

## 선천성 심장병에서 중재적 심도자술의 최신 지견

성균관대학교 의과대학 소아과학교실

강 이 석

### Recent Advance of Interventional Catheterization in Congenital Heart Disease

I-Seok Kang, M.D.

Department of Pediatrics, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

심초음파, 자기 공명 촬영 및 전산화 단층 촬영의 발달로 인하여 선천성 심질환에 대한 진단 목적의 심도자술은 점차 필요성이 감소하게 되었다. 반면 1980년대부터 소아 심장학의 한 분야로 자리잡은 중재적 심도자술은 그 영역과 비중이 확대되어 가고 있다.

선천성 심장병에 대한 중재적 심도자술은 크게 판막이나 혈관 혹은 혈류가 지나는 통로를 넓혀주는 종류의 시술과 불필요한 혈관이나 심장 내 교통을 막아주는 시술로 나눌 수 있다. 좁아진 곳을 넓히거나 막힌 곳을 뚫는 시술로는 ① 폐동맥이나 대동맥 판막 협착 혹은 폐동맥 판막 폐쇄에 대한 풍선 판막 성형술, ② 폐동맥 협착, 대동맥 축착 및 체정맥 협착에 대한 풍선 혈관 성형술 및 ③ 풍선 혈관 성형술에 반응이 없거나 재발하는 경우에 주로 이용되는 스텐트 삽입술 등을 들 수 있다. 그밖에 ④ 삼첨판 폐쇄, 승모판 폐쇄 등에서 심방 중격 결손이 충분하지 않을 때 이를 넓혀주거나, ⑤ 폰탄(Fontan) 수술 후 심박출 저하나 폰탄 경로 내 압력 증가가 심할 때 폰탄 경로와 기능적 좌심방 사이에 연결을 만들어주는 시술도 여기에 포함시킬 수 있다. 불필요한 혈관이나 연결을 막는 시술로는 ① 동맥관 개존, 대동맥과 폐동맥 사이의 측부 혈관 및 불필요하게 된 체-폐동맥 간 단락의 폐쇄, ② 심방 중격 결손 폐쇄 및 ③ 심실 중격 결손 폐쇄를 들 수 있다. 그 외에 비수술적 폐동맥판막 삽입술, 비수술적 폐동맥 교약술(pulmonary artery banding), 심장 내 잘못된 위치한 도관 등 이물질 제거와 같은 시술이 시도되고 있다. 최근에는 신생아나 저체중아에서도 비수술적 치료가 점차 늘어나고 있으며 더 나아가 태아에서의 심도자 치료도 시도된 바 있다.

이러한 다양한 시술 중 풍선 판막 성형술, 폐정맥 이외에서의 풍선 혈관 성형술 및 스텐트 삽입술, 동맥관이나 측부 혈관 폐쇄와 같이 이미 효과가 인정되고 널리 시행되고 있는 시술도 있고, 심방 중격 결손 폐쇄와 같이 점차 치료법의 하나로 인정되고 있는 방법도 있으며, 비수술적 폐동맥판막 삽입술과 같이 새

로 시도되는 분야도 있다. 여기에서는 선천성 심질환에서 비교적 최근에 새로이 시행되고 있는 시술이나 새로운 방법으로 시도되는 시술을 중심으로 언급하고자 한다.

#### 심방 중격 결손의 비수술적 폐쇄

최초의 비수술적 심방 중격 결손 폐쇄는 1974년에 이미 King 등에 의해 시도되었으나 2001년도에 이르러서야 Amplatzer septal occluder에 대한 미국 식품의약청의 허가 와 더불어 널리 이용되게 되었다. 수술과 비교할 때 비수술적 폐쇄의 장점은 심정지나 인공심폐기를 사용하지 않고, 수혈이 거의 필요하지 않으며, 통증이 미미하고, 입원 기간이 짧으며, 무엇보다도 흉터가 없다는 점을 들 수 있다. 반면 결손의 크기나 위치에 제약을 받으며, 우리나라에서는 비급여 대상이므로 환자의 본인 부담이 수술 시보다 많다는 문제가 있다.

