

C. Brockes  
P.R. Vogt  
T.B. Rothe  
U. Arbenz  
J. Turina

## Doppelter Aortenbogen

### Klinik, Diagnose und Therapie bei Kindern und Erwachsenen

#### Double aortic arch – clinic, diagnosis and therapy in children and adults

■ **Summary** Double aortic arch is a rare vascular anomaly which usually causes tracheal and esophageal compression in the first few months of life. During the last 30 years, 7 children, 2 to 24 months old, and one 29-year-old woman with double aortic arches have been treated at our institution. Symptoms, diagnosis and

treatment of these patients were evaluated. Dyspnoe, stridor, recurrent pulmonary infections, feeding problems and failure to thrive were the leading symptoms. Despite typical symptoms from early childhood, the diagnosis was missed in our adult patient. Typical compression of the esophagus and the trachea was visualized by esophagography by 7 and bronchoscopy/-graphy by 6 patients. Angiography was performed in all children, whereas magnetic resonance angiography and computed tomography were done in the adult patient. Resection of the smaller aortic arch, left in 3 and right in 5, through a right or a left posterolateral thoracotomy was uncomplicated and fully resolved the symptoms in all patients.

Typical symptoms in early childhood should lead to prompt diagnosis and surgical treatment of double aortic arch. Surgical resection of the smaller aortic arch should also be performed in oligosymptomatic patients to prevent complications later. Preoperative angiography can be replaced by the less invasive magnetic resonance imaging and computed tomography.

■ **Key words** Double aortic arch – surgical resection – vascular ring

■ **Zusammenfassung** Der doppelte Aortenbogen ist eine seltene Gefäßmissbildung, der eine zirkuläre Einengung der Trachea und des Ösophagus normalerweise schon in den ersten Lebensmonaten verursacht. In den letzten 30 Jahren wurden lediglich 8 Patienten mit diesem Krankheitsbild in unserem Universitätsspital behandelt: 7 Jungen im Alter von 2 bis 24 Monaten und eine 29-jährige Frau. Symptome, Diagnostik und Therapie haben wir analysiert.

Die führenden Symptome waren Dyspnoe, Stridor, rezidivierende Atemwegserkrankungen, Ess- und Trinkstörungen. Bei der 29-jährigen Patientin wurde, trotz zunehmender typischer Symptomatik seit frühester Kindheit, die richtige Diagnose erst 1995 gestellt. Typische Kompressionen zeigten die Röntgenuntersuchungen des Ösophagus bei 7 und die Bronchoskopie und -graphie bei 6 Patienten. Bei allen Kindern wurde eine Angiographie durchgeführt. Bei der erwachsenen Patientin konnte aufgrund der Computer- und Magnet-Resonanz-Tomographie die definitive Diagnose gestellt werden. Die operativen Behandlungen bestanden in einer links- oder rechtsseitigen posterolateralen Thorakotomie mit Durchtrennung des kleineren Aortenbogens (3× links und 5× rechts). Die Operationen waren

Eingegangen: 6. Juli 2000  
Akzeptiert: 10. Oktober 2000

Dr. C. Brockes (✉) · J. Turina  
Abteilung für Kardiologie  
Universitätsspital Zürich  
Rämistr. 100  
8091 Zürich, Schweiz

P.R. Vogt  
Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie  
Universitätsspital Zürich  
Rämistr. 100  
8091 Zürich, Schweiz

T.B. Rothe  
Medizinische Abteilung  
Luzerner Höhenklinik  
3962 Montana, Schweiz

U. Arbenz  
Kinderspital Zürich  
Steinwiesstr. 75  
8032 Zürich, Schweiz

komplikationslos und resultierten in einem prompten und dauerhaften Verschwinden der Symptome bei allen Patienten.

Typische Symptome im frühesten Kindesalter sollten schnell zur Diagnose und operativen Behand-

lung des doppelten Aortenbogens führen. Die Durchtrennung des kleineren Bogens sollte ebenfalls bei oligosymptomatischen Patienten zur Verhütung von Spätkomplikationen vollzogen werden. Computer- und Magnet-Reso-

nanz-Tomographie können heute die präoperative Angiographie ersetzen.

