

4. Diskussion

Die d-Transposition der großen Arterien (d-TGA) macht etwa 5 % aller angeborenen Herzfehler aus und ist der zweithäufigste angeborene zyanotische Herzfehler. Angeborene Herzfehler kommen insgesamt in einer Prävalenz von 0,7% bis 1,0 % bei Neugeborenen vor (56). Im Gegensatz zur normalen Anatomie entspringt bei der d-TGA die Aorta aus dem rechten Ventrikel und transportiert somit sauerstoffarmes Blut in den Körperkreislauf, das von dort über die Hohlvenen wieder ins rechte Herz zurückgelangt. Die Pulmonalarterie entspringt aus dem linken Ventrikel und pumpt bereits in der Lunge mit Sauerstoff gesättigtes Blut zurück in die Lunge. Es existieren somit zwei völlig voneinander unabhängige parallele Kreisläufe (Abb. 1). Die einzige Verbindung der beiden Kreisläufe besteht über einen persistierenden Ductus arteriosus oder einen Vorhof- oder Ventrikelseptumdefekt. Nur durch diese Verbindungen gelangt oxygeniertes Blut in die Aorta und die Sauerstoff verbrauchenden Gewebe. Die Prognose ist unbehandelt infaust, nur ein Drittel der Patienten wird ohne weitere Maßnahmen ein Jahr alt (41).

Erste therapeutische Maßnahmen nach der Geburt eines Neugeborenen mit d-TGA bestehen

- a) in der Gabe von Prostaglandinen zum Offenhalten des Ductus arteriosus
- b) und/oder der Ballonatrioseptostomie nach Rashkind (61), bei der ein Teil des Vorhofseptums „eingerrissen“ wird und damit eine Verbindung zwischen den beiden Kreisläufen geschaffen wird.

In früheren Jahren wurde an den meisten Zentren eine operative Korrektur des Herzfehlers mittels einer sogenannten Vorhofumkehr-OP nach Mustard oder Senning (57, 59, 64, 65) durchgeführt. Dabei wurde das Vorhofseptum entfernt und im Vorhof eine künstliche Umleitung geschaffen, die das Blut aus den Hohlvenen in den linken Ventrikel und das Blut aus den Lungenvenen in den rechten Ventrikel beförderte. Somit wurde physiologischerweise der Körperkreislauf mit sauerstoffreichem und der Lungenkreislauf mit sauerstoffarmem Blut versorgt. Es fand aber keine echte anatomische Korrektur statt, sodass der rechte Ventrikel die Arbeit für die Versorgung des Körperkreislaufs aufbringen musste. Des Weiteren wurde durch die operativen Maßnahmen im Bereich der Vorhöfe teilweise das Reizleitungssystem beschädigt.

Nach den sogenannten Vorhofumkehr-Operationen traten und treten deshalb vermehrt Insuffizienzen des rechten Ventrikels, der Trikuspidalklappen und verschiedene schwerwiegende Arrhythmien auf (12, 48).

Nach der Erstbeschreibung durch Jatene 1976 (21) hat sich die Arterielle Switch-Operation (ASO) als Standardmethode zunehmend durchgesetzt, da sie im Vergleich zur Vorhofumkehr-OP deutlich bessere Langzeit-Ergebnisse erbringt (Abb. 2). Bei der ASO werden die großen Arterien oberhalb der Klappenebene durchtrennt und „ausgetauscht“ wieder an den jeweils anderen Stumpf angenäht, sodass es sich um eine physiologische und anatomische Korrektur handelt. Gleichzeitig findet die sogenannte Koronar-Retransplantation statt, da die Koronarien an dem Gefäßstumpf verblieben sind, der aus dem rechten Ventrikel hervorgeht. Sie müssen aber physiologischerweise aus dem großen Gefäß oberhalb des linken Ventrikels entspringen, damit sie sauerstoffreiches Blut transportieren können. Deshalb werden die Koronarabgänge jeweils mit einem sogenannten „button“ aus der Wand des Aortenstumpfes ausgeschnitten. Der Defekt wird mit einem Perikard-Flicken übernäht. In die „Neo-Aorta“ (Stumpf der ursprünglichen Pulmonalarterie) werden nun auf gleicher Höhe Löcher ausgeschnitten und in diese die „buttons“ mit den Koronararterien eingesetzt. Bei der Transplantation kommt dem Operateur die Lage der großen Gefäße zueinander zugunsten (Aortenstumpf liegt anterior zum Pulmonalstumpf). Wie in Abb. 3 zu sehen ist, liegen die Kommissuren der großen Gefäße einander direkt gegenüber, und damit auch die Sinus, zwischen denen die Koronarien transplantiert werden. Man spricht vom Prinzip des „facing sinus“.