1980년대 후반부터 1990년대에 걸쳐 심방 중격 결손을 막기 위한 많은 기구들이 개발되었으나 널리 사용된 기구로는 CardioSEAL과 이를 개량한 Starflex 및 Amplatzer septal occluder(ASO)를 들 수 있다. 이들 기구는 모두 풍선 확장 직경(balloon stretched diameter) 20 mm 이하의 심방 중격 결손에 대해서는 효과적이지만 이 보다 큰 결손에 대해서는 ASO가 다른 기구에 비해 높은 폐쇄율과 적은 합병증을 보이며<sup>1)</sup>, 기구의 위치가 부적절할 때 재조정하거나 기구를 회수하여 재시도할 때 등 사용상의 편리성으로 인하여 ASO가 선호되고 있다. 최근에 개발되어 시도되고 있는 Helex Septal Occluder<sup>2)</sup>나 balloon detachable device<sup>3)</sup>는 기구의 부피가 작고 심장에 대한 자극이 적다는 장점이 있지만, Helex 기구는 여전히 20-22 mm 이상의 결손을 막는 데에는 어려움이 있고, balloon detachable device는 아직까지 충분한 경험이 없는 상황이다.

심방 중격 결손의 비수술적 폐쇄 시에는 경식도 초음파를 통해 시술 과정을 관찰하면서 시행하고 이로 인한 불편함 때문에 전신 마취를 필요로 한다. 최근에는 혈관 내 초음파(intravascular echocardiogram)를 통해 시술 과정을 확인하고 전신마취를 하지 않는 방법도 시도되고 있다. 경식도 심초음파로 먼저 결손

접수 : 2003년 11월 17일, 승인 : 2003년 11월 19일  
 책임저자 : 강이석, 성균관대학교 의과대학 소아과학교실  
 Tel : (02)3410-3531 Fax : (02)3410-0043  
 E-mail : kis@smc.samsung.co.kr

의 크기, 위치, 또 다른 결손이나 다른 이상의 동반 여부를 확인한 후 심장 각 부위의 혈역학적 자료를 얻는다. 결손을 통해 5 F right Judkin 도관이나 Multipurpose 도관을 통과시킨 후 0.035" exchange wire를 좌상폐정맥에 위치시킨 다음 Meditech sizing balloon 도관(Boston Scientific, Watertown, MA)으로 교환한다. 좌심방에서 풍선을 부풀려서 심방 중격에 밀착시킨 다음 경식도 초음파로 심방 중격을 통한 다른 단락이 있는지 확인한다. 서서히 풍선 크기를 줄여서 풍선이 심방 중격 결손을 통과하여 우심방으로 빠져 나올 때의 풍선 크기를 풍선 확장 직경이라 하며, 이를 기준으로 결손을 막기 위해 사용할 기구를 선정한다. 최근에는 Cylindrical Amplatzer(AGA Medical) sizing balloon을 이용하여 풍선이 심방 중격 결손을 가로질러 부풀려질 때 중간에 생기는 함몰 부위를 측정하는 방법으로 정적인 풍선 확장 직경을 정하기도 한다. 이 방법은 심초음파와 투시 화면에서 측정된 풍선 확장 크기에 차이가 있는 경우가 보다 흔하고, 결손이 큰 경우에 측정이 어려울 수 있다<sup>4)</sup>. 결손을 막을 ASO 기구는 좌우 디스크를 연결하는 부위(waist) 크기로 표시하며 대개 풍선 확장 직경과 같거나 1-2 mm 더 큰 것을 선택한다. 좌심방 디스크는 연결부 크기보다 6-8 mm, 우심방 디스크는 4-5 mm 더 크므로 기구를 선정할 때 - 특히 소아에서는 - 좌심방 디스크가 주위 구조물에 문제를 일으키지 않는지 고려해야 한다. 풍선 도관을 꺼내고 exchange wire를 통해 dilator와 long sheath를 넣을 때는 dilator 끝이 우심방-하대정맥 연결부 근처에 이르면 dilator는 그대로 둔 채 long sheath만을 좌심방으로 넘겨서 공기 등에 의한 색전을 피하도록 한다. Long sheath만을 남기고 wire와 dilator를 제거할 때 및 기구를 장착한 delivery system이 long sheath를 통해 들어갈 때는 공기가 들어가지 않도록 주의해야 한다.