■ **Schlüsselwörter** Doppelter Aortenbogen – operative Resektion – vaskulärer Ring

## Einleitung

Die Bildung des Aortenbogens und der großen arteriellen Gefäße aus den paarig angelegten Kiemenbogenarterien während der Embryonalzeit kann zu Gefäßmissbildungen mit Einengung der Trachea und des Ösophagus führen (28). Am häufigsten kommt es im Rahmen dieser vaskulären Malformationen zum doppelten Aortenbogen: die zwei aortalen Bögen ummauern die Trachea und den Ösophagus und bilden anschließend eine gemeinsame Aorta descendens (3, Tab. 1). Der doppelte Aortenbogen ist eine seltene Anomalie, die normalerweise in den ersten Lebensmonaten zu typischen Symptomen führt (2, 9, 13, 20). Bei Erwachsenen ist dieser kompletter Gefäß-Schnürring äußerst selten; weniger als 25 Fälle sind in der Literatur in den letzten 30 Jahren beschrieben (8–12, 17, 25, 29).

Eine 29-jährige Patientin, die sich in unserer kardiologischen Sprechstunde vorstellte, litt seit frühester Kindheit an den typischen Beschwerden. Das Krankheitsbild wurde viele Jahre falsch interpretiert

**Tab. 1** Studien der letzten 30 Jahre: Patienten mit Gefäß-Schnürringen (einschließlich doppelten Aortenbögen) mit Diagnosealter und Operationsmortalität

| Autor       | Zeitraum | Pat-VR | Pat-DAB | Alter        | Op.-Mort. |
|-------------|----------|--------|---------|--------------|-----------|
| Marmon      | 1968–83  | 54     | 22      | –            | 2%        |
| Bertolini   | 1973–84  | 49     | 20      | 20T–12M      | 0%        |
| Baker       | 1947–87  | 113    | 61      | 72% <1 J     | 7%        |
| Hartyanszky | 1974–87  | 111    | 44      | 5 T–13 J     | 4%        |
| Vallette    | 1966–88  | 17     | 11      | 0 J–43 J     | 6%        |
| Chun        | 1968–90  | 39     | 11      | 1,5 M–23 J   | 5%        |
| Anand       | 1977–90  | 44     | 19      | –            | 0%        |
| Han         | 1972–91  | –      | 17      | 7 T–17 J     | 0%        |
| Horvath     | 1979–92  | 69     | 26      | 0,1 J–11,9 J | 0%        |
| Roberts     | 1976–92  | 30     | 10      | 3 T–12 J     | 0%        |
| Ledwith     | 1980–92  | 21     | 11      | –            | 0%        |
| Van Son     | 1982–93  | 39     | 19      | 3,5 J        | 5%        |
| Cordovilla  | 1968–94  | 43     | 18      | 21 T–10 J    | 2%        |
| Erwin       | 1983–96  | 45     | 10      | 12 T–11 J    | 2%        |
| Lee         | 1989–96  | 6      | 6       | 16 T–6,5 J   | 0%        |
| Grathwohl   | 1936–97  | 26     | 12      | 18 J–57 J    | 0%        |

Pat-VR=Anzahl der Patienten mit vaskulären Ringen; Pat-DAB=Anzahl der Patienten mit doppelten Aortenbögen; Op.-Mort.=Operationsmortalität; T=Tag; M=Monat; J=Jahr; –=keine Angaben

und therapiert. Dies gab den Anlass, unsere 30-jährige Erfahrung in Bezug auf Diagnose und Therapie des doppelten Aortenbogens zu analysieren.

## Methode

Zwischen 1970 und 1999 wurden 8 Patienten (siehe Tab. 2), 6 Jungen und ein Mädchen im Alter zwischen 2 und 24 Monaten und eine 29-jährige Frau, mit doppelten Aortenbögen am Universitätsspital in Zürich operiert. Nur Patienten mit zwei kompletten aortalen Bögen wurden in die Studie aufgenommen. Wir haben die präoperativen Symptome, die Diagnostik und die operative Behandlung evaluiert. Aufgrund der Visiten in der kardiologischen Sprechstunde und der telefonischen Kontakte mit den Patienten oder mit deren Hausärzten wurde der postoperative Verlauf beurteilt.