Besondere Anforderungen stellt die Koronarretransplantation auch deshalb, weil das Ursprungs- und Verzweigungsmuster bei Patienten mit d-TGA oft deutlich von der Normalbevölkerung variiert. Zur Systematisierung der verschiedenen Koronarmuster bei d-TGA gibt es deshalb mehrere Klassifikationen, von denen die Gebräuchlichste und hier verwendete die Einteilung nach Yacoub und Radley-Smith ist (Abb. 3; (51)). Insbesondere bei abweichenden Verläufen von Koronarästen kann es besonders schwierig sein, die Koronararterienstämme zu mobilisieren. Diese Mobilisierung ist nötig, um die Koronararterie ohne unnötigen Zug oder Knickung zu retransplantieren. Die Retransplantation und Mobilisierung der Koronararterien findet jedoch immer unter einem gewissen Zug (stretching), unter Kompression oder Torsion statt. Hieraus kann Kinking (Knickung), aber auch längerstreckige Verengung oder Verletzung der Koronararterien resultieren. Das Kinking und

auch die Bildung von Narbengewebe nach Zug kann zu Stenosen oder Obstruktionen der Koronararterien führen.

Eine suboptimale Mobilisierung wegen eines abweichenden Verlaufs der Koronararterie kann somit ein Risikofaktor für spätere pathologische Koronarveränderungen, insbesondere Obstruktionen und Stenosen, sein.

Die Symptome von Koronarobstruktionen und -stenosen entsprechen der koronaren Herzkrankheit beim Erwachsenen, pektanginöse Beschwerden, Arrhythmien, Myokardinfarkte und plötzlicher Herztod wurden immer wieder beschrieben (5, 19, 20). Oft bleiben die genannten Koronarveränderungen klinisch unentdeckt, da die zweite Koronararterie oder Kollateralen die Versorgung des betroffenen Myokardareals übernehmen. Auch apparative Nachsorge-Untersuchungen wie EKG, Belastungs-EKG, Echokardiographie, Stress-Echokardiographie, PET und Myokardszintigraphie können bei ausreichender alternativer Versorgung der entsprechenden Myokardareale unauffällig bleiben (2, 4, 5, 12, 19, 20, 30, 45, 46, 48).

Es ist aber bisher unklar, in welcher Form diese zunächst klinisch stummen Koronarveränderungen in höherem Lebensalter pathophysiologisch relevant werden, insbesondere unter dem Einfluss von Risikofaktoren für eine Koronare Herzkrankheit (KHK) des Erwachsenenalters.

Deshalb favorisiert eine Gruppe von Autoren ein Screening der mit ASO operierten Kinder mittels selektiver Koronarangiographie (4, 18, 19, 48), die sich jedoch nicht als Routinemethode durchgesetzt hat.

An der Charité Berlin wurde die selektive Koronarangiographie nach der Arteriellen Switch-Operation bei allen Patienten etwa im 3. Lebensmonat durchgeführt, deshalb sollten die Daten der Charite mit Literaturergebnissen verglichen werden. Besonders sollte dabei auf eventuelle Unterschiede zwischen Patienten mit verschiedenen Abgangstypen nach Yacoub eingegangen werden. Außerdem sollte die echokardiographische Darstellung der Koronarabgänge als mögliche Alternative zur selektiven Koronarangiographie überprüft werden.

4.1. Verteilung der Koronartypen nach Yacoub

In unserer Studie mit kleiner Fallzahl kommen im Unterschied zu den Ergebnissen von Bonhoeffer et al. (4), Bonnet et al. (5), Di Donato et al. (12), Kirklin et al. (23) und Li et al. (27) nur drei der fünf Typen nach Yacoub vor, nämlich Typ A, B und D (Abb. 4 a - e, 5). Der Typ A lag mit 60 % der Patienten seltener vor als in den Arbeiten von Bonhoeffer et al. und Li et al. (65 %), Bonnet et al. (66 %), und Di Donato et al. (64 %) sowie deutlich seltener als bei Kirklin et al. (72 %).

