for this event being identified in this study.

d) Conclusions

The incidence of stent fractures and aneurysms in our series was significant, with no worse prognosis or greater development of other complications. Periodic surveillance using imaging tests seems advisable.

Tabla de contenido

RESUMEN	3
ABSTRACT	7
ABREVIATURAS	13
ÍNDICE DE FIGURAS.....	17
ÍNDICE DE TABLAS.....	23
INTRODUCCIÓN	27
1. COARTACIÓN DE AORTA.....	29
1.1. <i>Concepto y epidemiología.....</i>	29
1.2. <i>Etiopatogenia.....</i>	30
1.3 <i>Lesiones asociadas.....</i>	34
1.4 <i>Expresión clínica.....</i>	35
1.5. <i>Diagnóstico de la enfermedad.....</i>	37
1.6. <i>Tratamiento.....</i>	46
JUSTIFICACIÓN.....	57
OBJETIVOS.....	61
PACIENTES Y MÉTODOS.....	65
2. DISEÑO Y POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	67
2.1 <i>Criterios de inclusión.....</i>	67
2.2 <i>Criterios de exclusión.....</i>	67
3. VARIABLES ESTUDIADAS.....	68
3.1 <i>Definiciones.....</i>	69
4. PROCEDIMIENTO DE IMPLANTE DE STENT.....	70
5. SEGUIMIENTO Y PROTOCOLO DE EVALUACIÓN.....	71
6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	73
RESULTADOS.....	75
7. DATOS BASALES, ANGIOGRÁFICOS Y DE PROCEDIMIENTO.....	77
7.1. <i>Población general.....</i>	77
7.2. <i>Carácterística hemodinámicas y angiográficas basales.....</i>	78
7.3. <i>Carácterística de procedimiento.....</i>	79
8. DATOS EN EL SEGUIMIENTO.....	79
8.1 <i>Aneurismas aórticos.....</i>	81
8.2 <i>Fracturas del stent.....</i>	84

8.3 Migración tardía del stent	86
8.4 Necesidad de reintervención.....	87
8.5 Mortalidad en el seguimiento.....	90
DISCUSIÓN.....	93
9. ANEURISMA AÓRTICO TRAS EL IMPLANTE DE STENT EN PACIENTES CON CoAo	95
10. FRACTURAS DE STENT	99
11. REINTERVENCIÓN	103
12. LIMITACIONES Y FORTALEZAS DEL ESTUDIO.....	104
CONCLUSIONES.....	105
REFERENCIAS	109
PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS.....	119
16. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	121
17. COMUNICACIONES EN CONGRESOS	141

ABREVIATURAS

ABREVIATURA	DEFINICIÓN	ABREVIATURA	DEFINICIÓN
AA	Aorta Ascendente	IC 95%	Intervalo Confianza al 95%
ACCD	Arteria Carótida Común Derecha	IVC	Vena Cava Inferior
ACCI	Arteria Carótida Común Izquierda	MCTP 2	Multiple c2 domains, transmembrane 2
AD	Aurícula Derecha	NOTCH 1	Neurogenic Locus Notch Homolog Protein 1
AHA	American Heart Association	OAD	Oblicua Anterior Derecha
AI	Aurícula Izquierda	OAI	Oblicua Anterior Izquierda
AIS	Arteria Intersegmentaria	OR	Odds Ratio
Ao	Aorta	PTPN 11	Protein Tyrosin Phospatase Non-Receptor Type 11
AP	Arteria Pulmonar	RNM	Resonancia Nuclear Magnética
APD	Arteria Pulmonar Derecha	Rx	Radiografía
API	Arteria Pulmonar Izquierda	SA	Saco Aórtico
ASD	Arteria Subclavia Derecha	SC	Superficie Corporal
ASI	Arteria Subclavia Izquierda	SVC	Vena Cava Superior
AV	Auriculo Ventricular	TC	Tomografía Computarizada
CIA	Comunicación Interauricular	TGA	Transposición de Grandes Arterias
CIV	Comunicación Interventricular	TSVI	Tracto Salida Ventrículo Izquierdo
CoAo	Coartación de Aorta	VAB	Válvula Aórtica Bicúspide
CP	Cheatham-Platinum	VAo	Válvula Aórtica
DAD	Ductus Arterioso Derecho	VD	Ventrículo Derecho
DAI	Ductus Arterioso Izquierdo	VEGF	Factor De Crecimiento Del Endotelio Vascular
DE	Desviación Estándar	VI	Ventrículo Izquierdo
ECG	Electrocardiograma	VM	Válvula Mitral
FOXC1	Forkhead Box C1	VP	Válvula Pulmonar
HIF 1-2	Hipoxia Inducible Factor	VT	Válvula Tricúspide

ÍNDICE DE FIGURAS

- **Figura 1.** Clasificación anatómica de la CoAo **A.** Preductal; **B.** Yuxtaductal; **C.** Postductal.
- **Figura 2.** Representación anatómica de los IV pares aórticos que se forman entre el saco aórtico y las arterias dorsales.
- **Figura 3.** Representación anatómica del doble arco aórtico de Edwards rodeando la tráquea y el esófago. **AAO**, aorta ascendente; **DAO**, aorta descendente; **RC**: arteria carótida común derecha; **RS**, arteria subclavia derecha; **LC**, izquierda arteria carótida común; **LS**: arteria subclavia izquierda; **RDA**, conducto derecho arterioso; **LDA**, conducto arterioso izquierdo; **APR**: arteria pulmonar derecha; **LPA**, arteria pulmonar izquierda
- **Figura 4.** Representación anatómica de la circulación fetal. **(A).** **SVC**: Vena cava superior. **IVC**: Vena cava inferior. **PV**: Válvula pulmonar, **AV**: Válvula aórtica. **(B)** Coartación de la aorta en periodo fetal. **(C)** Caída de la resistencia pulmonar tras el nacimiento. **(D)** Acentuación del defecto y la obstrucción por la contracción tras el cambio de flujo.
- **Figura 5.** Representación anatómica de la Caída de la resistencia pulmonar tras el nacimiento **(A)** y Acentuación del defecto y la obstrucción por la contracción tras el cambio de flujo **(B).** **SVC**: Vena cava superior. **IVC**: Vena cava inferior. **AD**: Aurícula derecha; **VT**: Válvula tricúspide; **VD**: Ventrículo derecho; **VP**: Válvula pulmonar; **AP**: Arteria pulmonar; **AI**: Aurícula Izquierda; **VM**: Válvula mitral; **VI**: Ventrículo izquierdo, **VAo**: Válvula aórtica; **Ao**: Aorta ascendente; **DA**: Ductus arterioso.
- **Figura 6.** Índice Tobillo Brazo. **A:** Paciente sin CoAo. **B:** Paciente con CoAo posterior a la salida de la arteria subclavia. **C:** Paciente con CoAo previa a la salida de la arteria subclavia.
- **Figura 7.** Electrocardiograma que muestra hipertrofia ventricular izquierda, como altos voltajes en derivaciones precordiales izquierdas, descenso asimétrico del ST y ondas T negativas
- **Figura 8.** Radiografía de Tórax. Flechas señalan muescas costales por circulación colateral.
- **Figura 9.** Ecocardiograma transtorácico. **A:** Medición de la aorta ascendente. **B:** Medición aorta en el segmento preCoAo. **C:** Medición de aorta a nivel de segmento coartado. **D:** Gradiente Doppler continuo que muestra arrastre diastólico y gradiente pico de 37mmHg.
- **Figura 10.** Tomografía Axial Computarizada. **A:** Corte sagital que muestra anatomía de CoAo. **B:** Reconstrucción 3D del defecto.
- **Figura 11.** Cateterismo cardiaco. **A:** Angiografía a nivel aórtico. **B:** Presiones en Aorta ascendente (AO) y tras el segmento estenótico (P2).

- **Figura 12.** Resección con anastomosis término-terminal. **A:** Zona de interés quirúrgico. **B:** Resección de ductus arterioso y segmento coartado. **C:** Sutura continua circunferencial para unir extremos aórticos.
- **Figura 13.** Aortoplastia con parche. **A:** Zona de interés quirúrgico. **B:** apertura para ampliación de segmento coartado. **C:** Interposición de parche para ampliación de defecto.
- **Figura 14.** Aortoplastia con colgajo subclavio. **A:** Zona de interés quirúrgico. **B:** apertura para ampliación de segmento coartado que involucra la arteria subclavia izquierda. **C:** Cierre del defecto con el Flap subclavio como colgajo.
- **Figura 15.** Resección con anastomosis término-terminal extendida. **A:** Zona de interés quirúrgico. **B:** Resección de ductus arterioso y segmento coartado con ampliación longitudinal. **C:** Sutura continua para unir extremos aórticos.
- **Figura 16.** Aortoplastia con implante de injerto. **A:** Zona de interés quirúrgico. **B:** Resección de ductus arterioso y segmento coartado. **C:** Sutura continua para unir tubo protésico con extremos aórticos.
- **Figura 17.** Diferentes arquitecturas de stent. **A:** Celdilla cerrada. **B:** Celdilla abierta. **C:** Celdilla híbrida
- **Figura 18.** Proyecciones angiográficas para valorar la presencia de fracturas de stent. **A:** Fractura leve; **B:** Fractura moderada; **C:** Fractura severa. **PA:** Posteroanterior, **OAD:** Oblicua Anterior Derecha; **OAI:** Oblicua Anterior Izquierda. Las flechas rojas marcan los puntos visibles de fractura en cada proyección.
- **Figura 19.** TAC de seguimiento. **A:** Corte sagital. **B:** Reconstrucción 3D.
- **Figura 20.** Diagrama central de seguimiento. Incidencia de eventos muy tardíos y manejo en una cohorte de 167 pacientes con coartación aórtica tratados con implantación de stent. **CoA:** coartación aórtica; **SG ReCoAo:** recoartación al seguimiento por crecimiento somático
- **Figura 21.** Ejemplo de formación tardía de aneurisma evidenciado 15 años después de la implantación exitosa del stent. **A,** angiografía basal; **B,** resultado inmediato; **C,** TC 15 años después del implante del stent; **D,** angiografía en el momento del TC; **E,** exclusión del aneurisma tras la implantación de stents cubiertos. **TC:** Tomografía computarizada.
- **Figura 22.** Seguimiento seriado por TC de un paciente con un pequeño aneurisma. **A,** angiografía inicial; **B,** resultado inmediato después de la implantación del stent; **C,** TC a los 4 años; **D,** TC a los 6 años de implantación de stent. **TC:** tomografía computarizada

- **Figura 23.** Asociación entre reintervención y presencia de aneurisma y fracturas del stent en el seguimiento
- **Figura 24.** Dos ejemplos de fracturas de stent e integridad de la pared aórtica. **A y C**, fracturas del stent; **B y D**, TC realizada en el momento de la fluoroscopia. **TC**, tomografía computarizada.
- **Figura 25.** Ejemplo de formación tardía de aneurisma y migración de stent evidenciado 18 años de seguimiento. **A**, angiografía basal; **B y C**, resultado inmediato: aortografía OAI y PA, respectivamente; **D**, TC 18 años de seguimiento; **Angiografía E y F**, OAI y PA en el momento del TC; **G**, TC después de la reparación quirúrgica. **TC**, tomografía computarizada; **OAI**, oblicuo anterior izquierda; **PA**, vista posteroanterior
- **Figura 26.** Incidencia acumulada de reintervención estratificada en función de los grupos de edad. El valor p corresponde al análisis univariable.
- **Figura 27.** Incidencia acumulada de reintervención estratificada en función del sexo; El valor p corresponde al análisis univariable.
- **Figura 28.** Incidencia acumulada de reintervención estratificada en función de si la CoAo era nativa vs tratamiento previo; El valor p corresponde al análisis univariable.
- **Figura 29.** Incidencia acumulada de reintervención estratificada en función del tipo de stent; El valor p corresponde al análisis univariable.
- **Figura 30.** Incidencia acumulada de todas las causas de muerte. No hubo diferencias significativas en términos del grupo de edad.
- **Figura 31.** Incidencia acumulada de todas las causas de muerte. No hubo diferencias significativas en términos de sexo.
- **Figura 33.** Incidencia acumulada de todas las causas de muerte. No hubo diferencias significativas en términos de procedimiento previo sobre la CoAo.
- **Figura 33.** Incidencia acumulada de todas las causas de muerte. No hubo diferencias significativas en términos del tipo de stent.

ÍNDICE DE TABLAS

- **Tabla 1.** Hallazgos clínicos y en pruebas complementarias en función de la edad de expresión de pacientes con CoAo.
- **Tabla 2.** Principales tipos de stent del mercado y sus características.
- **Tabla 3.** Características clínicas basales de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años. **SC:** Superficie corporal.
- **Tabla 4.** Características hemodinámicas y angiográficas basales de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años.
- **Tabla 5.** Características de procedimiento basales de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años.
- **Tabla 6.** Incidencia de eventos en el seguimiento de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años.
- **Tabla 7.** Incidencia de aneurismas y su clasificación en el seguimiento de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años.
- **Tabla 8.** Análisis univariante y multivariante de factores predictores de desarrollo de aneurismas aórticos al seguimiento. **IC95%**, intervalo de confianza del 95%; **OR**, Odds ratio. Las variables categóricas se muestran como N (%); las variables continuas como media \pm desviación estándar
- **Tabla 9.** Incidencia de fracturas de stent y su clasificación en el seguimiento de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años.
- **Tabla 10.** Análisis univariante y multivariante de factores predictores de desarrollo de fracturas de stent al seguimiento. **IC95%**, intervalo de confianza del 95%; **OR**, Odds ratio. Las variables categóricas se muestran como N (%); las variables continuas como media \pm desviación estándar
- **Tabla 11.** Análisis univariante y multivariante de factores predictores de necesidad de reintervención al seguimiento. **IC95%**, intervalo de confianza del 95%; **OR**, Odds ratio. Las variables categóricas se muestran como N (%); las variables continuas como media \pm desviación estándar
- **Tabla 12.** Principales estudios analizados clasificados por año de publicación. Los estudios marcados con * son aquellos en los que el desarrollo de aneurismas no se estudió mediante técnicas de imagen como TAC y/o CardioRMN.
- **Tabla 13.** Principales estudios analizados clasificados por año de publicación. Los estudios marcados con * son aquellos en los que el desarrollo de fractura de stent no se estudió mediante fluoroscopia si no de manera indirecta a través de radiografías de tórax o TAC.

INTRODUCCIÓN

1. COARTACIÓN DE AORTA

1.1. CONCEPTO Y EPIDEMIOLOGÍA

La coartación de aorta (CoAo) es una malformación cardiovascular consistente en una estenosis de la luz de la aorta torácica localizada generalmente en la zona del istmo en su inserción con el conducto arterial y la aorta descendente. La extensión de este defecto es variable, y, aunque la CoAo a nivel torácico es la más frecuente, este término incluiría la estenosis a cualquier nivel desde el callado aórtico hasta la aorta abdominal(1,2).

La primera descripción de una CoAo fue realizada por Giovanni Battista Morgagni tras una autopsia en 1760. Sin embargo, pasarían 173 años hasta que se describieran signos típicos hallados en la exploración física por Lewis en 1933(3). Finalmente, Campbell et al(4) describió en 1947 los puntos cardinales para el diagnóstico de la CoAo.

Esta patología es una de las malformaciones cardiovasculares más frecuentes que afecta entre el 6% y 8% de los individuos con cardiopatías congénitas, con una incidencia de 3-4 casos por cada 10000 nacimientos, existiendo preponderancia del sexo masculino sobre el femenino, en una proporción de 2:1 (5).

La CoAo puede ser clasificada de múltiples formas en función de varios factores(6):

- En función de la edad: neonatal, infantil y del adulto.
- De acuerdo a su relación con el ductus: preductal, yuxtaductal o postductal.
- Según la presencia o no de lesiones asociadas: simple o compleja.

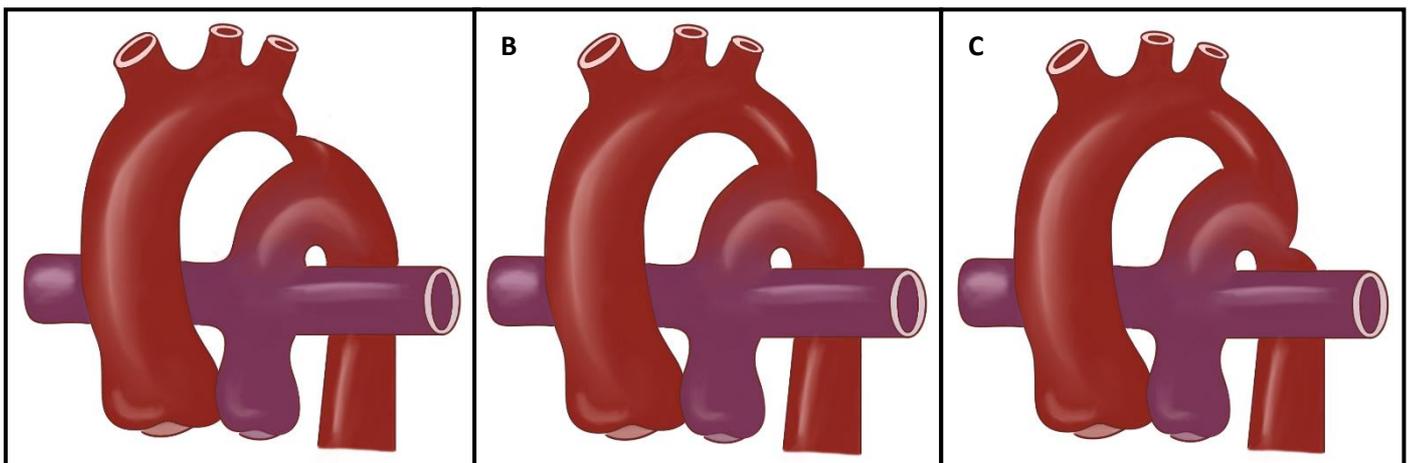


Figura 1. Clasificación anatómica de la CoAo A. Preductal; B. Yuxtaductal; C. Postductal.

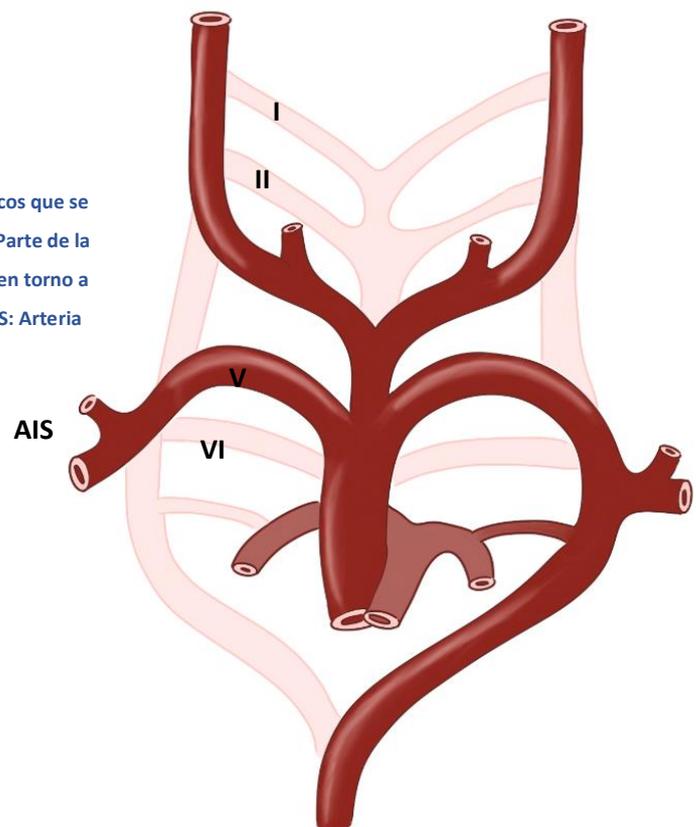
1.2. ETIOPATOGENIA

La etiología de la CoAo no está del todo definida y las principales teorías se enfocan en problemas del desarrollo embrionario, alteraciones del patrón hemodinámica o a un crecimiento anormal del tejido en torno a la zona ductal (2,6). Además, existe un fundamento genético, siendo los principales genes estudiados NOTCH1 (Neurogenic locus notch homolog protein 1), MCTP2 (Multiple c2 domains, transmembrane 2) y FOXC1 (forkhead box C1) así como alteraciones en los factores de transcripción de HIF 1-2 (hipoxia inducible factor), VEGF (factor de crecimiento del endotelio vascular), PTPN 11 (Protein Tyrosin Phospatase non-receptor type 11) y endotelinas (5,6).

TEORÍA EMBRIOGÉNICA

El desarrollo embriológico de la aorta se desarrolla gracias a los arcos aórticos. Se trata de una formación secuencial de seis pares primitivos que se encuentran conectados al tronco arterioso y el saco aórtico con las arterias dorsales izquierda y derecha. A medida que se desarrollan, los arcos previos regresan, dando lugar a las arterias de la cabeza y el cuello. Las arterias derivadas del IV arco contribuyen a formar el tronco braquiocefálico y la arteria subclavia derecha en el lado derecho mientras que el IV arco izquierdo da lugar a una parte del arco aórtico transverso. La aorta se completa con el arco aórtico distal y la aorta descendente que se forman a partir de la arteria dorsal izquierda (7).

Figura 2. Representación anatómica de los IV pares aórticos que se forman entre el saco aórtico (SA) y las arterias dorsales. Parte de la aorta dorsal y arcos aórticos normalmente desaparecen en torno a la semana 7 del desarrollo (mostradas en color rosa). AIS: Arteria intersegmentaria. (7).



La mayoría de las malformaciones del arco aórtico pueden explicarse por la hipótesis de doble arco descrito por Edwards (8,9), en la que la alteración en el desarrollo del cuarto arco aórtico izquierdo acabaría provocando una alteración en forma de hipoplasia o incluso interrupción a nivel del arco aórtico (2,7).

En función del segmento afectado de cada arco aórtico, se desarrollará diferentes variantes anatómicas. En el caso de la interrupción completa, Celoria y Patton (10) establecieron tres tipos anatómicos en base al punto de interrupción (7):

- Tipo A: Afecta al istmo aórtico tras la salida de la arteria subclavia izquierda (Alteración de la regresión entre los segmentos B1 y B2).
- Tipo B: La interrupción se encontraría entre la arteria carótida común y la subclavia izquierda (Afectación de los segmentos B1 y C2).
- Tipo C: El defecto se localiza entre ambas arterias carótidas comunes.

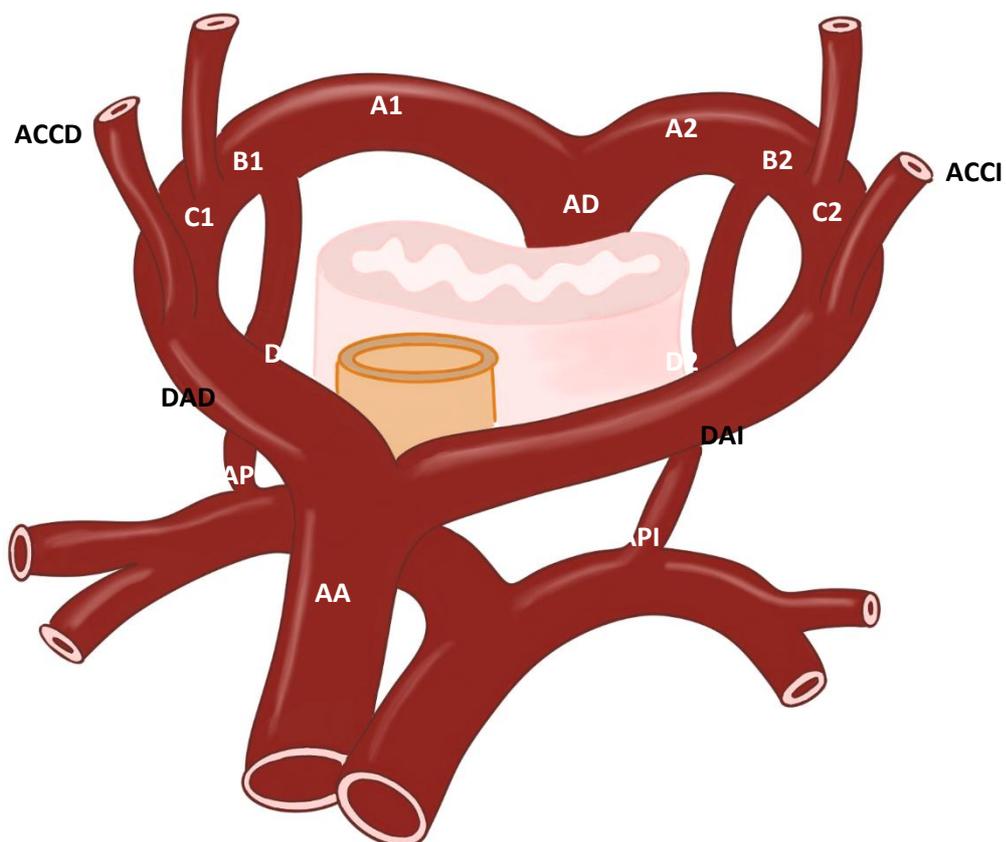


Figura 3. Representación anatómica del doble arco aórtico de Edwards(7) rodeando la tráquea y el esófago. AA, aorta ascendente; AD, aorta descendente; ACCD: arteria carótida común derecha; ASD, arteria subclavia derecha; ACCI, arteria carótida común izquierda; ASI: arteria subclavia izquierda; DAD, Ductus arterioso derecho; DAI, Ductus arterioso izquierdo; APD: arteria pulmonar derecha; API, arteria pulmonar izquierda

TEORÍA HEMODINÁMICA

En la etapa fetal, la circulación difiere de la edad postnatal. La sangre procedente de la vena cava superior recoge la sangre sin oxigenar del organismo, y se dirige a través de la válvula tricúspide al ventrículo derecho y a la arteria pulmonar, donde una pequeña parte del flujo llegará a los pulmones, que durante esta etapa no realizan función de oxigenación, y la mayor parte del flujo se dirige a través del conducto arterioso al arco aórtico distal y al segmento inferior del cuerpo. Por otro lado, la sangre oxigenada procedente de la placenta es llevada a través de la vena cava inferior hacia el sello de la aurícula derecha y, a través del foramen oval, hacia la aurícula y ventrículos izquierdos, y de ahí a la aorta ascendente, que dirigirá la mayor parte del flujo a los troncos supra árticos, y una menor parte de este a la aorta descendente (Figura 4, A). Por lo tanto, la CoAo durante la etapa fetal no afectaría al patrón circulatorio (Figura 4, B). Tras el nacimiento hay una caída de las resistencias pulmonares, aumentando el flujo sanguíneo desde la arteria pulmonar hacia los pulmones y del flujo del arco aórtico hacia la aorta descendente (Figura 5, A) que acabaría provocando una acentuación del defecto y la obstrucción por la contracción tras el cambio de flujo (Figura 5, B) (11).

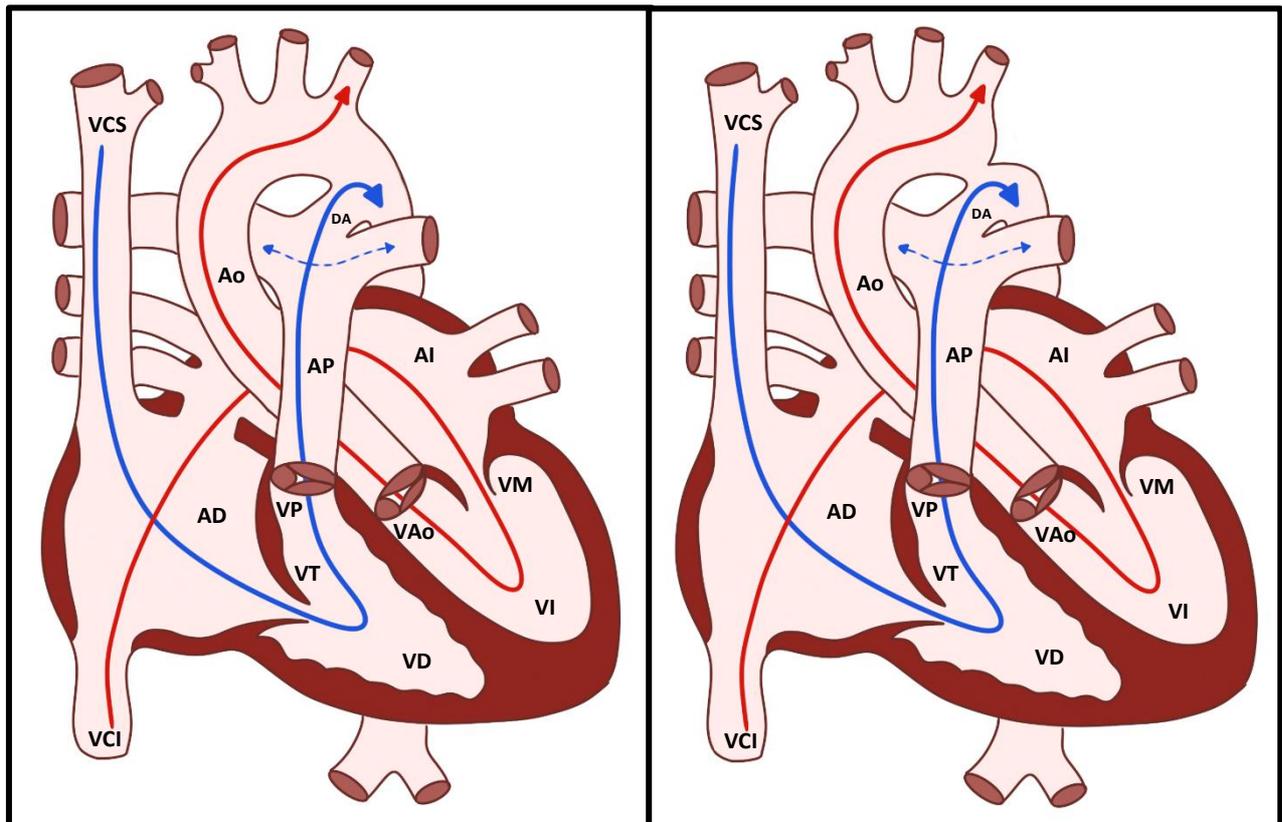


Figura 4. Representación anatómica de la circulación fetal normal (A) y en el feto con CoAo (B). SVC: Vena cava superior. IVC: Vena cava inferior. AD: Aurícula derecha; VT: Válvula tricúspide; VD: Ventrículo derecho; VP: Válvula pulmonar; AP: Arteria pulmonar; AI: Aurícula Izquierda; VM: Válvula mitral; VI: Ventrículo izquierdo, VAo: Válvula aórtica; Ao: Aorta ascendente; DA: Ductus arterioso (11)

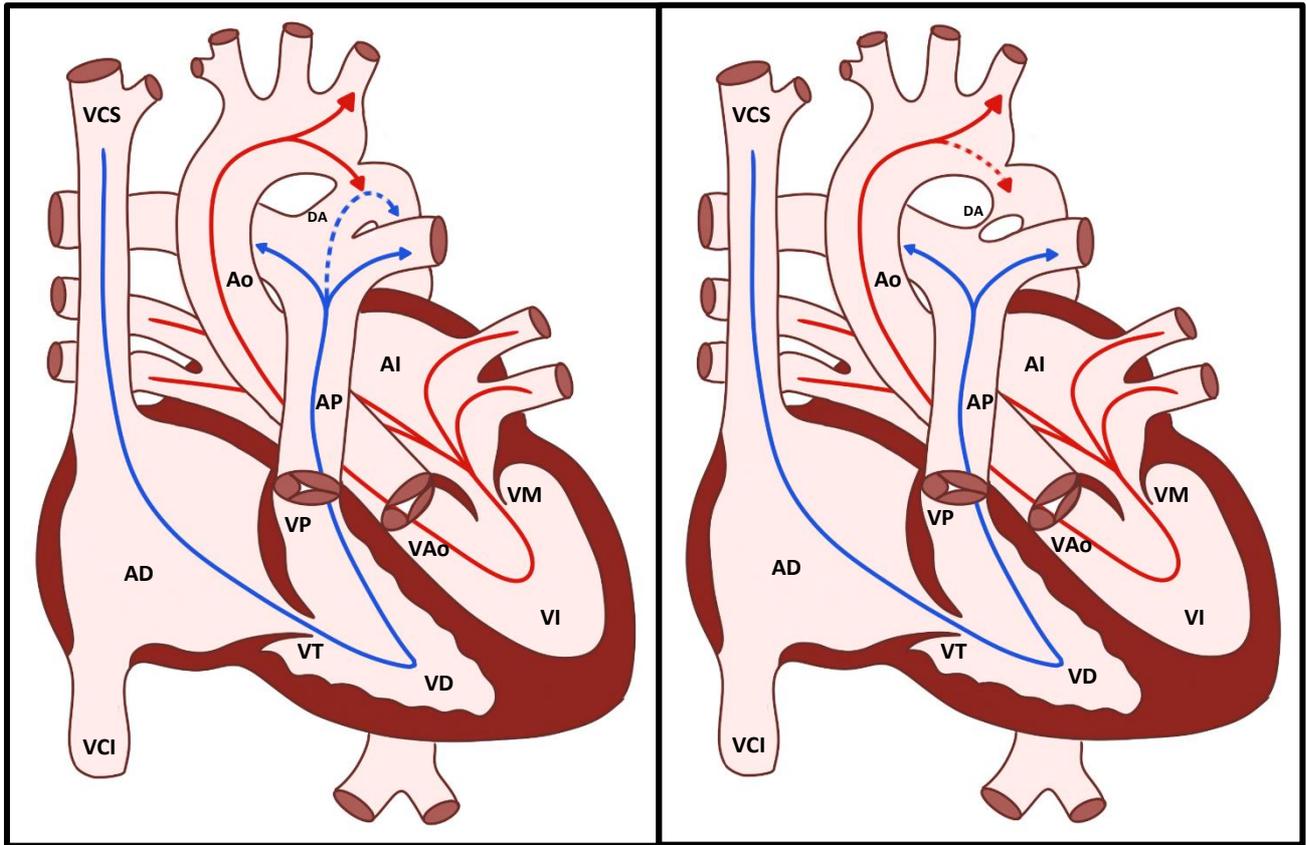


Figura 5. Representación anatómica de la Caída de la resistencia pulmonar tras el nacimiento (A) y Acentuación del defecto y la obstrucción por la contracción tras el cambio de flujo (B). SVC: Vena cava superior. IVC: Vena cava inferior. AD: Aurícula derecha; VT: Válvula tricúspide; VD: Ventrículo derecho; VP: Válvula pulmonar; AP: Arteria pulmonar; AI: Aurícula Izquierda; VM: Válvula mitral; VI: Ventrículo izquierdo, VAo: Válvula aórtica; Ao: Aorta ascendente; DA: Ductus arterioso (11)

La CoAo a menudo se asocia con otros defectos estructurales a nivel cardíaco como estenosis de las válvulas izquierdas. Con el cambio de presiones que ocurren tras el nacimiento, se produce un cortocircuito izquierda-derecha a través del ductus arterioso y por tanto un menor flujo a través de la aorta descendente, potenciando la hipoplasia de dicho segmento (2).

TEORÍA HISTOLÓGICA

En la CoAo la disfunción endotelial es un factor determinante. Esta patología no afecta únicamente al segmento estenótico, sino a todo el endotelio de forma difusa, con alteración de las propiedades elásticas del vaso y liberación de factores de inflamación. A nivel de la zona hipoplásica o estenótica se puede observar morfológicamente un crecimiento anormal de tejido circunferencia que afecta especialmente a las capas íntima y media del vaso, con infiltración de tejido muscular liso, y con demostración histológica de necrosis quística (5,6).

1.3 LESIONES ASOCIADAS

La CoAo presenta en un porcentaje importante de los casos, asociación con otras malformaciones cardíacas. Hasta en el 80% de los casos, la CoAo no es un hallazgo aislado (11,12).

Las lesiones asociadas a nivel cardíaco pueden estar relacionadas con:

- Lesiones del lado izquierdo: La lesión más frecuentemente asociada con la CoAo es la presencia de válvula aórtica bicúspide (VAB), pero también pueden existir alteraciones en forma de válvula aórtica cuadrícúspide, aneurismas del seno de Valsalva, estenosis subaórtica y alteraciones de la válvula mitral, como la válvula mitral de doble orificio o la válvula mitral en paracaídas. En algunas ocasiones, la CoAo de aorta puede formar parte del síndrome de Shone, que engloba lesiones estenóticas a nivel de la válvula mitral, estenosis subaórtica fija o estenosis aórtica además de la propia CoAo.
- Defectos septales: Se pueden encontrar tanto defectos del septo interaricular como del septo interventricular, siendo la comunicación interventricular (CIV) más frecuente, llegando a estar presente en hasta el 50% de los pacientes según algunos estudios.
- Persistencia del ductus arterioso
- Anomalías del arco aórtico: La hipoplasia del arco aórtico se encuentra entre las malformaciones más frecuentes tras la presencia de VAB. Generalmente, se relaciona a su vez, con la presencia de más anomalías a nivel del arco aórtico, como la arteria subclavia aberrante entre otras.
- Lesiones complejas: Entre las que destacan el canal aurículo-ventricular, la transposición de grandes vasos, la atresia tricúspide, la doble salida de ventrículo derecho o el síndrome de corazón izquierdo hipoplásico

Además de las lesiones cardíacas descritas, la CoAo puede relacionarse con lesiones extracardíacas, entre las que destacan la presencia de aneurismas intracraneales, alteraciones del sistema musculoesquelético, gastrointestinales, genitourinarias o respiratorias.

La CoAo también puede aparecer en el contexto de enfermedades sindrómicas. En el síndrome de Turner (45X0), la prevalencia de CoAo puede alcanzar el 10-12%.

1.4 EXPRESIÓN CLÍNICA

Los principales hallazgos en la exploración y pruebas complementarias en función de la edad de presentación se encuentran resumidos en la tabla 1 (13).