## Ergebnisse

Die Hauptsymptome der Patienten waren Dyspnoe, Stridor, rezidivierende Atemwegserkrankungen und Ess-Störungen; Probleme beim Schlucken traten oft schon in den ersten Lebensmonaten auf (Tab. 3). Eine Röntgenuntersuchung des Ösophagus mittels Kontrastbrei demonstrierte die typischen Kompressionen bei 7 Patienten (Tab. 4). Die bei jeweils 6 Patienten durchgeführte Tracheographie und Broncho-

**Tab. 2** Patienten mit doppelten Aortenbögen im Universitätsspital (1970–2000)

| Patienten-Nr. | Operationsjahr | Operationalter | zusätz. Anomalien |
|---------------|----------------|----------------|-------------------|
| 1.            | 1971           | 2,2 Monate     |                   |
| 2.            | 1976           | 2,5 Monate     |                   |
| 3.            | 1980           | 11,2 Monate    |                   |
| 4.            | 1981           | 1,9 Monate     | VSD, PS           |
| 5.            | 1990           | 24 Monate      | VSD               |
| 6.            | 1992           | 12 Monate      |                   |
| 7.            | 1993           | 9,7 Monate     | VSD               |
| 8.            | 1995           | 29 Jahre       |                   |

VSD = Ventrikelseptumdefekt; PS = subvalvuläre Pulmonalstenose

**Tab. 3** Symptome der Patienten mit doppelten Aortenbögen

| Patienten-Nr. | Dyspnoe | Stridor | Pneumonie | Dysphagie |
|---------------|---------|---------|-----------|-----------|
| 1.            | –       | +       | –         | –         |
| 2.            | –       | +       | –         | +         |
| 3.            | +       | +       | –         | +         |
| 4.            | –       | +       | +         | +         |
| 5.            | +       | –       | +         | –         |
| 6.            | +       | +       | –         | +         |
| 7.            | +       | +       | +         | +         |
| 8.            | +       | –       | +         | +         |

+ = vorhanden; – = nicht vorhanden

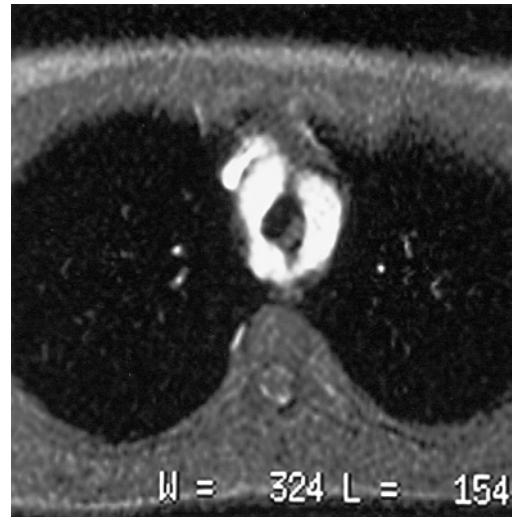
**Tab. 4** Diagnostische Verfahren bei Patienten mit doppelten Aortenbögen

| Patienten-Nr. | BE | BS | BG | Echo | Angio | CT/MR |
|---------------|----|----|----|------|-------|-------|
| 1.            | +  | –  | +  | –    | +     | –     |
| 2.            | +  | –  | +  | –    | +     | –     |
| 3.            | –  | +  | –  | –    | +     | –     |
| 4.            | +  | +  | +  | –    | +     | –     |
| 5.            | +  | +  | +  | –    | +     | –     |
| 6.            | +  | +  | +  | –    | +     | –     |
| 7.            | +  | +  | +  | +    | +     | –     |
| 8.            | +  | +  | –  | +    | –     | +     |

BE = Barium-Ösophagographie; BS = Bronchoskopie; BG = Bronchographie; Echo = Echokardiographie; Angio = Angiographie; CT = Computertomographie; MRT = Magnet-Resonanz-Tomographie; + = durchgeführte Untersuchung mit positivem Befund, – = nicht durchgeführte Untersuchung

skopie zeigte eine Einengung der Trachea. Bei 3 von diesen Patienten hatte die Kompression einen pulsartigen Charakter. Bei den zuletzt diagnostizierten 2 Patienten mit doppeltem Aortenbogen identifizierte die zusätzliche transthorakale Echokardiographie korrekt die vorliegende Malformation. Die aortale Angiographie, für lange Zeit das diagnostische Verfahren der 1. Wahl, wurde bei allen Kindern durchgeführt und konnte die exakten anatomischen Verhältnisse zwischen den Aortenbögen und den großen abzweigenden Gefäßen nachweisen. Die Computer- und die Magnet-Resonanz-Tomographie verdeutlichte bei der erwachsenen Patientin den genauen Verlauf des doppelten Aortenbogens mit den aortalen Abgängen, sodass auf eine präoperative Angiographie verzichtet werden konnte (Abb. 1).