Wie daher zu erwarten hatte der Koronartyp D mit 34 % eine höhere Prävalenz als in anderen Arbeiten (Bonhoeffer et al.: 21 %, Bonnet et al. und Di Donato et al.: 19 %, Kirklin et al.: 15 %, Li et al.: 18 %).

Der Typ B kam mit 6 % (ein Patient) genauso oft vor wie in der Studie von Kirklin et al., andere Studien zeigen differierende Prävalenzen (Di Donato et al. - 11 %, Bonhoeffer et al. - 4 %, Bonnet et al. - 1 %, Li et al. - 2 %), unser Ergebnis bildet dazu vergleichsweise etwa einen Mittelwert.

Wie in den Untersuchungen von Di Donato et al. und Li et al. beobachteten wir den Typ C nicht, dies ist bei einer kleinen Fallzahl nicht überraschend, da die Prävalenz auch in anderen Arbeiten (Bonnet et al. und Kirklin et al. – je 2 %, Bonhoeffer et al. - 3 %) sehr niedrig war.

Etwas auffälliger ist, dass der Koronartyp E in der untersuchten Gruppe nicht gesehen wurde, obwohl er in anderen Studien häufiger vorkam als Typ C (Bonhoeffer et al - 7 %, Bonnet et al. - 12 %, Di Donato et al. - 6 %, Kirklin et al. - 3 %, Li et al. - 9 %).

Insgesamt scheint jedoch die Prävalenz der Koronartypen nach Yacoub in unserer Gruppe trotz kleiner Fallzahl repräsentativ für Patienten mit d-TGA zu sein.

4.2. Koronarabnormalitäten

Bei 17 von 32 Patienten ließen sich in der selektiven Koronarangiographie Veränderungen an mindestens einer Koronararterie aufzeigen. Es wurden sowohl kurzstreckige (< 2mm) als auch längerstreckige (> 2mm) Stenosen (entsprechend einer Lumeneinengung von über 50 %), Kinking mit einem Winkel kleiner als 135°, Biegungen mit einem Winkel zwischen 135° und 170° und auffällig hohe Koronarabgänge mit Ursprung über dem Sinus coronarius beobachtet (Tab. 1a - e). Bei 17 von 32 Patienten mit Koronarveränderungen liegt die Prävalenz in der hier vorgestellten Gruppe bei insgesamt ca. 53%.

In den vergleichbaren Literaturangaben waren allerdings nur Patienten mit Koronarokklusionen oder -stenosen aufgeführt (4, 9, 14, 19, 31, 45, 48), Angaben zur Prävalenz von Kinking, Biegungen und langstreckigen Stenosen der Koronararterien fehlen.

4.2.1. Obstruktionen und Stenosen

Stenosen und Obstruktionen lagen in der hier untersuchten Gruppe bei vier von 32 Patienten (rund 12,5 %) vor und kommen damit seltener vor als in der Untersuchung von Bonhoeffer et al. (18,2%; (4)), aber häufiger als in den Studien von Daebritz et al. (1 %; (9)), Haas et al. (11 %; (14)), Hutter et al. (7 %; (19)), Mayer et al. (2 %; (31)), Tanel et al. (3 %; (45)) und Wernovsky et al. (4 % (48)).

Dies bedeutet, dass in dem untersuchten Krankengut eine im Verhältnis zu den meisten vergleichbaren Untersuchungen höhere Prävalenz von Koronarstenosen und -obstruktionen vorzuliegen scheint. Aus mehreren Gründen sind die Literaturangaben jedoch nicht direkt mit diesen Ergebnissen vergleichbar.

- Ein Teil der Patienten war in den Studien schon vor der Angiographie verstorben, zum Großteil auf Grund pathologischer Koronarveränderungen (4, 14, 31).
- Die selektive Koronarangiographie wurde meist nicht systematisch bei allen Patienten durchgeführt, sondern oft nur bei Patienten mit suspekten Befunden in klinischer Untersuchung oder EKG. Die wirkliche Prävalenz von koronaren Auffälligkeiten könnte also höher gewesen sein.