성인에서는 풍선 확장 직경 25-30 mm 이하인 심방 중격 결손은 ASO를 이용하여 막는데 별 어려움이 없다. 그러나 성인에서 30 mm 이상, 특히 35 mm 이상의 결손은 기구 위치를 적절히 유지하는데 어려움이 있을 수 있다. 결손이 큰 경우에는 좌심방 디스크를 펼친 후 sheath를 더 당겨서 중간의 연결부(waist)까지 펼친 다음 심방 중격 쪽으로 당기면 기구 전체가 우심방 쪽으로 빠져 나오는 것을 줄일 수 있다. Delivery system 혹은 delivery sheath가 심방 중격과 직각이 되지 않을수록 좌심방 디스크가 우심방으로 나올 경우가 많으므로 경식도 심초음파에서 이 각도가 적절하지 않으면 sheath 전체를 조금씩 돌리거나 몸 밖에서 모양을 만들어서 조절할 수도 있다. 전상방의 심방 중격이 별로 없는 큰 결손인 경우에는 좌심방 디스크를 좌심방이(left atrial appendage) 근처에서 펼치고 delivery sheath를 반시계 방향으로 돌리면 좌심방 디스크가 대동맥 근위부를 보다 잘 감쌀 수 있다. 혹은 delivery sheath가 우상폐정맥을 향하게 한 상태에서 좌심방 디스크를 펼치기 시작하면 심방 중격과 기구가 보다 직각으로 유지되는 경향이 있어서 큰 결손을 막는데 도움이 될 수 있다<sup>4)</sup>. 이 같이 sheath를 돌릴 때는 기구가

delivery system에서 풀리는 경우가 있으므로 주의하여야 한다. 때로는 좌심방 디스크를 승모판 바로 위에서 펼치는 것도 마찬가지로 효과적일 수 있다.

이주 드물기는 하지만 ASO를 분리한 후 위치가 적절하지 않은 경우가 발생할 수 있다. 이 때는 우심방 디스크 사이의 망을 통해 wire를 통과시키고 이것을 좌심방으로 넘겨서 기구를 좌심방 내에서 안정시킨 다음 우심방 디스크에 연결된 microscrew를 snare로 잡아서 위치를 재조정할 수도 있다.

### 난원공 폐쇄

비교적 젊은 나이에 다른 원인 없이 뇌졸중이 생기는 환자에서 난원공의 빈도가 높으며, 큰 난원공이나 심방중격류(atrial septal aneurysm)가 있는 경우에는 기이성 색전을 통해 뇌졸중의 원인이 될 수 있다고 알려져 있다<sup>5)</sup>. 난원공은 기존의 심방 중격 결손을 막기 위한 모든 기구를 사용할 수 있으며, 최근에는 우심방 디스크가 좌심방 디스크보다 크고 연결부가 짧은 난원공 폐쇄용 기구도 개발되었다.

단순한 난원공 개존은 경식도 초음파로 확인하지 않고도 간단히 결손을 막을 수 있으나 심방중격류가 있는 경우에는 일반적인 심방 중격 결손을 막듯이 경식도 초음파로 확인하면서 시술하여야 한다. 간혹 wire로 심방 중격을 통과시키지 못하는 경우가 있는데 이 때는 trans-septal puncture를 하여 결손을 막을 수는 있지만, 이런 환자에서 조영 심초음파로만 확인되는 난원공 개존이 뇌졸중과 직접적인 관련이 있는지는 논란의 여지가 있다.

### 개창 폰탄의 폐쇄(Closure of fenestrated Fontan)

단심실 형태 심장병의 최종적인 보존 수술이라 할 수 있는 폰탄 수술 후에는 폐혈관 저항의 증가로 인한 심박출 저하, 지속적인 늑막 삼출, 간기능 이상 등의 문제가 흔히 발생할 수 있다. 이러한 문제를 줄이기 위한 방법 중 하나로 하대정맥 혈류를 폐동맥에 연결하는 통로 중에 기능적 좌심방과 이어지는 창(fenestration)을 만들어 주기도 한다. 이러한 창은 하대정맥 혈류가 폐를 거치지 않고 전신으로 나가게 해주므로 체동맥혈 산소를 감소시키지만 수술 직후 증가된 폐혈관 저항으로 인한 심박출 저하를 줄여주고, 폐혈관 압력 증가에 따른 합병증을 완화시켜주는 역할을 한다. 수술 시 만들어진 창은 시간이 지나면서 저절로 막히기도 하지만 상태가 안정된 후에도 그대로 남아서 우-좌 단락으로 전신 색전, 지속적인 저산소증의 문제를 유발할 수도 있다. 따라서 수술 수 개월 이후에도 남아있는 창은 심도자를 통한 시술로 막아줄 것을 고려한다.

폰탄 수술의 개창을 막기 전에 먼저 심장 각 부위의 압력, 산소 포화도 등을 측정하여 혈역학적 자료를 얻는다. 폰탄 통로 내 협착 부위가 있는지 확인하고, 정맥-정맥간 및 동맥-정맥간 측부혈관이 있으면 막아준다. Swan-Ganz 도관처럼 풍선 근위

및 원위부에서 압력 측정이 가능한 도관으로 개창을 막고 조영제를 주어 개창이 적절히 막혔는지 동맥혈 산소 포화도가 95% 이상 유지되는지 확인한다. 최소한 15분 이상 개창을 막은 상태에서 다시 혈액학적 자료를 측정한다.