EDAD	HALLAZGOS
Fetal	<ul style="list-style-type: none"> - Desproporción ventricular (AD>VD) - Desproporción de grandes vasos - Flujo diastólico continuo a nivel del istmo - Asociación con malformación cardíaca a otro nivel (VAB, hipoplasia del arco, estenosis subvalvular, anomalías de la válvula mitral, DA, CIA, CIV...) - Fenotipos síndromos (Turner, DiGeorge, Noonan...)
Neonato e Infantil	<ul style="list-style-type: none"> - Shock, acidosis - Insuficiencia cardíaca - Soplo sistólico/Contínuo - Pulso femoral débil o ausente - Pulso radio-femoral retardado - Hipertensión en miembros superiores - Enterocolitis necrotizante - Fallo renal - Cardiomiopatía (raro)
Adolescente y Adulto	<ul style="list-style-type: none"> - Soplo sistólico/Contínuo - Pulso femoral débil o ausente - Pulso radio-femoral retardado - Hipertensión (Cefalea, epistaxis, retinopatía...) - Reducción capacidad ejercicio - Hipertensión inducida por el ejercicio - Claudicación de miembros inferiores - Frialdad distal en miembros inferiores - Hipertrofia ventricular izquierda, arritmias e insuficiencia cardíaca - Endocarditis infecciosa - Disección o rotura aórtica - Hemorragia intracraneal

Tabla 1. Hallazgos clínicos y en pruebas complementarias en función de la edad de expresión de pacientes con CoAo. (13)

1.4.1. NEONATOS

Tras el nacimiento, se produce un cambio brusco de la circulación respecto al patrón fetal, con una caída de las resistencias pulmonares, aumentando el flujo sanguíneo desde la arteria pulmonar hacia los pulmones y del flujo del arco aórtico hacia la aorta descendente. La presión en las cavidades izquierdas supera entonces al de las cavidades derechas, provocando el cierre del foramen oval y el cierre del ductus arterioso. Por tanto, la gravedad de los síntomas en el periodo neonatal dependerá fundamentalmente de factores como el grado de estenosis del segmento aórtico, la persistencia o cierre del ductus arterioso y la presencia de circulación colateral.

En el caso de severidad de la CoAo o incluso existencia de hipoplasia, el cambio brusco de circulación puede llegar a producir un cuadro de shock cardiogénico, al producirse una hipoperfusión brusca al hemicuerpo inferior, con afectación orgánica que daría lugar a insuficiencia renal y acidosis láctica. De forma retrógrada, se produce un aumento muy significativo de presión sobre el ventrículo izquierdo, que al ser de forma brusca no puede realizar adaptaciones compensatorias, lo que deriva en una dilatación y disfunción ventricular aguda. Este aumento de presión continúa transmitiéndose hacia la aurícula izquierda y la circulación pulmonar, produciendo edema pulmonar y el desarrollo de hipertensión pulmonar (11,13).

1.4.2. LACTANTES, NIÑOS Y ADULTOS

La mayor parte de los casos que se diagnostican fuera del periodo neonatal se producen como un hallazgo incidental. Aunque pueden existir signos que hagan sospechar la existencia de esta entidad, como son la presencia de un soplo sistólico o continuo irradiado a la espalda o la ausencia/disminución de pulsos femorales, o síntomas como dolor torácico inespecífico o intolerancia al esfuerzo. Sin embargo, los pacientes adultos pueden permanecer asintomáticos durante largos periodos de tiempo, siendo el hallazgo de hipertensión arterial el principal signo que conduce a su diagnóstico.

En algunos casos, pueden observarse adaptaciones crónicas del ventrículo izquierdo al aumento de presión telesistólica, como el desarrollo de hipertrofia ventricular que puede acabar produciendo un cuadro de insuficiencia cardiaca.

Otros síntomas que pueden presentar estarías relacionados con cefalea o claudicación intermitente por hipoperfusión de miembros inferiores. Además de los síntomas producidos por el propio segmento estenótico, en estos pacientes pueden producirse síntomas relacionados con las complicaciones a largo plazo relacionadas con la enfermedad, como hemorragias intracraneales o rotura o disección de aorta por la presencia de aneurismas a diferentes niveles de la pared arterial (11,13).

1.5. DIAGNÓSTICO DE LA ENFERMEDAD

1.5.1. EXPLORACIÓN FÍSICA

Los signos observados durante la exploración física no han variado de los descritos por Campbell en 1947 (4), que se basan en la auscultación, la palpación y la observación del tórax. Todos estos signos se verán fuertemente influenciados por el grado de severidad de la CoAo, así como por la presencia de malformaciones asociadas y la evolución tras el nacimiento, como la precocidad a la hora del cierre del conducto arterioso o el grado de desarrollo de circulación colateral (5,11,13).

En la auscultación cardíaca de un paciente con CoAo es posible detectar un soplo sistólico continuo irradiado a la espalda en relación con la presencia de circulación colateral, siendo más infrecuente como hallazgo la presencia de soplos localizados en la zona superior de la escápula. En caso de presentar un cuadro de insuficiencia cardíaca, la auscultación sería la esperable en estas situaciones como la presencia de ritmo de galope, o encontrar un clic de eyección o un soplo mesosistólico en el caso de asociación con VAB.

La palpación de los pulsos femorales en los pacientes con sospecha de CoAo resulta de especial relevancia, pudiendo encontrar una disminución significativa en la intensidad del pulso femoral de forma bilateral e incluso su ausencia en algunos casos. Además, se debe realizar una palpación simultánea de los pulsos femorales y radiales, pudiendo comprobar un retraso en la presencia de los pulsos femorales respecto a los segundos.

Se debe realizar una medida de presión arterial en las cuatro extremidades ya que lo esperable en los pacientes con CoAo sería encontrar un gradiente de presión entre las extremidades superiores e inferiores, que variará en severidad en función de la severidad de la estenosis y del desarrollo de la circulación colateral en cada paciente, considerándose significativa una diferencia superior a 20mmHg.

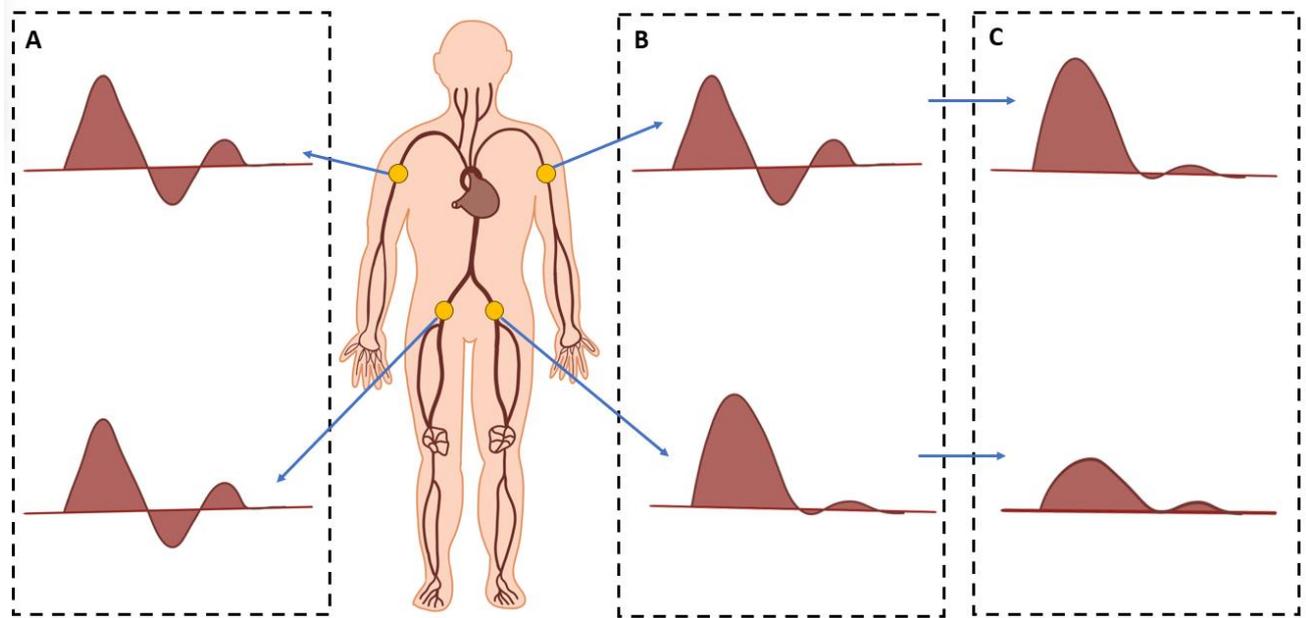


Figura 6. Índice Tobillo Brazo. A: Paciente sin CoAo. B: Paciente con CoAo posterior a la salida de la arteria subclavia. C: Paciente con CoAo previa a la salida de la arteria subclavia.

Aunque este es el patrón clásico de afectación en la CoAo, como ya se ha definido anteriormente, existen numerosas variantes anatómicas, por tanto, la localización del segmento estenótico puede influir a la hora de realizar la inspección física. En el caso en el que la arteria subclavia izquierda se encuentre posterior al segmento estenótico, podría hallarse una diferencia a la hora de la palpación de ambos pulsos radiales, así como diferencias en los valores de presión arterial. En un mínimo porcentaje de casos, los troncos supraaórticos se encuentran distales a la zona estenótica, pudiendo no encontrar diferencias de pulso ni de presión arterial entre las cuatro extremidades al encontrarse en todas disminuido el flujo.

1.5.2. PRUEBAS DIAGNÓSTICAS

ELECTROCARDIOGRAMA

El electrocardiograma (ECG) de los pacientes con CoAo puede mostrar diferentes hallazgos en función de la edad del paciente, la severidad del defecto anatómico y la presencia de malformaciones asociadas.

Así, en el caso de neonatos o población infantil, el aumento de presión a nivel de la circulación pulmonar puede dar lugar a una desviación del eje cardiaco hacia la derecha, con o sin patrón asociado de bloqueo de rama derecha completo o incompleto. Este patrón puede normalizarse en el seguimiento debido al progresivo aumento de presión sobre el ventrículo izquierdo, con desarrollo de hipertrofia ventricular izquierda.

En el caso de los adultos, los hallazgos electrocardiográficos que se esperarían en esta población sería la presencia de alteraciones compatibles con la presencia de hipertrofia ventricular izquierda, como altos voltajes en derivaciones precordiales izquierdas, descenso asimétrico del ST y ondas T negativas. La probabilidad de presentar estas alteraciones aumenta en el caso de asociar malformaciones obstructivas del lado izquierdo del corazón (14).

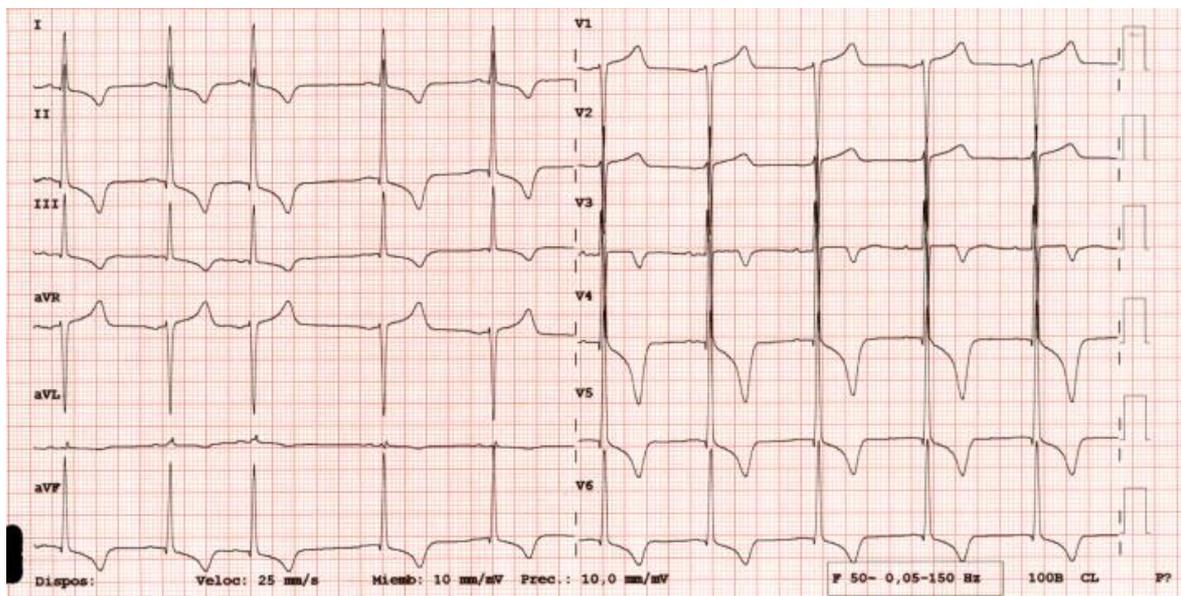


Figura 7. Electrocardiograma que muestra hipertrofia ventricular izquierda, como altos voltajes en derivaciones precordiales izquierdas, descenso asimétrico del ST y ondas T negativas

RADIOGRAFÍA DE TÓRAX

La radiografía (Rx) de tórax puede ser normal en los pacientes con CoAo, y la presencia de los signos hallados dependerá la severidad del defecto anatómico y del desarrollo de circulación colateral. En la mayoría de los casos, la Rx de tórax puede ser normal, considerando que la sensibilidad de esta técnica de imagen es baja para la detección de esta patología.

En el caso de los neonatos con CoAo severa que desarrollan insuficiencia cardiaca o incluso un cuadro de shock cardiogénico, los hallazgos esperables en la Rx serán la presencia de cardiomegalia con signos de congestión pulmonar, con infiltrado alveolointersticial en el caso de edema pulmonar, aumento de la silueta de ambos hilos pulmonares y redistribución vascular.

En el caso de niños mayores o adultos, los datos radiológicos clásicos incluirían el “Signo del 3” y las muescas costales. El signo del 3 es un hallazgo visible en la Rx lateral de tórax, y se debe a la dilatación pre estenótica de la aorta ascendente (junto con la dilatación de la arteria subclavia izquierda en algunos casos), el propio segmento estenótico, y la dilatación post estenótica de la aorta ascendente. Las muescas costales se pueden observar generalmente entre la cuarta o la octava costilla y se deben a una erosión del borde inferior costal producido por el desarrollo de la circulación colateral, principalmente a expensas de las arterias intercostales (13,15,16).

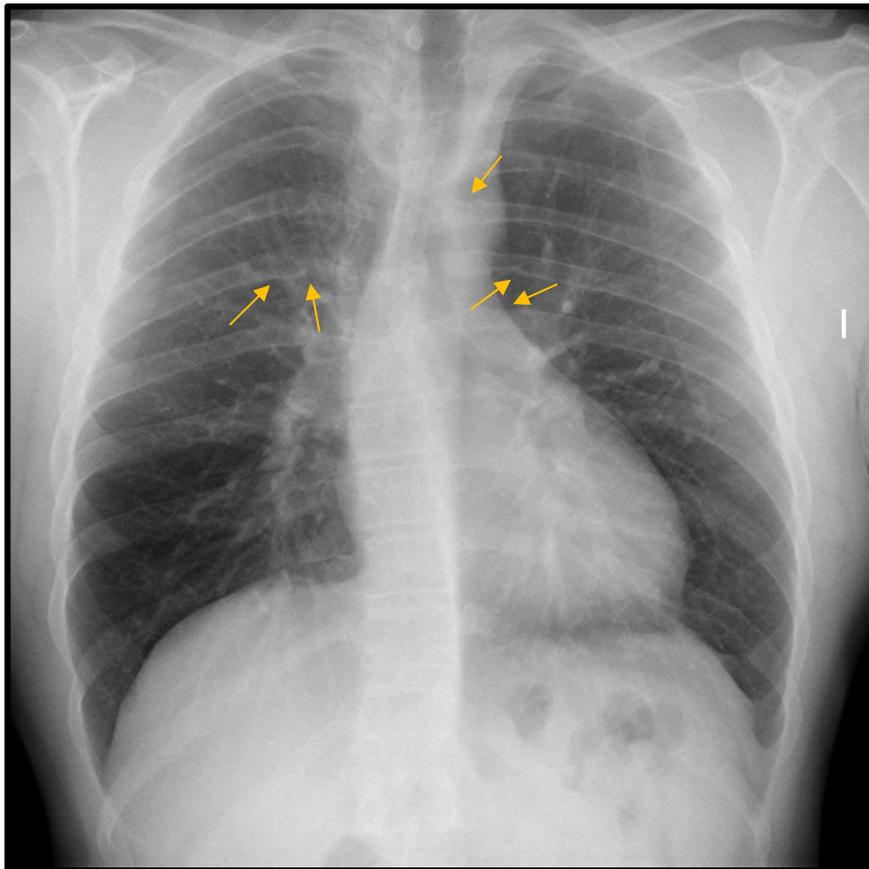


Figura 8. Radiografía de Tórax. Flechas señalan muescas costales por circulación colateral.

ECOCARDIOGRAMA

El ecocardiograma su pone la técnica no invasiva de primera elección en la sospecha de CoAo. Es importante recordar que se trata de una técnica operador-dependiente, y que varias condiciones, como la complexión corporal del paciente, puede condicionar una mala ventana y una mayor dificultad para el diagnóstico.

Esta técnica puede ser utilizada para el diagnóstico prenatal, suponiendo un reto diagnóstico en la mayoría de los casos, dado que la circulación fetal es capaz de mostrarse normal pese a la presencia de un segmento estenótico, incluso en casos severos con interrupción completa del arco aórtico. En aquellos casos en los que se producen modificaciones cardiacas a nivel intrauterino, podría observarse dilatación del ventrículo derecho, siendo un signo poco específico de esta entidad y pudiendo dar lugar a falsos positivos. En cuanto a la valoración de la aorta, el hallazgo de una desproporción entre el arco aórtico y la arteria pulmonar principal (Siendo el primero más pequeño de lo normal y por tanto con una relación <1) sería un dato altamente sugestivo. Determinar la localización del segmento estenótico puede suponer todo un reto, debido principalmente a la ausencia de flujo y a la presencia del ductus arterioso (11).

Tras el nacimiento, el ecocardiograma transtorácico permite, en la mayoría de los casos, la confirmación diagnóstica, así como establecer el grado de severidad de la lesión. Además del estudio del segmento aórtico, es muy importante en estos pacientes realizar una minuciosa valoración de las estructuras cardiacas debido a la posible asociación con otras malformaciones, especialmente a nivel del lado izquierdo del corazón como la anatomía de la válvula mitral, la arquitectura del músculo papilar, el tracto de salida del ventrículo izquierdo y la válvula aórtica. También es importante determinar la masa miocárdica izquierda, dada la posibilidad de desarrollo de hipertrofia, la función diastólica y sistólica.

Centrados en el segmento aórtico, se debe valorar la aorta desde diferentes proyecciones ecocardiográficas. Así, en la proyección supraesternal es posible observar el segmento estenótico anatómico, así como observar un flujo color turbulento a través de dicho segmento. La medición con Doppler continuo permite calcular el gradiente máximo y medio transCoAo, objetivando en la mayoría de los casos, una apariencia del flujo Doppler muy característica, con extensión diastólica prolongada, siendo este el signo más específico de severidad de la CoAo.

Es importante destacar, que la presencia de circulación colateral muy desarrollada puede provocar una infraestimación del gradiente a través del segmento coartado, por lo que en aquellos casos en los que se observe un estrechamiento anatómico, con patrón Doppler con extensión diastólica, debe sospecharse esta patología a pesar de no presentar un gradiente aumentado, que podrá ser confirmado mediante otras técnicas diagnósticas. Por otro lado, el gradiente transcoartación puede estar sobreestimado en casos de CoAo reparadas. Otras circunstancias que pueden alterar la interpretación del flujo doppler son la coexistencia de estenosis muy largas, o lesiones obstructivas añadidas a nivel del lado izquierdo, como una estenosis subaórtica, aórtica, o supravalvular (5,13,15–17).

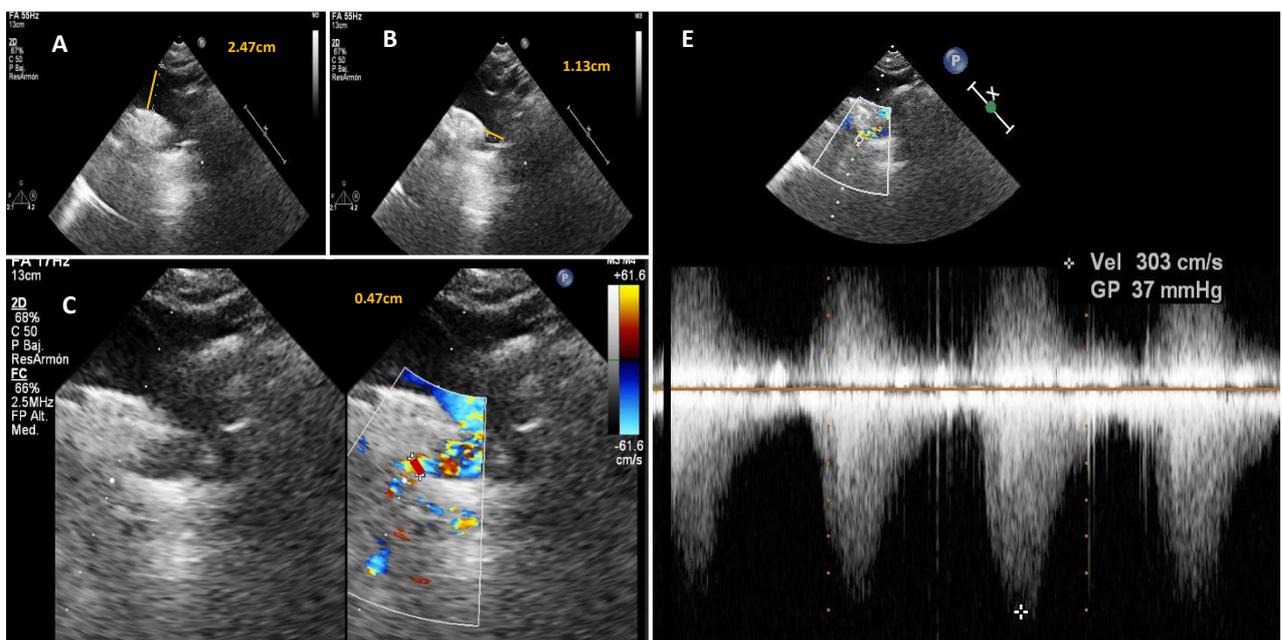


Figura 9. Ecocardiograma transtorácico. A: Medición de la aorta ascendente. B: Medición aorta en el segmento preCoAo. C: Medición de aorta a nivel de segmento coartado. D: Gradiente Doppler continuo que muestra arrastre diastólico y gradiente pico de 37mmHg.

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

La tomografía computarizada (TC) fue utilizada por primera vez en 1970, en Inglaterra, para un estudio cerebral, y utilizado para estudio de una CoAo en 1970 (18,19).

La TC es la técnica no invasiva más utilizada tras una sospecha diagnóstica por ecocardiograma convencional. Permite una gran resolución espacial, definir los diámetros aórticos a todos los niveles importantes, como la aorta ascendente, el arco transverso, el diámetro mínimo a nivel del segmento estenótico, así como la aorta a nivel diafragmático. Además, permite evaluar la posible asociación con otras malformaciones cardiacas, especialmente la anatomía de la válvula aórtica y la presencia de circulación colateral.

También es una técnica muy útil para el seguimiento de los pacientes que han sido tratados de CoAo, bien sea de forma quirúrgica o percutánea, permitiendo un correcto análisis de la permeabilidad de las anastomosis y de los injertos, si los hubiera, y las posibles complicaciones tardías como el desarrollo de aneurismas de la pared vascular, la fractura de stent, la reestenosis o la presencia de endofuga. Por otro lado, es importante destacar que la TC no puede ofrecer información hemodinámica, no siendo valorable el gradiente de presión en el sitio de CoAo o gradientes transvalvulares.

El desarrollo progresivo de esta técnica ha supuesto avances como la reducción muy significativa de radiación utilizada y una mayor velocidad de adquisición de imágenes que puede ser sincronizada con el latido cardíaco, mejorando incluso la capacidad de corte tomográfico y la resolución espacial de las imágenes. Esto tiene especial relevancia a la hora de hablar de la población pediátrica, en la que esta patología puede requerir este tipo de examen, bien para el diagnóstico, para dirigir la intervención o para el seguimiento, y que actualmente podría realizarse en niños pequeños y neonatos incluso sin necesidad de sedación.

Dentro de las posibles complicaciones de esta técnica destaca la necesidad e contraste yodado, que podría dar lugar a alergias en los pacientes, bien en su primera realización o con los exámenes seriados, así como la posible nefrotoxicidad del contraste, especialmente en población más vulnerable como en pacientes deshidratados, con diabetes mellitus o que ya padezcan algún grado de afectación renal. Para minimizar el efecto nefrotóxico, es muy importante mantener una buena hidratación de los pacientes.

Por último, cabe destacar el desarrollo de las reconstrucciones en 3D que permiten crear modelos anatómicos de la aorta del paciente y del lugar de CoAo, de la circulación colateral o del aneurisma si se encontrara presente, permitiendo una mejor comprensión anatómica del defecto y pudiendo servir de guía para la intervención (5,13,15-17).

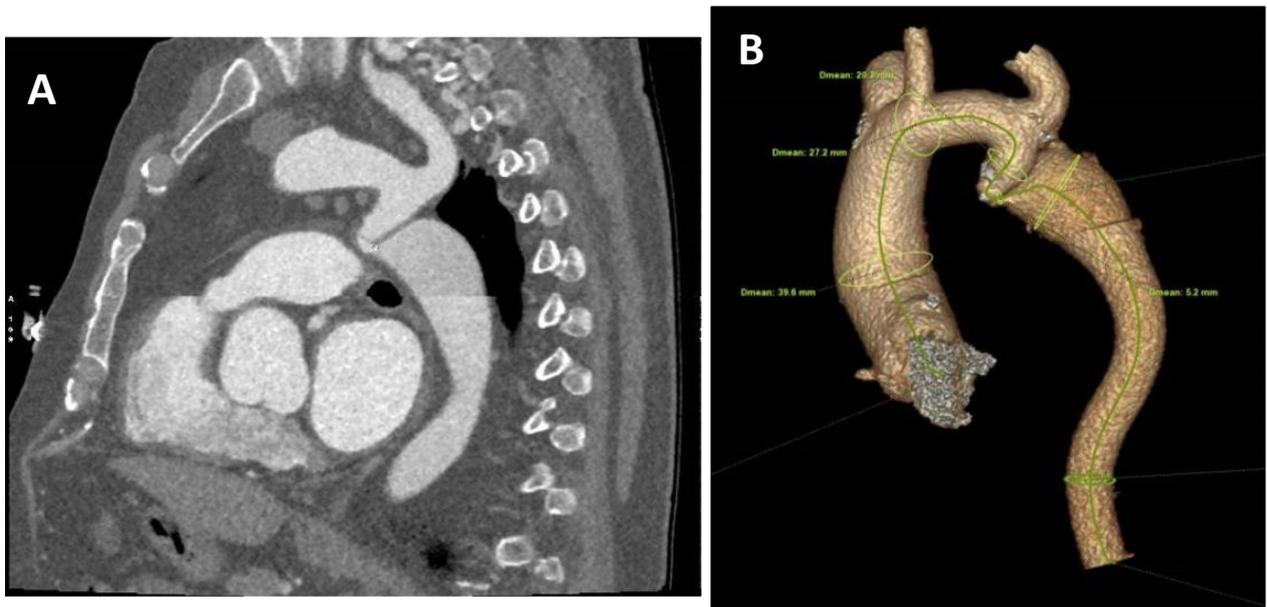


Figura 10. Tomografía Axial Computarizada. A: Corte sagital que muestra anatomía de CoAo. B: Reconstrucción 3D del defecto.

RESONANCIA NUCLEAR MAGNÉTICA

La resonancia nuclear magnética (RNM) fue utilizada por primera vez en 1971 para el diagnóstico de tumores. En 1977 fue utilizada por primera vez para estudio de imágenes cardíacas humanas y en 1987 se obtuvieron imágenes de cine cardíaco mediante esta técnica (20–22).

La RMC cardíaca es una técnica no invasiva especialmente útil en el seguimiento de los pacientes con CoAo fuera de la etapa infantil y que ofrece información acerca de la anatomía vascular, la morfología de la aorta y el segmento coartado, como su longitud y la relación con los troncos supraórticos además de aportar información sobre malformaciones estructurales asociadas como la presencia de VAB o el desarrollo de colaterales. Aunque su resolución espacial es menor que la del TAC ofrece importantes ventajas como son la posibilidad de realizar estudio cuantitativo de parámetros ventriculares, como los volúmenes ventriculares, la masa y la función sistólica, así como valorar la aceleración de flujo a nivel de los diferentes puntos de interés, para estudio de la función valvular, la posible asociación con estenosis en el tracto de salida del ventrículo izquierdo (TSVI), a nivel aórtico o supravalvular y el gradiente a través del segmento coartado, así como cuantificar el flujo a través de la circulación colateral. La combinación de datos morfológicos y funcionales puede llegar a mostrar una sensibilidad de 95% y una especificidad del 82% para la evaluación de la CoAo (23). Igualmente, permite identificar datos de recoartación como complicación en el seguimiento.

Cabe destacar como ventaja, que no utiliza radiaciones ionizantes. Lo que lo convierte en una excelente técnica de seguimiento dada la necesidad de exámenes seriados en estos pacientes.

Además, no es imprescindible el uso de contraste para la valoración vascular, aunque se la realización de cardioRMN con gadolinio para obtener imágenes de la CoAo al menos en su evaluación inicial y particularmente para valorar pequeños vasos colaterales.

Como desventajas, esta técnica requiere un largo tiempo de adquisición con necesidad de colaboración del paciente para realizar periodos de apnea, lo que puede restringir su uso especialmente en neonatos o niños pequeños, en los que podría llegar a ser necesario el uso de anestesia general. También habría limitación en pacientes que presenten claustrofobia o en aquellos que presenten implantes metálicos como prótesis valvulares, marcapasos, desfibrilador, o incluso stent en el lugar de la CoAo. Aunque más rara, también había que mencionar como complicación del contraste con gadolinio el posible desarrollo de fibrosis sistémica nefrogénica (5,13,15–17).

CATETERISMO CARDIACO

El cateterismo cardiaco es el método invasivo de elección para el estudio hemodinámico del paciente. Permite realizar una angiografía con contraste con toma de medidas de la aorta a diferentes niveles, así como medir el gradiente de presión en el segmento coartado así como la evaluación de la circulación colateral o la presencia de aneurismas.

Generalmente esta técnica se utiliza como método terapéutico en pacientes con diagnóstico mediante técnicas no invasivas, o para confirmar de manera invasiva el gradiente de presión en casos dudosos (5,13).

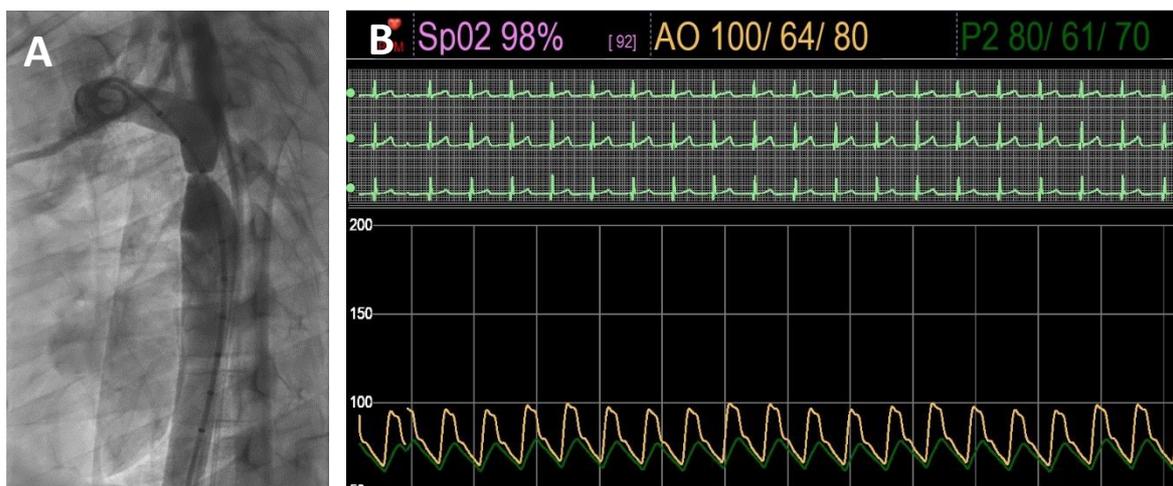


Figura 11. Cateterismo cardiaco. A: Angiografía a nivel aórtico. B: Presiones en Aorta ascendente (AO) y tras el segmento estenótico (P2).

1.6. TRATAMIENTO

La principal indicación de tratamiento intervencionista en niños y adultos es la presencia de un segmento estenótico con una reducción de más del 50% del diámetro aórtico con respecto a la aorta a nivel diafragmático junto con hipertensión sistémica con un gradiente de presión entre las extremidades superiores e inferiores $>20\text{mmHg}$ o en el casos con diferencias menos acusadas, con sintomatología como hipertensión en reposo, respuesta anormal de la presión arterial durante el ejercicio, desarrollo de hipertrofia ventricular izquierda progresiva o en el caso de enfermedades cardíacas complejas, con el objetivo de disminuir el riesgo de desarrollo de disfunción ventricular a largo plazo(24,25).

En 2018, el Colegio Americano de Cardiología y de la Asociación Americana del Corazón (ACC/AHA) (26) recomendaron en sus guías la intervención de los pacientes con CoAo cuando se cumpliera alguna de las siguientes condiciones:

- Gradiente transCoAO pico-pico de 20mmHg determinado de forma invasiva.
- Gradiente de transCoAo pico-pico $<20\text{mmHg}$ pero con evidencia por técnicas de imagen de segmento anatómico con CoAo severa, con desarrollo importante de circulación colateral que podría infravalorar el gradiente medido de forma invasiva.

En el caso de los neonatos con CoAo severa o incluso hipoplasia del arco aórtico, el debut puede ser la presencia de shock cardiogénico, que puede incluso agravarse tras el cierre del ductus arterioso. Por lo tanto, en estos pacientes el primer paso imprescindible es intentar mantener el ductus arterioso permeable el mayor tiempo posible, para permitir una estabilización hemodinámica antes de cualquier procedimiento intervencionista. El tratamiento médico en estos casos incluye la infusión de prostaglandinas intravenosa continua. Si se consigue mantener una situación hemodinámicamente estable, la reparación electiva en el caso de neonatos sería en torno a los 3 y 6 meses de vida ya que en esta etapa generalmente se ha producido una remodelación completa a nivel de la zona del ductus arterioso, lo que disminuye el de recoartación, mientras que a largo plazo la supervivencia y el estado normotenso tardío no son diferentes que en aquellos casos en los que se realiza una reparación en etapa neonatal (24,25).

1.6.1. TRATAMIENTO QUIRÚRGICO

El tratamiento quirúrgico de la CoAo nació en 1944, realizado por los Dres. Crawford y Nylín. Desde ese momento, se desarrollaron numerosas técnicas quirúrgicas que fueron siendo perfeccionadas y seleccionadas para diferentes indicaciones a lo largo del tiempo (25,27–29).

La cirugía es la técnica de reparación de elección en el caso de neonatos con una tasa de supervivencia muy alta que alcanza el 98%, siendo incluso posible en niños prematuros con un peso al nacer inferior a 2.5kg

Cada técnica quirúrgica debe ser cuidadosamente seleccionada en función de sus ventajas y desventajas en cada caso particular. Pese a sus diferencias, no se han encontrado diferencias en cuanto a complicaciones a corto plazo como la lesión nerviosa asociada o no a disfunción del miembro superior izquierdo, la aparición de quilotórax, el sangrado o la mortalidad inmediata, o a más largo plazo como la recoartación o la mortalidad tardía entre las diferentes técnicas, destacando únicamente una mayor incidencia de formación de aneurismas en la técnica de aortoplastia con parche, y mayor descripción de molestias a nivel del miembro superior izquierdo en los casos de aortoplastia con colgajo de arteria subclavia (24,25).

Las principales técnicas quirúrgicas descritas hasta la fecha son:

- Resección con anastomosis término-terminal: Es la técnica de elección en pacientes mayores de 1 año de edad.
- Aortoplastia con parche: Destaca la mayor incidencia de aneurismas con esta técnica.
- Aortoplastia con colgajo subclavio: Es la técnica de elección en pacientes menores de 1 año de edad y con un segmento largo de CoAo.
- Resección con anastomosis término-terminal extendida
- Implante de injerto: Cuando la longitud de la CoAo es demasiado extensa para permitir alguna de las técnicas previas descritas.

Aunque como se ha descrito anteriormente las complicaciones son raras, y no existen diferencias entre las distintas técnicas quirúrgicas, las potenciales complicaciones de la cirugía pueden llegar a ser muy graves, incluyendo robo de la subclavia, hipertensión paradójica, e incluso paraplejía por isquemia de las arterias que irrigan la médula espinal, además de lesiones nerviosas a nivel del nervio frénico o laríngeo, y estas complicaciones parecen ser más frecuentes cuando la cirugía se realiza en población adulta (25).

RESECCIÓN CON ANASTOMOSIS TÉRMINO-TERMINAL

La resección con anastomosis término-terminal fue la primera técnica quirúrgica descrita y puede ser utilizada en el caso de hipoplasia severa de todo el arco aórtico. Técnicamente se realiza una anastomosis término-lateral entre la aorta descendente y la aorta ascendente hasta el origen del arco aórtico. Hay que realizar una extensa disección de los tejidos del cuello, separando los elementos del arco, la aorta descendente, el conducto arterioso y los vasos supraaórticos, así como los elementos nerviosos como el nervio laríngeo recurrente. Se reseca el ductus y la zona coartada, desde el origen del arco hasta abarcar todo el segmento estenótico y finalmente se sutura con un hilo monofilamento reabsorbible de forma continua ambos extremos.