4.2.2. Kinking und Biegungen

Die Bedeutung von Kinking und Biegungen für die Prognose der Patienten ist bislang unklar, jedoch könnten hämodynamische Untersuchungen mittels eines Drahtes zur intrakoronaren Doppler-Messung (FloWire®) oder PET hier neue Ergebnisse bringen. Wichtigster Messwert ist die „coronary flow reserve“ (CFR). Sie gibt den Quotienten zwischen Blutfluss bei erhöhtem myokardialen Sauerstoff-Bedarf nach Adenosin-Applikation einerseits und dem Ruhefluss andererseits an (60). Sie ist somit ein Indikator der Funktion der koronaren Vasomotorik. Ein erniedrigter CFR-Wert bedeutet, dass die Koronararterien bei erhöhtem myokardialen Sauerstoffbedarf den Blutfluss nicht ausreichend steigern können.

Die bisherigen Untersuchungen an Switch-Patienten sind widersprüchlich (54, 58, 60), in einer Studie von Oskarsson et al. (60) ergab sich keine signifikante Abweichung der CFR von den

Normwerten der Altersgruppe. In Untersuchungen mittels PET fiel jedoch eine signifikante CFR-Verminderung bei Switch-Patienten (54, 58), teilweise mit reversibler regionaler myokardialer Perfusionsstörung (58), auf. Eine Korrelation zum Auftreten von Kinking oder Biegungen der Koronarien wurde in den Studien nicht untersucht, so dass diese Abhängigkeiten ungeklärt bleiben.

4.2.3. Hoher Abgang

Auffällig war, dass hohe, über dem Sinus coronarius eingepflanzte Koronarabgänge (in drei Fällen die linke, in einem zusätzlich die rechte Koronararterie) mit einer Prävalenz von rund 8 % (3 von 36 Patienten) relativ selten vorkamen. Der hohe Koronarabgang wird bei der ASO gewählt, damit eine Abknickung der Koronarien bei der Retransplantation verhindert wird.

Die morphologische Besonderheit des hohen Koronarabgangs wurde bisher nur von Hauser et al. (58) beschrieben, und bei allen der 21 von ihm untersuchten Patienten nach ASO waren die Koronarabgänge 7-10 mm oberhalb des Aortensinus lokalisiert. In unserem Patientengut kommt dieses Phänomen also viel seltener vor als bei Hauser et al., offensichtlich bedingt durch die chirurgische Technik an der Charité. Es fällt auch auf, dass in unserer Gruppe in allen drei Fällen die linke Koronararterie, nur einmal zusätzlich die rechte Koronararterie über dem Sinus coronarius entsprang. Es scheint sich also um ein spezifisches Problem bei der Retransplantation der linken Koronararterie zu handeln. Hauser et al. (58) differenzieren jedoch in ihrer Arbeit nicht zwischen linker und rechter Koronararterie. Andere Studien (4, 9, 14, 19, 31, 45, 48) benannten und untersuchten das Problem der hohen Koronarabgänge nicht, deshalb können keine weiteren vergleichenden Aussagen getroffen werden.

Die niedrige Prävalenz der hohen Koronarabgänge an der Charité dürfte jedoch prognostisch günstig sein, denn der physiologische Abgang der Koronararterie aus dem Sinus aortae ist hämodynamisch wichtig für eine optimale Füllung der Koronarien in der Diastole. Bei den Patienten mit hohem Koronarabgang ist deshalb eine reduzierte regionale myokardiale Durchblutung mit Funktionsstörungen zu erwarten.

In der oben genannten Untersuchung von Hauser et al. (58) war die CFR bei Patienten nach ASO vermindert, und zwar sowohl im Vergleich zur Normalbevölkerung als auch zu einer Patientengruppe nach Ross-OP, bei denen eine Koronarretansplantation auf physiologischem Niveau in Höhe des Aortensinus stattgefunden hatte. Hauser et al. schlussfolgerten, dass die CFR-Reduktion in der ASO-Gruppe Folge des hohen Koronarabgangs und der dadurch beeinträchtigten

Hämodynamik sein könnte. Bei unseren Patienten mit hohem Abgang muss also mit ähnlichen Veränderungen gerechnet werden. PET-Untersuchungen würden darüber Aufschluss bringen, aber auch Strahlenbelastung nach sich ziehen und bei positivem Befund keine therapeutischen Konsequenzen ergeben, daher wurden sie an dieser Patientengruppe nicht durchgeführt. Ein hoher Koronarabgang sollte, wie bei den meisten der an der Charité operierten Patienten, vermieden werden. Die Problematik der hohen Retransplantation der Koronarabgänge sollte in Zusammenarbeit mit den zuständigen Chirurgen in Zukunft gezielt mit der Fragestellung untersucht werden, wann diese nötig wird und welche Folgen sie hat.