**Chirurgische Intervention:** Die posterolaterale Thorakotomie wurde abhängig von der Größe der Bögen rechts- oder linksilateral durchgeführt. Bei 5 Patienten wurde der rechte und bei 3 der linke Aortenbogen reseziert. Zunächst wurden der doppelte Gefäßbogen, der Ösophagus, die Trachea, der Nervus vagus und der linksseitige Nervus recurrens freigelegt. Nach Festlegen der genauen Teilungslinie wurden zwischen zwei Klemmen die Bögen geteilt und das proximale Ende mit einer doppelten Polypropylen-



**Abb. 1** Magnet-Resonanz-Tomographie: Doppelter Aortenbogen

naht versorgt. Sofort war die Kompression auf den Ösophagus und die Trachea nicht mehr nachzuweisen. Zusätzlich wurde auch das Ligamentum arteriosum und das fibröse Band zwischen Trachea und Ösophagus bei allen Patienten geteilt. Die mediastinale Pleura und die Thorakotomie wurden in üblicher Weise verschlossen. Der postoperative Verlauf war bei 7 Patienten vollkommen unauffällig. Bei einem Kind war eine zweiwöchige künstliche Beatmung wegen nur langsam sich verbessernden trachealen Belüftungsverhältnissen erforderlich.

Unsere einzige erwachsene Patientin, eine 29-jährige türkische Frau, in der Schweiz seit 12 Jahren, litt unter Dysphagie und Atemproblemen verbunden mit mehrfachen Pneumonien seit frühester Kindheit. Die Patientin wurde mit Verdacht auf Bronchialasthma für viele Jahre medikamentös erfolglos behandelt. Im Laufe der Zeit verschlechterte sich durch die zunehmende Dyspnoe und Dysphagie der Allgemeinzustand. Eine Fachklinik für Lungenerkrankungen diagnostizierte einen Gefäß-Schnürring und überwies die Patientin zur operativen Behandlung in das Universitätsspital. Die klinische Untersuchung war bis auf ein leises, kurzes systolisches Geräusch an der Herzspitze unauffällig. Der Blutdruck war 130/85 mmHg am rechten und 120/80 mmHg am linken Arm. Das Thorax-Röntgenbild zeigte einen rechts gelegenen Aortenbogen und normale Herzverhältnisse. Die Elektrokardiographie in Ruhe und unter Belastung war unauffällig. Die Ausbelastung war adäquat; am Ende der Belastung verspürte die Patientin einen präkordialen Druck. Auf eine Koronarangiographie haben wir bei der Patientin wegen des relativ jungen Alters und dem Fehlen von Risikofaktoren und EKG-Veränderungen verzichtet. Fluktua-

tionen des forcierten expiratorischen Flussvolumens deuteten auf eine tracheale Kompression. Die Bronchoskopie demonstrierte eine pulsatile externe tracheale Kompression. Die Röntgenuntersuchung des Ösophagus mittels Barium-Kontrastbrei verdeutlichte auf Höhe des Aortenbogens eine vordere und hintere Einengung des Ösophagus. Die transthorakale Echokardiographie demonstrierte zwei Aortenbögen gleicher Größe; die hochsensitive transösophageale Echokardiographie wurde wegen der ösophagealen Einengung nicht durchgeführt. Die Computer- und die Magnet-Resonanz-Tomographie mit intravenösem Kontrastmittel bestätigten einen linken und rechtsseitigen Aortenbogen gleichen Ausmaßes mit Abgang der linken Arteria carotis communis und der linken Arteria subclavia aus dem linken Bogen und Abzweigung der rechten arteriellen Hauptgefäße aus dem rechten Aortenbogen.