El principal inconveniente de esta técnica es una mayor tasa de reestenosis debido principalmente a la sutura circunferencial necesaria para conectar ambos extremos aórticos (24).

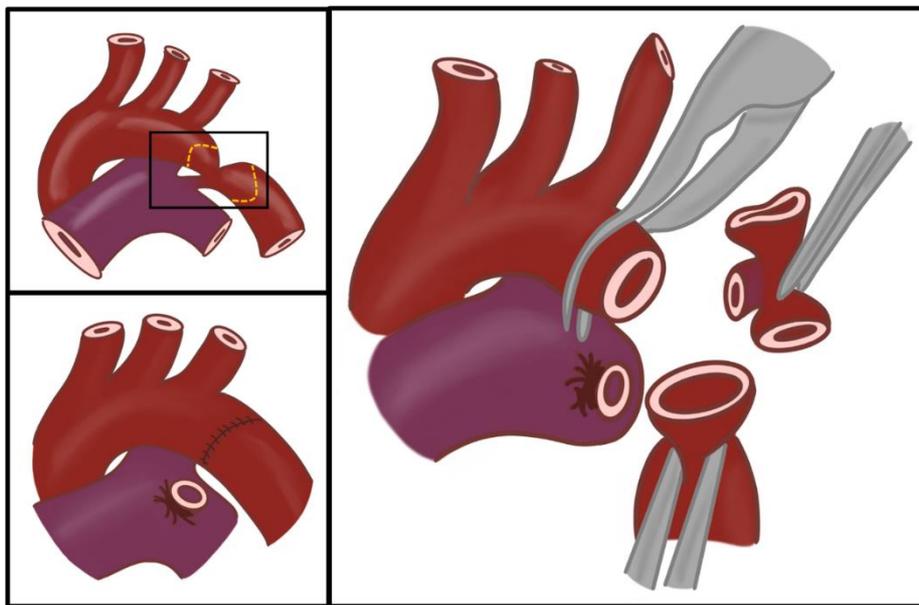


Figura 12. Resección con anastomosis término-terminal. A: Zona de interés quirúrgico. B: Resección de ductus arterioso y segmento coartado. C: Sutura continua circunferencial para unir extremos aórticos. Dibujo adaptado de (30).

AORTOPLASTIA CON PARCHES

Con intento de mejorar la tasa de reestenosis producido por la técnica anterior, se desarrolló la cirugía de aortoplastia con parche en 1961 descrita por Vosschulte (31) que aportaba además importantes ventajas como un tiempo muy corto y la necesidad de una resección mínima, con menor posibilidad de daño a las arterias espinales.

Sin embargo, la alta incidencia de aneurismas que se observan en esta técnica prácticamente la ha condenado al desuso, relegándola a casos muy concretos de reacoartación o neonatos muy pequeños en los que no es posible optar por otra técnica (24).

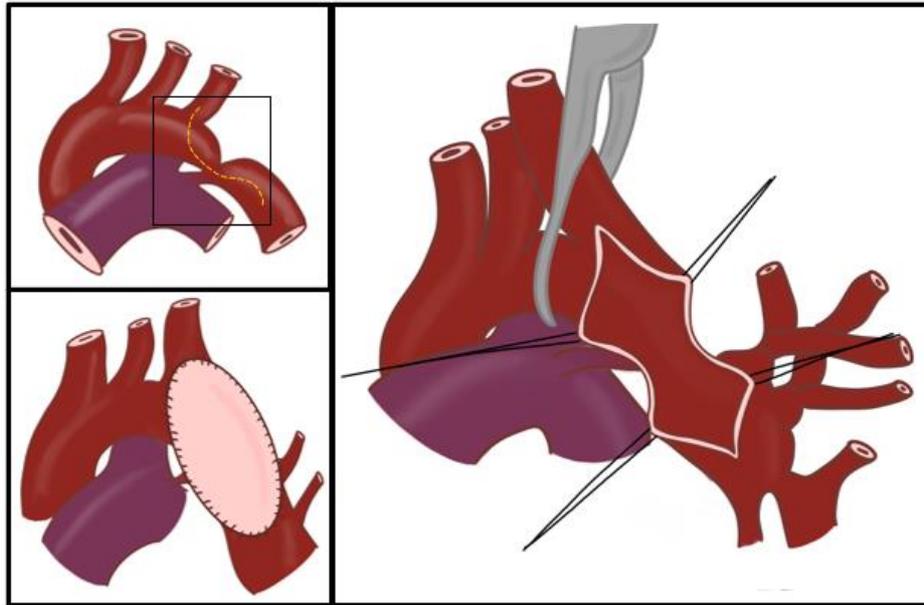


Figura 13. Aortoplastia con parche. A: Zona de interés quirúrgico. B: apertura para ampliación de segmento coartado. C: Interposición de parche para ampliación de defecto. Dibujo adaptado de (30).

AORTOPLASTIA CON COLGAJO SUBCLAVIO

Igualmente, con el objetivo de suplir las complicaciones observadas por las técnicas anteriores, se desarrolló en tercer lugar la técnica de aortoplastia con colgajo subclavio. Se realiza una incisión en el segmento estenótico de la aorta dirigido hacia la arteria subclavia izquierda, cuyo flap resultante se utiliza a modo de colgajo para aumentar el diámetro aórtico. Obviamente, la principal desventaja de esta técnica involucra, al miembro superior izquierdo, ya que al sacrificar su flujo en edades tempranas puede producir un desarrollo desigual con respecto a su contralateral, aunque no parece tener consecuencias a nivel funcional (24).

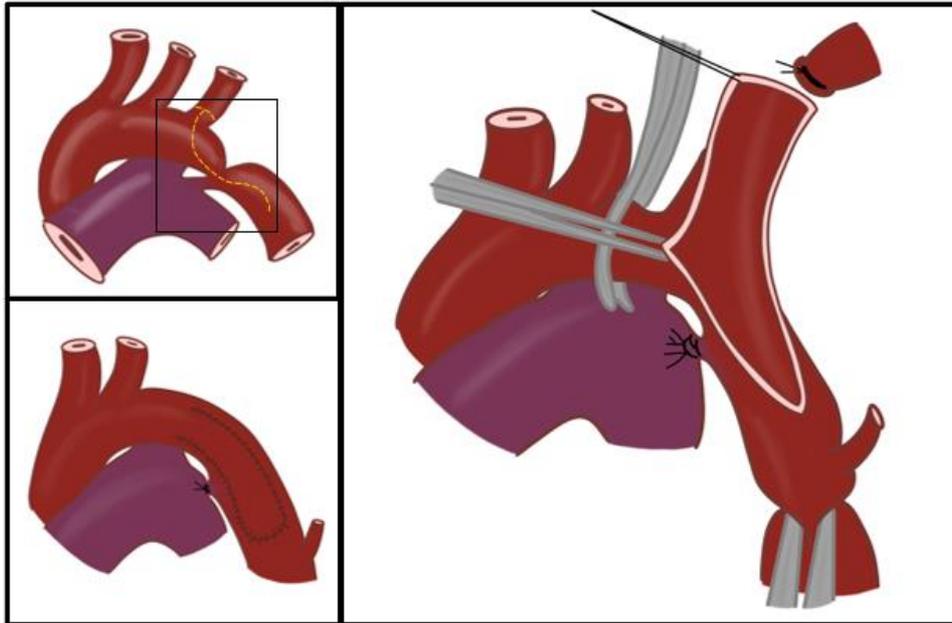


Figura 14. Aortoplastia con colgajo subclavio. A: Zona de interés quirúrgico. B: apertura para ampliación de segmento coartado que involucra la arteria subclavia izquierda. C: Cierre del defecto con el Flap subclavio como colgajo. Dibujo adaptado de (30).

RESECCIÓN CON ANASTOMOSIS TÉRMINO-TERMINAL EXTENDIDA

Esta técnica se desarrolló como modificación de la anastomosis termino-terminal inicial para mejorar la tasa de reestenosis, ampliando los bordes aórticos con una incisión longitudinal en cada uno de los extremos, de forma que ambos cabos fueran ovalados y permitiendo un mayor diámetro aórtico a la hora de la sutura (24).

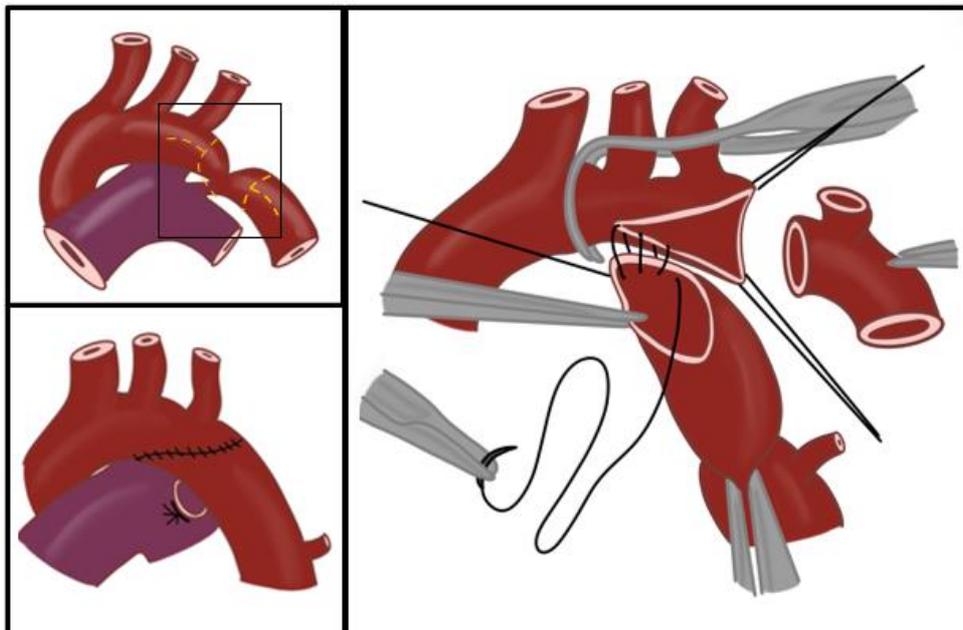


Figura 15. Resección con anastomosis término-terminal extendida. A: Zona de interés quirúrgico. B: Resección de ductus arterioso y segmento coartado con ampliación longitudinal. C: Sutura continua para unir extremos aórticos. Dibujo adaptado de (30).

IMPLANTE DE INJERTO

En caso de pacientes adultos, se puede optar por un implante de homoinjerto o tubo protésico para salvar el defecto, especialmente utilizado en casos de defecto muy extensos que no son posibles de tratar mediante el resto de las técnicas quirúrgicas. Presenta una tasa de complicaciones similar al resto de técnicas descritas en cuanto a mortalidad, reestenosis, complicaciones nerviosas o desarrollo de aneurismas (32).

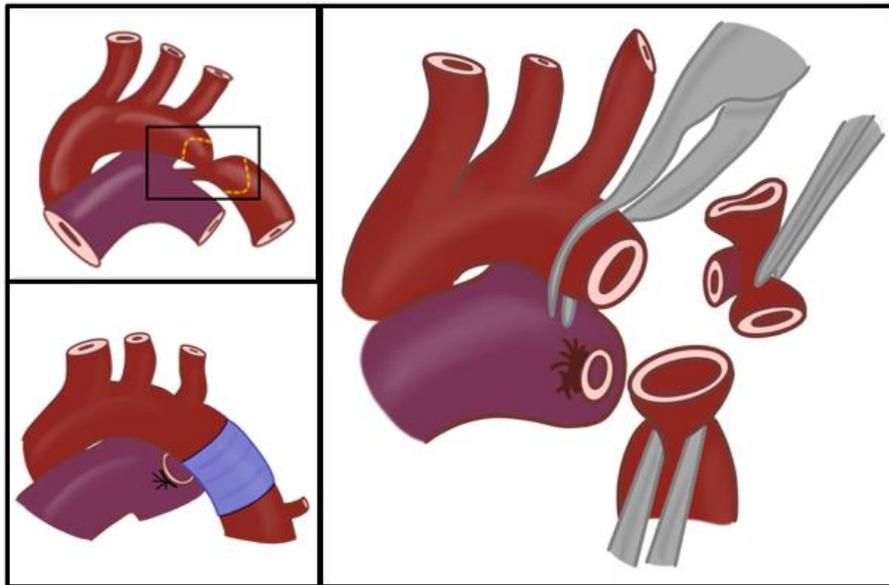


Figura 16. Aortoplastia con implante de injerto. A: Zona de interés quirúrgico. B: Resección de ductus arterioso y segmento coartado. C: Sutura continua para unir tubo protésico con extremos aórticos. Dibujo adaptado de (30).

1.6.2. TRATAMIENTO PERCUTÁNEO

Como alternativa al tratamiento quirúrgico se desarrolló en la década de los 80, técnicas de intervencionismo percutáneo, inicialmente angioplastia con balón y posteriormente el implante de stents.

Actualmente, las guías de práctica clínica de cardiopatías congénitas del adulto (33) recogen como indicación preferente el intervencionismo percutáneo en los siguientes casos:

- Gradiente de presión entre miembros superiores e inferiores mayor a 20mmHg junto con la presencia de hipertensión sistémica (IC)
- Gradiente de presión entre miembros superiores e inferiores mayor a 20mmHg sin la presencia de hipertensión sistémica (IIaC)
- Gradiente de presión entre miembros superiores e inferiores menor a 20mmHg junto con la presencia de hipertensión sistémica y estenosis significativa por técnicas de imagen (IIaC)

- Gradiente de presión entre miembros superiores e inferiores menor a 20mHg sin la presencia de hipertensión sistémica pero asociado a estenosis significativa por técnicas de imagen (IIBC)

1.6.2.1 ANGIOPLASTIA CON BALÓN

La angioplastia con balón como técnica de reparación de pacientes con CoAo se inició en 1982 (34–39).

El procedimiento consiste en realizar una dilatación programada de un balón en el segmento estenótico, introducido gracias a un catéter vía femoral, con el objetivo de producir una lesión controlada de la pared aórtica, sin afectar a la totalidad de sus capas. Esta “lesión aórtica aguda controlada”, que afectaría a las capas íntima y media, acabarían dando lugar a una dilatación de la zona afecta y a un remodelado positivo que mantuviera dicha luz. Sin embargo, la realidad es que, en un porcentaje muy elevado de los casos, se produce una regresión de la lesión, con una recoartación significativa que requiere un nuevo procedimiento. Por este motivo, esta técnica ha quedado actualmente relegada a casos neonatales, en los que la cirugía suponga un alto riesgo, y asumiendo que se trata de un procedimiento “paliativo” que requerirá un nuevo procedimiento en el futuro. Al ser una técnica actualmente utilizada en neonatos, destacan como complicaciones además de la ya citada recoartación, complicaciones a nivel del acceso femoral, con una posible oclusión crónica a nivel del vaso, así como la formación de aneurismas sobre el segmento coartados o complicaciones más graves pero muy raras como roturas traumáticas de aorta en el momento del procedimiento que pueden llegar a ser potencialmente mortales (40–42).

1.6.2.2. IMPLANTE DE STENT

En 1989 (36) se publica por primera vez el uso de un stent como tratamiento de CoAo, con un desarrollo importante de esta técnica en los años sucesivos. Esta técnica se generalizó en la década de los años 90 (43), con importante desarrollo tanto del procedimiento como del material utilizado para ello, y hoy día parece ya mostrarse como el tratamiento de elección en adultos y niños por encima de 6 años de edad. La angioplastia con balón queda por tanto reservada como medida paliativa a la edad neonatal y la lactancia.

El implante de stent en el lugar estenosado permite controlar aún más el daño aórtico producido por el inflado del balón, permitiendo sellar posibles roturas contenidas aórticas y sirviendo de soporte estructural para la remodelación positiva buscada, disminuyendo la tasa de reestenosis. Además, la técnica permite su uso tanto en CoAo nativas, como en reestenosis tras alguna de las técnicas previas, bien cirugía o angioplastia, e incluso en casos de re coartación con implante previo de stent, así como en CoAo con una anatomía “compleja”(37) como la existencia de interrupción completa de la aorta, hipoplasia del istmo o del arco, aneurisma asociado, una aorta muy tortuosa, estenosis largas y difusas y localizaciones inusuales (abdominal, arco transversal, etc.) (37).

Los resultados inmediatos y a largo plazo son muy favorables. La mortalidad hospitalaria es inferior al 1%. La incidencia de accidente cerebrovascular o infarto de miocardio es inferior también al 1% (44–50).

TIPOS DE STENT

Existen numerosas diferencias en cuanto a los stent disponibles en el mercado, y es importante recordar que su desarrollo ha sido progresivo a lo largo del tiempo, con aparición de mejoras sustanciales gracias a las nuevas generaciones de cada casa comercial. Estas diferencias van a basarse fundamentalmente en la arquitectura de las celdillas (o struts), en el material utilizado para su fabricación, en la forma de implante (con balón o autoexpandibles) y en la presencia o no de cubierta.

En cuanto al tipo de estructura de las celdillas, existen tres tipos fundamentales: Celdilla cerrada (Es un diseño muy fijo, y por tanto menos flexible), celdilla abierta o celdilla híbrida (Figura 17) (51).

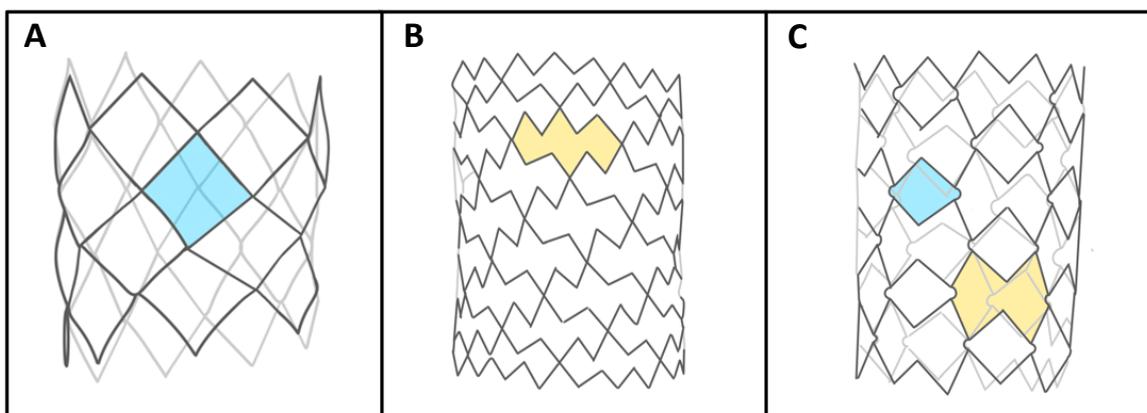


Figura 17. Diferentes arquitecturas de stent. A: Celdilla cerrada. B: Celdilla abierta. C: Celdilla híbrida

Para el tratamiento de la CoAo generalmente son de preferencia el uso de stent expandidos con balón, dado que poseen una mayor fuerza radial que permite una mejor dilatación del segmento estenótico. El uso de stent cubiertos se iniciaron con objetivo de tratar las complicaciones sobre la pared aórtica, lo que derivó que actualmente puedan ser utilizados en casos de CoAo complejas en los que el riesgo de complicaciones ya se prevea alto como en casos de una estenosis muy severa que requiera una gran dilatación, una aorta muy tortuosa, patologías genéticas de la aorta como un síndrome de Marfan que predispone a una mayor debilidad del tejido en caso de presencia de complicaciones de intervenciones previas con presencia de aneurismas o pseudoaneurismas (51).

Las diferentes combinaciones de parámetros configuran los stent disponibles actualmente en el mercado se resumen en la tabla 2:

CARACTERÍSTICAS	Modelo	Material	Diseño
DESNUDOS (Bare metal stents)	Palmaz [®]	Acero inoxidable	Celdilla cerrada
	Palmaz Génesis [®] (PG)		
	Palmaz XL [™] (Cordis Corporation, Miami. USA)		
	CP Stent [®] (NuMED Inc, Hopkinton, NY, USA)	90% platino 10% Iridio	Celdilla cerrada "zig zag"
	Andrastent [®] (Andramed GmbH, Germany)	Cromo-cobalto	Celdilla híbrida
	Fórmula stent [®] (Cook Medical, USA)	Acero inoxidable	Celdilla híbrida
	Valeo [®] (BD)	Acero inoxidable	Celdilla abierta
	Optimus [®] (Andratec)	Cromo-Cobalto	Celdilla semiabierta
CUBIERTOS	CP stent covered [®] (NuMED Inc, Hopkinton, NY, USA)	90% platino 10% Iridio	Celdilla cerrada "zig zag"
	Advanta V12 LD [®] (Atrium Medical, NH)	Acero inoxidable	Celdilla abierta
	Begraft [®] (Bentley Innomed, Germany)	Cromo-cobalto	Celdilla abierta o cerrada
	Optimus [™] Covered (Andratec)	Cromo-Cobalto	Celdilla semiabierta

Tabla 2. Principales tipos de stent del mercado y sus características.

COMPLICACIONES TRAS EL IMPLANTE DE STENT

La técnica de implante de stent es una técnica muy segura, con una tasa rara de complicaciones, aunque es importante destacar que estas pueden ocurrir bien durante el propio procedimiento, o en el seguimiento temprano o tardío, y que algunas de ellas pueden llegar a ser potencialmente graves. La mayor parte de estas complicaciones pueden ser diagnosticadas mediante un seguimiento clínico y por TAC (26).

Complicaciones inmediatas:

- Rotura/disección aortica: Es la complicación potencialmente más grave ya que puede derivar en la muerte del paciente. Es más frecuente en pacientes con patologías genéticas o del tejido conectivo como el síndrome de Turner.
- Paraplejia: Especialmente en el caso de uso de stent cubiertos que pudieran ocluir arterias espinales.
- Migración del stent: Se produce con mayor frecuencia en aquellos casos en los que el stent precisa una nueva dilatación tras su implante o bien por el fenómeno de “squeezing” debido a que el diámetro balón supere el diámetro de la aorta proximal, especialmente en coartaciones próxima al arco transverso.
- Enjaulamiento de troncos supraaorticos: En aquellos casos en los que el segmento estenótico o el desarrollo de aneurismas se encuentra muy próximo a la salida de los vasos supraaórticos es muy importante tener en cuenta preservar su permeabilidad. Para ello, el uso de stent desnudos es la elección, ya que, aunque encierran los ramos no suelen comprometerlos hemodinámicamente
- Complicaciones del acceso femoral: Especialmente en el caso de pacientes muy jóvenes, como niños pequeños o lactantes debido al calibre de los introductores necesarios. El uso de dispositivos especialmente diseñados para un correcto cierre ha mejorado la tasa de estas complicaciones. Además, la realización de una angiografía contralateral para comprobar la ausencia de sangrado y un correcto cierre da una garantía de seguridad.

Complicaciones tardías:

- Aneurisma: La frecuencia de esta complicación ha ido variando con el tiempo, debido a las diferentes técnicas de reparación surgidas en la historia. Con la llegada del tratamiento con stent esta complicación se ha reducido, pero la incidencia real de aneurismas en el seguimiento de los pacientes con coartación de aorta no está clara en la literatura, debido fundamentalmente a que no existe una definición establecida.
- Alteración de la estructura del Stent: Incluye el colapso o la fractura con diferentes niveles de pérdida de integridad a nivel de las celdillas y que se ha relacionado con embolización de fragmentos, reestenosis y lesiones de la pared aórtica.
- Reestenosis: Con una incidencia en la bibliografía entre el 3-11%. Es una complicación que podría ser esperable cuando se utilizan stent como tratamiento en pacientes jóvenes que no han completado su crecimiento somático. En estos casos, la estrategia de tratamiento puede ser en varias etapas, asumiendo la reestenosis futura y realizando angioplastia de redilatación o implante de un nuevo stent en el futuro (44).

JUSTIFICACIÓN

La coartación de aorta (CoAo) es una malformación cardiovascular consistente en una estenosis de la luz de la aorta torácica localizada generalmente en la zona del istmo en su inserción con el conducto arterial y la aorta descendente.

Las últimas recomendaciones establecidas en las guías de práctica clínica europeas indican el implante de stent como tratamiento de elección en la población infantil y pacientes adultos con CoAo significativa, aconsejando además un seguimiento estrecho de estos pacientes, dada la posibilidad de desarrollar complicaciones tardías a pesar de un procedimiento exitoso.

A pesar de que una de las complicaciones tardía conocidas en esta patología es el desarrollo de aneurismas a nivel de la pared arterial, incluso años después del implante del stent, su incidencia e impacto clínico no están bien establecidos, debido fundamentalmente a la heterogeneidad en la definición de esta complicación, así como la escasez de estudios con seguimiento a muy largo plazo de los pacientes con CoAo reparada de forma percutánea y realización de técnicas de imagen como el TC aórtico.

Por tanto, se plantea como hipótesis de trabajo que la incidencia de eventos tardíos en el seguimiento a largo plazo de los pacientes con CoAo tratada mediante implante de stent pudiera ser mayor a la descrita en la literatura, y sería importante conocer la repercusión clínica y las variables predictoras de estos eventos, para poder establecer unas mejores recomendaciones en cuanto a las técnicas de imagen para su seguimiento y el manejo de los mismos.

OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL:

- Describir la incidencia de aneurisma aórtico y fractura de stent en pacientes con Coartación de aorta tratada de forma percutánea en el seguimiento a largo plazo valorada mediante TC con contraste de aorta y fluoroscopia.

OBJETIVOS SECUNDARIOS:

- Identificar factores clínicos, angiográficos y radiológicos que actuaran como predictores de desarrollo de aneurisma aórtico y de fractura de stent en el seguimiento de los pacientes.
- Determinar la necesidad de reintervención en el seguimiento
- Establecer la incidencia de eventos mayores en el seguimiento como la mortalidad por todas las causas.

PACIENTES Y MÉTODOS

2. DISEÑO Y POBLACIÓN DE ESTUDIO

En 1993 se inició en el Servicio de Cardiología del Hospital Universitario Reina Sofía, el tratamiento de la CoAo con implante de Stent de manera percutánea como alternativa a la cirugía y a la valvuloplastia con balón. Desde dicha fecha, se han tratado percutáneamente hasta diciembre de 2018 un total de 177 pacientes con CoAo severa que precisaban de tratamiento intervencionista.

Se trata de un estudio observacional longitudinal y analítico, de carácter prospectivo.

De los 177 pacientes tratados, se excluyeron 10 del análisis. Por lo que el tamaño final de la muestra seleccionada fue de 167 pacientes.

2.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Se consideraron candidatos para este estudio a los pacientes que cumplen las siguientes condiciones:

- Características clínicas: CoAo severa, definida mediante un gradiente transCoAo de >20mmHg tratados mediante implante de stent entre 1993 y 2018.

Además, los pacientes debían cumplir las siguientes consideraciones clínicas:

- TC aórtico en el seguimiento a largo plazo.
- Imagen de Fluoroscopia para valorar Fracturas de Stent en el seguimiento a largo plazo.
- En el caso de pacientes reintervenidos de forma percutánea, se valorará tanto la presencia de fracturas de stent como la presencia de aneurismas durante el segundo procedimiento, suponiendo ese momento el fin del seguimiento de dicho paciente.

2.2 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Se consideraron criterios de exclusión en este estudio lo pacientes que presentaron alguna de las siguientes características:

- Pacientes con aneurisma de aorta post quirúrgico (Ya presente antes del implante del stent).
- Pacientes en lo que se produjo un daño agudo sobre la pared aórtica durante el procedimiento, como ruptura o disección aórticas.
- Pacientes en lo que no fuera posible disponer de estudios de TC aórtico o fluoroscopia durante el seguimiento.

3. VARIABLES ESTUDIADAS

Las variables recogidas en este estudio fueron:

1. Variables demográficas: el sexo, la edad en el momento del implante del stent (años), superficie corporal (SC) en el momento del implante (m²).

2. Malformaciones asociadas a la coartación de aorta: presencia de VAB, alteración funcional de la válvula mitral, estenosis subvalvular o valvular aórtica, defectos septales como comunicación interauricular (CIA) o CIV, ductus arterioso persistente, y otras malformaciones como síndrome de Shone o presencia de subclavia derecha aberrante.

3. Estado de la CoAo: Indicando si se trataba de una intervención sobre una CoAo nativa, después de un procedimiento previo percutáneo con angioplastia con balón o tras intervención quirúrgica (con o sin procedimiento de valvuloplastia asociado).

4. Datos hemodinámicos en el momento del implante: Diámetro de la aorta a nivel ascendente (mm), del istmo (mm), del arco transversal (mm) y de la aorta descendente (mm). Diámetro mínimo a nivel de la CoAo (mm) y porcentaje de estenosis (%). Presión sistólica en la aorta ascendente y descendente (mmHg) y gradiente transCoAo (mmHg). Tipo de stent implantado, indicando marca y si se trata de stent cubierto o desnudo, su longitud (mm) y diámetro (mm), así como el diámetro inicial y final (mm) del balón utilizado para su expansión. Gradiente final transCoAo tras el procedimiento (mmHg).

6. Medidas en TC aórtico: Fecha de realización del TC aórtico. Diámetro de la aorta ascendente y descendente (mm), diámetro mínimo intra stent (mm), diámetro de la aorta a nivel del diafragma (mm). Presencia de aneurisma de aorta. En el caso de que exista aneurisma, se recogerá además el diámetro radial (mm) y longitudinal (mm) del mismo y su relación con el diámetro de la aorta a nivel diafragmático (%).

7. Fluoroscopia: Fecha de realización de la fluoroscopia. Presencia de fractura de stent. En caso de existir fractura, esta se clasificará en leve, moderada o severa.

8. Otras variables en el seguimiento: Re-coartación en el seguimiento, recogiendo en caso de que se haya producido la fecha del nuevo procedimiento. Mortalidad, así como fecha y la causa de muerte.

3.1 DEFINICIONES

ANEURISMA

Los aneurismas fueron clasificados de acuerdo con la clasificación de Pedra et al(52).

- Aneurisma pequeño: El defecto en la pared aórtica es mayor de 3mm en sentido radial, pero inferior al 50% con respecto al diámetro de la pared aórtica a nivel diafragmático.
- Aneurisma moderado: El defecto de la pared aórtica supera el 50% de diámetro de la pared aórtica a nivel diafragmático, pero su diámetro es inferior a 50mm a nivel radial.
- Aneurisma grande: El defecto de la pared aórtica tiene un diámetro superior a 50mm a nivel radial.

FRACTURA DE STENT

La clasificación de las fracturas de stent se realizó en base a la evaluación modificada de McElhinney(53).

- Fractura leve: Fractura a nivel de ≤ 2 struts con una separación entre los fragmentos ≤ 2 mm. (Figura 18A)
- Fractura moderada: Fractura a nivel de > 2 struts con una separación entre los fragmentos ≤ 2 mm. (Figura 18B)
- Fractura severa: Fractura a múltiples niveles (> 2 struts) con un desplazamiento de los fragmentos > 2 mm o en los casos de fracturas con un desplazamiento significativo del segmento fracturado (Figura 18C).

Las fracturas fueron valoradas después de su implante inmediato y antes de cualquier tipo de reintervención sobre la CoAo. Por lo tanto, no se consideraron en el seguimiento aquellas fracturas de stent producidas por los procedimientos de redilatación con balón en los casos en los que fue necesario por recoartación durante el seguimiento.

Para cada fractura se realizaron un mínimo de tres proyecciones angiográficas, siendo las principales anteroposterior (AP), anterior oblicua izquierda y oblicua anterior derecha (OAD) y oblicua anterior izquierda (OAI). Cada fractura fue valorada y clasificada por dos operadores expertos independientes.

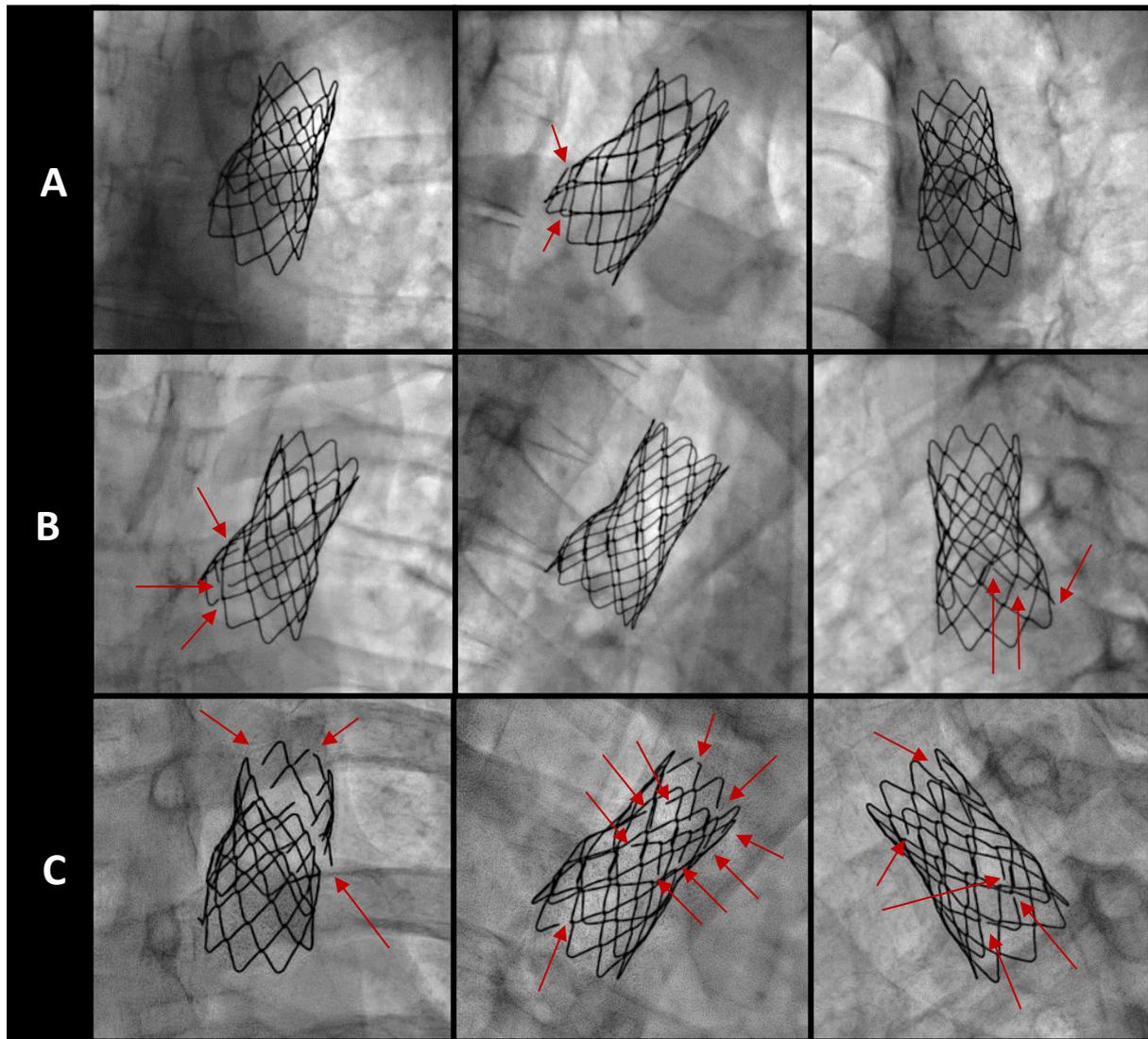


Figura 18. Proyecciones angiográficas para valorar la presencia de fracturas de stent. A. Fractura leve; B. Fractura moderada; C. Fractura severa. PA: Posteroanterior, OAD: Oblicua Anterior Derecha; OAI: Oblicua Anterior Izquierda. Las flechas rojas marcan los puntos visibles de fractura en cada proyección.

4. PROCEDIMIENTO DE IMPLANTE DE STENT

El procedimiento del implante de stent se realizó con monitorización cardíaca y anestesia general en todos los pacientes y siempre se obtuvo el consentimiento informado firmado antes del procedimiento.

Para el acceso vascular, se canalizaron dos accesos a nivel de la arteria femoral, o un acceso a nivel de arteria femoral, y otro a nivel de la arteria radial. Inicialmente, se obtuvo el gradiente pico de presión a través del segmento estenótico. Posteriormente, se realizó en todos los casos un estudio anatómico mediante angiografía aórtica, utilizando diferentes proyecciones que permitieran su correcta valoración.

La proyección seleccionada para realizar las medidas de la aorta fue una proyección oblicua anterior izquierda a 60° (OAI). Las medidas obtenidas incluyen el diámetro de la aorta a nivel ascendente, del istmo, del arco transverso y de la aorta descendente, así como el diámetro mínimo a nivel del segmento estenótico y porcentaje de estenosis. El porcentaje de estenosis se calculó como $(1 - \text{diámetro mínimo a nivel del segmento estenótico} / \text{diámetro aórtico a nivel diafragmático}) \times 100$.

Tras la fase diagnóstica, se inicia la fase terapéutica. Para ello, es necesario seleccionar el tipo de stent así como su tamaño y diámetro, para lo cual se utilizó de referencia el diámetro de la aorta a nivel del diafragma. El tipo de stent varió a lo largo de los años según la disponibilidad de los diferentes modelos en el momento del tratamiento. Inicialmente, el stent disponible era principalmente el stent PALMAZ (Cordis Endovascular, Estados Unidos), y posteriormente surgieron por orden Cheatham-Platinum (CP) (NuMED, Estados Unidos Estados Unidos), Valeo (Bard Peripheral Vascular, Estados Unidos), y BeGraft (Bentley InnoMed, Alemania). Se utilizó el acceso arterial contralateral, en cada caso femoral o radial, para realizar monitorización del implante del stent, mediante inyecciones cortas de contraste con un catéter multipropósito (4-6 Fr). Finalmente, se realizó comprobación del gradiente tras stent para valoración del gradiente residual.

Tras completar el procedimiento, desde 2011 el cierre de la punción arterial femoral se realizó con el sistema Prostar® (Abbott Vascular, Santa Clara, CA, EE.UU.) gracias al implante al inicio del procedimiento de un dispositivo de 10 Fr (antes de la inserción de la cánula).