개창을 막는 기준은 센터마다 다르지만 기본적으로 폰탄 통로 내 압력이 많이 올라가지 않고(폰탄 통로 내 평균압 18 mmHg 이하, 3 mmHg 이하의 상승), 심박출 저하가 감당할 수 있을 정도(심박출계수 감소 0.5 L/min/M<sup>2</sup> 이하 혹은 30% 이하의 심박출 감소, 30% 이하의 동-정맥혈 산소 포화도 차이 증가 등)이어야 한다. 폰탄의 개창을 막는 데는 심방 혹은 심실 중격 결손이나 동맥관 개존을 막기 위한 기구들을 이용할 수 있으며, 우-좌 단락을 막는다는 점에서 난원공 개존을 막기 위한 기구가 더욱 적절할 수 있다.

최근에는 보다 저렴한 비용으로 개창을 막기 위하여 동맥관을 막기 위한 코일(Cook detachable coil 등)을 이용하기도 한다.

### 동맥관 개존 폐쇄

연장아나 성인에서의 동맥관 개존에 대한 비수술적 폐쇄는 이미 수술을 대체할 수 있는 치료법으로 자리잡았다. 다양한 기구들이 이용되고 있으나 detachable coil 종류(Cook detachable coil, Pfm Coil 등)가 작은 동맥관을 막는데 널리 쓰이고 있으며, 비교적 큰 동맥관을 막기 위해서는 여러 개의 detachable coil을 이용하거나 Amplatzer duct occluder가 주로 사용되고 일부에서 Gianturco-Grifka vascular occlusion device(GGVOD)가 이용되기도 한다.

성인에서는 동맥관의 석회화나 동반된 전신질환 등으로 인하여 수술보다 비수술적 폐쇄가 안전할 수 있다. 성인에서는 단락양이 적고 용적 과부하 소견이 뚜렷하지 않은 경우라고 하더라도 동맥관의 절대 크기는 작지 않은 경우가 많아서 결손을 막을 때 주의해야 한다. 또한 동맥관이 연결되는 방향 문제로 폐동맥 쪽에서 대동맥으로 관을 통과시키기 어려운 경우가 드물지 않은데 이 때는 대동맥에서 넘긴 wire를 폐동맥 쪽에서 snare한 후 이 wire를 따라 도관을 넘긴다.

최근에는 소아 뿐 아니라 영아에서도 비수술적 폐쇄가 많이 시행되고 있다. 심비대, 체중 증가 부진, 승모판이나 대동맥판 역류 같은 심부전이나 뚜렷한 용적 과부하의 소견이 있으면 영아에서도 비수술적 폐쇄를 고려한다. 이러한 경우에는 동맥관이 적어도 중등도 크기 이상이므로 여러 개의 coil이나 Amplatzer duct occluder 사용을 고려해야 한다. 6개월 이후의 영아는 대동맥 협부가 좁지 않은 한 Amplatzer duct occluder를 이용하는데 대부분 문제가 없으며, 최근에는 영아 초기에서도 비수술적 방법들이 시행되고 있다. 대동맥 협부가 충분하지 않거나 비용 문제 등으로 Amplatzer 기구를 사용하기 어려울 때에는 여러 개의 coil을 사용할 수 있다. 여러 coil을 사용할 때는 색전의 위험을 줄이기 위하여 대동맥과 폐동맥 양쪽에서 동시에 도관을

넘기고 coil을 서로 얽히게 푸는 방법과 모두 대동맥쪽에서 차례로 혹은 동시에 coil을 넣는 방법이 있다.

### 심실 중격 결손의 비수술적 폐쇄

근육부 심실 중격 결손의 비수술적 폐쇄는 1980년대 후반부터 시작되었지만 대상의 제한으로 인하여 널리 적용되지는 못하였다. 근육부 결손이 단독으로 있는 경우에는 성장에 따라 줄어드는 경향을 보이므로 나중에도 단락양이 치료의 대상이 될 정도인 환자가 많지 않다. 반면 의미 있는 여러 개의 결손이 있는 경우에는 심실 중격 결손만 단독으로 있는 경우가 많지 않고 비수술적인 방법으로 결손을 다 막기 어려울 수 있다는 문제가 있다.

막양부 심실 중격 결손에 대해서도 비수술적 폐쇄가 시도되고 있으나 대동맥 판막 손상, 기구의 움직임, 부정맥 등 안전성에 대한 문제가 아직 완전히 확인되지 않은 실정이다.