Intraoperativ wurde der rechte Aortenbogen getrennt und übernäht. Sofort war die tracheale und ösophageale Kompression nicht mehr nachweisbar. Der postoperative Verlauf war unauffällig, die Patientin war sofort komplett beschwerdefrei. In den Kontrolluntersuchungen 3 und 16 Monate nach der Operation gab die Patientin keinerlei Beschwerden an. Ihre ergometrische Ausbelastung war normal, ohne Angaben von Angina pectoris-Beschwerden.

## Diskussion

Der doppelte Aortenbogen entsteht durch die fehlende Involution und damit Persistenz von zwei aortalen Bögen, die das bilaterale symmetrische Bogensystem in der Embryonalzeit darstellen. Der rechte und der linke Bogen umgreifen ringförmig die Trachea und den Ösophagus und vereinigen sich dorsal zur Aorta descendens (29). Bei den meisten Patienten, entspringen die A. carotis communis und die A. subclavia aus dem jeweiligen rechten bzw. linken Bogen (28). Der rechte Bogen ist häufig weiter als der linke.

Der doppelte Aortenbogen ist eine selten vorkommende Gefäßmissbildung und wurde nur bei einer geringen Anzahl von Patienten diagnostiziert (Tab. 1). Oft ist der linke Bogen atretisch und es ist nur ein grobes fibrotisches Band zu erkennen (4, 15, 24, 27). Ca. 1/5 der Patienten haben assoziierte kongenitale Herzanomalien wie Ventrikelseptumdefekt oder Fallotsche Tetralogie (2, 16). Die meisten Patienten sind Säuglinge und Kleinkinder unter 2 Jahren; einige bleiben asymptomatisch und es kommt während der Pubertät oder im Erwachsenenalter zu einem Zufallsbefund (2, 6, 15).

Gedeih- und Schluckstörungen, wobei flüssige besser als feste Nahrung toleriert wird, zusammen mit inspiratorischem Stridor und Keuchen, verstärkt beim Essen und Schreien, als auch rezidivierende respiratorische Infekte sind die Hauptsymptome kurz nach der Geburt; die tracheale Kompression kann zu suprasternalen und intercostalen Einziehungen der Thoraxwand und Zyanose führen (2, 14, 15, 19, 28). Allgemein sind beim doppelten Aortenbogen im Vergleich zu anderen Aortenanomalien die Symptome ernsthafter und treten früher auf (2).

Barium-Ösophagographie, Broncho-Tracheoskopie und -graphie sind die Standardverfahren um eine, häufig pulsatile, tracheale und ösophageale Kompression nachzuweisen. Obwohl mit dieser Diagnostik die Gefäßbringe in 90% der Fälle korrekt gezeigt werden können, geben sie keinen Aufschluss über die exakten anatomischen Verhältnisse des doppelten Aortenbogens und der abgehenden Gefäße. Eine Angiographie war zur Bestätigung der Gefäßanomalie und Bestimmung der Größe des Aortenbogens und genauen Lokalisation der großen abzweigenden Gefäße notwendig. Echokardiographie, Computertomographie und neuerdings die Magnet-Resonanz-Methode sind nicht invasive Verfahren, mit denen leicht der doppelte Aortenbogen und weitere Herzanomalien diagnostiziert werden können. Ob alleine die Echokardiographie eine operative Behandlung indiziert, wird kontrovers diskutiert (14, 22, 27). Computer- und Magnet-Resonanz-Tomographie demonstrieren die exakten anatomischen Verhältnisse, sodass heutzutage in der Regel auf eine Angiographie verzichtet werden kann. Die Magnet-Resonanz-Angiographie, die diagnostische Untersuchung ohne Strahlenbelastung, erlaubt weiterhin eine detaillierte drei-dimensionale Rekonstruktion der Gefäßanomalien und anderen Strukturen wie Trachea und Ösophagus. Obwohl dieses Verfahren relativ teuer und eine Anästhesie der Kinder erforderlich ist, überwiegen die Vorteile.