5. SEGUIMIENTO Y PROTOCOLO DE EVALUACIÓN

Para este estudio se revisaron de forma exhaustiva las historias clínicas de los pacientes para recoger las variables relacionadas con los datos demográficos, las características basales y los datos angiográficos durante el procedimiento. También se revisaron los estudios de imagen realizados durante el seguimiento de los pacientes, con especial atención a los TC de aorta y las imágenes de fluoroscopia, especialmente en aquellos pacientes que habían precisado un segundo procedimiento sobre la CoAo.

El protocolo de seguimiento en nuestro centro para los pacientes con CoAo sometidos a intervencionismo percutáneo con implante de stent incluyeron visitas clínicas, revisiones telefónicas y evaluaciones clínicas y ecocardiográficas programadas a los 6 meses de forma inicial y de manera anual posteriormente.

Se consideró el seguimiento de cada paciente completo tras comprobar su supervivencia y situación clínica, haber tener completo al menos un estudio de TC aórtico y un estudio fluoroscópico para valorar las posibles fracturas de stent. Además, se valoró durante el seguimiento el desarrollo de complicaciones sobre la pared aórtica, migración del stent o la necesidad de reintervención.

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE 64 CORTES

Se realizó control con TC de aorta desde el 2008, y todos los pacientes incluidos contaban con al menos un estudio de imagen.

La tomografía computarizada de 64 cortes es una técnica no invasiva que permite completar el estudio en los pacientes con sospecha de reestenosis de aorta, así como valorar posibles complicaciones a nivel de la pared aórtica como el desarrollo de aneurismas. Además, aporta información importante sobre la anatomía de la aorta, permitiendo la medición de los diámetros a diferentes niveles, siendo de especial importancia el diámetro de la aorta ascendente, descendente, y a nivel diafragmático, el diámetro mínimo intrastent, así como la existencia de posibles dilataciones aneurismáticas, en la zona pre-estenótica, post-estenótica o en la zona externa del implante del stent.

Como valor añadido, esta técnica permite la reconstrucción en 3D de la zona de interés, permitiendo una mejor comprensión espacial del defecto, así como servir de ayuda para la planificación del tratamiento (Percutáneo, quirúrgico o de seguimiento clínico).

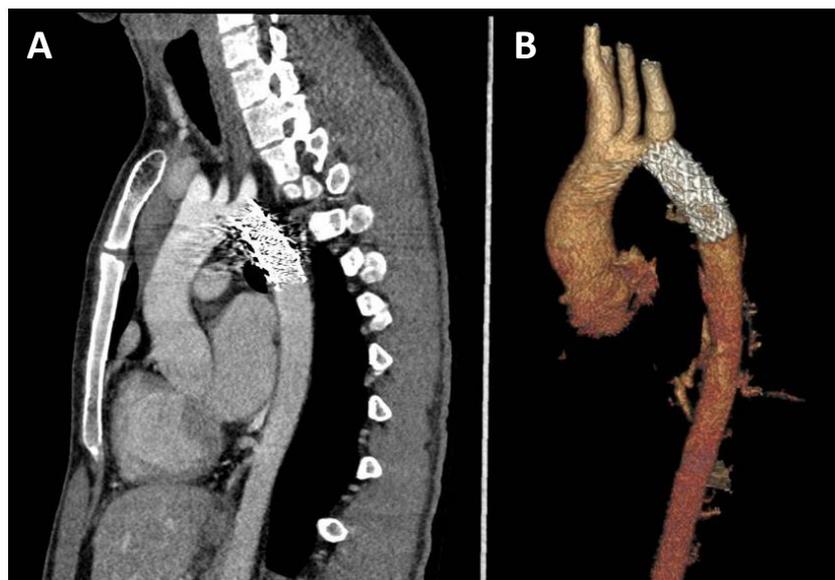


Figura 19. TAC de seguimiento. A: Corte sagital. B: Reconstrucción 3D.

FLUOROSCOPIA

A todos los pacientes se les realizó un estudio fluoroscópico dirigido a valorar la presencia de fracturas de stent. Para ello se realizaron al menos 3 proyecciones diferentes: PA, OAI extrema y OAD extrema.

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables cuantitativas se describieron como media \pm desviación estándar (DE), mientras que las variables cualitativas, como frecuencia absoluta y relativa.

La prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov se realizó antes de cualquier comparación de variables cuantitativas entre los grupos. Las comparaciones de variables cuantitativas entre grupos dicotómicos se realizaron utilizando la prueba t de Student como prueba paramétrica y la prueba U de Mann-Whitney como prueba no paramétrica. Las comparaciones de variables cualitativas se realizaron mediante el test chi-cuadrado.

Se llevó a cabo una regresión logística univariante y posteriormente una regresión logística multivariante para evaluar los factores asociados con aneurisma y fractura de stent, con el objetivo de evaluar la asociación de las variables clínicas con el desarrollo de dichas complicaciones utilizando para el análisis multivariante variables con un valor de $p < 0,15$ en el análisis univariante. Se probaron los factores de confusión y las interacciones. Se evaluará la bondad del ajuste mediante el test de Hosmer Lemeshow.

Se realizaron curvas de Kaplan-Meier para valorar el riesgo de reintervención y muerte por todas las causas relacionado con el tiempo transcurrido hasta el evento. Se probaron los modelos multivariable logístico y de Cox para determinar la colinealidad y se construyeron mediante eliminación gradual hacia atrás, incluyendo inicialmente variables clínicamente relevantes y aquellos con una $p < 0,100$ en los modelos univariados.

Las pruebas de hipótesis fueron bilaterales y se consideró significativo un valor de $p < 0,05$. Los datos fueron recolectados, procesados y analizados utilizando IBM SPSS v.25 (IBM Corp., Armonk, NY, EEUU) y RStudio v.4.2.1 (Posit, Boston, MA, EEUU).

RESULTADOS

7. DATOS BASALES, ANGIOGRÁFICOS Y DE PROCEDIMIENTO

7.1. POBLACIÓN GENERAL

Durante los 25 años comprendidos entre el año 1993 y 2018 se trató de manera percutánea a un total de 177 pacientes con CoAo. De estos pacientes, 10 fueron excluidos de la cohorte de estudio. Finalmente, se incluyeron un total de 167 pacientes con una edad media al implante de 19 ± 15 años, siendo hasta el 50% de los pacientes menores de 12 años en el momento del implante, con un predominio del sexo masculino (121 varones, 72%) como cabría esperar en esta patología. La coartación era nativa en 117 pacientes (70%), mientras que en 25 casos (15%) ya se había realizado un procedimiento previo de angioplastia, y en otros 25 casos (15%), los pacientes presentaban antecedentes de intervención quirúrgica sobre la CoAo, con o sin angioplastia asociada. En el 32% de los casos (54 pacientes) presentaban malformaciones asociadas, siendo la más frecuentemente hallada la presencia de VAB hasta en 16 de ellos (30%) La asociación con lesiones estenóticas del lado izquierdo se produjo en 15 pacientes (28%), por afectación de la válvula mitral, con diferentes grados de estenosis en 7 pacientes (13%), estenosis subaórtica en 5 pacientes (9%) y síndrome de Shone en hasta 3 pacientes (6%). La presencia de ductus arterioso amplio con necesidad e intervención se observó en 4 pacientes (7%). Dos pacientes presentaron una CIV (4%) y un paciente un canal auriculoventricular (AV) completo (2%). Hasta 4 pacientes presentaban al nacimiento cardiopatías más complejas, en 3 casos con corazón 6%) y un paciente con transposición de grandes vasos (TGA). En la cohorte observamos hasta 6 pacientes con combinación de varios defectos.

Los datos clínicos de la cohorte general y categorizados según edad menor o mayor de 12 años se muestran en la tabla 3. Como sería esperable, hubo diferencias significativas en términos de edad y superficie corporal entre grupos, así como en el número de pacientes que presentaban una CoAo tratada previamente mediante angioplastia, siendo este porcentaje mayor en el grupo de pacientes tratados con una edad inferior a los 12 años.

CARACTERÍSTICAS	POBLACIÓN TOTAL N=167	≤12 AÑOS N=83	>12 AÑOS N=84	p
Edad (Años)	19±15	7±3	31±14	<0.001
Sexo femenino (%)	46 (27.5%)	18 (21.7%)	28 (33.3%)	0.092
SC (m2)	1.4±0.5	1±0.4	1.7±0.3	<0.001
Malformación asociada	54 (32.3%)	30 (36.1%)	24 (28.6%)	0.296
Procedimiento previo				
Angioplastia	25 (15%)	18 (21.7%)	7 (8.3%)	0.016
Cirugía	25 (15%)	13 (15.7%)	12 (14.3%)	0.803

Tabla 3. Características clínicas basales de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años. SC: Superficie corporal.

7.2. CARÁCTERÍSTICA HEMODINÁMICAS Y ANGIOGRÁFICAS BASALES

Los datos hemodinámicos y angiográficos basales quedan resumidos en la Tabla 4. En la cohorte general, los pacientes mostraron una CoAo gradiente transCoAo pico-pico medio de 38.03±14.08 mmHg con un diámetro mínimo a nivel del segmento estenótico de 5.7±3.9 mm, lo que supone un porcentaje de estenosis medio del 66.7±20.5%.

De forma lógica, existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto al tamaño aórtico entre los dos grupos de edad, sin que estas diferencias se trasladen al porcentaje de estenosis ni al gradiente pico transCoAo.

CARACTERÍSTICAS	POBLACIÓN TOTAL N=167	≤12 AÑOS N=83	>12 AÑOS N=84	p
Aorta ascendente (mm)	23.9±12.7	16.2±5.1	31.1±13.5	<0.001
Aorta descendente (mm)	16.8±6.5	12.8±3.5	20.9±6.4	<0.001
Diámetro mínimo (mm)	5.7±3.9	4.7±3.0	6.6±4.4	0.007
Arco aórtico (mm)	15.2±7.6	11.3±4.2	18.8±8.3	<0.001
Aorta tras la subclavia (mm)	13.4±6.1	10.0±4.6	16.6±5.6	<0.001
% de estenosis	66.7±20.5	65.6±19.5	67.7±21.5	0.573
Gradiente pico (mmHg)	38.03±14.08	39.34±15.10	36.79±13.02	0.356

Tabla 4. Características hemodinámicas y angiográficas basales de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años.

7.3. CARÁCTERÍSTICA DE PROCEDIMIENTO

En lo que respecta a los datos del procedimiento, cabe destacar que una alta proporción de pacientes, tanto en la cohorte general como en ambos grupos fueron tratados con un stent PALMAZ 76 (45,5%) mientras que el uso de stents cubiertos fue minoritario (11%) debido a la disponibilidad más tardía de este stent durante el periodo de estudio.

Se consiguió un resultado óptimo en cuanto a gradiente transCoAo inmediato en el total de los pacientes tras la intervención. Los datos del procedimiento se muestran en la tabla 5.

CARACTERÍSTICAS	POBLACIÓN TOTAL N=167	≤12 AÑOS N=83	>12 AÑOS N=84	p
Stent desnudo (%)	145 (86.38%)	77 (92.8%)	68 (81%)	0.024
Stent PALMAZ (%)	76 (45.5%)	37 (44.6%)	39 (46.4%)	0.810
Stent Cheatham-Platino (%)	77 (46.1%)	42 (50.6%)	25 (41.7%)	0.247
Otros stent (%)	14 (8.4%)	4 (4.8%)	10 (11.9%)	0.099
Diámetro del stent (mm)	16.9±5.6	14.2±3.5	20.2±6.0	<0.001
Longitud del stent (mm)	39.9±13.5	35.2±8.1	44.6±15.9	<0.001

Tabla 5. Características de procedimiento basales de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años.

8. DATOS EN EL SEGUIMIENTO

El seguimiento medio de los pacientes fue de 206±91 meses (Mediana 198 meses) y de 17±8 años (Mediana 17 años). Los eventos principales del seguimiento quedan reflejados en la tabla 6 y la figura 20.

CARACTERÍSTICAS	POBLACIÓN TOTAL N=167	≤12 AÑOS N=83	>12 AÑOS N=84	p
Aneurisma	21 (13%)	12 (14%)	9 (11%)	0.467
Fractura	56 (34%)	42 (51%)	14 (17%)	<0.001
Migración del stent	1 (0.6%)	0 (0%)	1 (1.27%)	-----
Reintervención	44 (26%)	36 (43%)	8 (10%)	<0.001
Mortalidad	9 (5%)	3 (3%)	6 (7%)	0.313

Tabla 6. Incidencia de eventos en el seguimiento de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años.

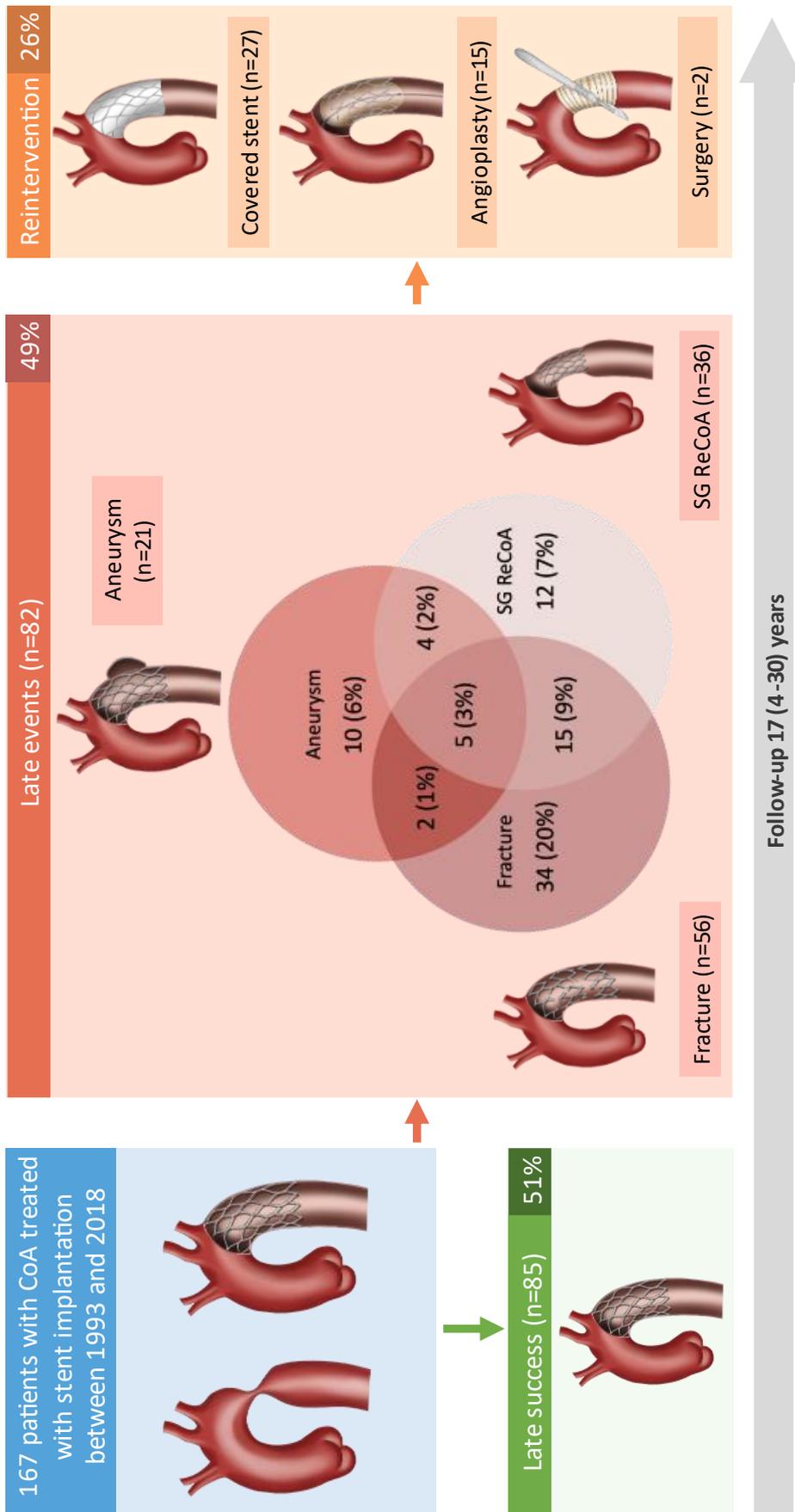


Figura 20. Diagrama central de seguimiento. Incidencia de eventos muy tardíos y manejo en una cohorte de 167 pacientes con coartación aórtica tratados con implantación de stent. CoA: coartación aórtica; SG ReCoA: recoartación al seguimiento por crecimiento somático

8.1 ANEURISMAS AÓRTICOS

El tiempo medio de evaluación de los pacientes tras el implante del stent y el último TAC de control fue de 11 ± 8 años. La prevalencia de aneurismas aórticos en el seguimiento fue del 13% (figura 20).

Se observaron doce aneurismas en el grupo de pacientes más jóvenes (14%), mientras que 9 se detectaron en el grupo de pacientes mayores de 12 años (11%), sin diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (tabla 5).

La ubicación del aneurisma con respecto al stent pudo clasificarse como: proximal en 8 casos (38%), en el cuerpo del stent en 9 (43%) y en el borde distal del stent en 4 (19%) pacientes. La mayoría de los aneurismas se clasificaron como pequeños o moderados (tabla 7), y sólo 3 (14%) eran grandes (figura 21).

CARACTERÍSTICAS	POBLACIÓN TOTAL N=167	≤12 AÑOS N=83	>12 AÑOS N=84	p
Aneurisma	21 (13%)	12 (14%)	9 (11%)	0.467
- Pequeño	- 14 (67%)	- 8 (67%)	- 6 (67%)	
- Moderado	- 4 (19%)	- 1 (8%)	- 3 (33%)	
- Grande	- 3 (14%)	- 3 (25%)	- 0 (0%)	

Tabla 7. Incidencia de aneurismas y su clasificación en el seguimiento de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años.

Se realizó un estudio de factores predictores de desarrollo de aneurisma (Tabla 8). En el análisis univariante la gravedad de la coartación aórtica en términos de gradiente basal mostró una tendencia hacia significación que no se mantuvo en el análisis multivariante. Además, excluidos los pacientes tratados con stent cubierto, el stent PALMAZ mostró una tendencia hacia una mayor probabilidad de formación de aneurisma (19% frente a 8,7%; $p=0,06$). La longitud del stent y el uso de un stent PALMAZ fueron los únicos factores independientes asociado con esta complicación tardía en el estudio multivariante.

	Aneurisma N=21	No aneurisma N= 146	UNIVARIANTE			MULTIVARIANTE		
			OR	IC 95%	p	OR	IC 95%	p
Edad <12 años	12 (57%)	71 (49%)	1.41	0.56-3.70	0.467			
Sexo masculino	15 (71%)	106 (73%)	0.94	0.36-2.77	0.910			
Intervención previa	7 (33%)	43 (29%)	1.20	0.43-3.13	0.717			
Tamaño aorta a nivel del diafragma (mm)	14.6±4.9	17.1±6.7	0.93	0.83-1.02	0.149			
Diámetro mínimo aórtico (mm)	4.9±3.5	5.8±3.9	0.94	0.78-1.08	0.431			
Gradiente basal (mmHg)	43.5±17.5	37.2±13.4	1.03	1.00-1.06	0.068	1.02	0.98-1.06	0.306
Stent Palmaz	15 (71%)	61 (42%)	3.48	1.33-10.2	0.015	3.09	1.11-9.49	0.036
Diámetro stent (mm)	16.5±9.6	16.8±8.2	1.00	0.84-1.14	0.963			
Longitud stent (mm)	33.3±10.8	41±13.6	0.93	0.88-0.98	0.006	0.94	0.89-0.99	0.039
Fractura de stent	7 (33%)	49 (34%)	0.99	0.36-2.54	0.983			

Tabla 8. Análisis univariante y multivariante de factores predictores de desarrollo de aneurismas aórticos al seguimiento. IC95%, intervalo de confianza del 95%; OR, Odds ratio. Las variables categóricas se muestran como N (%); las variables continuas como media ± desviación estándar

Una vez detectado el aneurisma, se llevó a cabo un nuevo procedimiento intervencionista para implante de un nuevo stent cubierto en la mayoría de los pacientes, 16 (76%) (figura 21). En un caso, la presencia de un aneurisma clasificado como grande junto con la migración del stent tuvo que ser reparado de forma quirúrgica. De los 4 pacientes restantes (3 jóvenes y 1 paciente adulto) los aneurismas fueron clasificados como pequeños, y actualmente se encuentran bajo estrecha vigilancia médica (figura 21).



Figura 21. Ejemplo de formación tardía de aneurisma evidenciado 15 años después de la implantación exitosa del stent. A, angiografía basal; B, resultado inmediato; C, TC 15 años después del implante del stent; D, angiografía en el momento del TC; E, exclusión del aneurisma tras la implantación de stents cubiertos. TC: Tomografía computarizada.

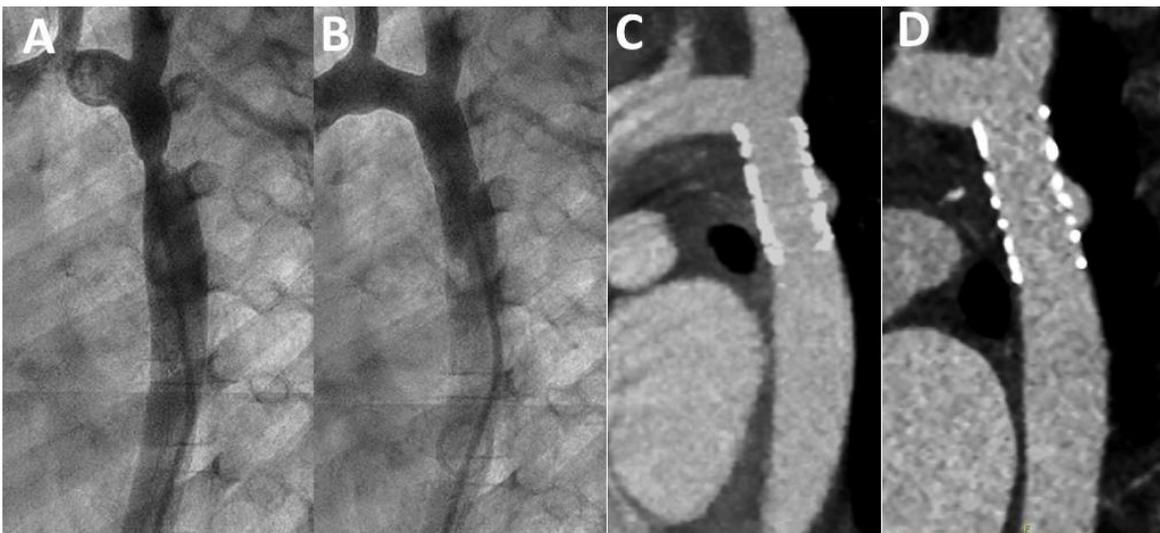


Figura 22. Seguimiento seriado por TC de un paciente con un pequeño aneurisma. A, angiografía inicial; B, resultado inmediato después de la implantación del stent; C, TC a los 4 años; D, TC a los 6 años de implantación de stent. TC: tomografía computarizada

En consecuencia, cabe destacar la estrecha relación entre el desarrollo de un aneurisma y la necesidad de reintervención en el seguimiento (figura 23).

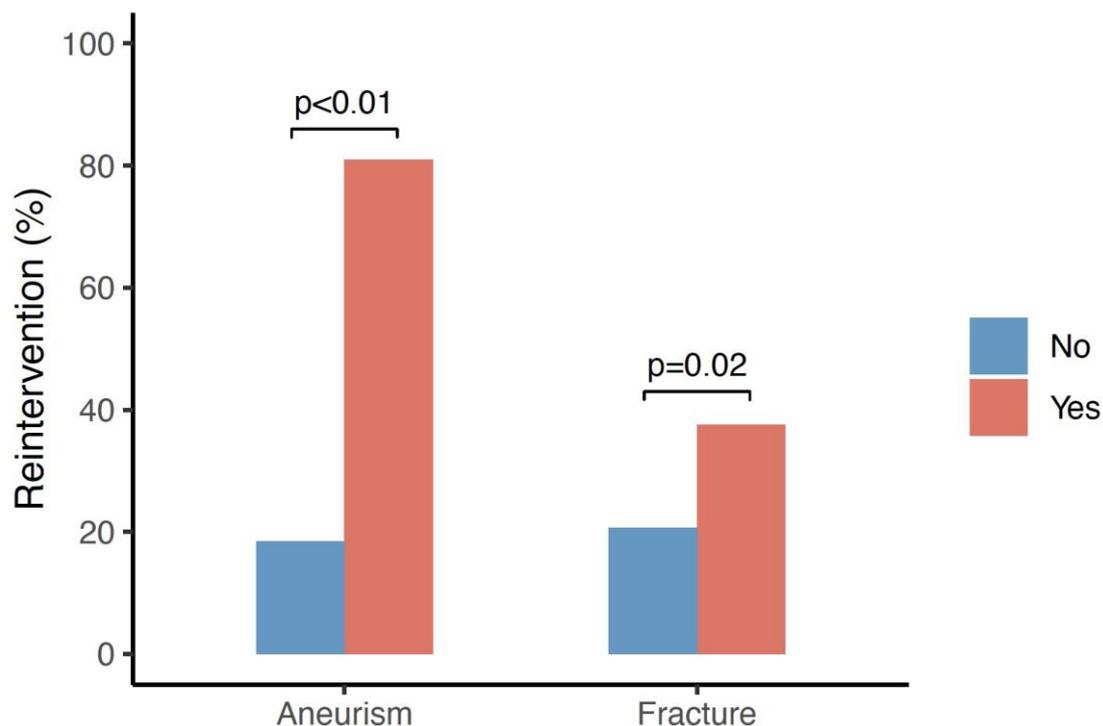


Figura 23. Asociación entre reintervención y presencia de aneurisma y fracturas del stent en el seguimiento

8.2 FRACTURAS DEL STENT

La fractura del stent fue un evento muy frecuente hallado hasta en 56 pacientes (34%) después de un tiempo de seguimiento medio desde el procedimiento de implante del stent de $11 \pm 7,4$ años (figura 20).

La mayor parte de las fracturas fueron clasificadas como moderadas o severas (Tabla 9).

CARACTERÍSTICAS	POBLACIÓN TOTAL N=167	≤12 AÑOS N=83	>12 AÑOS N=84	p
Fractura	56 (34%)	42 (51%)	14 (17%)	<0.001
- Leve	- 9 (16%)	- 8 (19%)	- 1 (7%)	
- Moderada	- 17 (30%)	- 15 (36%)	- 2 (14%)	
- Severa	- 30 (54%)	- 19 (45%)	- 11 (79%)	

Tabla 9. Incidencia de fracturas de stent y su clasificación en el seguimiento de los pacientes incluidos en el estudio y categorizados según edad menor o mayor de 12 años.

Las fracturas de stent se observaron con mayor frecuencia en pacientes más jóvenes, hombres y aquellos que recibieron un stent diferente al PALMAZ de acuerdo con el análisis multivariable (tabla 10). Los pacientes con tamaños aórticos más pequeños y longitudes de stent más cortas mostraron una mayor incidencia de fracturas del stent en el estudio univariable que dejaron de ser significativas en el análisis multivariable.

	Fractura N=56	No fractura N= 111	UNIVARIANTE			MULTIVARIANTE		
			OR	IC 95%	p	OR	IC 95%	p
Edad <12 años	42 (75%)	41 (37%)	5.26	2.63-11.1	<0.001	3.57	1.54-8.33	0.003
Sexo masculino	49 (87%)	72 (65%)	3.84	1.66-10.0	0.003	4.00	1.51-12.5	0.008
Intervención previa	21 (37%)	29 (26%)	1.66	0.84-3.33	0.141			
Tamaño aorta a nivel del diafragma (mm)	14.6±4.4	18.0±7.2	0.90	0.84-0.97	0.006			
Diámetro mínimo aórtico (mm)	4.9±3.2	6.1±4.2	0.92	0.82-1.01	0.098			
Gradiente basal (mmHg)	39.1±14.3	37.5±14.0	1.01	0.99-1.03	0.467			
Stent Palmaz	17 (30%)	59 (53%)	0.39	0.19-0.76	0.007	0.29	0.12-0.67	0.005
Diámetro stent (mm)	14.3±5.0	17.3±8.7	0.95	0.82-1.06	0.416			
Longitud stent (mm)	36.6±9.5	41.5±14.8	0.96	0.93-1.00	0.039	0.97	0.92-1.00	0.1

Tabla 10. Análisis univariante y multivariante de factores predictores de desarrollo de fracturas de stent al seguimiento. IC95%, intervalo de confianza del 95%; OR, Odds ratio. Las variables categóricas se muestran como N (%); las variables continuas como media ± desviación estándar

La presencia de fracturas del stent no se relacionó con el desarrollo de aneurismas. Se puede observar una asociación entre la fractura del stent y la necesidad de reintervención (figura 23). Esta asociación parece estar relacionada con la alta incidencia de fracturas de stent en pacientes más jóvenes (tabla 8), la mayoría de los cuales necesitaba una segunda intervención tras de completar el crecimiento somático.

La figura 24 muestra 2 ejemplos de pacientes con integridad de la pared aórtica a pesar de fracturas graves del stent.

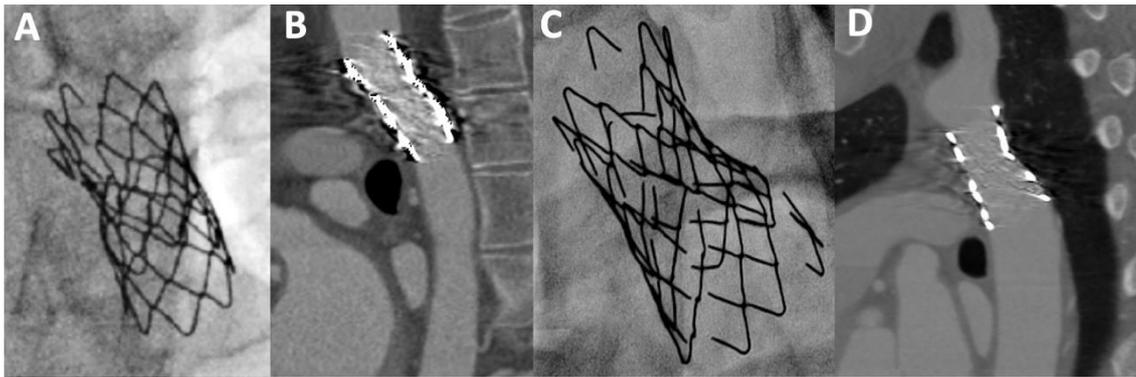


Figura 24. Dos ejemplos de fracturas de stent e integridad de la pared aórtica. A y C, fracturas del stent; B y D, TC realizada en el momento de la fluoroscopia. TC, tomografía computarizada.

8.3 MIGRACIÓN TARDÍA DEL STENT

Aunque esta complicación puede ocurrir durante el procedimiento de implante del stent, es considerado un evento raro durante el seguimiento.

En nuestra serie, sólo 1 paciente adulto (0,6%) sufrió esta complicación, asociado al desarrollo de un aneurisma de gran tamaño. El mecanismo que justifica su desarrollo probablemente se encontraba en la falta de soporte de la pared aórtica debido a la dilatación de la pared por el saco aneurismático. El paciente fue sometido a reparación quirúrgica, con resección de aneurisma y explante del stent.

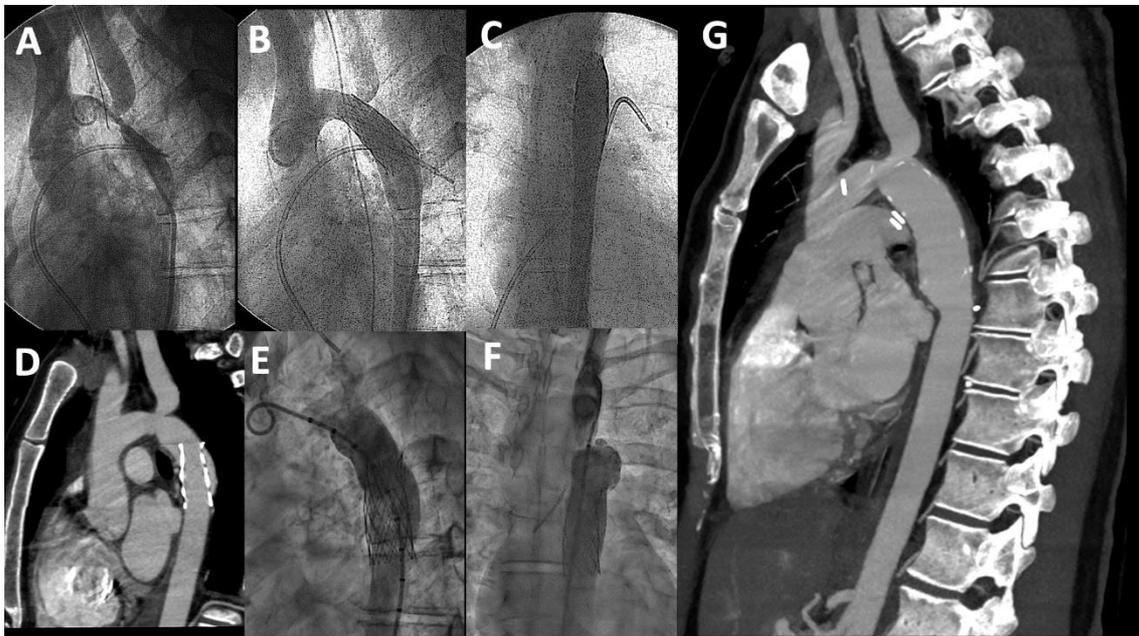


Figura 25. Ejemplo de formación tardía de aneurisma y migración de stent evidenciado 18 años de seguimiento. A, angiografía basal; B y C, resultado inmediato: aortografía OAI y PA, respectivamente; D, TC 18 años de seguimiento; Angiografía E y F, OAI y PA en el momento del TC; G, TC después de la reparación quirúrgica. TC, tomografía computarizada; OAI, oblicuo anterior izquierda; PA, vista posteroanterior

8.4 NECESIDAD DE REINTERVENCIÓN

Durante el periodo de seguimiento fue necesario realizar una reintervención en 44 pacientes (26%). A los pacientes menores de 12 años se les realizó un primer procedimiento de implante de stent, tras aceptar la posibilidad de necesidad de reintervención tras completar el crecimiento somático, lo que explica que en este grupo de pacientes la necesidad de reintervención fuera alta (43%).

Por el contrario, en el grupo de pacientes adultos, la necesidad de reintervención fue mucho menor (10%) y el único motivo por el que fue necesario fue el desarrollo de aneurismas aórticos.

A la hora de estudiar los factores predictores de reintervención, la edad en el momento del implante, el sexo masculino y el gradiente basal resultaron estadísticamente significativos en el estudio multivariante (Tabla 11).

	Reintervención N=44	No Reintervención N= 123	UNIVARIANTE			MULTIVARIANTE		
			OR	IC 95%	p	OR	IC 95%	p
Edad <12 años	36 (82%)	47 (38%)	6.25	3.03-14.3	<0.001	5.88	2.63-14.3	<0.001
Sexo masculino	35 (79%)	86 (70%)	2.04	0.97-4.16	0.055	2.63	1.12-6.25	0.026
Intervención previa	18 (41%)	32 (26%)	1.82	0.99-3.33	0.049	1.49	0.76-2.94	0.243
Tamaño aorta a nivel del diafragma (mm)	12.3±3.9	18.5±6.5	0.81	0.74-0.89	<0.001			
Diámetro mínimo aórtico (mm)	4.2±2.9	6.2±4.1	0.83	0.72-0.95	0.009			
Gradiente basal (mmHg)	44.0±15.4	36.1±13.1	1.04	1.01-1.06	0.001	1.05	1.02-1.08	<0.001
Stent Palmaz	34 (77%)	42 (34%)	1.22	0.56-2.63	0.618			
Diámetro stent (mm)	13.6±3.7	18.1±5.7	0.86	0.79-0.92	0.01			
Longitud stent (mm)	35.6±9.2	41.4±14.4	0.98	0.95-1.00	0.108			

Tabla 11. Análisis univariante y multivariante de factores predictores de necesidad de reintervención al seguimiento. IC95%, intervalo de confianza del 95%; OR, Odds ratio. Las variables categóricas se muestran como N (%); las variables continuas como media ± desviación estándar

En la figura 20 se detallan los procedimientos realizados en los casos de reintervención, siendo en 15 pacientes (34%) un tratamiento percutáneo mediante angioplastia, en 27 pacientes (61%) un nuevo procedimiento de implante de stent y en 2 pacientes (5%) la reintervención fue llevada a cabo mediante cirugía.

La incidencia acumulada de reintervención estratificada para diferentes variables se muestra en la figura 26-29.