최근에는 심근 경색 후 발생한 근육부 심실 중격 결손에 대해서도 비수술적 폐쇄를 시도하고 있다<sup>6)</sup>.

심실 중격 결손을 막는 기구로는 심방 중격 결손을 막기 위한 CardioSEAL(NMT Medical, Boston, MA) 혹은 StarFLEX(NMT Medical, Boston, MA) 기구나 Amplatzer septal occluder보다 waist 부위가 다소 긴 Amplatzer VSD occlusion device(AGA Medical, Golden Valley, MN)가 주로 이용되고 있다. 또한 비용 절감과 시술의 간편성을 위하여 작은 근육부 결손이나 막양부 결손에 대해서는 detachable Cook coil(Cook Corp., Bloomington, IN)이나 Pfm coil(Pfm Medical Company, Cologne, Germany)이 이용되기도 한다.

최근에는 막양부 결손을 막기 위한 새로운 기구들이 개발되고 있는데 Amplatzer membranous VSD device는 좌심실 유출로나 대동맥 판막 문제를 유발하지 않도록 좌심실쪽 디스크가 eccentric한 형태를 취한다<sup>7)</sup>. 또한 기존의 Sideris device를 개량하여 심방 혹은 심실 중격 결손을 막기 위한 balloon/patch 기구도 이러한 문제를 줄여줄 수 있다고 기대된다.

### 풍선 판막 성형술 및 고주파를 이용한 시술

폐동맥 판막 협착에 대한 풍선 판막 성형술은 가장 먼저 시행된 비수술적 치료 중 하나로 오늘날에는 나이와 정도에 무관하게 수술에 우선하는 치료법으로 자리잡게 되었다.

결과도 좋아서 대부분 한 번의 시술로 별다른 문제 없이 생활이 가능하다. 최근에는 폐동맥 판막 폐쇄에 대해서도 중재적 시술을 널리 시행하게 되었는데 이 때는 결국 막힌 판막을 통해 어떻게 wire를 통과시키는 지가 관건이 된다. 판막이 막혀서 혈류는 흐르지 않더라도 5 Fr right Judkin 도관을 판막 바로 아래 놓고 끝이 부드러운 0.014" coronary wire를 가볍게 밀면 판막을 통과하는 경우가 있다. 이 방법으로 wire를 통과시킬 수 없으면 0.014" wire의 딱딱한 끝으로 힘주어 밀어볼 수도 있는

데 이 때는 동맥관 통한 조영을 시행하여 주폐동맥의 위치를 확인하고 방향을 정확히 맞추는 것이 중요하다. 최근에는 LASER wire나 radiofrequency wire를 이용하여 보다 효과적으로 막힌 판막을 통과시킬 수 있게 되었다<sup>8)</sup>.

Radiofrequency wire는 전기적 에너지를 사용하므로 물리적인 힘을 가하는 경우보다 보다 효과적이고 안전한 시술이 가능하다. Radiofrequency wire를 이용하면 가해지는 에너지 양에 따라 조직 응고, 단백 변성, 조직의 탈수 증발을 일으킬 수 있다. 판막을 통과시키기 위해서는 부정맥의 고주파 절제 때와는 달리 조직의 증발을 일으킬 정도의 열이 필요하므로 높은 출력(5.7.W)으로 짧게(1.3초) 에너지를 전달해야 주위 조직의 손상을 최소화할 수 있다. 현재 radiofrequency guidewire는 0.018" 혹은 0.014" 굵기로 나와 있으며, radiofrequency guidewire를 따라 판막을 통과시키기 용이한 coaxial catheter가 제품화되어 있다. Radiofrequency wire는 막힌 판막 외에도 막힌 말초 혈관이나 근육부 심방 증격을 뚫는 데도 이용할 수 있다.

대동맥 판막 협착에 대한 풍선 판막 성형술은 폐동맥 판막 협착 때와는 달리 수술을 피할 수 있는 치료라기 보다는 수술 시기를 늦출 수 있는 보조적인 시술이라고 할 수 있다. 연장 소아나 청소년에서는 고동맥을 통한 시술이 별 문제되지 않지만 대동맥 협착이 심한 신생아나 영아에서는 혈관 손상의 위험이 높다. 특히 신생아에서는 혈관 손상 등의 문제로 인해 제대정맥이나 고정맥, 혹은 우측 경동맥을 통해 시술한다. 경동맥을 통한 시술은 풍선 도관을 통과시키는데 용이하지만 뇌색전이나 경동맥 협착에 대한 우려가 남아 있다. 근래에는 풍선 도관을 부풀릴 때 좌심실 유출로 혈류에 의해 도관 위치가 불안정해지는 점을 줄이기 위해 풍선을 부풀리기 직전에 adenosine을 주어서 서맥을 유발하거나<sup>9)</sup> 빠른 속도로 심박조율 하다가 멈추어 맥박이 느려질 때 시술하기도 한다.