4.3. Koronarveränderungen bei verschiedenen Abgangstypen nach Yacoub an linker bzw. rechter Koronararterie

In der Literatur wurde immer wieder versucht, Risikogruppen für Koronarkomplikationen anhand des Abgangstyps nach Yacoub (Abb. 3) zu definieren (4, 5, 20, 27, 36, 39, 50), jedoch mit sehr widersprüchlichen Ergebnissen.

Unsere Beobachtungen stimmen mit den Ergebnissen von Bonnet et al. (5), Hutter et al. (20), Quaegebeur et al. (39) und Wollenek et al. (50) überein, denen zu Folge kein Zusammenhang zwischen Koronartyp und Prävalenz von Koronarabnormalitäten besteht (Tab. 2 - 6).

Unsere Ergebnisse stehen jedoch im Widerspruch zu denen von Bonhoeffer et al. (4) und Planché et al. (36), die den Koronartyp D als Risikofaktor ansehen. Dieses Ergebnis erscheint zwar einleuchtend, da der bei Typ D spezielle Verlauf des Ramus circumflexus um den Pulmonalarterienstumpf herum (Abb. 3) die für die Transplantation notwendige Mobilisierung der RCA erschweren und die Schädigung der Koronarien durch Zug wahrscheinlicher machen kann. Es scheint jedoch auch möglich zu sein, die rechte Koronararterie so zu mobilisieren, dass diese Komplikationen bei Typ D nicht signifikant gehäuft auftreten (Tab. 2 - 6).

Auch die anderen Koronarabnormalitäten in unserer Gruppe treten nicht etwa gehäuft an der RCA, sondern sogar leicht vermehrt an der LCA auf, jedoch wird bei kleiner Fallzahl keine signifikante Differenz erreicht. (Tab. 1 a - e, 4 a - f, 5 a - f).

4.4. Vor- und Nachteile der selektiven Koronarangiographie

Die selektive Koronarangiographie ist für die Nachsorge nach Arterieller Switch-Operation keine Standardmethode, da es sich um eine invasive Technik handelt und die Patienten noch sehr klein sind.

Allerdings können die anatomischen Veränderungen der Koronararterien bisher am besten angiographisch dargestellt werden. Die selektive Koronarangiographie ist dabei der herkömmlichen Aortenwurzel-Angiographie in der Darstellung der Koronaranatomie deutlich überlegen (4, 5). Sie stellt bei Erwachsenen den Standard zum Nachweis von Koronarabnormalitäten dar. Alle anderen etablierten Untersuchungsverfahren wie EKG, Echokardiographie, PET und SPECT können bei Koronarläsionen mit suffizienter Kollateralbildung unauffällig bleiben (2, 4, 5, 12, 19, 20, 30, 45, 46, 48). Dies bestätigen auch unsere Befunde, wonach mehrere Patienten mit Koronarstenosen aufgrund von Kollateralbildung klinisch, in EKG und Echokardiographie Normalbefunde boten (Tab. 1 a).

Die Kenntnis der symptomfreien anatomischen Veränderungen an den Koronarien erscheint von Bedeutung, weil später eventuell an diesen Lokalisationen geringe arteriosklerotische Veränderungen erhebliche Perfusionsstörungen bedingen könnten. Ob deshalb aber bereits im Säuglingsalter eine ausreichende Indikation für eine „prophylaktische“ Ballondilatation (wie bei Pat. 26 und 31, Tab. 1a) oder Stentimplantation gegeben ist, wird aktuell diskutiert. Die routinemäßige selektive Koronarangiographie wird deshalb derzeit noch von verschiedenen Autoren als Routineverfahren empfohlen (5, 18, 19, 48).