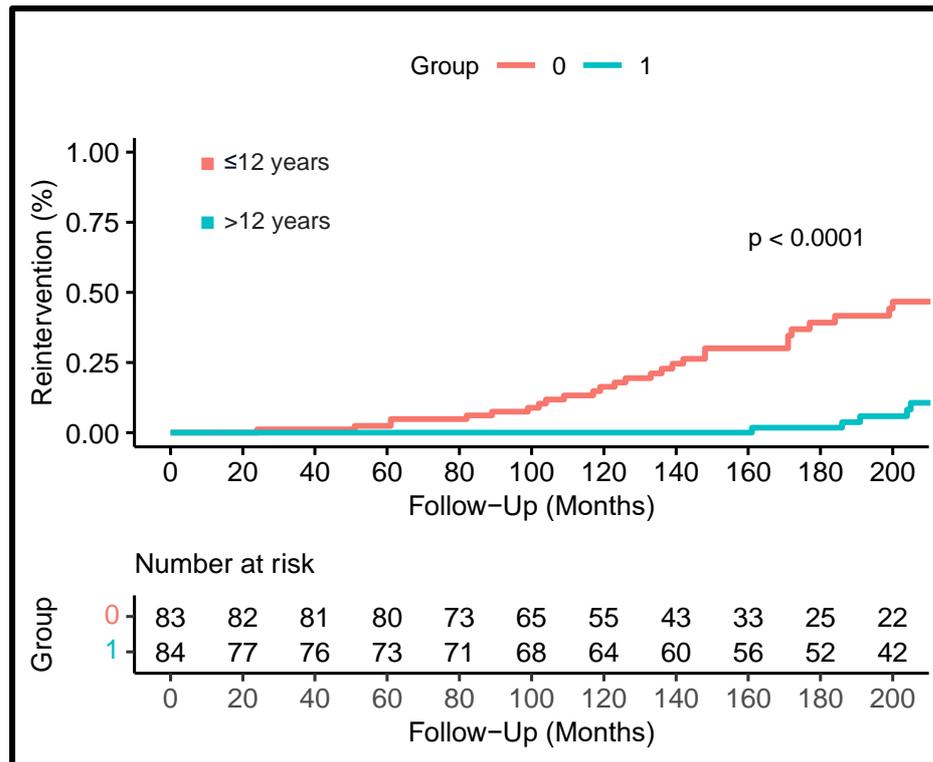


Figura 26. Incidencia acumulada de reintervención estratificada en función de los grupos de edad. El valor p corresponde al análisis univariable.

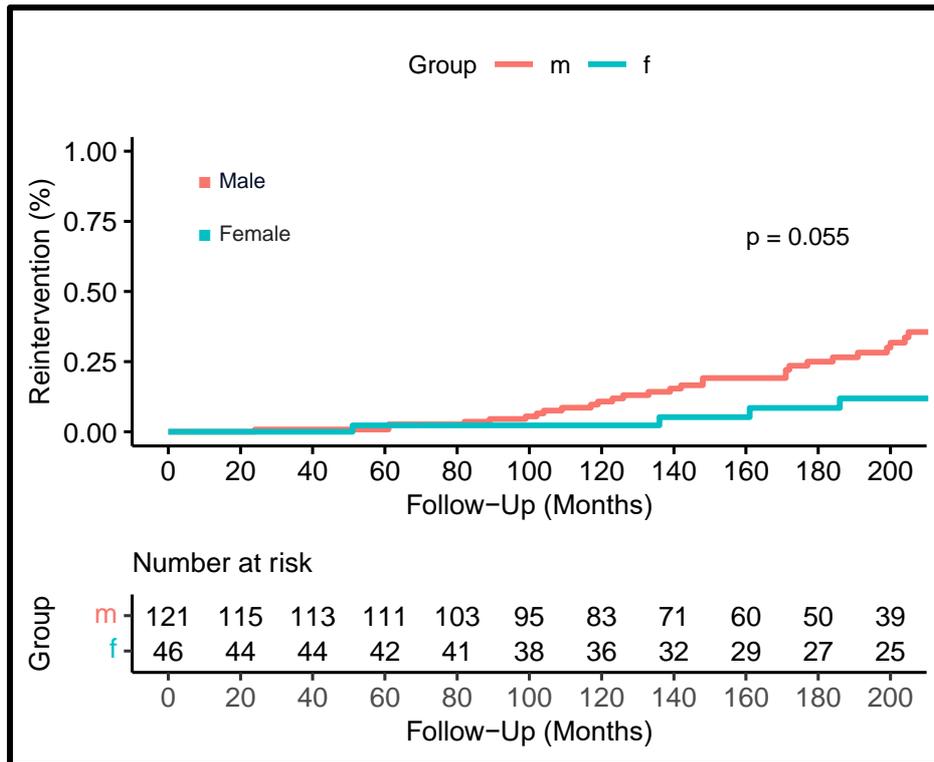


Figura 27. Incidencia acumulada de reintervención estratificada en función del sexo; El valor p corresponde al análisis univariable.

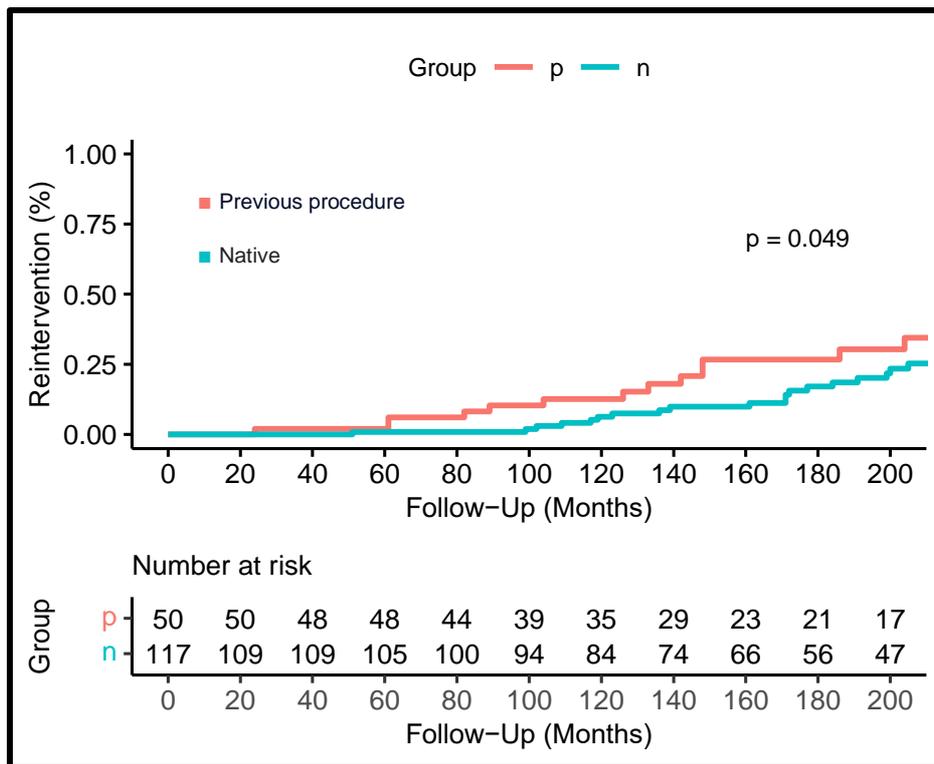


Figura 28. Incidencia acumulada de reintervención estratificada en función de si la CoAo era nativa vs tratamiento previo; El valor p corresponde al análisis univariable.

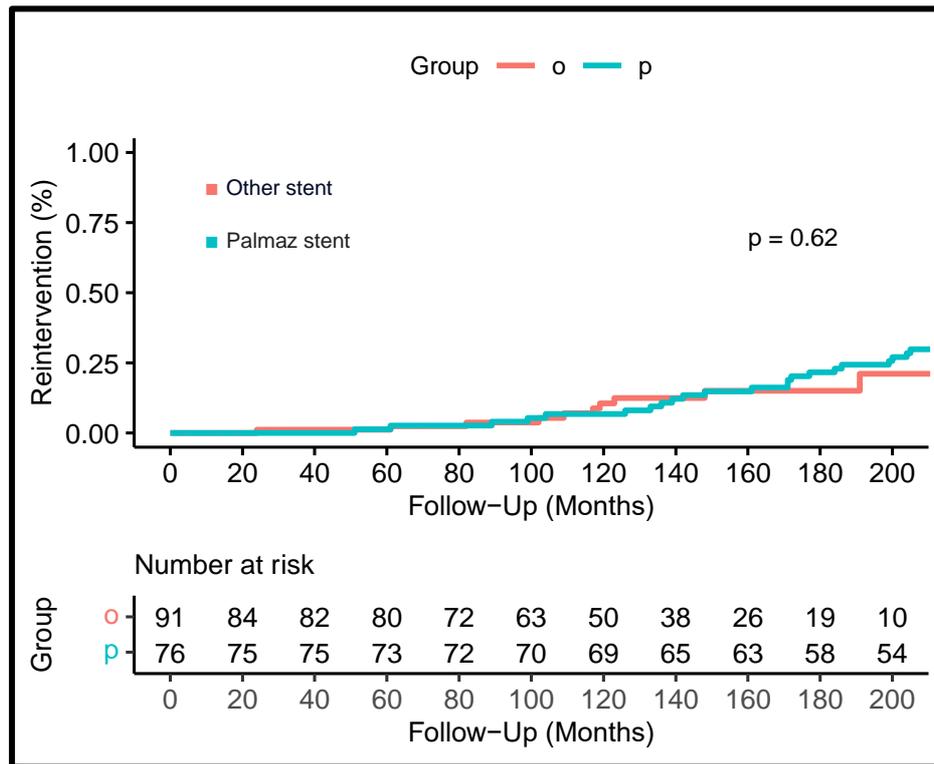


Figura 29. Incidencia acumulada de reintervención estratificada en función del tipo de stent; El valor p corresponde al análisis univariable.

8.5 MORTALIDAD EN EL SEGUIMIENTO

Nueve pacientes (5%) fallecieron durante el periodo de seguimiento sin que se pudiesen identificar factores predictores para dicho evento en este estudio. Así, se estudiaron variables como el sexo, el grupo de edad, el tipo de stent implantado o la intervención previa en la aorta sin que ninguno de estos factores pudiera ser relacionado con la mortalidad por todas las causas en nuestra serie (Figura 30-33).

Las causas de muerte fueron: Un paciente fallecido de cáncer durante el seguimiento, un paciente desarrolló un absceso cerebral, una niña de 4 años falleció a causa de una encefalitis viral, dos pacientes presentaron una muerte súbita, un paciente falleció por insuficiencia cardiaca en lista de espera de trasplante cardiaco, un paciente falleció por rotura de un aneurisma de aorta ascendente en lista de espera quirúrgica, un paciente falleció por una hemorragia abdominal y un paciente falleció por una hemoptisis masiva tras un accidente de tráfico.

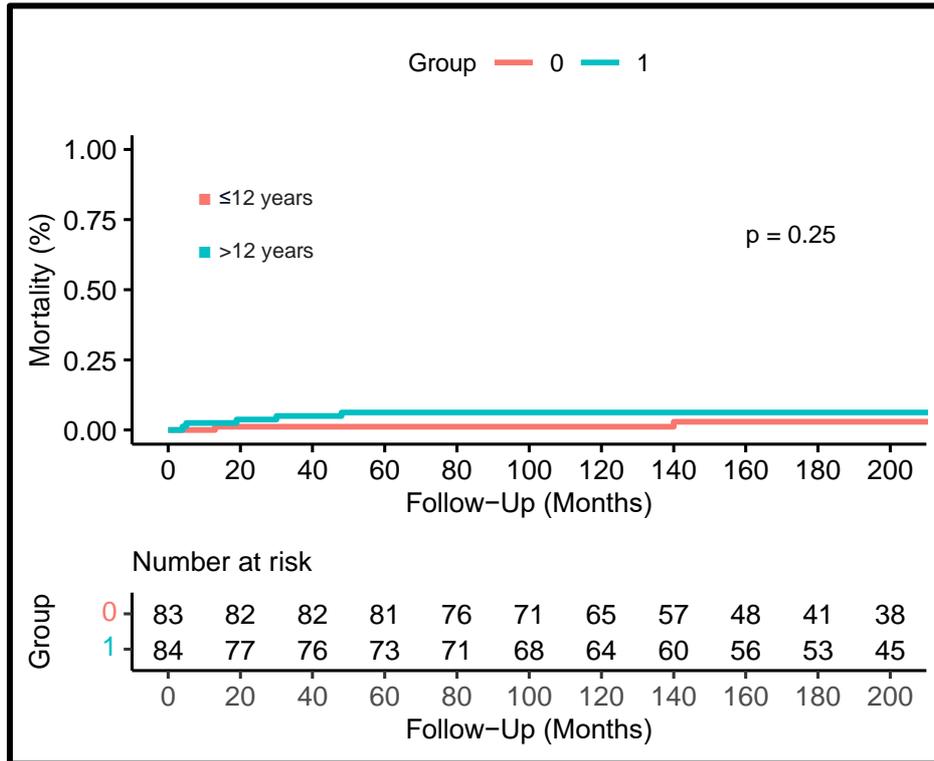


Figura 30. Incidencia acumulada de todas las causas de muerte. No hubo diferencias significativas en términos del grupo de edad.

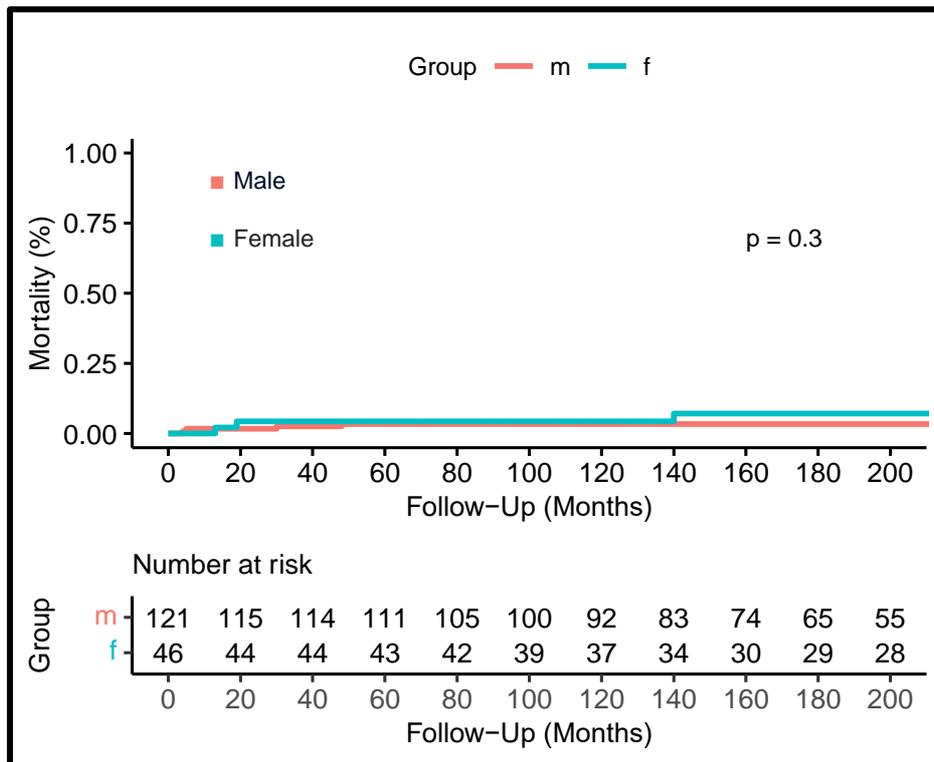


Figura 31. Incidencia acumulada de todas las causas de muerte. No hubo diferencias significativas en términos de sexo.

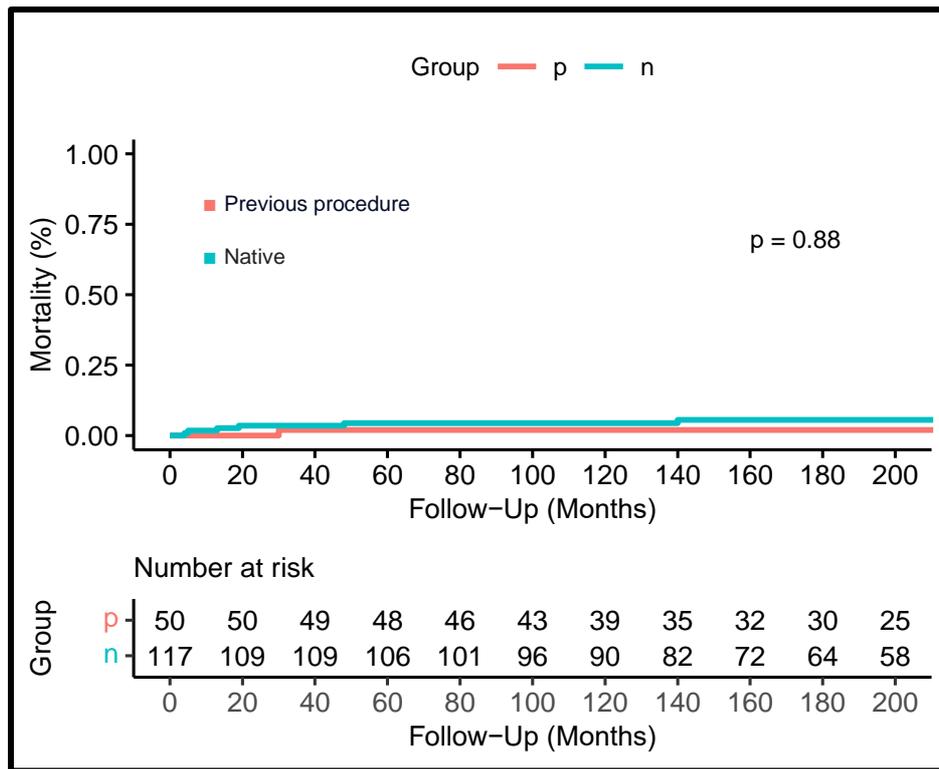


Figura 32. Incidencia acumulada de todas las causas de muerte. No hubo diferencias significativas en términos de procedimiento previo sobre la CoAo.

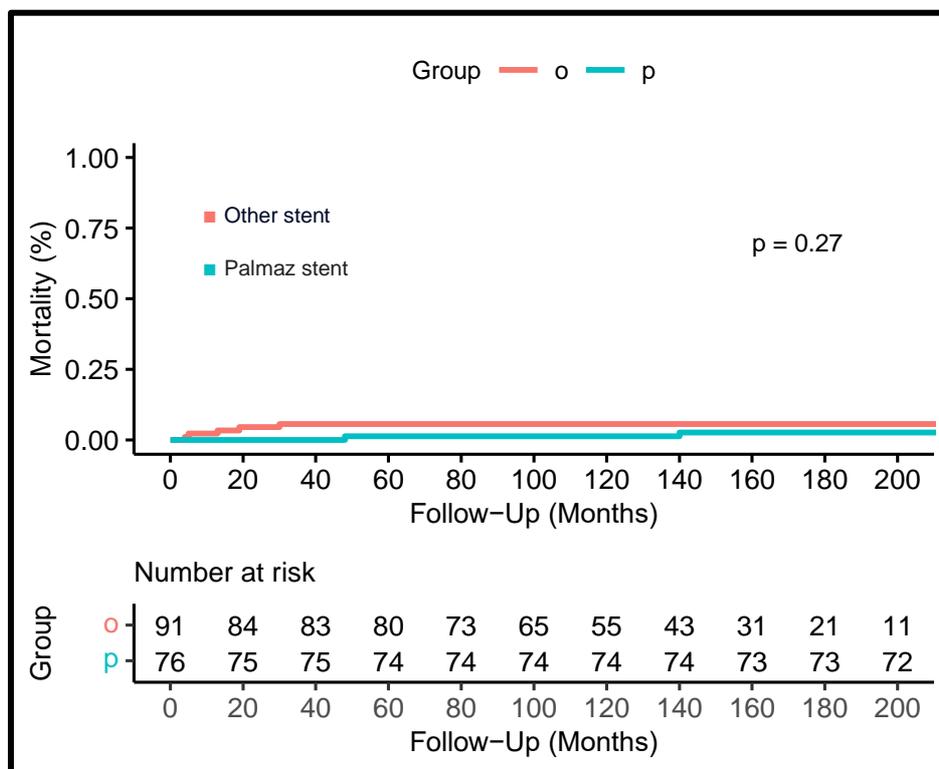


Figura 33. Incidencia acumulada de todas las causas de muerte. No hubo diferencias significativas en términos dl tipo de stent.

DISCUSIÓN

9. ANEURISMA AÓRTICO TRAS EL IMPLANTE DE STENT EN PACIENTES CON COAO

Ya desde sus primeras descripciones (43,54), se reconoce el desarrollo de aneurisma aórtico como una posible complicación tardía tras el tratamiento con stent de la CoAo. Sin embargo, la incidencia real de aneurismas en el seguimiento de los pacientes con coartación de aorta no está clara en la literatura, debido fundamentalmente a que no existe una definición establecida junto con una escasez de series que describan el desarrollo de esta patología a largo plazo. La incidencia por tanto descrita en los estudios publicados es muy heterogénea, pudiendo ser clasificados en base a factores como la edad media del paciente en el momento del implante del stent (aunque este parámetro no resultó significativo en nuestra serie), la N del estudio, ya que existe una gran variabilidad en cuanto al número de pacientes desde series de 17 pacientes hasta series con hasta 180 pacientes (55,56), así como el tiempo de seguimiento, que varían desde los 6 meses hasta los 13 años (44,57). No debe ser despreciado tampoco como dato significativo el año de publicación del estudio, que pudiera condicionar diferencias en el seguimiento por la propia evolución de los stent. Un factor muy importante a la hora de analizar estos estudios es la metodología utilizada para realizar el seguimiento de los pacientes, ya que en muchos de ellos (58,59) únicamente se utilizaba la ecocardiografía como método diagnóstico, con sus consiguientes limitaciones para valorar el posible desarrollo de aneurismas a nivel del stent o de la aorta torácica descendente, sin utilizar técnicas de imagen añadidas como el angio TAC o la RMN. Los hallazgos de estos estudios, por tanto, resultan igual de heterogéneos, desde series con seguimientos cortos (en torno a 2-3 años) que no reportan casos de aneurismas entre sus pacientes (60,61), hasta series con un seguimiento algo más extendido (entre 2 y 6 años) cuya incidencia de aneurisma de aorta oscila entre el 1.3 y el 9% (45,56,62–68).

A continuación, se detallan los estudios clasificados por año de publicación, junto con los datos más relevantes (Tabla 12).

Autor (Año de publicación)	Título	N	Edad media (Años)	Seguimiento Meses (Años)	Aneurismas N (%)
Suárez de Lezo et al (1999) (54)	Immediate and Follow-Up Findings After Stent Treatment for Severe Coarctation of Aorta	48	14	23 (1,9)	3 (6%)
Thanopoulos et al (2000) (55)	Stent treatment for coarctation of the aorta: intermediate term follow up and technical considerations	17	11.4	33 (2.75)	0 (0%)
Ledesma et al (2001) (69)	Results of Stenting for Aortic Coarctation	54	22	25 (2.1)	2 (3.7%)
Hamdan et al (2001) (60)	Endovascular Stents for Coarctation of the Aorta: Initial Results and Intermediate-Term Follow-Up	34	16	29 (2.4)	0 (0%)
Cheatham et al (2001) (70)	Stenting of Coarctation of the Aorta	46	18.6	---	2 (4.3%)
Tyagi et al (2003) (61)	Self- and balloon-expandable stent implantation for severe native coarctation of aorta in adults	21	28,6	40.7 (3.93)	0 (0%)
Ewert et al (2005) (71)	The CP stent—short, long, covered—for the treatment of aortic coarctation, stenosis of pulmonary arteries and caval veins, and Fontan anastomosis in children and adults: an evaluation of 60 stents in 53 patients	36	21,7	12 (1)	0 (0%)
Chessa et al (2005) (62)	Results and mid-long-term follow-up of stent implantation for native and recurrent coarctation of the aorta	71	21.8	37 (3)	2 (2.8%)
Suárez de Lezo et al (2005) (63)	Percutaneous Interventions on Severe Coarctation of the Aorta: A 21-Year Experience	90	16,6	78 (6.5)	3 (3.3%)
Shah et al (2005) (72)	Use of endovascular stents for the treatment of coarctation of the aorta in children and adults: immediate and midterm results	44	16,9	19,8 (1,65)	1 (2,3%)
Pedra et al (2005) (52)	Stenting vs. Balloon Angioplasty for Discrete Unoperated Coarctation of the Aorta in Adolescents and Adults	21	24	12 (1)	1 (4.7%)
Mahadevan et al (2006) (73)	Endovascular Aortic Coarctation Stenting in Adolescents and Adults: Angiographic and Hemodynamic Outcomes	37	31	12 (1)	3 (8%)
Tzifa et al (2006) (74)	Covered Cheatham-Platinum Stents for Aortic Coarctation: Early and Intermediate-Term Results	30	28	40 (3.3)	0 (0%)
Forbes et al (2007) (65)	Intermediate Follow-Up Following Intravascular Stenting for Treatment of Coarctation of the Aorta	144	17.3	12 (1)	13 (9%)

Qureshi et al (2007) (64)	Acute and intermediate outcomes, and evaluation of injury to the aortic wall, as based on 15 years experience of implanting stents to treat aortic coarctation	153	15.8	30 (2.5)	5 (6%)
Kenny et al (2008) (75)	Self-Expanding and Balloon Expandable Covered Stents in the Treatment of Aortic Coarctation With or Without Aneurysm Formation	37	29.6	11,5 (0.96)	2 (5,4%)
Haji-Zeinalli et al (2009) (58)	Self-Expanding Nitinol Stent Implantation for Treatment of Aortic Coarctation	21	19.2	16 (1.3)	0 (0%)*
Chakrabarti et al (2009) (76)	Balloon expandable stent implantation for native and recurrent coarctation of the aorta-prospective computed tomography assessment of stent integrity, aneurysm formation and stenosis relief	88	20.6	34.5 (2.9)	1 (1.2%)
Tanous et al (2010) (77)	Covered stents in the management of coarctation of the aorta in the adult: Initial results and 1-year angiographic and hemodynamic follow-up	20	39	12 (1)	1 (5%)
Molaei et al (2011) (78)	Complications of Aortic Stenting in Patients below 20 Years Old: Immediate and Intermediate Follow-Up	26	13	23,5 (2)	0 (0%)
Thanopoulos et al (2012) (66)	Initial and Six-Year Results of Stent Implantation for Aortic Coarctation in Children	74	8	72 (6)	1 (1.3%)
Sadiq et al (2013) (79)	Covered Stents in the Management of Native Coarctation of the Aorta—Intermediate and Long-Term Follow-Up	56	22	46 (3.8)	0 (0%)
Sohrabi et al (2014) (47)	Comparison Between Covered and Bare Cheatham-Platinum Stents for Endovascular Treatment of Patients With Native Post-Ductal Aortic Coarctation: Immediate and Intermediate-Term Results	120	23,7	31 (2.6)	2 (1.6%)
Ostovan et al (2014) (57)	Procedural Outcome and One Year Follow up of Patients Undergoing Endovascular Stenting for Coarctation of Aorta: A Single Center Study	33	26,6	6 (0.5)	0 (0%)
Butera et al (2014) (67)	From Bare to Covered: 15-Year Single Center Experience and Follow-Up in Trans-Catheter Stent Implantation for Aortic Coarctation	143	17	58 (4.8)	3 (2%)

Fiszer et al (2016) (68)	Use of the AndraStent XL and XXL for the treatment of coarctation of the aorta in children and adults: immediate and midterm results	46	25	30 (2.5)	2 (4.3%)
Bondanza et al (2017) (80)	Early and Long-Term Results of Stent Implantation for Aortic Coarctation in Pediatric Patients Compared to Adolescents: A Single Center Experience	34	11.3	(2-10)	0 (0%)
Haji-Zeinali et al (2017) (59)	Midterm to long-term safety and efficacy of self-expandable nitinol stent implantation for coarctation of aorta in adults	62	31	45.5 (3.8)	0 (0%)*
Pan et al (2020) (44)	Percutaneous reintervention on aortic coarctation stenting	33	6.6	156 (13)	3 (9%)
Holzer et al (2021) (56)	Long-Term Outcomes of the Coarctation of the Aorta Stent Trials	180	17	48-60 (4-5)	13 (6.3%)
Presente estudio	Late complications after aortic stenting for coarctation of the aorta. Very long term follow up	167	24	198 (17)	21 (13%)

Tabla 12. Principales estudios analizados clasificados por año de publicación. Los estudios marcados con * son aquellos en los que el desarrollo de aneurismas no se estudió mediante técnicas de imagen como TAC y/o CardioRMN.

La incidencia de aneurisma aórtico en el seguimiento de nuestro estudio fue mayor al descrito previamente, situándose en el 13%.

Las principales razones que pudieran justificar este incremento serían el largo tiempo de seguimiento de los pacientes de nuestra serie (con una media de 17 años en nuestro estudio frente a los 6 años de los estudios con seguimiento más amplio), el uso de forma rutinaria de las técnicas de imagen adecuadas para su detección y con una alta probabilidad la propia evolución de los stent implantados a lo largo del tiempo de evolución de nuestra serie, con un uso frecuente de stent PALMAZ en los primeros años de tratamiento.

Como hipótesis se plantea que este stent tendría una menor flexibilidad que los que se desarrollaron posteriormente, al tratarse de un stent de primera generación, así como un posible acortamiento asimétrico durante su expansión, lo que puede explicar la existencia de daño a nivel de la pared aórtica. Por esta misma razón, se puede plantear que los stent cubiertos podrían reducir la incidencia de esta complicación, encontrándose descritos varios estudios con un seguimiento entre 1-3 años en los que los pacientes recibieron stents cubiertos sin desarrollo de aneurismas (74,77,79,81–84). Sin embargo, existen algunos datos contradictorios en este sentido, ya que el estudio de Sohrabi et al (47) comparó la incidencia de aneurisma en pacientes

que habían recibido stent cubiertos frente a desnudos, con una mayor incidencia de estos en el primer grupo (3.3% frente a 0%). Aún así, dado que se trata de un único estudio, la opción de los stent cubiertos pudieran ser una buena solución en el caso de pacientes adultos con el objetivo de reducir la incidencia de aneurismas aórticos, teniendo siempre en cuenta las desventajas de estos stents, como son la posibilidad de ocluir alguna arteria lateral cuyo origen se encuentre cercano al lugar de la coartación así como la necesidad de utilizar un introductor de mayor calibre, lo que puede dar lugar a más complicaciones en el punto de acceso vascular.

Pese a que la relevancia de los aneurismas pequeños no queda claramente establecida en la literatura, todos los aneurismas fueron tratados como clínicamente relevantes en nuestra serie. Siguiendo por tanto este criterio, y en base a los hallazgos de nuestra serie, sería lógico proponer un seguimiento periódico de los pacientes con CoAo tratados mediante implante de stent con técnicas de imagen idóneas para valorar la pared arterial, en consonancia con las guías ACC/AHA de 2018 (26), con al menos una primera prueba a los 2-3 años del implante del stent, y continuando cada 3 años mientras los estudios de imagen sean negativos para esta complicación. En el caso de aparición en el seguimiento de algún aneurisma clasificado como moderado o grande, debería plantearse reintervención del paciente, eligiendo la técnica más adecuada en cada caso. Para los pacientes que desarrollan aneurismas pequeños, se debe evaluar en cada caso cuidadosamente una estrategia de vigilancia clínica, con un seguimiento estrecho anual o bianual para valorar crecimiento o estabilidad del mismo, frente a una estrategia invasiva de reintervención.

10. FRACTURAS DE STENT

Desde las primeras descripciones de fracturas de stent, descritas en los stent implantados a nivel de las ramas pulmonares para el tratamiento de las cardiopatías congénitas, esta complicación ha sido igualmente observada en stent implantados en diferentes niveles del árbol vascular, y su correlación con eventos clínicos no queda claramente definida (85).

El mecanismo por el cual se llega a producir la fractura no está claramente establecido, aunque el principal mecanismo implicado parece estar en relación con la fatiga mecánica que sufren los stent a lo largo de la vida desde el implante, influidos o potenciados por factores intrínsecos al propio stent como son:

- Material: Existe diversidad de materiales en la fabricación de stent, desde acero inoxidable, platino-iridio o cromo cobalto)

- Geometría y el diseño de las celdillas: Como por ejemplo tubo cortado o alambre soldado, stent de celda abierta frente a cerrada o mixta y espesor de los puntos de unión
- Proceso de fabricación: Como serían los stent de tubo cortado con láser, alambre soldado o soldadura fuerte (53).

Algunos estudios relacionan la aparición de fracturas con la incidencia de daño a nivel de la pared aórtica, por lo que la presencia de las mismas podría suponer una indicación para colocar un nuevo stent. Sin embargo, esto no está claramente definido, y en nuestro estudio, la presencia de fracturas no se relacionó con el desarrollo de aneurismas (Tabla XX) e incluso en aquellos casos de fracturas clasificadas como severas, pudimos comprobar la integridad de la pared aórtica (Figura 24).

Si ya se ha referido la heterogeneidad de los estudios en cuanto a la incidencia de aneurismas, la aparición de fracturas de stent no es diferente. Al igual que ocurre con los aneurismas, las fracturas de stent no están claramente definidas ni se utiliza una clasificación estandarizada para su descripción en las publicaciones. Igualmente, la evolución de los tipos de stent a lo largo del tiempo, los tiempos de seguimiento cortos, y no existir un protocolo para su valoración hace que los resultados en la literatura sean muy dispares, con numerosas series en las que esta complicación directamente no es valorada, y series en las que la valoración se ha reportado como un hallazgo incidental más que como una complicación en sí, visto en radiografías de tórax de los pacientes o mediante el TAC de seguimiento, que puede provocar artefactos a nivel de la malla metálica dificultando su correcta valoración.

A continuación, se detallan los estudios clasificados por año de publicación, junto con los datos más relevantes (Tabla 13).

Autor (Año de publicación)	Título	N	Edad media (Años)	Seguimiento Meses (Años)	Fracturas N (%)
Suárez de Lezo et al (1999) (54)	Immediate and Follow-Up Findings After Stent Treatment for Severe Coarctation of Aorta	48	14	23 (1,9)	0 (0%)
Thanopoulos et al (2000) (55)	Stent treatment for coarctation of the aorta: intermediate term follow up and technical considerations	17	11.4	33 (2.75)	0 (0%)*
Ledesma et al (2001) (69)	Results of Stenting for Aortic Coarctation	54	22	25 (2.1)	0 (0%)*
Hamdan et al (2001) (60)	Endovascular Stents for Coarctation of the Aorta: Initial Results and Intermediate-Term Follow-Up	34	16	29 (2.4)	0 (0%)
Cheatham et al (2001) (70)	Stenting of Coarctation of the Aorta	46	18.6	---	1 (2.2%)
Tyagi et al (2003) (61)	Self- and balloon-expandable stent implantation for severe native coarctation of aorta in adults	21	28,6	40.7 (3.93)	0 (0%)
Ewert et al (2005) (71)	The CP stent—short, long, covered—for the treatment of aortic coarctation, stenosis of pulmonary arteries and caval veins, and Fontan anastomosis in children and adults: an evaluation of 60 stents in 53 patients	36	21,7	12 (1)	3 (8.3%)
Suárez de Lezo et al (2005) (63)	Percutaneous Interventions on Severe Coarctation of the Aorta: A 21-Year Experience	90	16,6	78 (6.5)	0 (0%)
Pedra et al (2005) (52)	Stenting vs. Balloon Angioplasty for Discrete Unoperated Coarctation of the Aorta in Adolescents and Adults	21	24	12 (1)	4 (19%)
Mahadevan et al (2006) (73)	Endovascular Aortic Coarctation Stenting in Adolescents and Adults: Angiographic and Hemodynamic Outcomes	37	31	12 (1)	0 (0%)
Tzifa et al (2006) (74)	Covered Cheatham-Platinum Stents for Aortic Coarctation: Early and Intermediate-Term Results	30	28	40 (3.3)	2 (6.6%)
Forbes et al (2007) (65)	Intermediate Follow-Up Following Intravascular Stenting for Treatment of Coarctation of the Aorta	144	17.3	12 (1)	6 (4.2%)
Qureshi et al (2007) (64)	Acute and intermediate outcomes, and evaluation of injury to the aortic wall, as based on 15 years experience of implanting stents to treat aortic coarctation	153	15.8	30 (2.5)	12 (18%)

Kenny et al (2008) (75)	Self-Expanding and Balloon Expandable Covered Stents in the Treatment of Aortic Coarctation With or Without Aneurysm Formation	37	29.6	11,5 (0.96)	0 (0%)*
Haji-Zeinali et al (2009) (58)	Self-Expanding Nitinol Stent Implantation for Treatment of Aortic Coarctation	21	19.2	16 (1.3)	0 (0%)*
Chakrabarti et al (2009) (76)	Balloon expandable stent implantation for native and recurrent coarctation of the aorta- prospective computed tomography assessment of stent integrity, aneurysm formation and stenosis relief	88	20.6	34.5 (2.9)	7 (8.3%)
Tanous et al (2010) (77)	Covered stents in the management of coarctation of the aorta in the adult: Initial results and 1-year angiographic and hemodynamic follow-up	20	39	12 (1)	1 (5%)
Thanopoulos et al (2012) (66)	Initial and Six-Year Results of Stent Implantation for Aortic Coarctation in Children	74	8	72 (6)	3 (4%)
Sadiq et al (2013) (79)	Covered Stents in the Management of Native Coarctation of the Aorta— Intermediate and Long-Term Follow-Up	56	22	46 (3.8)	0 (0%)
Sohrabi et al (2014) (47)	Comparison Between Covered and Bare Cheatham-Platinum Stents for Endovascular Treatment of Patients With Native Post-Ductal Aortic Coarctation: Immediate and Intermediate-Term Results	120	23,7	31 (2.6)	0 (0%)
Ostovan et al (2014) (57)	Procedural Outcome and One Year Follow up of Patients Undergoing Endovascular Stenting for Coarctation of Aorta: A Single Center Study	33	26,6	6 (0.5)	0 (0%)
Butera et al (2014) (67)	From Bare to Covered: 15-Year Single Center Experience and Follow-Up in Trans-Catheter Stent Implantation for Aortic Coarctation	143	17	58 (4.8)	5 (3.5%)
Fiszer et al (2016) (68)	Use of the AndraStent XL and XXL for the treatment of coarctation of the aorta in children and adults: immediate and midterm results	46	25	30 (2.5)	0 (0%)
Bondanza et al (2017) (80)	Early and Long-Term Results of Stent Implantation for Aortic Coarctation in Pediatric Patients Compared to Adolescents: A Single Center Experience	34	11.3	(2-10)	5 (14.7%)

Haji-Zeinali et al (2017) (59)	Midterm to long-term safety and efficacy of self-expandable nitinol stent implantation for coarctation of aorta in adults	62	31	45.5 (3.8)	0 (0%)
Pan et al (2020) (44)	Percutaneous reintervention on aortic coarctation stenting	33	6.6	156 (13)	15 (45%)
Holzer et al (2021) (56)	Long-Term Outcomes of the Coarctation of the Aorta Stent Trials	180	17	48-60 (4-5)	50 (24.4%)
Presente estudio	Late complications after aortic stenting for coarctation of the aorta. Very long term follow up	167	24	198 (17)	56 (34%)

Tabla 13. Principales estudios analizados clasificados por año de publicación. Los estudios marcados con * son aquellos en los que el desarrollo de fractura de stent no se estudió mediante fluoroscopia si no de manera indirecta a través de radiografías de tórax o TAC.