### 스텐트를 이용한 혈관 협착의 비수술적 치료

폐동맥이나 대동맥 협착은 먼저 풍선 혈관 성형술로 넓혀주지만 elastic recoil이나 협착 부위가 길어서 풍선 혈관 성형술에 적합하지 않은 경우에는 스텐트 사용을 고려하게 된다. 스텐트 재확장이 가능하다고 보고된 바는 있으나 성장이 계속 이루어지는 소아에서는 기본적으로 가능하면 스텐트 사용을 피하도록 한다. 폐동맥 쪽에 스텐트 삽입이 필요한 질환들은 주로 활로사징이나 심실 증격 결손을 동반한 폐동맥 폐쇄 같은 폐동맥 판막 이상을 흔히 동반하므로 스텐트를 삽입하면 이 부위가 성장에 따라 좁아지게 된다(outgrowth)고 하더라도 폐동맥 판막 삽입술 같은 다음 수술 시까지 시간적 여유를 얻는다는 장점이 있을 수 있다. 반면 다른 문제가 없는 대동맥 협착의 경우에는 환자가 성장함에 따라 스텐트 삽입부가 협착으로 남게 되는 점을 고려해야 하며 대개 체중 50 kg 이상이면 outgrowth 문제를 크게 염려하지 않아도 좋다.

스텐트 삽입을 고려할 때는 스텐트 삽입과 관련된 합병증을 수술의 장단점과 비교해 보아야 한다. 대동맥 축착에 대한 스텐트 삽입과 관련된 합병증은 6-18% 정도<sup>10, 11)</sup>로 보고되고 있으며 흉부 대동맥류, 풍선 파열로 인한 스텐트 이동이나 파열된 풍선 조각의 색전, 후복막 혈종 등의 문제가 생길 수 있다. 풍선 파열을 줄이기 위해서는 풍선 길이가 스텐트 길이와 같거나 약간 짧은 정도로 하고 풍선을 부풀리는 동안 exchange wire를 가능한 일직선으로 유지하도록 한다.

폐동맥이나 대동맥에 삽입되는 스텐트는 주로 Palmaz stent가 사용되어 왔으나 최근에는 Palmaz stent 정도의 우수한 radial force를 유지하면서도 더 잘 휘어지거나(flexible) 확장 시 줄어드는 정도가 적은 스텐트들이 개발되고 있다. NuMED CP stent(NuMED, Nicholville, NY)는 Palmaz stent에 비해 보다 잘 휘어지고 스텐트 양끝이 둥근 형태로 되어 있어서 풍선 도관의 파열이나 혈관 손상을 줄일 수 있도록 되어 있다<sup>12)</sup>.

Genesis stent(Cordis, Warren, NJ)도 Palmaz stent에 비해 풍선 도관에 장착하기 용이하고 작은 delivery system을 사용하므로 소아에서 사용이 편리하며 재확장이 잘 된다고 보고되었다<sup>13)</sup>. 스텐트 장착시 드물지 않게 일어나는 풍선 파열은 풍선의 양끝이 먼저 부풀려지면서 스텐트 양끝에 눌리면서 발생하는데 스텐트 이동이나 파열된 풍선 조각의 색전 등을 유발할 수 있다. NuMED balloon-in-balloon catheter(NuMED, Nicholville, NY)는 안쪽의 보다 짧고 작은 balloon이 먼저 부풀려지면서 풍선 가장자리가 나팔처럼 나오지 않는 상태에서 스텐트를 부분적으로 팽창시켜 이러한 풍선 파열을 막을 수 있다<sup>12)</sup>.

한편 일반적인 풍선 혈관 성형술에 반응하지 않는 심한 폐동맥 분지 협착이 있는 소아에서 cutting balloon을 사용하여 좋은 결과가 보고되기도 하였다<sup>14)</sup>.

만성 폐색전-전색에 의한 폐동맥 고혈압은 pulmonary thromboendarterectomy가 원칙이지만 이런 치료를 하기 어려운 경우에는 풍선 혈관 성형술을 시도할 수도 있다. Feinstein 등<sup>15)</sup>은 완전히 막히거나 filling defect 혹은 intravascular web 소견을 보이는 폐동맥 분지들을 풍선도관으로 넓혀서 폐동맥 고혈압이 감소되고 증상이 호전된 경우를 보고하였다.