Wenn zum Erhebungszeitpunkt geeignete Untersuchungen von Säuglingen unter Belastung existiert hätten, wären zwar die von Koronarveränderungen betroffenen Kinder eventuell identifiziert und dann gezielt der Angiographie zugeführt worden. In der Anfangsphase der Arteriellen Switch-Operation und ihrer Nachsorge an der Charité erschien die routinemäßige Koronarangiographie jedoch gerechtfertigt.

Als Nachteile der routinemäßigen SCA müssen die wiederholte Anwendung von Röntgenstrahlung bei Säuglingen und die Invasivität der Katheterisierung noch sehr kleiner Gefäße mit dem Risiko von Blutungen, Nachblutungen oder Femoralarterienverschlüssen angesehen werden.

Außerdem können bei der Angiographie Ischämien und ventrikuläre Arrhythmien mit niedriger Auswurfleistung provoziert werden (20). In Ausnahmefällen kann auch die medikamentöse Sedierung risikobehaftet sein, ein Monitoring von Kreislauf und Oxygenierung ist notwendig. Femoralarterienverschlüsse können zwar unter Umständen durch Heparinisierung und Lysetherapie mit r-TPA wieder durchgängig werden, wie wir bei Patient Nr. 28 zeigen konnten, und andere Komplikationen beobachteten wir erfreulicherweise nicht. Trotzdem sprechen die genannten Risiken eher gegen die routinemäßige Anwendung der Angiographie im Kindesalter. Außerdem handelt es sich bei der SCA um ein zeitlich und logistisch relativ aufwändiges Verfahren.

Zur direkten Darstellung der Koronaranatomie würde sich alternativ eine MR-Angiographie des Herzens anbieten. Da sich die untersuchten Patienten im Säuglingsalter befinden, wäre für das erforderliche absolute Stillliegen bei der MR-Untersuchung eine Allgemeinanästhesie mit metallfreien Narkosegeräten nötig, was zusätzlichen Aufwand und Kosten produzieren würde. Für die SCA ist eine Sedierung mit Monitoring der Vitalparameter ausreichend.

Eine alternative Möglichkeit wäre die direkte Darstellung der Koronarien und ihrer Abgänge mit möglichen pathophysiologischen Veränderungen mittels Echokardiographie. Die Echokardiographie-Daten der in dieser Arbeit vorgestellten Patienten wurden unter diesem Gesichtspunkt ausgewertet, und zwar zunächst die echokardiographische Darstellbarkeit der Abgänge allgemein und dann die Darstellbarkeit der auffälligen Koronarabgänge im Speziellen.

4.5. Echokardiographische Darstellbarkeit der Koronarabgänge

Die Koronarabgänge waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen insgesamt echokardiographisch signifikant schlechter darstellbar als mit der SCA (Tab. 7).

Die echokardiographische Darstellbarkeit der Koronarabgänge zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen LCA und RCA bzw. Koronartyp A und D (Tab. 6), einige α -Werte lagen aber nur knapp über dem Signifikanzbereich. Es muss offen bleiben, ob bei besseren Geräten und größeren Fallzahlen Signifikanz der Ergebnisse bestanden hätte.

4.6. Echokardiographische Korrelate zu Auffälligkeiten in der SCA

In der SCA entdeckte pathologische Veränderungen an den Koronararterien waren echokardiographisch nur in einem einzigen Fall nachvollziehbar, somit waren die koronaren Auffälligkeiten signifikant schlechter darstellbar als mit der SCA (Tab. 8). Die echokardiographische Darstellung erscheint also unter den bisherigen Bedingungen für die Routine-Darstellung der Koronararterien nicht geeignet.

Eine wichtige Rolle spielte sicher die häufige Unruhe und Abwehr seitens der nicht-sedierten Säuglinge. Die Sedierung der Säuglinge und die technische Weiterentwicklung der Echokardiographie könnten in der Zukunft die Wertigkeit dieser untersucherabhängigen Methodik für die Beurteilung der Koronararterienmorphologie in dieser Altersgruppe verbessern. Ähnliches gilt wahrscheinlich, wenn ein einziger erfahrener Untersucher alle Echokardiographien durchführen würde.

Ob regionale Störungen des Myokards mit der Technik des Gewebedopplers (62) in Zukunft darstellbar werden und man die selektive Koronarangiographie dann gezielt einsetzen kann, muss noch gezeigt werden.