En vistas a los resultados de la revisión de la literatura, cabe destacar en nuestro estudio la alta incidencia de fracturas observadas. Estas diferencias podrían explicarse por el largo seguimiento de nuestra serie y la realización sistemática de fluoroscopia desde distintas proyecciones para descartar o confirmar la presencia de las mismas de forma dirigida. Además, se refuerzan los datos en cuanto a factores predictores de fractura con respecto a los hallados en el estudio de Holzer et al (56) en los que el sexo masculino y una menor edad a la hora del implante fueron factores predictores para el desarrollo de fracturas de stent.

11. REINTERVENCIÓN

La necesidad de reintervención en pacientes con CoAo puede venir determinada por complicaciones como la reestenosis del segmento coartado (bien post angioplastia, post quirúrgico o por estenosis del stent), el crecimiento somático de un paciente con stent implantado en edad pediátrica que condiciona un tamaño insuficiente para el calibre adulto, la formación de aneurismas, la mala expansión del stent en el procedimiento inicial o la migración del stent.

En nuestro estudio se encuentra claramente diferencia la población adulta, en la que el principal motivo de reintervención fue el desarrollo de un aneurisma aórtico, mientras que, en los pacientes menores de 12 años, fue necesario realizar un segundo procedimiento que en este caso era previsible, por el crecimiento somático posterior al implante.

La fractura de stent “per se” no pareció asociada a necesidad de reintervención excepto en aquellos pacientes que cumplían la condición de aneurisma o reestenosis. Sin embargo, el hallazgo de una relación estadísticamente significativa entre la fractura y la reintervención se interpreta debido a la alta tasa de fracturas en la población infantil, así como la mayor necesidad de reintervención en este grupo de pacientes por el mero hecho del crecimiento normal de estos pacientes, en los que los procedimientos se programan ya desde un inicio con un protocolo por etapas (44,86,87).

12. LIMITACIONES Y FORTALEZAS DEL ESTUDIO

La principal limitación del estudio viene condicionada por no existir un protocolo de estudio al inicio con TC y fluoroscopia seriados en cada paciente que no permitiesen determinar temporalmente el momento de aparición de los eventos estudiados. Cabe destacar, que todos los pacientes contaban con al menos una prueba de imagen de las anteriormente mencionadas a lo largo de su seguimiento.

Por otro lado, la propia evolución en cuanto a los materiales y estructura de los stent a lo largo de la historia complica el análisis de resultados al tratarse de una cohorte con un tiempo de seguimiento tan largo.

CONCLUSIONES

1. La incidencia de fracturas de stent y aneurisma aórtico en nuestra serie fue mayor a la descrita hasta la fecha, en probable relación con el largo seguimiento de la cohorte y la realización de estudios dirigidos para su detección.
2. Se establecieron como factores predictores de desarrollo de aneurisma el uso del stent PALMAZ y la longitud del stent en el momento del implante.
3. Se establecieron como factores predictores de fractura de stent el sexo masculino, una edad pediátrica en el momento del implante e inversamente proporcional al uso de stent PALMAZ.
4. La necesidad de reintervención fue baja en la cohorte, teniendo como causa principal el crecimiento somático esperado de los pacientes cuando se tratan en edad infantil y en un porcentaje muy pequeño de los casos a causa del desarrollo de aneurisma aórtico.
5. La mortalidad por todas las causas de los pacientes con CoAo tratada mediante implante de stent fue minoritaria sin relacionarse con factores predictores para dicho evento.
6. En base a los hallazgos de nuestra serie, sería lógico proponer un seguimiento periódico de los pacientes con CoAo tratados mediante implante de stent con técnicas de imagen idóneas para valorar la pared arterial, con al menos una primera prueba a los 2-3 años del implante del stent, y continuando cada 3 años mientras los estudios de imagen sean negativos para esta complicación y anuales o bianuales en el caso de desarrollo de un aneurisma pequeño, cuando se considere vigilancia clínica como estrategia terapéutica.

REFERENCIAS

1. Egan M, Holzer RJ. Comparing balloon angioplasty, stenting and surgery in the treatment of aortic coarctation. *Expert Rev Cardiovasc Ther.* noviembre de 2009;7(11):1401-12.
2. Kenny D, Hijazi ZM. Coarctation of the aorta: From fetal life to adulthood. *Cardiol J.* 21 de septiembre de 2011;19(5):487-95.
3. Lewis T. Material relating to coarctation of the adult type. *Br Heart J.* 1933;16:205-61.
4. Campbell M, Suzman S. COARCTATION OF THE AORTA. 1947;
5. Kim YY, Andrade L, Cook SC. Aortic Coarctation. *Cardiol Clin.* agosto de 2020;38(3):337-51.
6. Cónsole-Avegliano GM. Embriología molecular de las cardiopatías congénitas [Internet]. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP); 2018 [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/71653>
7. Kellenberger CJ. Aortic arch malformations. *Pediatr Radiol.* junio de 2010;40(6):876-84.
8. Edwards JE. Anomalies of the Derivatives of the Aortic Arch System. *Med Clin North Am.* 1948;32(4):925-49.
9. Edwards JE. Malformations of the aortic arch system manifested as vascular rings. *Lab Invest.* 1953;2:56-75.
10. Celoria C. Absence of the arch of the aorta is a 'rare anomaly. A careful search of the.
11. Rosenthal E. Coarctation of the aorta from fetus to adult: curable condition or life long disease process? *Heart.* 1 de noviembre de 2005;91(11):1495-502.
12. Teo LLS, Cannell T, Babu-Narayan SV, Hughes M, Mohiaddin RH. Prevalence of Associated Cardiovascular Abnormalities in 500 Patients With Aortic Coarctation Referred for Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging to a Tertiary Center. *Pediatr Cardiol.* diciembre de 2011;32(8):1120-7.
13. Dijkema EJ, Leiner T, Grotenhuis HB. Diagnosis, imaging and clinical management of aortic coarctation. *Heart.* agosto de 2017;103(15):1148-55.
14. Norris ADC, Gomez FP. The Electrocardiogram in Coarctation of the Aorta. *Cardiology.* 1970;55(3):149-55.
15. Karaosmanoglu AD, Khawaja RDA, Onur MR, Kalra MK. CT and MRI of Aortic Coarctation: Pre- and Postsurgical Findings. *Am J Roentgenol.* marzo de 2015;204(3):W224-33.
16. Gach P, Dabadie A, Sorensen C, Quarello E, Bonello B, Pico H, et al. Multimodality imaging of aortic coarctation: From the fetus to the adolescent. *Diagn Interv Imaging.* mayo de 2016;97(5):581-90.
17. Darabian S, Zeb I, Rezaeian P, Razipour A, Budoff M. Use of Noninvasive Imaging in the Evaluation of Coarctation of Aorta: *J Comput Assist Tomogr.* 2013;37(1):75-8.
18. Wilson GH. Computed cerebral tomography. *West J Med.* abril de 1975;122(4):316-7.

19. Godwin JD, Herfiens RJ, Brundage BH, Lipton MJ. Evaluation of Coarctation of the Aorta by Computed Tomography: J Comput Assist Tomogr. abril de 1981;5(2):153-6.
20. Damadian R. Tumor Detection by Nuclear Magnetic Resonance. Science. 19 de marzo de 1971;171(3976):1151-3.
21. Muir AL. Cardiac imaging 50 years on. Heart. 1 de julio de 1987;58(1):1-5.
22. Chapman B, Turner R, Ordidge RJ, Doyle M, Cawley M, Coxon R, et al. Real-time movie imaging from a single cardiac cycle by NMR. Magn Reson Med. septiembre de 1987;5(3):246-54.
23. Nielsen JC, Powell AJ, Gauvreau K, Marcus EN, Prakash A, Geva T. Magnetic Resonance Imaging Predictors of Coarctation Severity. Circulation. 8 de febrero de 2005;111(5):622-8.
24. Abbruzzese PA, Aidala E. Aortic coarctation: an overview: J Cardiovasc Med. febrero de 2007;8(2):123-8.
25. Suradi H, Hijazi ZM. Current management of coarctation of the aorta. Glob Cardiol Sci Pract. septiembre de 2015;2015(4):44.
26. Stout KK, Daniels CJ, Aboulhosn JA, Bozkurt B, Broberg CS, Colman JM, et al. 2018 AHA/ACC Guideline for the Management of Adults With Congenital Heart Disease: Executive Summary. J Am Coll Cardiol. abril de 2019;73(12):1494-563.
27. Forbes TJ, Kim DW, Du W, Turner DR, Holzer R, Amin Z, et al. Comparison of Surgical, Stent, and Balloon Angioplasty Treatment of Native Coarctation of the Aorta. J Am Coll Cardiol. diciembre de 2011;58(25):2664-74.
28. Victor S. Patch aortoplasty for coarctation of aorta: Technical considerations. Ann Thorac Surg. mayo de 1995;59(5):1276-7.
29. Vitullo DA, DeLeon SY, Graham LC, Eidem BW, Roughneen PT, Javorski JJ, et al. Extended end-to-end repair and enlargement of the entire arch in complex coarctation¹¹This article has been selected for the open discussion forum on the STS Website: <http://www.sts.org/section/atdiscussion/>. Ann Thorac Surg. febrero de 1999;67(2):528-31.
30. Dodge-Khatami A, Backer CL, Mavroudis C. Risk Factors for Recoarctation and Results of Reoperation: A 40-Year Review. J Card Surg. 9 de julio de 2010;15(6):369-77.
31. Vosschulte K. Surgical Correction of Coarctation of the Aorta by an «Isthmusplastic» Operation. Thorax. 1 de diciembre de 1961;16(4):338-45.
32. Gross RE. TREATMENT OF CERTAIN AORTIC COARCTATIONS BY HOMOLOGOUS GRAFTS: A REPORT OF NINETEEN CASES*. Ann Surg. octubre de 1951;134(4):753-68.
33. Baumgartner H, De Backer J, Babu-Narayan SV, Budts W, Chessa M, Diller GP, et al. 2020 ESC Guidelines for the management of adult congenital heart disease. Eur Heart J. 11 de febrero de 2021;42(6):563-645.

34. Singer MI, Rowen M, Dorsey TJ. Transluminal aortic balloon angioplasty for coarctation of the aorta in the newborn. *Am Heart J.* enero de 1982;103(1):131-2.
35. Lock JE, Bass JL, Amplatz K, Fuhrman BP, Castaneda-Zuniga W. Balloon dilation angioplasty of aortic coarctations in infants and children. *Circulation.* julio de 1983;68(1):109-16.
36. De Lezo JS, Sancho M, Pan M, Romero M, Olivera C, Luque M. Angiographic follow-up after balloon angioplasty for coarctation of the aorta. *J Am Coll Cardiol.* marzo de 1989;13(3):689-95.
37. Suárez De Lezo J, Romero M, Pan M, Suárez De Lezo J, Segura J, Ojeda S, et al. Stent Repair for Complex Coarctation of Aorta. *JACC Cardiovasc Interv.* agosto de 2015;8(10):1368-79.
38. Pan M, Suárez De Lezo J, Herrera N, Sancho M, Arizón J, Romero M, et al. Two-level left ventricular outflow balloon dilation: Sequential therapeutic approach. *Am Heart J.* julio de 1987;114(1):162-5.
39. Suárez De Lezo J, Fernandez R, Sancho M, Concha M, Arizón J, Franco M, et al. Percutaneous transluminal angioplasty for aortic isthmus coarctation in infancy. *Am J Cardiol.* noviembre de 1984;54(8):1147-9.
40. Erbel R, Bednarczyk I, Pop T, Todt M, Henrichs KJ, Brunier A, et al. Detection of dissection of the aortic intima and media after angioplasty of coarctation of the aorta. An angiographic, computer tomographic, and echocardiographic comparative study. *Circulation.* marzo de 1990;81(3):805-14.
41. Redington AN, Booth P, Shore DF, Rigby ML. Primary balloon dilatation of coarctation of the aorta in neonates. *Heart.* 1 de octubre de 1990;64(4):277-81.
42. Patel HT, Madani A, Paris YM, Warner KG, Hijazi ZM. Balloon Angioplasty of Native Coarctation of the Aorta in Infants and Neonates: Is It Worth the Hassle? *Pediatr Cardiol.* enero de 2001;22(1):53-7.
43. Suárez De Lezo J, Pan M, Romero M, Medina A, Segura J, Pavlovic D, et al. Balloon-expandable stent repair of severe coarctation of aorta. *Am Heart J.* mayo de 1995;129(5):1002-8.
44. Pan M, Ojeda S, Hidalgo F, Suárez De Lezo J, Lostalo A, Mazuelos F, et al. Percutaneous reintervention on aortic coarctation stenting. *EuroIntervention.* marzo de 2020;15(16):1464-70.
45. Meadows J, Minahan M, McElhinney DB, McEnaney K, Ringel R. Intermediate Outcomes in the Prospective, Multicenter Coarctation of the Aorta Stent Trial (COAST). *Circulation.* 12 de mayo de 2015;131(19):1656-64.
46. Taggart NW, Minahan M, Cabalka AK, Cetta F, Usmani K, Ringel RE. Immediate Outcomes of Covered Stent Placement for Treatment or Prevention of Aortic Wall Injury Associated With Coarctation of the Aorta (COAST II). *JACC Cardiovasc Interv.* marzo de 2016;9(5):484-93.
47. Sohrabi B, Jamshidi P, Yaghoubi A, Habibzadeh A, Hashemi-aghdam Y, Moin A, et al. Comparison Between Covered and Bare Cheatham-Platinum Stents for Endovascular

- Treatment of Patients With Native Post-Ductal Aortic Coarctation. *JACC Cardiovasc Interv.* abril de 2014;7(4):416-23.
48. Magee AG, Brzezinska-Rajszyz G, Qureshi SA, Rosenthal E, Zubrzycka M, Ksiazek J, et al. Stent implantation for aortic coarctation and recoarctation. *Heart.* 1 de noviembre de 1999;82(5):600-6.
 49. Kpodonu J, Ramaiah VG, Rodriguez-Lopez JA, Diethrich EB. Endovascular Management of Recurrent Adult Coarctation of the Aorta. *Ann Thorac Surg.* noviembre de 2010;90(5):1716-20.
 50. Harrison DA. Endovascular stents in the management of coarctation of the aorta in the adolescent and adult: one year follow up. *Heart.* 1 de mayo de 2001;85(5):561-6.
 51. Boccalini S, Den Harder AM, Witsenburg M, Breur JMPJ, Krestin GP, Van Beynum IM, et al. Complications After Stent Placement for Aortic Coarctation: A Pictorial Essay of Computed Tomographic Angiography. *J Thorac Imaging.* noviembre de 2017;32(6):W69-80.
 52. Pedra CAC, Fontes VF, Esteves CA, Pilla CB, Braga SLN, Pedra SRF, et al. Stenting vs. balloon angioplasty for discrete unoperated coarctation of the aorta in adolescents and adults. *Catheter Cardiovasc Interv.* abril de 2005;64(4):495-506.
 53. McElhinney DB, Marshall AC, Schievano S. Fracture of Cardiovascular Stents in Patients With Congenital Heart Disease: Theoretical and Empirical Considerations. *Circ Cardiovasc Interv.* octubre de 2013;6(5):575-85.
 54. Suárez De Lezo J, Pan M, Romero M, Medina A, Segura J, Lafuente M, et al. Immediate and follow-up findings after stent treatment for severe coarctation of aorta. *Am J Cardiol.* febrero de 1999;83(3):400-6.
 55. Thanopoulos BD. Stent treatment for coarctation of the aorta: intermediate term follow up and technical considerations. *Heart.* 1 de julio de 2000;84(1):65-70.
 56. Holzer RJ, Gauvreau K, McEnaney K, Watanabe H, Ringel R. Long-Term Outcomes of the Coarctation of the Aorta Stent Trials. *Circ Cardiovasc Interv.* junio de 2021;14(6):e010308.
 57. Ostovan MA, Kojuri J, Mokhtaryan M, Razazi V, Zolghadrasli A. Procedural Outcome and One Year Follow up of Patients Undergoing Endovascular Stenting for Coarctation of Aorta: A single center study. *J Cardiovasc Thorac Res* ISSN 2008-5117 [Internet]. 2014 [citado 3 de enero de 2024]; Disponible en: http://journals.tbzmed.ac.ir/JCVTR/Abstract/JCVTR_1929_20140620214653
 58. Haji-Zeinali AM, Ghazi P, Alidoosti M. Self-Expanding Nitinol Stent Implantation for Treatment of Aortic Coarctation. *J Endovasc Ther.* abril de 2009;16(2):224-32.
 59. Haji Zeinali AM, Sadeghian M, Qureshi SA, Ghazi P. Midterm to long-term safety and efficacy of self-expandable nitinol stent implantation for coarctation of aorta in adults. *Catheter Cardiovasc Interv.* septiembre de 2017;90(3):425-31.
 60. Hamdan MA, Maheshwari S, Fahey JT, Hellenbrand WE. Endovascular stents for coarctation of the aorta: initial results and intermediate-term follow-up. *J Am Coll Cardiol.* noviembre de 2001;38(5):1518-23.

61. Tyagi S, Singh S, Mukhopadhyay S, Kaul UA. Self- and balloon-expandable stent implantation for severe native coarctation of aorta in adults. *Am Heart J.* noviembre de 2003;146(5):920-8.
62. Chessa M, Carrozza M, Butera G, Piazza L, Negura DG, Bussadori C, et al. Results and mid-long-term follow-up of stent implantation for native and recurrent coarctation of the aorta. *Eur Heart J.* 1 de diciembre de 2005;26(24):2728-32.
63. De Lezo JS, Pan M, Romero M, Segura J, Pavlovic D, Ojeda S, et al. Percutaneous Interventions on Severe Coarctation of the Aorta: A 21-Year Experience. *Pediatr Cardiol.* abril de 2005;26(2):176-89.
64. Qureshi AM, McElhinney DB, Lock JE, Landzberg MJ, Lang P, Marshall AC. Acute and intermediate outcomes, and evaluation of injury to the aortic wall, as based on 15 years experience of implanting stents to treat aortic coarctation. *Cardiol Young.* junio de 2007;17(3):307-18.
65. Forbes TJ, Moore P, Pedra CAC, Zahn EM, Nykanen D, Amin Z, et al. Intermediate follow-up following intravascular stenting for treatment of coarctation of the aorta. *Catheter Cardiovasc Interv.* 1 de octubre de 2007;70(4):569-77.
66. Thanopoulos BD, Giannakoulas G, Giannopoulos A, Galdo F, Tsaoussis GS. Initial and Six-Year Results of Stent Implantation for Aortic Coarctation in Children. *Am J Cardiol.* mayo de 2012;109(10):1499-503.
67. Butera G, Manica JLL, Marini D, Piazza L, Chessa M, Filho RIR, et al. From Bare to Covered: 15-year single center experience and follow-up in trans-catheter stent implantation for aortic coarctation. *Catheter Cardiovasc Interv.* mayo de 2014;83(6):953-63.
68. Fiszer R, Bialkowski J, Chodór B, Pawlak S, Szkutnik M. Use of the AndraStent XL and XXL for the treatment of coarctation of the aorta in children and adults: immediate and midterm results. *EuroIntervention.* junio de 2016;12(3):394-9.
69. Ledesma M, Alva C, Gómez FD, Sánchez-Soberanis A, Díaz Y Díaz E, Benítez-Pérez C, et al. Results of stenting for aortic coarctation. *Am J Cardiol.* agosto de 2001;88(4):460-2.
70. Cheatham JP. Stenting of coarctation of the aorta. *Catheter Cardiovasc Interv.* septiembre de 2001;54(1):112-25.
71. Ewert P. The CP stent--short, long, covered--for the treatment of aortic coarctation, stenosis of pulmonary arteries and caval veins, and Fontan anastomosis in children and adults: an evaluation of 60 stents in 53 patients. *Heart.* 1 de julio de 2005;91(7):948-53.
72. Shah L, Hijazi Z, Sandhu S, Joseph A, Cao QL. Use of endovascular stents for the treatment of coarctation of the aorta in children and adults: immediate and midterm results. *J Invasive Cardiol.* noviembre de 2005;17(11):614-8.
73. Mahadevan VS, Vondermuhll IF, Mullen MJ. Endovascular aortic coarctation stenting in adolescents and adults: Angiographic and hemodynamic outcomes. *Catheter Cardiovasc Interv.* febrero de 2006;67(2):268-75.

74. Tzifa A, Ewert P, Brzezinska-Rajszyz G, Peters B, Zubrzycka M, Rosenthal E, et al. Covered Cheatham-Platinum Stents for Aortic Coarctation. *J Am Coll Cardiol.* abril de 2006;47(7):1457-63.
75. Kenny D, Margey R, Turner MS, Tometzki AJ, Walsh KP, Martin RP. Self-expanding and balloon expandable covered stents in the treatment of aortic coarctation with or without aneurysm formation. *Catheter Cardiovasc Interv.* julio de 2008;72(1):65-71.
76. Chakrabarti S, Kenny D, Morgan G, Curtis SL, Hamilton MCK, Wilde P, et al. Balloon expandable stent implantation for native and recurrent coarctation of the aorta--prospective computed tomography assessment of stent integrity, aneurysm formation and stenosis relief. *Heart.* 1 de agosto de 2010;96(15):1212-6.
77. Tanous D, Collins N, Dehghani P, Benson LN, Horlick EM. Covered stents in the management of coarctation of the aorta in the adult: Initial results and 1-year angiographic and hemodynamic follow-up. *Int J Cardiol.* abril de 2010;140(3):287-95.
78. Molaei A, Merajie M, Mortezaeian H, Malakan Rad E, Haji Heidar Shemirani R. Complications of Aortic Stenting in Patients below 20 Years Old: Immediate and Intermediate Follow-Up. *J Tehran Heart Cent.* noviembre de 2011;6(4):202-5.
79. Sadiq M, Rehman AU, Qureshi AU, Qureshi SA. Covered stents in the management of native coarctation of the Aorta—Intermediate and long-term follow-up. *Catheter Cardiovasc Interv.* octubre de 2013;82(4):511-8.
80. Bondanza S, Calevo MG, Marasini M. Early and Long-Term Results of Stent Implantation for Aortic Coarctation in Pediatric Patients Compared to Adolescents: A Single Center Experience. *Cardiol Res Pract.* 2016;2016:1-5.
81. Qureshi SA, Zubrzycka M, Brzezinska-Rajszyz G, Kosciesza A, Ksiazek J. Use of covered Cheatham-Platinum stents in aortic coarctation and recoarctation. *Cardiol Young.* febrero de 2004;14(1):50-4.
82. Pedra CAC, Fontes VF, Esteves CA, Arrieta SR, Braga SLN, Justino H, et al. Use of Covered Stents in the Management of Coarctation of the Aorta. *Pediatr Cardiol.* agosto de 2005;26(4):431-9.
83. Butera G, Piazza L, Chessa M, Negura DG, Rosti L, Abella R, et al. Covered stents in patients with complex aortic coarctations. *Am Heart J.* octubre de 2007;154(4):795-800.
84. Bruckheimer E, Birk E, Benson L, Butera G, Martin R, Roberts PA, et al. Large Diameter Advanta V12 Covered Stent Trial for Coarctation of the Aorta: COARC Study. *Circ Cardiovasc Interv.* diciembre de 2021;14(12):e010576.
85. McElhinney DB, Marshall AC, Schievano S. Fracture of Cardiovascular Stents in Patients With Congenital Heart Disease: Theoretical and Empirical Considerations. *Circ Cardiovasc Interv.* octubre de 2013;6(5):575-85.
86. Eriksson P, Pihkala J, Jensen AS, Dohlen G, Liuba P, Wahlander H, et al. Transcatheter Intervention for Coarctation of the Aorta. *JACC Cardiovasc Interv.* febrero de 2023;16(4):444-53.

87. Boe BA, Armstrong AK, Janse SA, Loccoh EC, Stockmaster K, Holzer RJ, et al. Percutaneous Implantation of Adult Sized Stents for Coarctation of the Aorta in Children ≤ 20 kg: A 12-Year Experience. *Circ Cardiovasc Interv.* febrero de 2021;14(2):e009399.

PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

Fruto del desarrollo de esta tesis doctoral se han realizado 1 publicación en la Revista Eurointervention y 1 publicación en la Revista Española de Cardiología, así como 1 comunicación en un congreso internacional.

16. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Título: Very long-term follow-up after aortic stenting for coarctation of the aorta. Seguimiento a muy largo plazo tras implante de stent en la coartación de aorta

Autores: Manuel Pan, Cristina Pericet, Rafael González-Manzanares, Manuel A. Díaz, Javier Suárez de Lezo, Francisco Hidalgo, Marco Alvarado, Guillermo Dueñas, Elena Gómez, Simona Espejo, Jorge Perea, Miguel Romero, Soledad Ojeda.

Revista: Revista Española de Cardiología, 1 Diciembre 2023.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rec.2023.10.004>.

Factor de Impacto: 5.9, Ranking 35/143, Q1

Título: Percutaneous reintervention on aortic coarctation stenting.

Autores: Manuel Pan, Soledad Ojeda, Francisco Hidalgo, Javier Suárez de Lezo, Adrian Lostalo, Francisco Mazuelos, José Segura, Cristina Pericet, Aurora Luque, Rafael González, Ana Fernández, Elena Gomez, Miguel Romero.

Revista: Eurointervention, 1 Marzo 2019.

DOI: 10.4244/EIJ-D-18-00923

Factor de Impacto: 6.2, Q1

Original article

Very long-term follow-up after aortic stenting for coarctation of the aorta

Manuel Pan,^{a,b,c,◇} Cristina Pericet,^{a,b,◇} Rafael González-Manzanares,^{a,b,*} Manuel A. Díaz,^{a,b} Javier Suárez de Lezo,^{a,b} Francisco Hidalgo,^{a,b} Marco Alvarado,^{a,b} Guillermo Dueñas,^{a,b} Elena Gómez,^d Simona Espejo,^e Jorge Perea,^{a,b} Miguel Romero,^{a,b,c} and Soledad Ojeda^{a,b,c}

^a Servicio de Cardiología, Hospital Universitario Reina Sofía, Córdoba, Spain

^b Instituto Maimónides de Investigación Biomédica de Córdoba (IMIBIC), Córdoba, Spain

^c Universidad de Córdoba, Córdoba, Spain

^d Servicio de Pediatría, Hospital Universitario Reina Sofía, Córdoba, Spain

^e Servicio de Radiología, Hospital Universitario Reina Sofía, Córdoba, Spain

Article history:

Received 7 August 2023

Accepted 23 October 2023

Keywords:

Aortic coarctation
Congenital heart diseases
Aneurysm
Stent fractures

Palabras clave:

Coartación aórtica
Cardiopatías congénitas
Aneurismas
Fracturas del stent

ABSTRACT

Introduction and objectives: Stent implantation is the preferred treatment in older children and adults with aortic coarctation (CoA). We aimed to determine the incidence of very late events after CoA stenting.

Methods: We analyzed a cohort of CoA patients who underwent stent implantation at our center between 1993 and 2018. Patients were periodically followed up in outpatient clinics, including computed tomography (CT) and fluoroscopy assessment.

Results: A total of 167 patients with CT and fluoroscopy data were included: 83 (49.7%) were aged ≤ 12 years and 46 (28%) were female. The mean clinical follow-up time was 17 ± 8 (range 4-30) years and the mean time to CT/fluoroscopy was 11 ± 7 years. Aortic aneurysm was present in 13% and was associated with the PALMAZ stent (OR, 3.09; 95%CI, 1.11-9.49; $P = .036$) and the stented length (OR, 0.94; 95%CI, 0.89-0.99; $P = .039$). Stent fracture was frequent (34%), but was not related to the presence of aneurysm. Stent fracture was associated with young age (OR, 3.57; 95%CI, 1.54-8.33; $P = .003$), male sex (OR, 4.00; 95%CI, 1.51-12.5, $P = .008$) and inversely with the PALMAZ stent (OR, 0.29; 95%CI, 0.12-0.67, $P = .005$). Reintervention was lower in adults (10%), mainly related to aneurysms. Those treated when aged ≤ 12 years had higher reintervention rates (43%) due to recoarctation somatic growth.

Conclusions: This long-term follow-up study of CoA patients treated with stenting revealed a significant incidence of late events. Reintervention rates were higher in patients treated at younger ages. Periodic imaging surveillance appears to be advisable.

© 2023 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Seguimiento a muy largo plazo tras implante de stent en la coartación de aorta

RESUMEN

Introducción y objetivos: El implante de stent es el tratamiento de elección en niños mayores y adultos con coartación aórtica (CoA). El objetivo fue determinar la incidencia de eventos tardíos después del tratamiento con stent.

Métodos: Se analizó una cohorte de pacientes con CoA tratados en el centro entre 1993 y 2018 a los que se siguió periódicamente, incluyendo evaluación mediante tomografía computarizada (TC) y fluoroscopia.

Resultados: Se incluyó a 167 pacientes con TC y fluoroscopia: 83 (49,7%) ≤ 12 años y 46 (28%) mujeres. El tiempo medio de seguimiento clínico fue de 17 ± 8 años (rango 4-30) y de 11 ± 7 años hasta la TC/fluoroscopia. Se detectó aneurisma en un 13% y se asoció al stent PALMAZ (OR = 3,09; IC95%, 1,11-9,49; $p = 0,036$) y a la longitud del stent (OR = 0,94; IC95%, 0,89-0,99; $p = 0,039$). La fractura del stent fue frecuente (34%) pero no asociada a la presencia de aneurisma. Se asoció con edad joven (OR = 3,57; IC95%, 1,54-8,33; $p = 0,003$), sexo masculino (OR = 4,00; IC95%, 1,51-12,50; $p = 0,008$) e inversamente con el stent PALMAZ (OR = 0,29; IC95%, 0,12-0,67; $p = 0,005$). La reintervención fue menor en adultos (10%), principalmente por aneurismas. Los pacientes que recibieron tratamiento cuando tenían 12 años o menos presentaron tasas de reintervención más altas (43%) debido al crecimiento somático.

* Corresponding author.

E-mail address: rafaeltgzm@gmail.com (R. González-Manzanares).

✉@Cardio_HURS (R. González-Manzanares).

◇ Manuel Pan and Cristina Pericet are co-first authors and contributed equally to this study.

<https://doi.org/10.1016/j.rec.2023.10.004>

1885-5857/© 2023 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Conclusiones: Se observó una incidencia notable de eventos tardíos a largo plazo en pacientes con CoA tratados mediante stent. La reintervención fue más frecuente en pacientes tratados a edades más jóvenes. Parece aconsejable una vigilancia periódica mediante pruebas de imagen.
 © 2023 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Abbreviations

CT: computed tomography

INTRODUCTION

According to the recommendations of the European guidelines,¹⁻³ stent implantation is the treatment of choice in older children and adults with significant aortic coarctation. However, since late complications after a successful procedure have been reported,⁴ close follow-up of these patients seems to be advisable.⁵ Despite current evidence documenting the occurrence of aortic aneurysm years after coarctation stenting, its true incidence and clinical impact are difficult to determine due to the lack of a universally accepted definition⁶ and the scarcity of long-term follow-up studies with serial computed tomography (CT) assessment.

The aim of the present study was to determine the incidence of late events after aortic stenting and their management, as well as to identify the factors associated with these complications.

METHODS

Study design and population

We analyzed consecutive children and adults with aortic coarctation who underwent stent implantation at a single center between 1993 and 2018. In all, 177 patients were eligible. Patients with postsurgery (before stenting) aneurysm, acute aortic wall damage during the procedure, and those with no available follow-

up CT or fluoroscopy studies were excluded from the study. Thus, the final cohort consisted of 167 patients (figure 1). The study was conducted according to the Declaration of Helsinki and was approved by our clinical research ethics committee. Written informed consent was obtained from all participants/parents/legal guardians.

Endpoints and definitions

The main endpoint of the study was the incidence of aneurysm and stent fracture at long-term follow-up. Secondary endpoints were the need for reintervention and the occurrence of other major events (stent migration, all-cause mortality). Additionally, we aimed to identify clinical and procedural factors associated with these complications. Aneurysms were classified according to Pedra et al.⁷ as small (> 3 mm and ≤ 50% the diameter of the descending aorta at the level of the diaphragm), moderate (≥ 50% of the diameter of the aorta) and large (≥ 50 mm). Stent fractures were categorized according to a modified McElhinney evaluation.⁸ Thus, we considered that a stent fracture was mild when 1 or 2 struts were detached with a separation ≤ 2 mm (figure 2A), moderate if multiple struts were detached with a separation ≤ 2 mm (figure 2B), or severe when multiple struts were detached with a separation > 2 mm or there was a significant displacement of stent fragments (figure 2C). Fractures were evaluated after aortic stent implantation before any type of reintervention. Thus, stent fractures caused by balloon redilation during the follow-up were not included. Primary data were reviewed by 2 independent expert operators.

Stent implantation procedure

The procedure of stent implantation has been previously described in detail.⁹ In brief, 2 femoral or radial/femoral access

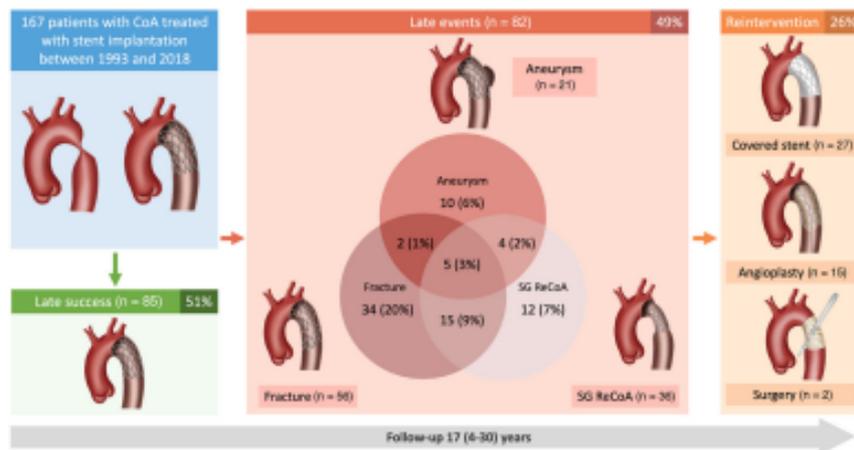


Figure 1. Central illustration. Incidence of very late events and management in a cohort of 167 patients with aortic coarctation treated with stent implantation. CoA, aortic coarctation; SG ReCoA, somatic growth recoarctation.

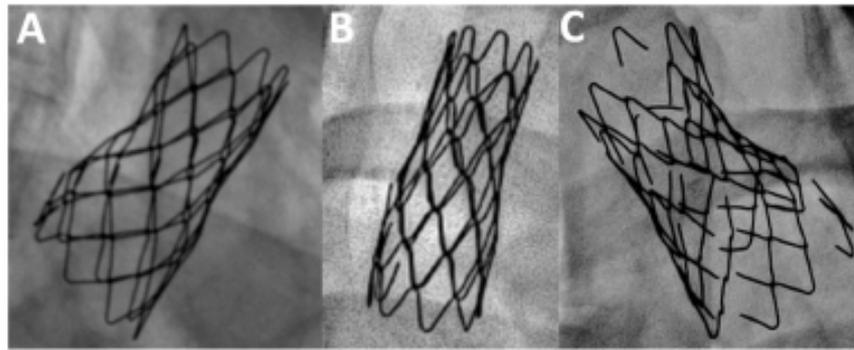


Figure 2. Examples of stent fractures. A, mild; B, moderate; C, severe.

were obtained. Simultaneous peak-to-peak pressure gradient across the coarctation segment was measured before and after treatment. Angiography was performed to assess the anatomy of the aorta and the stented segment. The minimal lumen diameter at the coarctation level, the isthmus diameter at the level of the left subclavian artery, and the aortic diameter at the level of the diaphragm were measured. After diagnostic catheterization, the stent size was selected according to the diameter of the aorta at the level of the diaphragm. The type of stent varied over the years according to the availability of the different models at the time of the treatment: PALMAZ (Cordis Endovascular, United States), Cheatham-Platinum (CP) (NuMED, United States), Valeo (Bard Peripheral Vascular, United States), BeGraft (Bentley InnoMed, Germany). Since 2011, the femoral puncture was closed by a

Prostar or a Proglide devices (Abbott Vascular Inc., United States) (previously implanted before the cannula insertion).

Follow-up

Follow-up visits included telephone calls and scheduled clinical and echocardiographic evaluations at 6 months, 1 year, and each subsequent year. CT scan surveillance was performed from 2008 onwards (at least 1 study was available from each of the included patients). Additionally, a fluoroscopy study with several projections was performed to identify stent fractures. Major events, the presence of an aortic aneurysm, stent fracture, stent migration, and the need for reintervention were ascertained.