### 경피적 폐동맥 및 대동맥 판막 삽입

폐동맥관 역류는 활로씨사징이나 우심실과 폐동맥 사이에 valved conduit 삽입이 필요한 많은 질환에서 흔히 보이는 소견이다. 심한 폐동맥관 역류가 지속되면 결국 우심실 부전, 부정맥 및 관련 임상 증상을 보이고 폐동맥관 삽입을 필요로 한다. 지금까지는 수술적인 방법으로 폐동맥 판막을 삽입하였으나 최근 경피적인 폐동맥 판막 삽입이 성공적으로 시행되어 새로운 시도로 각광 받고 있다.

Bonhoeffer 등<sup>16, 17)</sup>은 native valve를 포함하는 fresh bovine jugular vein을 풍선 확장이 가능한 스텐트에 연결하고 gluta-

raldehyde로 처리한 후 경피적으로 도관을 통해 폐동맥관 위치에 삽입하여 성공적인 결과를 보고하였다. 이러한 방법은 협착과 역류가 동시에 있는 경우에도 효과적으로 이용될 수 있다. 현재 이러한 경피적 폐동맥 판막 삽입술은 도관(conduit)의 크기와 유순도, 환자의 체중에 제한을 받는다. 삽입으로 된 bovine jugular vein valve는 크기에 제한이 있어서 다소 oversize 될 수 있다고 하더라도 22 mm 이상의 도관에 장착하면 역류가 발생한다. 한편 18 Fr 전후의 큰 delivery system을 이용하므로 체중이 적어도 24 kg 정도는 되어야 이같은 시술을 시행할 수 있다.

단기적으로는 좋은 성적이 보고되었지만 아직까지 장기적인 예후에 대한 자료는 없다. 현재 도관 크기나 큰 delivery system에 의한 크기 제한 등의 문제를 극복하기 위하여 동물의 판막이 아니라 합성한 판막을 이용한 valved stent<sup>18)</sup> 등이 개발되고 있으나 아직까지 생체에서의 장기적인 결과는 없는 형편이다.

같은 원리를 바탕으로 경피적 대동맥 판막 삽입도 시도되고 있으나<sup>19)</sup> 대동맥 판막을 통한 이완기 압력 차이는 폐동맥 판막을 통한 압력 차이보다 크고, stent-based valve가 관상 동맥 입구를 막거나 혈전을 유발할 수 있다는 점, 경피적 판막 삽입에 필요한 큰 delivery system으로 인해 동맥에서의 혈관 손상 위험이 높다는 점 등을 고려할 때 더욱 어려운 시술이라 할 수 있다. 그러나 경피적 대동맥 판막 삽입이 실용화 된다면 심한 폐동맥 판막 역류를 손쉽게 치료할 수 있을 뿐 아니라 판막 협착도 보다 적극적으로 치료할 수 있게 되므로 기대되는 분야이다.

### 단심실에서의 중재적 치료

단심실 질환에 대한 치료 원칙은 센터마다 조금씩 다를 수 있지만 일반적으로 세 단계의 수술을 거쳐 일종의 definitive palliation인 폰탄 수술을 하게 된다. 첫 단계 수술의 목표는 대동맥 혈류는 협착 부위 없이 잘 유지되고, 폐혈류는 폐동맥 압력이 증가되지 않을 수준에서 적절한 정도가 되며, 체정맥 및 폐정맥 혈류가 심실로 유입되는데 협착이 없도록 해주는 것이다. 흔히 폐혈류가 증가된 경우에는 폐동맥 교약술을, 심하게 감소된 경우에는 체-폐 동맥간 단락술을 시행하며, 폐정맥 협착이 심하거나 심방 중격 결손이 작아서 문제가 되는 경우에는 이를 넓혀주는 수술을 같이 시행한다. 다른 문제없이 적절한 폐동맥 협착이 있으며 첫 단계 수술이 필요하지 않을 수도 있다. 두 번째 단계로는 대략 생후 6개월 전후에 양방향성 상대정맥-폐동맥 문합술을 시행하며, 마지막으로 하대정맥 및 간정맥 혈류를 폐동맥에 연결함으로써 폰탄 수술을 완성하게 된다.