Im Erwachsenenalter wird der doppelte Aortenbogen sehr selten diagnostiziert, sodass trotz typischer Symptome die Diagnose leicht zu übersehen ist. In der Literatur sind weniger als 25 Patienten beschrieben, einige waren bis ins hohe Alter komplett asymptomatisch (8–11, 14, 17, 18, 26, 29, 30). Wenn der vaskuläre Schnürring nur eine geringe Kompression der Trachea und Ösophagus verursacht, werden die typischen Symptome des doppelten Aortenbogens möglicherweise durch nicht spezifische respiratorische Beschwerden maskiert und die richtige Diagnose wird über Jahre hinweg verfehlt (10, 11, 18, 19).

Die Kurz- und Langzeitergebnisse der operativen Behandlung verbunden mit einem prompten und dauerhaften Verschwinden der Symptome sind sehr

gut: die operative Morbidität und Mortalität, die primär durch zusätzliche kongenitale Herzanomalien hervorgerufen wird, ist gering (Tab. 1). Daher sollte bei symptomatischen Patienten die komplikationsarme Operation so schnell wie möglich durchgeführt werden. Die meisten Chirurgen bevorzugen eine postero-linkslaterale Thorakotomie mit Durchtrennung des vorderen linken, häufig kleineren, Aortenbogens (2, 15, 23). Die Langzeitprognose nach erfolgreicher Resektion ist durch eine nur sehr geringen Morbidität gekennzeichnet, die hauptsächlich auf respiratorische Probleme durch Komplikationen im Bereich der Trachea hervorgerufen werden (1, 7, 21). Eine langanhaltende Kompression der Trachea verursacht durch einen vaskulären Schnürring kann zu einer schweren Tracheomalazie führen, die nach einer erfolgreichen Resektion doch eine längere mechanische Ventilation erfordert (4, 20, 21). Auch bei

Patienten ohne oder nur mit geringen Symptomen ist wegen der Spätkomplikationen des doppelten Aortenbogens wie Aneurysmen, traumatische Rupturen und Hämoptyse die operative Therapie unabhängig vom Alter sinnvoll.

Zusammenfassend ist der doppelte Aortenbogen eine seltene Gefäßmissbildung, die in der Regel schon im frühen Kindesalter zu schwerwiegenden Symptomen führt: Dysphagie, Dyspnoe und Stridor. Die Manifestation im Erwachsenenalter ist eine echte Rarität, sodass trotz typischer Symptomatik die Diagnose leicht übersehen wird. CT und MRI erlauben eine exakte Abbildung der anatomischen Strukturen, auf eine Angiographie kann in der Regel verzichtet werden. Die operative Durchtrennung des kleineren Bogens ist ein komplikationsarmes Vorgehen, das schnell und dauerhaft zum Verschwinden der Symptome führt.