Table 1
Baseline data

Characteristic	Overall N=167	≤ 12 y n=83	> 12 y n=84	P
Clinical				
Age, y	19 ± 15	7 ± 3	31 ± 14	<.001
Female sex, %	46 (27.5)	18 (21.7)	28 (33.3)	.092
Body surface area, m ²	1.4 ± 0.5	1.0 ± 0.4	1.7 ± 0.3	<.001
Previous coarctation procedure				
Balloon	25.0 (15.0)	18.0 (21.7)	7.0 (8.3)	.016
Surgery	25.0 (15.0)	13.0 (15.7)	12.0 (14.3)	.803
Associated malformations	54.0 (32.3)	30.0 (36.1)	24.0 (28.6)	.296
Angiographic				
Ascending aortic size, mm	23.9 ± 12.7	16.2 ± 5.1	31.1 ± 13.5	<.001
Descending aortic size, mm	16.8 ± 6.5	12.8 ± 3.5	20.9 ± 6.4	<.001
Aortic minimal lumen diameter, mm	5.7 ± 3.9	4.7 ± 3.0	6.6 ± 4.4	.007
Aortic arch, mm	15.2 ± 7.6	11.3 ± 4.2	18.8 ± 8.3	<.001
Aortic size (post subclavian), mm	13.4 ± 6.1	10.0 ± 4.6	16.6 ± 5.6	<.001
Coarctation stenosis, %	66.7 ± 20.5	65.6 ± 19.5	67.7 ± 21.5	.573
Peak gradient, mmHg	38.03 ± 14.08	39.34 ± 15.10	36.79 ± 13.02	.356
Procedural				
Noncovered stent	145 (86.8)	77 (92.8)	68 (81.0)	.024
PALMAZ stent	76 (45.5)	37 (44.6)	39 (46.4)	.810
Cheatham-Platinum stent	77 (46.1)	42 (50.6)	35 (41.7)	.247
Other stents	14 (8.4)	4 (4.8)	10 (11.9)	.099
Stent diameter	16.9 ± 5.6	14.2 ± 3.5	20.2 ± 6.0	<.001
Stent length	39.9 ± 13.5	35.2 ± 8.1	44.6 ± 15.9	<.001

The data are expressed as No. (%) or mean ± standard deviation.

Table 2
Late follow-up events

	Total N = 167	≤ 12 y n = 83	> 12 y n = 84	P
Aneurysm	21 (13)	12 (14)	9 (11)	.467
Small	14 (67)	8 (67)	6 (67)	
Moderate	4 (19)	1 (8)	3 (33)	
Large	3 (14)	3 (25)	0 (0)	
Stent fracture	56 (34)	42 (51)	14 (17)	< .001
Mild	9 (16)	8 (19)	1 (7)	
Moderate	17 (30)	15 (36)	2 (14)	
Severe	30 (54)	19 (45)	11 (79)	
Stent migration	1 (0.6)	0 (0.0)	1 (1.2)	–
Reintervention	44 (26)	36 (43)	8 (10)	< .001
Mortality	9 (5)	3(3)	6 (7)	.313

The data are presented as No. (%).

Statistical analysis

Categorical data are presented as counts (percentages) and continuous data as mean \pm standard deviation. Comparisons between groups were made using the chi-square test or the Fisher exact test for categorical variables and the Student *t*-test or the Mann-Whitney U test for continuous variables. Univariable and multivariable logistic regression models were used to study the factors associated with aneurysm and stent fracture. To evaluate the risk of reintervention and all-cause death, time-to-event analyses were conducted using Kaplan-Meier curves and univariable and multivariable Cox proportional-hazards models. Logistic and Cox multivariable models were tested for collinearity and were built using backward stepwise elimination, initially including clinically relevant variables and those with a $P < .100$ in the univariable models. All tests were 2-tailed and were considered significant when $P < .05$. Statistical analyses were performed using SPSS software (version 24; IBM Corp, Armonk, NY, USA) and R software (version 4.2.1; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

RESULTS

Baseline, angiographic, and procedural data

The baseline clinical, angiographic, and procedural data of the overall cohort categorized according to age less or greater than

Table 3
Predictors of aortic aneurysm. Univariable and multivariable logistic regression models

	Aneurysm n = 21	No aneurysm n = 146	Univariable			Multivariable		
			OR	95%CI	P	OR	95%CI	P
Age ≤ 12 y	12 (57)	71 (49)	1.41	0.56-3.70	.467			
Male sex	15 (71)	106 (73)	0.94	0.36-2.77	.910			
Prior intervention	7 (33)	43 (29)	1.20	0.43-3.13	.717			
Aortic size (diaphragm), mm	14.6 \pm 4.9	17.1 \pm 6.7	0.93	0.83-1.02	.149			
Aortic minimal lumen diameter, mm	4.9 \pm 3.5	5.8 \pm 3.9	0.94	0.79-1.08	.431			
Basal gradient, mmHg	43.5 \pm 17.5	37.2 \pm 13.4	1.03	1.00-1.06	.068	1.02	0.98-1.06	.306
PALMAZ stent	15 (71)	61 (42)	3.48	1.33-10.2	.015	3.09	1.11-9.49	.036
Stent diameter, mm	16.5 \pm 9.6	16.8 \pm 8.2	1.00	0.84-1.14	.963			
Stent length, mm	33.3 \pm 10.8	41 \pm 13.6	0.93	0.88-0.98	.006	0.94	0.89-0.99	.039
Stent fracture	7 (33)	49 (34)	0.99	0.36-2.54	.983			

95%CI, 95% confidence interval; OR, odds ratio.

The data are presented as No. (%) or mean \pm standard deviation.

12 years old are shown in table 1. Obviously, there were significant differences in terms of age and aortic sizes between groups. With respect to the procedural data, a high proportion of patients in both groups were treated with a PALMAZ stent at the first procedure [76 (45.5%)] and the use of covered stents was rare (11%) according to the late availability of this dedicated stent during the study period.

Aortic aneurysms

The prevalence of aortic aneurysms after coarctation stenting was 13% (figure 1). The mean time between stent implantation and the last CT was 11 \pm 8 years. Twelve aneurysms were observed in the group of younger patients (14%), while 9 were detected in the group of patients older than 12 years (11%), with no significant differences between the groups (table 2). Aneurysm location was at the proximal stent border in 8 (38%), at the stent body in 9 (43%), and at the distal stent border in 4 (19%) patients. The only factors independently associated with this late complication were the stented length and the use of a PALMAZ stent (table 3). When patients treated with covered stent were excluded, the PALMAZ stent showed a tendency toward a higher likelihood of aneurysm formation (19% vs 8.7%; $P = .06$). The severity of the aortic coarctation in terms of baseline gradient showed a trend toward significance in the univariable study. Most of the aneurysms were classified as small or moderate (table 2), and only 3 (14%) were large (figure 3). Once an aneurysm was detected, it was treated with a new covered stent in most patients [16 (76%)] (figure 4). Accordingly, there was a close relationship between aneurysm and reintervention (figure 5). One patient with a large aneurysm and stent migration was surgically treated (figure 3). The remaining 4 patients (3 young and 1 adult patient) with small aneurysms are being closely followed in outpatient clinics (Figure 1 of the supplementary data).

Stent fractures

Stent fracture was a frequent event that occurred in 56 patients (34%) after a mean time since the index procedure of 11 \pm 7.4 years (figure 1). Most fractures were moderate or severe (table 2). Stent fractures occurred more frequently in younger patients, males and patients not receiving a PALMAZ stent (table 4). Patients with smaller aortic sizes and shorter stented lengths showed a higher incidence of stent fractures in the univariable study that lost significance in the multivariable analysis. The presence of stent fractures was not related to the development of aneurysms (table 3). Figure 6 shows 2 examples



Figure 3. Example of late aneurysm formation and stent migration evidenced 18 years after successful stent implantation. A, baseline angiography; B and C, immediate result: LAO aortography and PA aortography, respectively; D, CT 18 years after stent implantation; E and F, LAO and PA angiography at the time of the CT; G, CT after surgical repair. CT, computed tomography; LAO, left anterior oblique view; PA, posteroanterior view.

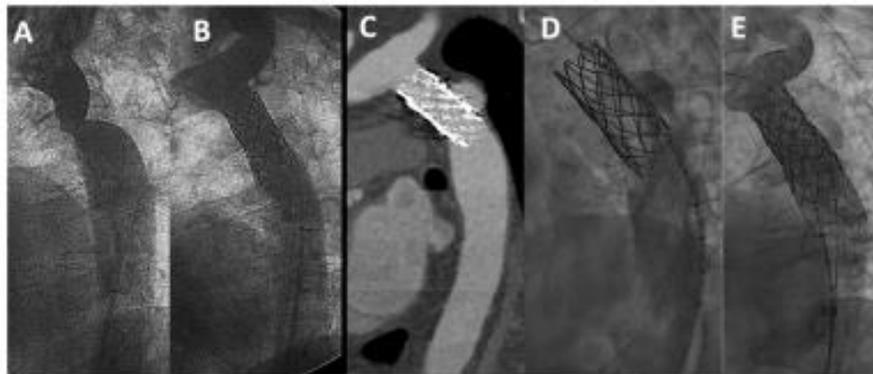


Figure 4. Example of late aneurysm formation evidenced 15 years after successful stent implantation. A, baseline angiography; B, immediate result; C, CT 15 years after stent implantation; D, angiography at the time of the CT; E, exclusion of the aneurysm after covered stents implantation. CT, computed tomography.

of patients with aortic wall integrity despite severe stent fractures. We observed an association between stent fracture and the need for reintervention (figure 5). This association seemed to be related to the high incidence of stent fractures in younger patients (table 4), most of whom needed a second intervention after completion of somatic growth.

Late stent migration

Although this complication may occur during the stent implantation procedure, it is much less frequent during follow-up. In our series, only 1 adult patient (0.6%) who developed a large aneurysm experienced this complication (figure 3). The mechanism was probably related to a lack of aortic support due to wall dilation. The patient underwent surgery, the stent was removed, and the aneurysm was resected (figure 3).

Need for reintervention

Reintervention during the follow-up period (17 ± 8 years) occurred in 44 (26%) patients. Children younger than 12 years were treated with a first stenting procedure while accepting the need for a second procedure after the completion of their somatic growth.⁹

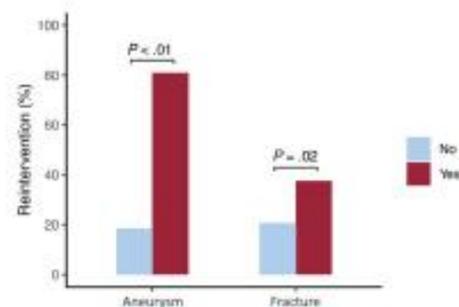


Figure 5. Association between reintervention and the presence of aneurysm and stent fractures.

Therefore, in this group of patients, the reintervention rate was high (43%). In contrast, in the adult group of patients, the reintervention rate was much lower (10%) and was only due to the presence of aortic aneurysms. Since the latter situation was rare, there were significant differences in terms of reinterventions between the group of children younger than 12 years and patients older than 12 years (table 5 and figure 7). In addition to age at first stent implantation, sex, and

Table 4
Predictors of stent fracture. Univariable and multivariable logistic regression models

	Fracture n=56	No fracture n=111	Univariable			Multivariable		
			OR	95%CI	P	OR	95%CI	P
Age ≤ 12 y	42 (75)	41 (37)	5.26	2.63-11.1	< .001	3.57	1.54-8.33	.003
Male sex	49 (87)	72 (65)	3.84	1.66-10.0	.003	4.00	1.51-12.5	.008
Prior intervention	21 (37)	29 (26)	1.66	0.84-3.33	.141			
Aortic size (diaphragm), mm	14.6 ± 4.4	18.0 ± 7.2	0.90	0.84-0.97	.006			
Aortic minimal lumen diameter, mm	4.9 ± 3.2	6.1 ± 4.2	0.92	0.82-1.01	.098			
Basal gradient, mmHg	39.1 ± 14.3	37.5 ± 14.0	1.01	0.99-1.03	.467			
PALMAZ stent	17 (30)	59 (53)	0.39	0.19-0.76	.007	0.29	0.12-0.67	.005
Stent diameter, mm	14.3 ± 5.0	17.3 ± 8.7	0.95	0.82-1.06	.416			
Stent length, mm	36.6 ± 9.5	41.5 ± 14.8	0.96	0.93-1.00	.039	0.97	0.92-1.00	.1

95%CI, 95% confidence interval; OR, odds ratio.

The data are expressed as No. (%) or mean ± standard deviation.

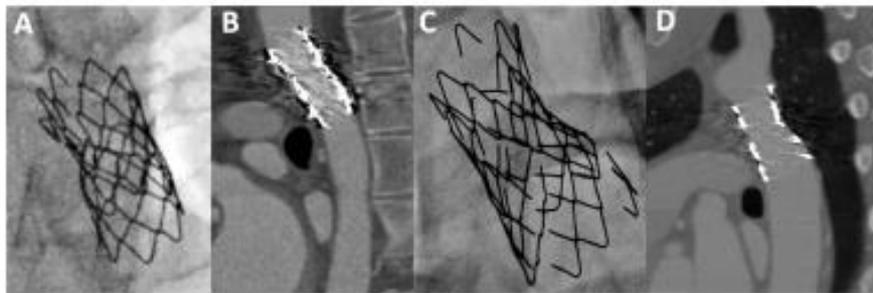


Figure 6. Two examples of stent fractures and aortic wall integrity. A and C, stent fractures; B and D, CT performed at the time of fluoroscopy. CT, computed tomography.

baseline gradient across the coarctation, other factors were associated with the need for reintervention (table 5 and figure 7). The need for reintervention was not influenced by technical aspects, such as the type of implanted stent (figure 7). The type of reintervention is described in figure 1: 15 (34%) patients were percutaneously treated with balloon angioplasty, 27 (61%) with covered stents, and 2 (5%) patients with surgery.

Mortality at follow-up

Nine patients (5%) died during the follow-up period (17 ± 8 years). In this study, we could not identify predictors of

mortality. Sex, group of age, type of stent or a previous intervention on the aortic coarctation were not related to all-cause of death (figure 8). Causes of death were: 1 cancer, 1 brain abscess, 1 viral encephalitis, 2 sudden deaths, 1 heart failure while waiting for a heart transplant, 1 aneurysm of the ascending aorta, 1 abdominal bleeding, and 1 massive hemoptysis after a traffic accident.

DISCUSSION

The main findings of our study are as follows: a) aortic aneurysm after successful stent implantation in coarctation of the

Table 5
Predictors of reintervention. Univariable and multivariable Cox regression models

	Reintervention n=44	No reintervention n=123	Univariable			Multivariable		
			HR	95%CI	P	HR	95%CI	P
Age ≤ 12 y	36 (82)	47 (38)	6.25	3.03-14.3	< .001	5.88	2.63-14.3	< .001
Male sex	35 (79)	86 (70)	2.04	0.97-4.16	.055	2.63	1.12-6.25	.026
Prior intervention	18 (41)	32 (26)	1.82	0.99-3.33	.049	1.49	0.76-2.94	.243
Aortic size (diaphragm), mm	12.3 ± 3.9	18.5 ± 6.5	0.81	0.74-0.89	< .001			
Aortic minimal lumen diameter, mm	4.2 ± 2.9	6.2 ± 4.1	0.83	0.72-0.95	.009			
Basal gradient, mmHg	44.0 ± 15.4	36.1 ± 13.1	1.04	1.01-1.06	.001	1.05	1.02-1.08	< .001
PALMAZ stent	34 (77)	42 (34)	1.22	0.56-2.63	.618			
Stent diameter, mm	13.6 ± 3.7	18.1 ± 5.7	0.86	0.79-0.92	.01			
Stent length, mm	35.6 ± 9.2	41.4 ± 14.4	0.98	0.95-1.00	.108			

95%CI, 95% confidence interval; OR, odds ratio.

The data are expressed as No. (%) or mean ± standard deviation.

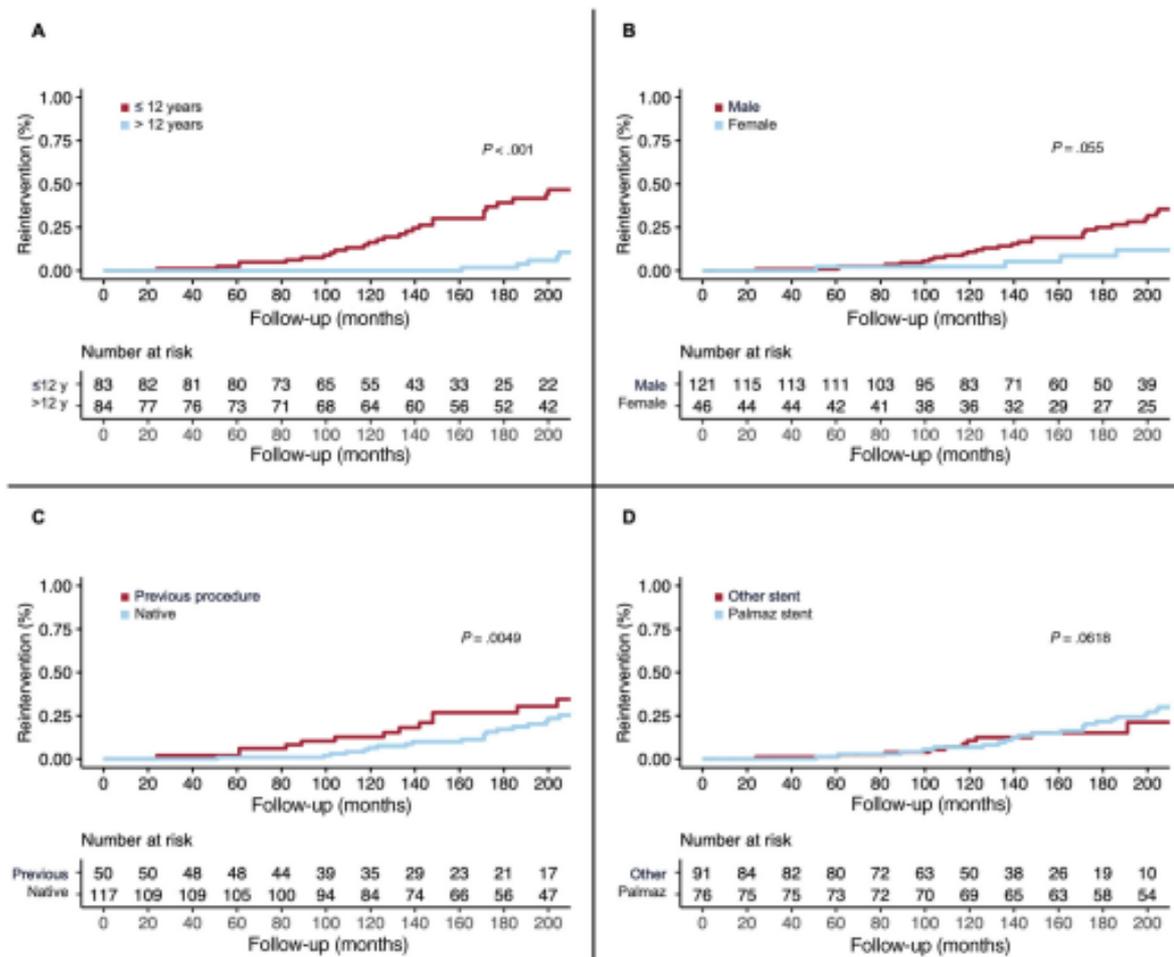


Figure 7. Cumulative incidence of reintervention stratified for different variables. A, groups of age; B, sex; C, native vs previous coarctation procedure; D, stent type. P value corresponds to the univariable analysis.

aorta occurred in 13% of our patients at 11 ± 8 years follow-up. The only factors associated with this late complication were the use of the PALMAZ stent and the stented length; b) stent fracture was a frequent event (34%), but was not related to the presence of aneurysms. Stent fractures occurred more frequently in younger patients, male patients, and in those who did not receive a PALMAZ stent; c) the reintervention rate was low (10%) and was mainly related to the presence of aneurysms. Younger patients receiving a stent at age less than 12 years had a high reintervention rate (43%) due to the need to adapt the stent lumen to the final size of the aorta; and d) all-cause mortality was low (5%), despite the long-term follow-up.

Aortic aneurysm after stenting for coarctation of the aorta

Since the first descriptions,^{10,11} late aortic aneurysm has been a recognized complication of stent placement in aortic coarctation. However, its true incidence is difficult to establish due to the scarcity of series with serial imaging examinations during a long-term follow-up. Thus, wide variability in the incidence of aneurysm has been reported: some series with short-term follow-up (2-3 years) have reported no cases of aneurysm,^{12,13} while series with longer follow-up (2-6 years) have described an

incidence of aortic aneurysm that ranges between 1.3 and 9%.¹⁴⁻²² In our study, the incidence of aortic aneurysm was higher than previously reported (13%). The reasons for this finding seem to be a longer follow-up, the routine use of imaging techniques following stent implantation and the frequent use of the stainless steel PALMAZ stent. We do not have a definitive explanation for this finding. However, it may be hypothesized that the lesser flexibility of this first-generation stent as well as the occurrence of “dog-boning” or asymmetric shortening during expansion, may favor wall damage. From a theoretical point of view, covered stents could reduce the incidence of this complication.²³⁻²⁹ Thus, several series²⁵⁻²⁹ have reported the absence of aneurysms at short-term follow-up (1-3 years). However, in a randomized study³⁰ comparing covered vs bare metal stents, the incidence of aneurysm was higher in the group of patients treated with covered stents (3.3% vs 0%). Despite this disappointing finding, covered stents seem to be the current logical approach for many adult patients with coarctation of the aorta to prevent aneurysm formation. The disadvantages of covered stents include the need for a larger femoral sheath leading to a higher rate of complications at the access site³¹ and the possibility of occlusion of an important side branch proximal to the coarctation segment. Most of our observed aneurysms were small; although the significance of these small

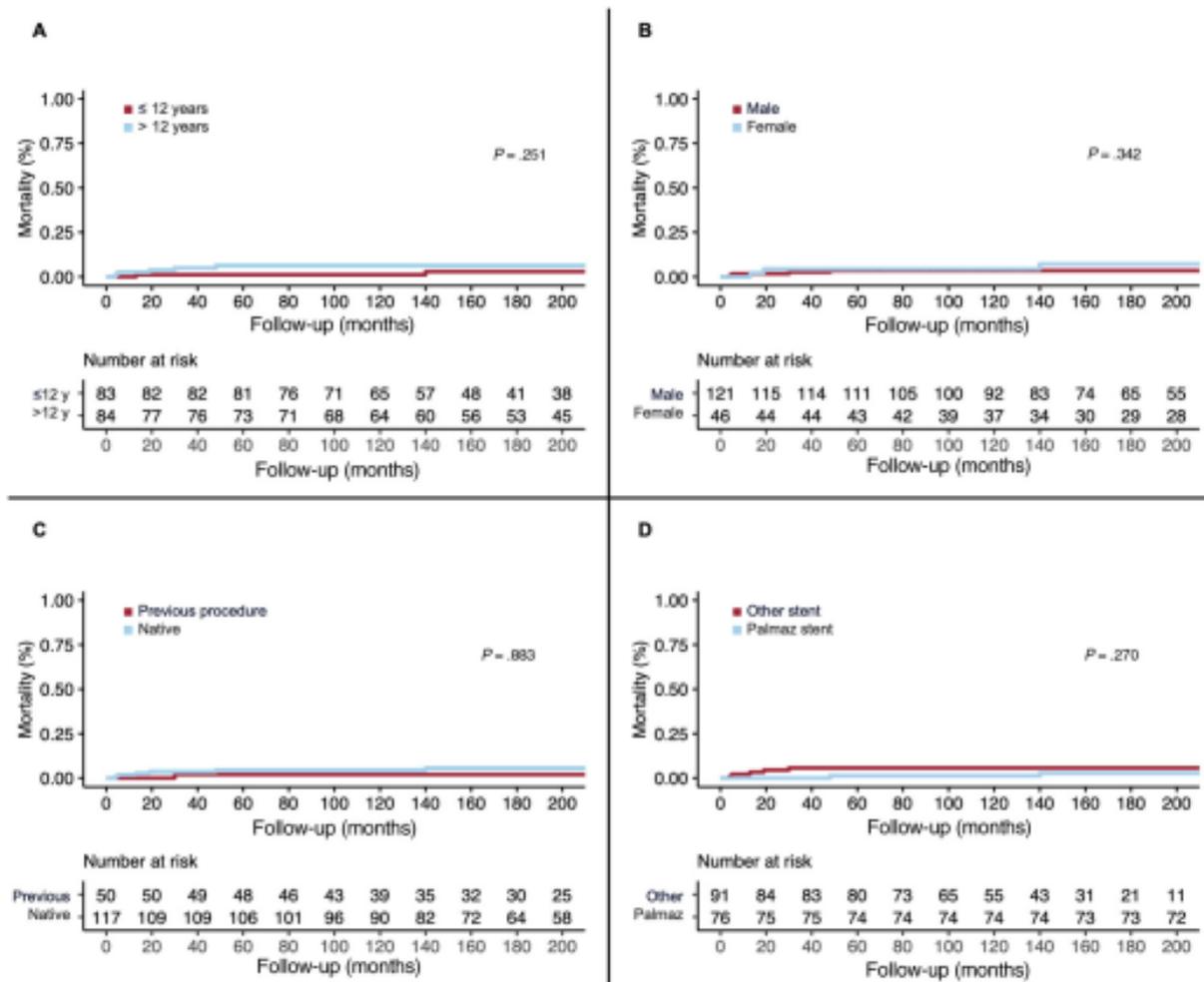


Figure 8. Cumulative incidence of all causes of death. There were no significant differences in terms of group of age (A), sex (B), native vs previous coarctation procedure (C), or the type of stent (D).

aortic aneurysms is not well-known, until proven otherwise, it seems prudent to approach them as clinically important.²⁰ Following this philosophy, we treated most of them by implanting a covered stent.³² According to our findings, we propose an image technique based on periodic follow-up, adapted from the 2018 ACC/AHA guidelines⁵: starting 2-3 years after stent implantation, and then every 3 years in the absence of aneurysm. If moderate-severe aneurysms appear, a reintervention is recommended. For small aneurysms, a decision between reintervention or a close follow-up (1-2 years) (Figure 1 of the supplementary data) should be evaluated on an individual basis.

Stent fractures

Stents implanted at the aorta are subjected to mechanical fatigue throughout the years, which gradually alters the ability of the material to resist the external load.⁸ Factors that can affect fatigue-life include the material (eg, stainless steel, platinum-iridium, cobalt chromium), the geometry and design (eg, cut tube, welded wire, open vs closed cell, and thickness of struts), and the manufacturing process (eg, laser cut tube, welded wire, or brazing of welds).⁸ In our study, the CP stent showed the highest rate of

fracture, but fracture was also frequently observed in the PALMAZ stent (figure 2). Some authors state that stent fractures can be associated with aortic wall damage at the level of these fractures and recommend the implantation of another stent.¹⁹ This association could not be demonstrated in our study (table 3) and wall integrity can be observed despite the presence of severe fractures (figure 6). Another important aspect of our analysis is the observed high incidence of stent fractures (34%). In a long-term analysis of the COAST I and II studies,²² the authors found a stent fracture rate of 24% at 5 years follow-up, while Boe et al.³³ described a rate of 21% at 75 months of follow-up in children. These differences could be explained by the high frequency of fluoroscopic studies that were performed during a long-term follow-up.

Reintervention

The reasons for reintervention after successful previous stent implantation in aortic coarctation may include restenosis, undersized stent because of somatic growth, stent underexpansion, aneurysm formation, and stent migration. In our study, most reinterventions in adult patients were due to the presence of aortic

aneurysms, while in children aged ≤ 12 years a reintervention was required to adapt the stented lumen to the aortic size after completion of somatic growth. Stent fractures per se should not be a reason for reintervention unless there is recoarctation or aneurysm. However, we found an association between stent fractures and reintervention (figure 6). The explanation for this finding seems to be the high incidence of fractures (51%) occurring in children who required a second intervention due to growth-related recoarctation (size mismatch between the stented segment and the proximal and distal aortic segments). In previous recent series, as in our study, early age at the first procedure was the strongest predictor of reintervention, since most of these children had a planned staged procedure.^{9,31,33}

Limitations

First, frequent serial CT scans would have been required to determine the exact timing and significance of aortic aneurysms. Although all the included patients had, at least, a long-term CT study, serial systematic studies were not available in all patients. Second, since our experience started at 1995, many of the stents used in our analysis belonged to the first generation. Many improvements in stent design have taken place over these years and were incorporated into our clinical practice once the devices were available. The analysis of the results including both the old and new designs constitutes a limitation, but, at the same time, permits long-term follow-up, which is required to achieve solid conclusions about the percutaneous treatment of coarctation of the aorta.

CONCLUSIONS

Aortic aneurysm and stent fracture after successful stent implantation in coarctation of the aorta were frequent events at long-term follow-up. Reintervention was infrequent in adults (10%) and was mainly related to the presence of aneurysms. Younger people receiving a stent aged less than 12 years had a higher reintervention rate (43%) due to recoarctation somatic growth. All-cause death was low (5%) despite the long-term follow-up.

FUNDING

No funding.

ETHICAL CONSIDERATIONS

The study was conducted according to the Declaration of Helsinki and was approved by our clinical research ethics committee. Written informed consent was obtained from all participants/parents/legal guardians. Sex/gender biases have been taken into account in the preparation of this article.

STATEMENT ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Artificial intelligence has not been used.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

M. Pan and C. Pericet contributed equally to the present work as first authors. Conceptualization: M. Pan, S. Ojeda, M. Romero. Methodology: M. Pan, C. Pericet, R. González-Manzanares, S. Ojeda.

Formal analysis: C. Pericet, R. González-Manzanares. Investigation: C. Pericet, R. González-Manzanares, M.A Díaz, J. Suárez de Lezo, F. Hidalgo, M. Alvarado, G. Dueñas, E. Gómez, S. Espejo, J. Perea. Resources: M. Pan, S. Espejo, M. Romero, S. Ojeda. Data curation: C. Pericet, R. González-Manzanares. Writing-original draft: M. Pan, C. Pericet. Writing-review and editing: R. González-Manzanares, S. Ojeda. Supervision: S. Ojeda.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have no conflicts of interest to declare.

APPENDIX A. SUPPLEMENTARY MATERIAL

Supplementary material associated with this article can be found in the online version available at <https://doi.org/10.1016/j.rec.2023.10.004>.

WHAT IS KNOWN ABOUT THE TOPIC?

Some patients with aortic coarctation successfully repaired with stent implantation may develop late complications that can be percutaneously treated.

WHAT DOES THIS STUDY ADD?

Late complications are frequent in the long-term follow-up of patients with successful percutaneous repair of coarctation of the aorta. Stent fracture and aneurysm are not associated. Thus, lifetime periodic multimodality imaging surveillance (fluoroscopy, CT) is advisable to improve the clinical care of these patients.

REFERENCES

- Baumgartner H, Bonhoeffer P, De Groot NM, et al. ESC Guidelines for the management of grown-up congenital heart disease (new version 2010). *Eur Heart J*. 2010;31:2915–2957.
- Erbel R, Aboyans V, Boileau C, et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014;35:2873–2926.
- Baumgartner H, De Backer J, Babu-Narayan SV, et al. 2020 ESC Guidelines for the management of adult congenital heart disease. *Eur Heart J*. 2021;42:563–645.
- Boccalini S, den Harder AM, Witsenburg M, et al. Complications After Stent Placement for Aortic Coarctation: A Pictorial Essay of Computed Tomographic Angiography. *J Thorac Imaging*. 2017;32:W69–W80.
- Stout KK, Daniels CJ, Aboulhosn JA, et al. 2018 AHA/ACC Guideline for the Management of Adults With Congenital Heart Disease: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2019;73:1494–1563.
- Tretter JT, Jones TK, McElhinney DB. Aortic Wall Injury Related to Endovascular Therapy for Aortic Coarctation. *Circ Cardiovasc Interv*. 2015;8:e002840.
- Pedra CA, Fontes VF, Esteves CA, et al. Stenting vs. balloon angioplasty for discrete unoperated coarctation of the aorta in adolescents and adults. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2005;64:495–506.
- McElhinney DB, Marshall AC, Schievano S. Fracture of cardiovascular stents in patients with congenital heart disease: theoretical and empirical considerations. *Circ Cardiovasc Interv*. 2013;6:575–585.
- Pan M, Ojeda S, Hidalgo F, et al. Percutaneous reintervention on aortic coarctation stenting. *EuroIntervention*. 2020;15:1464–1470.
- Suarez de Lezo J, Pan M, Romero M, et al. Balloon-expandable stent repair of severe coarctation of aorta. *Am Heart J*. 1995;129:1002–1008.
- Suárez de Lezo J, Pan M, Romero M, et al. Immediate and follow-up findings after stent treatment for severe coarctation of aorta. *Am J Cardiol*. 1999;83:400–406.

12. Hamdan MA, Maheshwari S, Fahy JT, Hellenbrand WE. Endovascular stents for coarctation of the aorta: initial results and intermediate-term follow-up. *J Am Coll Cardiol*. 2001;38:1518-1523.
13. Tyagi S, Singh S, Mukhopadhyay S, Kaul UA. Self- and balloon-expandable stent implantation for severe native coarctation of aorta in adults. *Am Heart J*. 2003;146:920-928.
14. Chessa M, Carrozza M, Butera G, et al. Results and mid-long-term follow-up of stent implantation for native and recurrent coarctation of the aorta. *Eur Heart J*. 2005;26:2728-2732.
15. Suárez de Lezo J, Pan M, Romero M, et al. Percutaneous interventions on severe coarctation of the aorta: a 21-year experience. *Pediatr Cardiol*. 2005;26:176-189.
16. Qureshi AM, McElhinney DB, Lock JE, Landzberg MJ, Lang P, Marshall AC. Acute and intermediate outcomes, and evaluation of injury to the aortic wall, as based on 15 years experience of implanting stents to treat aortic coarctation. *Cardiol Young*. 2007;17:307-318.
17. Forbes TJ, Moore P, Pedra CA, et al. Intermediate follow-up following intravascular stenting for treatment of coarctation of the aorta. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2007;70:569-577.
18. Thanopoulos B, Giannakoulas G, Giannopoulos A, Galdo F, Tsaoussis G. Initial and Six-Year Results of Stent Implantation for Aortic Coarctation in Children. *Am J Cardiol*. 2012;109:1499-1503.
19. Butera G, Manica JL, Marini D, et al. From bare to covered: 15-year single center experience and follow-up in trans-catheter stent implantation for aortic coarctation. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2014;83:953-963.
20. Meadows J, Minahan M, McElhinney DB, McEnaney K, Ringel R. *Circulation*. 2015;131:1656-1664.
21. Fiszer R, Białkowski J, Chodór B, Pawlak S, Szkutnik M. Use of the AndraStent XL and XXL for the treatment of coarctation of the aorta in children and adults: immediate and midterm results. *EuroIntervention*. 2016;12:394-399.
22. Holzer RJ, Gauvreau K, McEnaney K, Watanabe H, Ringel R. Long-Term Outcomes of the Coarctation of the Aorta Stent Trials. *Circ Cardiovasc Interv*. 2021;14:e010308.
23. Qureshi SA, Zubrzycka M, Brzezinska-Rajszyz G, Kosciesza A, Ksiazek J. Use of covered Cheatham-Platinum stents in aortic coarctation and recoarctation. *Cardiol Young*. 2004;14:50-54.
24. Pedra CA, Fontes VF, Esteves CA, et al. Use of covered stents in the management of coarctation of the aorta. *Pediatr Cardiol*. 2005;26:431-439.
25. Tzifa A, Ewert P, Brzezinska-Rajszyz G, et al. Covered Cheatham-platinum stents for aortic coarctation: early and intermediate-term results. *J Am Coll Cardiol*. 2005;47:1457-1463.
26. Butera G, Piazza L, Chessa M, et al. Covered stents in patients with complex aortic coarctations. *Am Heart J*. 2007;154:795-800.
27. Tanous D, Collins N, Delghani P, Benson LN, Horlick EM. Covered stents in the management of coarctation of the aorta in the adult: initial results and 1-year angiographic and hemodynamic follow-up. *Int J Cardiol*. 2010;140:287-295.
28. Sadiq M, Ur Rehman A, Qureshi AU, Qureshi SA. Covered stents in the management of native coarctation of the aorta—intermediate and long-term follow-up. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2013;82:511-518.
29. Bruckheimer E, Birk E, Benson L, et al. Large Diameter Advanta V12 Covered Stent Trial for Coarctation of the Aorta: COARC Study. *Circ Cardiovasc Interv*. 2021;14:e010576.
30. Sohrabi B, Jamshidi P, Yaghoubi A, et al. Comparison between covered and bare Cheatham-Platinum stents for endovascular treatment of patients with native post-ductal aortic coarctation: immediate and intermediate-term results. *JACC Cardiovasc Interv*. 2014;7:416-423.
31. Eriksson P, Pihkala J, Jensen AS, et al. Transcatheter Intervention for Coarctation of the Aorta: A Nordic Population-Based Registry With Long-Term Follow-Up. *JACC Cardiovasc Interv*. 2023;16:444-453.
32. Taggart NW, Minahan M, Cabalka AK, Cetta F, Usmani K, Ringel RE. Immediate Outcomes of Covered Stent Placement for Treatment or Prevention of Aortic Wall Injury Associated With Coarctation of the Aorta (COAST II). *J Am Coll Cardiol Intv*. 2016;9:484-493.
33. Boe BA, Armstrong AK, Janse SA, et al. Percutaneous Implantation of Adult Sized Stents for Coarctation of the Aorta in Children ≤ 20 kg: A 12-Year Experience. *Circ Cardiovasc Interv*. 2021;14:e009399.

Percutaneous reintervention on aortic coarctation stenting



Manuel Pan*, MD; Soledad Ojeda, MD; Francisco Hidalgo, MD; Javier Suárez de Lezo, MD; Adrian Lostalo, MD; Francisco Mazuelos, MD; Jose Segura, MD; Cristina Pericet, MD; Aurora Luque, MD; Rafael González, MD; Ana Fernández, MD; Elena Gomez, MD; Miguel Romero, MD

Department of Cardiology, Reina Sofia Hospital, University of Córdoba (IMBIC), Córdoba, Spain

KEYWORDS

- aneurysm
- aortic coarctation
- miscellaneous

Abstract

Aims: The aim of this study was to assess the efficacy and safety of percutaneous reintervention in patients who underwent aortic coarctation stenting at an early age.