4.7. Bedeutung der Ergebnisse für die Prognose der operierten Patienten

Der einzige hier gemessene objektive Parameter zur Beurteilung der Ventrikelfunktion ist der links- bzw. rechtsventrikuläre enddiastolische Druck (LVEDP/RVEDP, Tab. 1 und 9). Eine sichere vergleichbare Bestimmung des Schweregrades der koronaren Veränderungen war aufgrund der sehr unterschiedlichen Morphologie und damit wahrscheinlich auch unterschiedlichen Hämodynamik im Bereich dieser koronaren Veränderungen nicht möglich.

Daher ist es auch nicht überraschend, dass kein Zusammenhang zwischen Art und/oder abgeschätztem Schweregrad der Veränderung der tranlozierten Koronararterien und einem erhöhten linksventrikulären enddiastolischen Druck (LVEDP) als Ausdruck einer globalen Dysfunktion des linken Ventrikels (LV) gefunden werden konnte. Obwohl zur systolischen Ventrikelfunktion keine Daten vorliegen, kann davon ausgegangen werden, dass keine systolischen Dysfunktionen vorlagen, zumal keiner der Patienten vor oder nach der Untersuchung eine entsprechende Medikation erhielt.

Damit handelt es sich bei den Patienten mit erhöhtem LVEDP wahrscheinlich um eine rein diastolische Funktionsstörung. Eine regionale Ursache durch die gefundenen Veränderungen eines Koronararteriensystems ist für eine globale diastolische Funktionsstörung mit einem LVEDP von bis zu 20 mmHg kurz nach der ASO mit Einsatz der Herz-Lungen-Maschine eher unwahrscheinlich. Dafür spricht auch die Tatsache, dass ein erhöhter LVEDP bei zwei Säuglingen auch ohne jede Koronarveränderung beobachtet wurde (Tab. 9, Pat. 2 und 10, 13 bzw. 12 mmHg). Eine regionale Analyse war aus Mangel an entsprechenden Untersuchungen nicht möglich. Da der RVEDP in allen Fällen normal war, scheint es sich eher um ein Problem des linken Ventrikels zu handeln. Mit PET, MRT oder nuklearmedizinischen Untersuchungen könnten fleckige („patchy“) Schädigungen des gesamten Myokards als Ursache für den erhöhten LVEDP nachgewiesen werden. Diese Untersuchungen sind jedoch wegen mangelnder therapeutischer Konsequenzen nicht indiziert.

Offensichtliche Ursachen für eine prä-, intra- oder unmittelbar postoperative Minderperfusion ließen sich in den Unterlagen nicht finden. Besonders niedrige Sauerstoffwerte, niedriger pH-Wert oder erniedrigter Perfusionsdruck wurden nicht dokumentiert. Eine vergleichende Untersuchung des linken und rechten Koronarsystems mittels Bestimmung der flow reserve (54, 58, 60) könnte weiteren Aufschluss über die Ätiologie des erhöhten LVEDP bringen, ist jedoch wegen mangelnder therapeutischer Konsequenzen auch nicht indiziert.

Zusammenfassend sind die beobachteten postoperativen Koronarveränderungen zur Zeit der selektiven Koronarangiographie hämodynamisch eher unbedeutend. Die beobachteten diastolischen Funktionsstörungen haben wahrscheinlich eine multifaktorielle Ursache, deren Einzelkomponenten nicht sicher erkannt und damit dokumentiert werden können. Langfristig sind diese Veränderungen der Koronararterien und die diastolische Funktion mit zunehmenden arteriosklerotischen Abnormalitäten von großer Bedeutung. Daher sind regelmäßige, lebenslange spezielle Kontrollen notwendig, damit frühzeitig therapeutisch reagiert werden kann.

4.8. Methodenkritik

Eine Untersuchung an einer größeren Anzahl von Patienten hätte sicher eine höhere Aussagekraft, scheint aber nach dieser Untersuchung mit guten Ergebnissen nicht gerechtfertigt. Eine lebenslange Kontrolle mit jetziger und zukünftiger Methodik ist jedoch unbedingt erforderlich. Für endgültige Aussagen, insbesondere im Hinblick auf spätere arteriosklerotische Entwicklungen, ist die Methode der sogenannten anatomischen Korrektur noch zu jung.