## Literatur

1. Anand R, Dooley KJ, Williams WH, Vincent RN (1994) Follow-up of surgical correction of vasculare anomalies causing tracheobronchial compression. *Pediatr Cardiol* 15:58–61
2. Backer CL, Ilbawa MN, Idriss FS, De Leon SY (1989) Vascular anomalies causing tracheoesophageal compression. *J Thorac Cardiovasc Surg* 97:725–731
3. Backer CL, Mavroudis C (1999) Congenital heart surgery nomenclatura and database project: vascular rings, tracheal stenosis, pectus excavatum. *Ann Thorac Surg* 69:308–318
4. Bertolini A, Pelizza A, Panizzon G, Moretti R, Bava CL, Calza G, Tacchino A (1987) Vascular rings and slings. Diagnosis and surgical treatment of 49 patients. *J Cardiovasc Surg* 28:301–312
5. Burke RP, Rosenfeld HM, Wernovsky G, Jonas RA (1995) Video-assisted thoracoscopic vascular ring division in infants and children. *J Am Coll Cardiol* 25:943–947
6. Chun K, Colombani PM, Dudgeon DL, Haller JA (1992) Diagnosis and management of congenital vascular rings: a 22 year experience. *Ann Thorac Surg* 53:597–602
7. Cordovilla G, Cabo J, Sanz E, Moreno F, Alvarez F (1994) Vascular rings of aortic origin: the surgical experience in 43 cases. *Rev Esp Cardiol* 47:468–475
8. De Mozzi P, Bortolotti U, Casarotti D (1979) Traumatic rupture of a retroesophageal aortic arch with congenital vascular ring. *Thorax* 34:276–278
9. Erwin EA, Gerber ME, Cotton RT (1997) Vascular compression of the airway: indications for and results of surgical management. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 40:155–162
10. Galvin IF, Shepherd DR, Gibbons JR (1990) Tracheal stenosis caused by congenital vascular ring anomaly misinterpreted as asthma for 45 years. *Thorac Cardiovasc Surg* 38:42–44
11. Georges JL, de Brux JL, Langlois J, Subayi JB, Pansard Y, Hvass U, Bohm G (1989) Abnormalities of the aortic arch in adults. A rare cause of tracheo-oesophageal compression. Apropos of 2 cases. *Ann Chir* 43:99–104
12. Grathwohl KW, Afifi AY, Dillard TA, Olson JP, Heric BR (1999) Vascular rings of the thoracic aorta in adults. *Am Surg* 65:1077–1083
13. Gross RE, Neuhauser E (1951) Compression of the trachea or esophagus by vascular anomalies, surgical therapy in 40 cases. *Pediatrics* 7:69–83
14. Han MT, Hall DG, Manche A, Rittenhouse EA (1993) Double aortic arch causing tracheoesophageal compression. *Am J Surg* 165:628–631
15. Hartyanszky IL, Lozsadi K, Marcsek P, Huttli T, Sapi E, Kovasc AB (1989) Congenital vascular rings: surgical management of 111 cases. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 3:250–254
16. Horvath P, Hucin B, Hruda J, Sulc J, Brezovsky P, Tuma S, Liesler J, Skovranek J (1992) Intermediate to late results of surgical relief of vascular tracheobronchial compression. *Eur J Cardiothorac Surg* 6:366–371
17. Ienaga S, Hino I, Takahashi N (1975) Double aortic arch with aneurysm – a surgical case report. *Jpn J Surg* 5: 269–275
18. Kron IL, Mappin G, Nolan SP, Kellum C, Tegtmeyer CJ (1987) Symptomatic double aortic arch causing tracheal and esophageal compression in the adult. *Ann Thorac Surg* 43:105–106
19. Ledwith MV, Duff DF (1994) A review of vascular rings 1980–1992. *Ir Med* 87:178–179
20. Lee ML, Wang JK, Wu MH, Lue HC, Chiu IS, Chang CI (1998) Clinical implications of isolated double aortic arch and its complex with intracardiac anomalies. *Int J Cardiol* 63:205–210
21. Marmon LM, Bye MR, Haas JM, Balsara RK, Dumm JM (1984) Vascular rings and slings: long-term follow-up of pulmonary function. *J Pediatr Surg* 19:683–692
22. Parikh SR, Ensing GJ, Darragh RK, Caldwell RL (1993) Rings, sling and such things: diagnosis and management with special emphasis on the role of echocardiography. *J Am Soc Echocardiol* 6:1–11
23. Radermecker MA, Massin M, Grenade T, Bloompeters L, Costalunga S, Limet R (1999) Congenital abnormalities of the vessels of the base of the heart: „ring“ and „sling“ vascular abnormalities. Case report. *Rev Med Liege* 54:823–828

24. Roberts CS, Othersen HB, Sade RM, Smith CD, Tagge EP, Crawford FA (1994) Tracheoesophageal compression from aortic arch anomalies: analysis of 30 operatively treated children. *J Pediatric Surg* 29:334–337
25. Steinberg I (1966) Aortic ring caused by double aortic arch in an adult: angiocardigraphic report of a case. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 97:167–170
26. Vallette RC, Arensman RM, Falterman KW, Ochsner JL (1989) Tracheoesophageal compression syndromes related to vascular ring. *South Med J* 82:338–341
27. Van Son JAM, Julsrud PR, Hagler DJ, Sim EK, Puga FJ, Schaff HV, Danielson GK (1994) Imaging strategies for vascular rings. *Ann Thorac Surg* 57:604–610
28. Weinberg PM (1995) Aortic arch anomalies. In: Moss & Adams, editors. *Heart disease in infants, children and adolescents*. Williams & Wilkins, Baltimore, 810–837
29. Wychulis AR, Berghuis J, Melnick GS (1974) Double aortic arch: resection of aneurysma of left aortic arch in a 64-year-old man. *Ann Thorac Surg* 17:596–601
30. Zudhi MN, Lyons HA (1955) Angiographic study of case of double aortic arch without symptoms. *Am J Med* 18:1022–1026