Methods and results: From 1993 to 2018, 177 patients with aortic coarctation were treated with stent implantation at our centre; 33 of them were treated at less than 12 years of age and required reintervention because of their rate of growth. The average age of the patients at the first and second procedure was 6 ± 3 years and 19 ± 7 years, respectively. At the reintervention procedure, 15 (45%) patients were treated with balloon re-expansion, and 18 (55%) were treated with re-stenting. Success was obtained in 30 patients (91%). The gradient across the coarctation changed from 22 ± 10 mmHg to 6 ± 6 mmHg, while the minimal lumen diameter increased from 9 ± 6 mm to 15 ± 3 mm. There were eight occlusions of the femoral artery (after the first procedure), and two covered stents were needed because of femoral bleeding. The mean follow-up time after the second procedure was 5 ± 4 years. A third procedure was required only in three patients (9%).

Conclusions: Patients with aortic coarctation treated with stent placement at an early age can be successfully re-treated after the completion of their somatic growth.

*Corresponding author: Servicio de Cardiología, Hospital Reina Sofia, Avda Menéndez Pidal 1, 14004 Córdoba, Spain.
E-mail: manuelpanalvarez@gmail.com

© Europa Digital & Publishing 2020. All rights reserved.

SUBMITTED ON 12/09/2018 - REVISION RECEIVED ON 14/02/01/2019 / 2nd 25/02/2019 - ACCEPTED ON 22/03/2019

Abbreviations

CT computed tomography
TTecho transthoracic echocardiography

Introduction

European and American guidelines¹⁻³ recommend an intervention in all patients with significant aortic coarctation (class I, level of evidence C). Since the initial descriptions of stent placement for aortic coarctation^{4,5}, this approach has become the preferred treatment for adults in many centres. Several excellent registries have demonstrated the safety and efficacy of bare metal^{6,7} or covered stents⁸ for the treatment of aortic coarctation. The same guidelines also support this strategy in adults with native aortic coarctation and appropriate anatomy^{1,2}. However, the aforementioned recommendations have not been extended to growing children or young adults without a definitive aortic size. The reason is the limited information available with regard to stent re-dilation in patients with aortic coarctation. Although some previous studies have reported a high rate of procedural success after balloon re-dilation⁹, the time interval between stent implantation and re-dilation was short. In this context, the aim of our investigation was to assess the efficacy and safety of percutaneous reintervention in patients who underwent aortic coarctation stenting at an early age. The second procedure was scheduled several years after stent implantation when the aorta reached its near definitive size. For this purpose, we analysed a series of patients with aortic coarctation treated with stent placement who needed balloon re-dilation or re-stenting because of their somatic growth.

Methods

PATIENTS

From 1993 to 2018, 177 patients with aortic coarctation were treated with stent implantation at our centre. For this particular study, we selected 33 patients treated with stent implantation when they were younger than 12 years old and who required reintervention because of their rate of growth. We did not include any adults or patients less than 12 years old without reintervention who were awaiting their definitive aortic size in this analysis. The patient flow chart and study design are presented in **Figure 1**.

STUDY ENDPOINTS AND DEFINITIONS

The primary endpoint of the study was to determine the immediate success and major complication rates of the reintervention procedure (re-dilation, re-stenting) several years after stent implantation at an early age in patients with aortic coarctation. The secondary endpoints were to determine the incidences of hypertension and major events during the follow-up period after the reintervention procedure. We defined primary success as a reduction in the gradient across the coarctation segment greater than 50% without major complications (including serious femoral access bleeding).

PROCEDURE

Two femoral or radial/femoral accesses were obtained. The simultaneous peak-to-peak pressure gradient across the coarctation segment

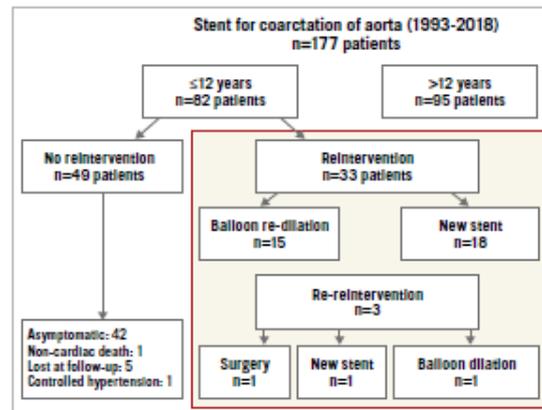


Figure 1. Patient flow chart.

was measured before and after treatment. Angiography at different projections was always performed to assess the anatomy of the aorta and the previously stented segment. Measurements and evaluation of fractures or recoils of the first stent were also carried out before the new treatment. Angiographic measurements were obtained at different levels of the aortogram on a 60° left anterior oblique (LAO) projection. The minimal lumen diameter at the coarctation level, the isthmus diameter at the level of the left subclavian artery, and the aortic diameter at the level of the diaphragm were also measured. The percentage of stenosis was calculated as $(1 - \text{aortic diameter at the coarctation} / \text{aortic diameter at the diaphragm}) \times 100$. After the diagnostic phase, the balloon size was selected according to the diameter of the aorta at the level of the diaphragm. The balloon type varied over 15-20 years. New balloon models were incorporated once they were available in our hospital. Initially, we used the OPTA® balloon (Cordis, Roden, the Netherlands). When NuMED balloons became available at our centre, the BIB® balloon (NuMED, Inc., Hopkinton, NY, USA) was used for stent deployment and a Z-MED™ or Mullins balloon (both NuMED, Inc.) for stent dilation. After stent deployment, an additional balloon inflation was performed in the case of non-stent apposition in the dilated aorta at the post-coarctation segment. Re-stenting was considered when a suboptimal result was obtained after balloon dilation or when multiple stent fractures occurred (**Figure 2**). A covered stent was selected based on the criteria of the operator, mainly used in cases of minimal aortic wall damage (**Figure 3**) or aneurysms (**Figure 4**). A covered Cheatham-Platinum (CP) stent (NuMED, Inc.) or a BeGraft stent (Bentley Innomed GmbH, Hechingen, Germany) was introduced through a 12-14 Fr sheath. Left radial or contralateral femoral access was used to monitor stent deployment through short contrast injections performed with a 4-6 Fr pigtail or multipurpose catheter. Beginning in 2011, the femoral puncture site was closed with a Prostar® (Abbott Vascular, Santa Clara, CA, USA) 10 Fr device (previously implanted before cannula insertion). Signed informed consent was always obtained before the procedure.

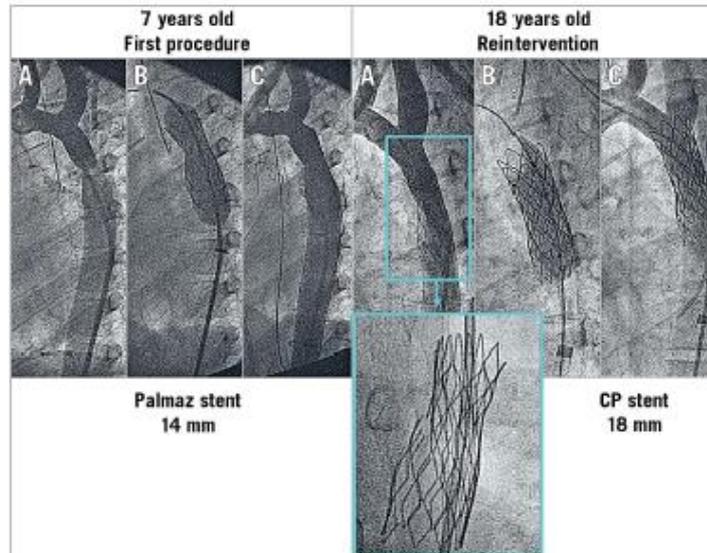


Figure 2. Example of a patient with aortic coarctation treated with stent placement at seven years of age. Re-stenting at 18 years of age. A) Baseline. B) Stenting. C) Post-stenting. The first Palmaz stent developed multiple strut fractures 11 years after the implantation.

FOLLOW-UP

Follow-up studies included telephone calls and scheduled clinical and transthoracic echocardiographic (TTEcho) evaluations at six months, one year, and every subsequent year. A follow-up computed tomography (CT) scan was performed in all patients beginning in 2008 after the first stent was placed to detect the presence

of aneurysms in the treated aortic segment. Additional cardiac catheterisation was recommended if an aneurysm or a significant gradient across the stented segment was present. Late major events, the incidence of hypertension and the need for medication were recorded. After the reintervention procedure, the patients were followed in the outpatient clinic, and serial X-ray pictures, TTEcho and



Figure 3. Example of a patient with aortic coarctation treated with stent placement at three years of age. Re-stenting at the age of 18 years. Small bulging area of the aorta outside the first stent (arrows) that was resolved with a second covered CP stent.

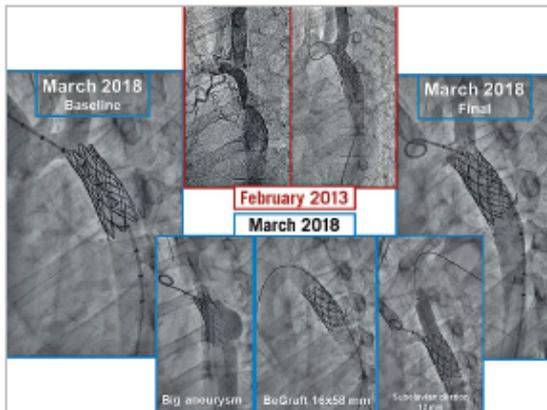


Figure 4. Example of a patient with an aneurysm after stenting at an early age. A covered CP stent used in the second procedure increased the aortic diameter and resolved the malformation.

peripheral Doppler studies were obtained in all patients. CT studies were available in 13 patients.

STATISTICAL ANALYSIS

Quantitative data are expressed as the mean±standard deviation. Student-Fisher paired or unpaired t-tests were used to compare the means from the same patients or from different groups of patients. Differences between the proportions were studied using a chi-square test. All statistical analyses were performed using SPSS, Version 20.0.0 software (IBM Corp., Armonk, NY, USA). A value of $p < 0.05$ was considered statistically significant.

Results

BASELINE AND PROCEDURAL DATA

The baseline clinical and angiographic data are shown in Table 1. Nine patients had associated malformations, and four had previous surgery of the aortic coarctation. The time interval between aortic stenting and reintervention was 13 ± 5 years. During this period, the aorta grew 4 mm on average at the level of the isthmus below the level of the subclavian and 6 mm at the level of the diaphragm (Table 1). Asymptomatic occlusion of the femoral artery (as a result of the previous procedures) was observed in eight patients (24%). The procedural data are also summarised in Table 1. The majority of the patients ($n=27$, 82%) were treated with a Palmaz stent (Cordis, Cardinal Health, Milpitas, CA, USA) during the first procedure (Figure 3, Figure 5), while 15 patients (45%) were treated with balloon re-expansion during the second intervention (Figure 5). When a suboptimal result after balloon dilation or poor integrity of the first stent was observed (Figure 2), a second stent was implanted. Stent fractures were a frequent finding ($n=15$, 45%) after this long-term follow-up period (Figure 2); however, stent fractures were not associated with restenosis or aneurysm formation and facilitated expansion of the second stent. We could

Table 1. Clinical, angiographic and procedural data ($n=33$).

	First stenting procedure	Reintervention	p-value
Clinical			
Age, years	6.6±3.5	18.7±7.2	
BSA, m ²	0.82±0.4	1.7±0.4	
Male, n (%)	29 (88%)	29 (88%)	
Previous coarctation procedures, n (%)			
Balloon	9 (27%)	–	
Surgery	4 (12%)	–	
Associated malformations, n (%)	9 (27%)	–	
Angiographic			
Ascending aortic size, mm	15±5	24±9	0.001
Aortic arch, mm	9±4	16±5	0.001
Aortic size (post subclavian), mm	8±3	12±4	0.001
Aortic minimal lumen diameter, mm	Pre: 3±2 Post: 11±4	Pre: 9±6 Post: 15±3	
Aortic size (diaphragm), mm	11±3	17±5	0.001
Coarctation stenosis, %	Pre: 72±18 Post: 1±6	Pre: 46±15 Post: 14±13	
Peak gradient, mmHg	Pre: 40±15 Post: 5±6	Pre: 22±10 Post: 6±6	
Procedural			
Stent type	n=33	n=18 (*)	
Palmaz	27 (82%)	0	
CP stent (bare)	6 (15%)	4	
CP stent (covered)	0	12	
BeGraft (covered)	0	2	
Stent diameter, mm	12±4	16±3	
Stented length, mm	34±10	42±13	

(*) 15 patients were treated at the reintervention procedure with balloon dilation of the stented segment without re-stenting. BSA: body surface area

not identify any factors responsible for stent fractures. The time interval between the two procedures was similar between patients with and without these fractures (14 ± 6 years vs 13 ± 3 years; p : ns). The age at stent implantation was also similar between patients with and without fractures (7 ± 4 years vs 5 ± 4 years; p : ns). The kind of stent was also not a factor determining stent fractures: Palmaz 11 (40%) vs CP stent 4 (66%); p : ns.

PRIMARY ENDPOINT

Primary success was obtained in 30 patients (91%). An immediate reduction in the peak gradient across the coarctation was achieved in the majority of patients (Figure 6). The final residual gradient was 6 ± 6 mmHg. In one patient without primary success, the stent remained unexpanded despite repeated dilations. In the remaining two patients, primary success was not obtained because of puncture site bleeding requiring covered stents.

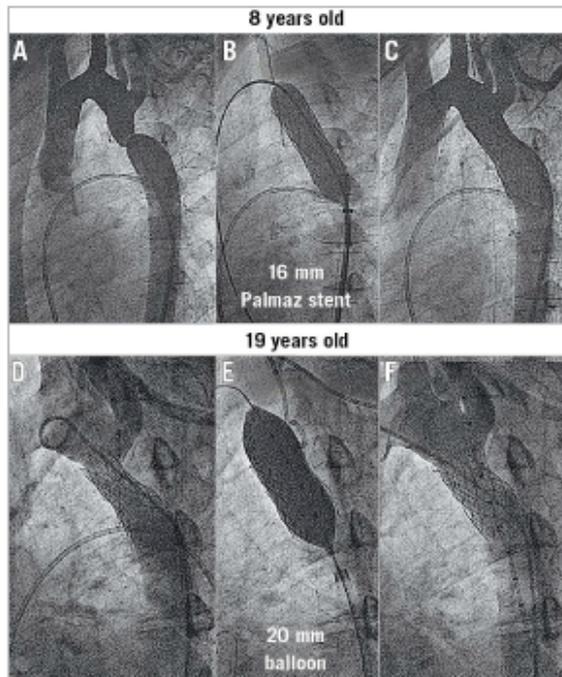


Figure 5. Example of a patient with aortic coarctation treated by stent placement at eight years of age and successful balloon dilation of the stent 11 years later. A) Baseline. B) Treatment. C) Post treatment.

ANGIOGRAPHIC RESULTS AND IN-HOSPITAL OUTCOME

The quantitative angiographic data are summarised in Table 1. The different aortic segments increased significantly in size between the two procedures due to somatic growth (Table 1). Nine patients presented some degree of aortic wall damage at the time of the reintervention procedure: six had limited aortic bulging (Figure 3), and three had small aneurysms (Figure 4). After coarctation reintervention, the minimal lumen diameter at the level of the coarctation changed from 9 ± 6 mm to 15 ± 3 mm ($p<0.001$), and the percentage of stenosis changed from $46\pm 15\%$ to $14\pm 13\%$ ($p<0.001$) (Figure 6).

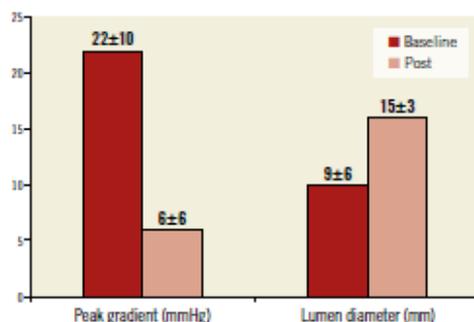


Figure 6. Changes in the peak gradient and lumen diameter after reintervention for coarctation.

During the reintervention procedure, two patients experienced significant groin bleeding requiring a covered stent at the puncture site. In both patients, the sheath used for aortic stenting was 14 Fr. A femoral covered stent was needed because of a failure in the puncture closure device. We preferred this percutaneous approach because it is faster than surgery and can be applied in the laboratory immediately after the diagnosis of the complication. Both patients are currently asymptomatic. The remaining patients were discharged two to three days after the procedure without any major complications.

SECONDARY ENDPOINTS AND CLINICAL FOLLOW-UP

The mean follow-up time after the second procedure was 5 ± 4 years. A third procedure was required in three patients (9%) in whom the stent was implanted at less than two years of age (Figure 1). The first patient with suboptimal results after balloon dilation (two years after stenting) required cardiac surgery several months later because of stent underexpansion. We do not know the reason for this difficulty in the re-expansion of the stent, but the surgeon resected the stented segment and performed an end-to-end anastomosis. The second patient required balloon dilation and re-stenting at six years and 26 years, respectively, after the first procedure. In the third patient, re-stenting and high-pressure balloon dilation were performed at 14 years and 23 years, respectively, after the first procedure. Only one additional patient continued to have controlled hypertension (one drug) despite a successful reintervention procedure. The remaining 29 patients are currently asymptomatic and free of systemic hypertension after 5 ± 4 years of follow-up. Aortic wall injuries were not identified after the second procedure in the group of patients who had follow-up CT scans ($n=13$). According to TTecho and Doppler studies, there were no cases of re-coarctation.

Discussion

In our study, we analysed the safety, efficacy and long-term outcomes of reintervention procedures (re-dilation, re-stenting) in children with aortic coarctation many years after the first stenting procedure. Our findings suggest that patients with aortic coarctation treated with stenting at an early age can undergo successful reintervention with balloon dilation or re-stenting after a mean time interval of 13 years, when somatic growth was complete. Any events at follow-up (9% of reinterventions) occurred only in patients who were younger than two years old when they were first treated.

STENTING THE AORTA IN GROWING CHILDREN

Stenting of aortic coarctation has not been recommended in growing children without a definitive aortic size¹⁰. The stent diameter obtained at an early age may be insufficient after completion of somatic growth, and a second procedure seems to be warranted. Re-expansion of the stent could be difficult; limited information is available about the second procedure that should be performed many years after the first aortic stent is placed. During recent years, some devices have been designed to be easily re-expanded even several years after implantation.

Ewert et al¹¹ described the “growth stent” as a new transcatheter treatment for aortic coarctation from infancy to adulthood. The stent is made of two separate longitudinal halves that are connected with bioabsorbable sutures. Although this was an excellent proposal, there are no available data about long-term follow-up of patients who were treated with this method.

Another interesting device is the Valeo stent (Edwards Lifesciences, Irvine, CA, USA)¹². This stent is available in different diameters (6-10 mm) and lengths (18-56 mm). The required sheath size is 6-7 Fr and can be expanded up to 20 mm. Based on these favourable stent properties, Kang et al¹³ successfully treated 14 children between two and eight years old with aortic coarctation. They only reported two stent re-dilation procedures performed four and five years after Valeo stent implantation. Therefore, information regarding the long-term outcomes of aortic stenting in growing children is only available for the Palmaz or CP stent, as described in this series. These devices have a significant probability of fractures and the possibility for re-expansion many years after the implantation.

STENT RE-DILATATION IN AORTIC COARCTATION

Reintervention for aortic coarctation after previous stent implantation performed many years previously has been considered a complex procedure¹⁴. Zanjani et al⁹ demonstrated the feasibility of stent re-dilatation in patients with aortic coarctation. The authors re-dilated stents in 22 patients, most of them previously treated with a Palmaz or CP stent. The primary success of the procedure was 93%, but the interval between stent implantation and re-dilatation was short (median, 18 months). The reasons for failure were a lack of stent expansion (4%) or aneurysm formation after the procedure (4%). Thanopoulos et al¹⁵ re-dilated stents in 14 patients with growth-related re-coarctation (size mismatch between the stented segment and the proximal and distal aortic segments) five to six

years after stent implantation. No complications were observed because of the re-dilation procedures. In an important observational study by the Congenital Cardiovascular Interventional Study Consortium (CCISC)¹⁶, 350 patients with aortic coarctation treated with different interventions were included. Stent implantation was performed in 217 patients, 44 of whom needed reintervention for different reasons one to three years after the first procedure. The authors did not specify how many reinterventions were performed in children or adults. The success rates, complication rates and follow-up outcomes of these second procedures were not reported. An additional small series with a short interval (one to three years) between stent implantation and reintervention supported the previously discussed good immediate results¹⁷⁻²¹. In our series the only complication observed during the re-dilation procedures was severe puncture-site bleeding in two patients. Both patients required covered stents. Although they remain asymptomatic, a close follow-up is needed in order to detect femoral stent fractures or restenosis.

THERAPEUTIC STRATEGIES IN GROWING CHILDREN

In infants and children younger than one year of age, surgery seems to be recommended for most cases of native aortic coarctation and balloon angioplasty for most cases of recurrent coarctation. Between the ages of one year and the time when the child reaches a weight of 15 kg (two to three years), treatment of coarctation must be individualised (balloon angioplasty or surgery) depending on the coarctation anatomy and the presence or absence of hypoplasia of the isthmus. According to our findings, older children (2 to 12 years old) could be treated with a first stenting procedure while accepting the need for a second procedure after completion of their somatic growth. The use of novel balloons and stent technology (e.g., a Valeo stent) with much smaller sheath sizes may significantly diminish the number of vascular incidents (Figure 7).

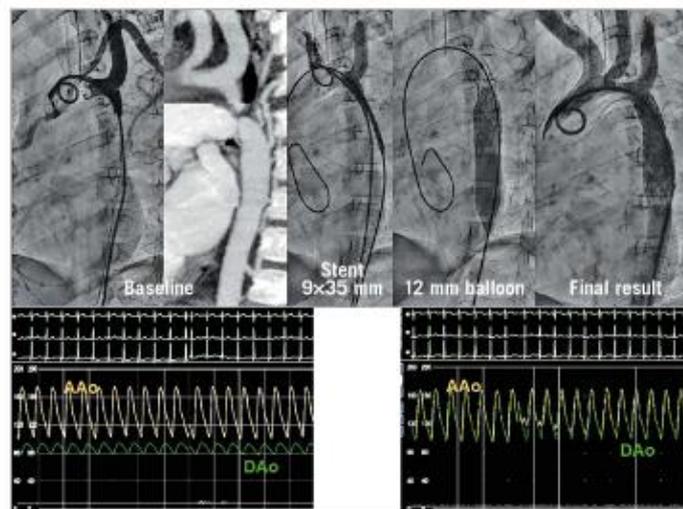


Figure 7. Example of a four-year-old patient with aortic coarctation treated with a Valeo stent. A 7 Fr sheath was used to introduce the stent.

Limitations

The main limitation of the study is the small sample size. Nonetheless, our series of stent re-dilation procedures performed in children with aortic coarctation is, to our knowledge, the most exhaustive study in the literature. Furthermore, this study had the longest reported follow-up period – 13 years between the first and second procedure and five additional years after the reintervention procedure.

Conclusions

Patients with aortic coarctation treated with stent placement at an early age can be successfully re-treated after the completion of their somatic growth.

Impact on daily practice

Children with aortic coarctation treated with stenting at two to 12 years can undergo successful reintervention after the completion of their somatic growth. A strategy for early aortic stenting for aortic coarctation could be considered while accepting the need for a second procedure.

Conflict of interest statement

The authors have no conflicts of interest to declare.

References

- Baumgartner H, Bonhoeffer P, De Groot NM, de Haan F, Deanfield JE, Galie N, Gatzoulis MA, Gohlke-Baerwolf C, Kaemmerer H, Kilner P, Meijboom F, Mulder BJ, Oechslin E, Oliver JM, Serraf A, Szatmari A, Thaulow E, Vouhe PR, Walma E; Task Force on the Management of Grown-up Congenital Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC); Association for European Paediatric Cardiology (AEPIC); ESC Committee for Practice Guidelines (CPG). ESC Guidelines for the management of grown-up congenital heart disease (new version 2010). *Eur Heart J*. 2010;31:2915-57.
- Erbel R, Aboyans V, Boileau C, Bossone E, Bartolomeo RD, Eggebrecht H, Evangelista A, Falk V, Frank H, Gaemperli O, Grabenwöger M, Haverich A, Jung B, Manolis AJ, Meijboom F, Nieman CA, Roffi M, Rousseau H, Sechtem U, Sirnes PA, Allmen RS, Vrints CJ; ESC Committee for Practice Guidelines. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014;35:2873-926.
- Stout KK, Daniels CJ, Aboulhosn JA, Bozkurt B, Broberg CS, Colman JM, Crumb SR, Dearani JA, Fuller S, Gurm V, Khairy P, Landzberg MJ, Saito A, Valente AM, Van Hare GF. 2018 AHA/ACC Guideline for the Management of Adults With Congenital Heart Disease: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2019;73:1494-1563.
- Suárez de Lezo J, Pan M, Romero M, Medina A, Segura J, Pavlovic DJ, Martínez C, Tejero I, Pérez Navero J, Torres F, et al. Balloon-expandable stent repair of severe coarctation of aorta. *Am Heart J*. 1995;129:1002-8.
- Suárez de Lezo J, Pan M, Romero M, Medina A, Segura J, Lafuente M, Pavlovic DJ, Hernandez E, Melian F, Espada J. Immediate and follow-up findings after stent treatment for severe coarctation of aorta. *Am J Cardiol*. 1999;83:400-6.
- Ringel RE, Vincent J, Jenkins KJ, Gauvreau K, Moses H, Lofgren K, Usmani K. Acute outcome of stent therapy for coarctation of the aorta: results of the coarctation of the aorta stent trial. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2013; 82:503-10.
- Meadows J, Minahan M, McElhinney DB, McEnaney K, Ringel R; COAST Investigators. Intermediate Outcomes in the Prospective, Multicenter Coarctation of the Aorta Stent Trial (COAST). *Circulation*. 2015;131:1656-64.
- Taggart NW, Minahan M, Cabalka AK, Cetta F, Usmani K, Ringel RE; COAST II Investigators. Immediate Outcomes of Covered Stent Placement for Treatment or Prevention of Aortic Wall Injury Associated With Coarctation of the Aorta (COAST II). *JACC Cardiovasc Interv*. 2016;9:484-93.
- Zanjani KS, Sabi T, Moysich A, Ovroutski S, Peters B, Miera O, Kühne T, Nagdyman N, Berger F, Ewert P. Feasibility and efficacy of stent redilatation in aortic coarctation. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2008;72:552-6.
- Mullins CE. Inappropriate stents: primary cause of failure of stent redilatation in coarctation of the aorta. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2008;72:557-8.
- Ewert P, Peters B, Nagdyman N, Miera O, Kühne T, Berger F. Early and mid-term results with the Growth Stent—a possible concept for transcatheter treatment of aortic coarctation from infancy to adulthood by stent implantation? *Catheter Cardiovasc Interv*. 2008;71:120-6.
- Stern HJ, Baird CW. A pre-mounted stent that can be implanted in infants and re-dilated to 20 mm: introducing the Edwards Valeo Lifestent. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2009;74:905-12.
- Kang SL, Tometzki A, Taliotis D, Martin R. Stent Therapy for Aortic Coarctation in Children <30 kg: Use of the Low Profile Valeo Stent. *Pediatr Cardiol*. 2017;38:1441-9.
- Suárez de Lezo J, Romero M, Pan M, Suárez de Lezo J, Segura J, Ojeda S, Pavlovic D, Mazuelos F, López Aguilera J, Espejo Perez S. Stent Repair for Complex Coarctation of Aorta. *JACC Cardiovasc Interv*. 2015;8:1368-79.
- Thanopoulos B, Giannakoulas G, Giannopoulos A, Galdo F, Tsaoussis G. Initial and six-year results of stent implantation for aortic coarctation in children. *Am J Cardiol*. 2012;109:1499-503.
- Forbes TJ, Kim DW, Du W, Turner DR, Holzer R, Amin Z, Hijazi Z, Ghasemi A, Rome JJ, Nykanen D, Zahn E, Cowley C, Hoyer M, Waight D, Gruenstein D, Javois A, Foerster S, Kreutzer J, Sullivan N, Khan A, Owada C, Hagler D, Lim S, Canter J, Zellers T; CCISC Investigators. Comparison of surgical, stent, and balloon angioplasty treatment of native coarctation of the aorta: an observational study by the CCISC (Congenital Cardiovascular Interventional Study Consortium). *J Am Coll Cardiol*. 2011;58:2664-74.
- Duke C, Rosenthal E, Qureshi SA. The efficacy and safety of stent redilatation in congenital heart disease. *Heart*. 2003;89:905-12.
- Al-Ata J, Arfi AM, Hussain A, Kouatly A, Galal MO. Stent angioplasty: an effective alternative in selected infants with critical native aortic coarctation. *Pediatr Cardiol*. 2007;28:183-92.
- Butera G, Gaio G, Carminati M. Redilation of e-PDTE covered CP stents. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2008;72:273-7.
- Bentham J, Shethalli N, Orchard E, Westaby S, Wilson N. Endovascular stent placement is an acceptable alternative to reoperation in selected infants with residual or recurrent aortic arch obstruction. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2010;76:852-9.
- Genera K, Ewert P, Tanase D, Georgiev S, Genz T, Bambul Heck P, Moszura T, Malcic I, Cleuziou J, Eicken A. Balloon-expandable stents for re-coarctation of the aorta in small children. Two centre experience. *Int J Cardiol*. 2018;263:34-9.

17. COMUNICACIONES EN CONGRESOS

Título: Late Complications in Patients With Stent-Treated Coarctation of the Aorta: Long-Term Follow-Up

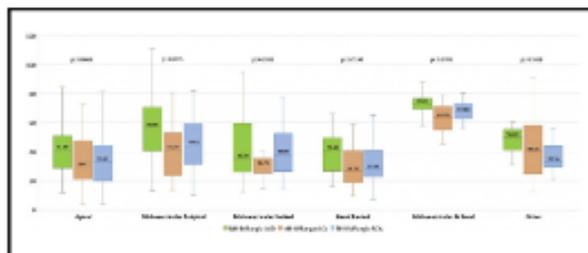
Autores: Cristina Pericet Rodríguez,¹Miguel Ángel Romero Moreno,¹Soledad Ojeda,¹Javier Suárez de Lezo,¹Francisco Hidalgo,¹Francisco Mazuelos,¹Guisela Flores Vergara,²Rafael González,¹Simona Espejo,¹Manuel Pan

Congreso: TCT Annual Meeting. 9 Noviembre de 2021. Orlando

Revista: Journal of the American College of Cardiology. Vol. 78, No. 19, Suppl B, 2021

METHODS Consecutive patients with TTS who underwent cardiac angiography were recruited from January 2014 to January 2021 (n = 181). NH-IMRangio was compared between the different patterns of wall motion abnormalities observed by echocardiography and with N-terminal pro-B-type natriuretic peptide (NT-proBNP) and high-sensitivity cardiac troponin T (hs-cTnT) obtained at admission.

RESULTS All patients presented elevated NH-IMRangio values (>25) in at least one of their epicardial coronary arteries. The left anterior descending coronary artery (LAD) showed higher NH-IMRangio values than the left circumflex (L.Cx) and right (RCA) coronary arteries (44.6 vs 31.3 and 36.1, respectively; $P < 0.001$). NH-IMRangio values differed between ventricular contractility patterns in the LAD and RCA (0.0152 and 0.0189, respectively), with the highest values in the mid-ventricular + apical and mid-ventricular + basal patterns. The levels of NT-proBNP but not those of hs-cTnT were correlated with both the degree and the extent of CMD in patients with TTS. Lower LVEF was also associated with higher NH-IMRangio values.



	One Artery Affected (n = 11)	Two Arteries Affected (n = 38)	Three Arteries Affected (n = 82)	P Value
Age, years	72.9 (67.5-81.1)	70.5 (64.7-77.3)	75.6 (64.3-83.0)	0.1467
Apical limited pattern	72.7	55.1	42.7	0.054
Mid-ventricular + apical pattern	15.8	18.2	35.4	0.064
Mid-ventricular limited pattern	0	11.2	12.2	0.455
Basal limited pattern	9.1	7.9	4.9	0.741
Mid-ventricular + basal pattern	0	0	2.4	0.545
LVEF, %	48 (41-58)	44 (35-58)	44 (38-52)	0.7174
NT-proBNP, pg/ml	200 (127-3,907)	2,799 (1,454-5,765)	3,650 (1,924-7,600)	0.0095
hs-cTnT, ng/L	205 (45-487)	276 (91-628)	260 (64-643)	0.8283

CONCLUSION The CMD present in TTS patients is related to patterns of wall motion abnormalities as well as the degree of ventricular dysfunction. NT-proBNP but not hs-cTnT levels are associated with the degree and extent of CMD in these patients.

CATEGORIES IMAGING AND PHYSIOLOGY: Angiography and QCA

TCT-241

Pericoronary Adipose Tissue Is a Predictor of In-Stent Restenosis and Stent Failure in Patients Undergoing Coronary Artery Stent Insertion

Jason Nogie,¹ Jiwon Kim,² Jamie Layland,³ Jasmine Chan,⁴ Kevin Cheng,⁵ Dennis Wong,⁶ Adam Brown,⁷ Monash Cardiovascular Research Centre, Melbourne, Victoria, Australia; ²MonashHeart, Monash Health, Melbourne, Victoria, Australia; ³Peninsula Health, Frankston, Victoria, Melbourne, Victoria, Australia; ⁴Monash Health, Melbourne, Victoria, Australia; ⁵Royal Hobart Hospital, Burwood, Victoria, Australia; ⁶MonashHeart, Melbourne, Victoria, Australia; ⁷MonashHeart and Monash University, Melbourne, Victoria, Australia



BACKGROUND Coronary inflammation is a key driver of atherosclerosis and delayed arterial healing and may be a trigger for stent failure. Pericoronary adipose tissue (PCAT) attenuation, detected on computed tomographic coronary angiography (CTCA), is an emerging noninvasive marker of coronary inflammation. In this propensity score-matched study, we assessed the utility of both lesion-specific and global PCAT attenuation as a predictor of stent failure in patients presenting for elective percutaneous coronary intervention (PCI).

METHODS Patients undergoing CTCA assessment for suspected coronary artery disease with subsequent stent insertion within 3 months and repeated coronary angiography for any clinical reason within 5 years after stent insertion were included in the study. Stent restenosis was defined as binary restenosis of >50% on quantitative coronary angiography analysis. Both lesion-specific and global PCAT attenuation were assessed in the baseline CTCA with the use of semi-automated proprietary software. Patients with subsequent stent failure were propensity score matched from the entire cohort by age, sex, cardiovascular risk factors, and procedural characteristics.

RESULTS A total of 151 patients met the inclusion criteria. Of these, 26 (17.2%) had study-defined restenosis. Average time to repeated angiography was similar between those with and without restenosis (892.3 ± 573.8 vs 739.1 ± 540.0 days; $P = 0.32$). Regarding the primary end point, patients with restenosis had higher lesion-specific PCAT attenuation compared with those without (79.0 ± 12.6 vs 85.9 ± 10.3 HU; $P = 0.035$), with no difference in global PCAT (79.5 ± 10.1 vs 81.0 ± 12.3 HU; $P = 0.50$). There was no difference regarding stent length (23.8 ± 14.0 vs 25.5 ± 11.5 mm; $P = 0.65$), number of stents (1.46 ± 0.9 vs 1.27 ± 0.5; $P = 0.36$), lesion location, or utilization of antiplatelet therapy between groups.

CONCLUSION Patients with stent restenosis exhibited significantly increased lesion-specific PCAT attenuation at baseline. These data suggest that baseline plaque inflammation may be an important driver for drug-eluting stent restenosis.

CATEGORIES CORONARY: Stents; Drug-Eluting

TCT-242

Late Complications in Patients With Stent-Treated Coarctation of the Aorta: Long-Term Follow-Up

Cristina Pericet Rodríguez,¹ Miguel Ángel Romero Moreno,¹ Soledad Ojeda,¹ Javier Suárez de Lezo,¹ Francisco Hidalgo,¹ Francisco Mazuelos,¹ Guisela Flores Vergara,² Rafael González,¹ Simona Espejo,¹ Manuel Pan¹
¹Reina Sofía University Hospital, Córdoba, Spain; ²University Hospital Leon, Leon, Spain



BACKGROUND Coarctation of the aorta (CoAo) is one of the most frequent congenital heart diseases. Complications after stenting are rare and may occur immediately and in early or late follow-up. The aim of this study was to describe the prevalence of stent fracture in the long-term follow-up of patients with stent-treated CoAo and its correlation with the incidence of aortic injury.

METHODS This was an observational, analytical, and prospective study including patients with stent-treated CoAo in the period from 1993 to 2018.

RESULTS A total of 108 patients (76% male) were included. Mean age at the time of implantation was 15 ± 14 years. The CoAo was native in 73 patients (68%), postangioplasty in 17 patients (16%), and post-surgery (with or without associated angioplasty) in 18 patients (17%). After a mean follow-up of 137 ± 74 months, 46 stent fractures (43%) and some type of damage to the aortic wall were observed in up to 17 patients (18%), with no relationship between them. There were 6 fractures (14%) associated with damage to the aortic wall and 38 fractures of stent (86%) not associated, without significant differences. Male sex (HR: 4.305; 95% CI: 1.479-12.528 $P = 0.007$), age <18 years (HR: 5.319; 95% CI: 1.841-15.368 $P = 0.002$), and residual gradient (HR: 1.139; 95% CI: 1.033-1.255 $P = 0.009$) were found to be independent predictors of risk of stent fracture. Mean survival was 190 ± 89 months.

CONCLUSION Percutaneous treatment of CoAo is a safe and effective technique, but there was a higher incidence of stent fractures than described before, without association with a higher incidence of damage to the aortic wall.

CATEGORIES STRUCTURAL: Congenital and Other Structural Heart Disease