단심실에서의 중재적 치료는 주로 첫 단계 수술 전후나 폰탄 수술 후에 필요하게 된다. 단심실에서 필요하거나 시행할 수 있는 시술로는 ① 삼첨판 폐쇄나 좌심 형성 부전 증후군에서 작은 심방 중격 결손으로 인해 체혈류나 폐혈류의 심실 유입에 장애가 있을 때 시행하는 풍선 심방 중격 절개술, ② 심한 폐동맥

협착이 있을 때 시행할 수 있는 풍선 판막 성형술, ③ 체혈류 혹은 폐혈류를 유지하기 위한 동맥관 스텐트 삽입술, ④ 일차 수술 후 좁아진 폐동맥이나 잔존 대동맥 축착 및 좁아진 체-폐동맥 단락을 넓히기 위한 풍선 혈관 성형술, ⑤ 주로 폰탄 수술 후 남아 있는 폐동맥 협착에 이용되는 풍선 혈관 성형술 및 스텐트 삽입술, ⑥ 이차 혹은 삼차 수술 전 주로 시행하는 대동맥-폐동맥 간 측부혈관 폐쇄, ⑦ 이차 혹은 3차 수술 전후에 주로 시행하는 정맥-정맥 간 측부혈관 폐쇄, ⑧ 폰탄 수술 시 만들어진 개창(fenestration)의 폐쇄, ⑨ 폰탄 수술 후 폰탄 경로 내 압력 증가로 문제가 되는 경우 시행하는 fenestration 만들기 등을 들 수 있다.

### 난원공 확장 혹은 심방 중격 결손 생성

삼첨판 폐쇄나 좌심 형성부전 증후군 환자에서 심방 중격 결손은 체순환 혹은 폐순환 된 혈류가 지나는데 필수적인 통로가 되므로 이 때 심방 중격 결손이 작으면 심각한 혈액학적 문제가 발생할 수 있다. 심실 중격 결손이 없는 대혈관 전위에서 많이 이용되는 풍선 심방 중격 절개술은 신생아기에는 효과적일 수 있으나 신생아기 이후나 태아기부터 오랫동안 난원공이 작았던 경우에는 효과가 없는 경우가 많고 때로는 심방 사이의 교통이 전혀 없어서 wire 자체가 통과되지 않을 수도 있다. 이 때는 Brockenbrough septal needle로 심방 중격을 통과한 다음 blade 혹은 balloon septostomy를 하거나 static balloon으로 점차 늘려주는 방법을 주로 이용해 왔으나 이런 방법은 특히 좌심방이 작은 경우에는 여러 가지 합병증을 유발할 수 있다<sup>20)</sup>.

최근에는 radiofrequency wire를 사용하여 심방 중격을 통과한 다음 가운데 fenestration이 있는 Amplatzer septal occluder device를 심방 중격에 장착시켜서 효율적으로 심방 사이의 통로를 만드는 방법이 시도되고 있다<sup>21)</sup>. Fenestrated Amplatzer ASD device는 가운데 일정 크기의 구멍이 있고, 이 구멍을 풍선 도관으로 넓히는 과정이 필요하다는 점 외에는 일반적인 Amplatzer septal occluder와 유사한 형태를 하고 있고 장착 방법도 유사하다. Fenestrated Amplatzer ASD device는 Fontan 수술 후 fenestration을 넓히거나 만들 필요가 있는 환자 및 실신이 반복되는 일차성 폐동맥 고혈압 환자에서도 사용할 수 있다. Fenestrated Amplatzer ASD device 외에도 스텐트를 넣어서 심방 사이의 교류를 유지시켜줄 수도 있다.

### 경피적 폐동맥 교약술

폐동맥 교약술은 조기 교정 수술이 가능해지면서 널리 사용되는 않는 수술이지만 아직도 한 번에 교정이 어려운 여러 개의 심실 중격 결손이 있거나 폐동맥 협착이 없는 단심실 환자에서는 필요한 수술이다.

비수술적 폐동맥 교약술은 동맥을 감싸는 압박대를 스크류 기

진으로 조여 주는 몇 가지의 기구가 시도되었으나 실용화되지는 못했고, 최근에는 흉골 절개나 흉강경(thoracoscope)을 통해 삽입한 후 올라가미 기진으로 동맥을 조이는 새로운 기구들이 시도되었으나<sup>22)</sup> 역시 상용화되지는 않고 있는 실정이다.

Mitchell 등<sup>23)</sup>은 좌심 형성부전 증후군 환자에서 self-expanding, fenestrated nitinol device를 경피적으로 양쪽 폐동맥에 삽입하여 일종의 폐동맥 분지 교약술을 시행하면서 동맥관에는 스텐트를 삽입함으로써 Norwood stage I에 해당하는 비수술적 치료를 시행하였다. 또한 낙하산 혹은 깔때기 형태의 covered stent를 폐동맥이나 대동맥-폐동맥간 측부 혈관, 동정맥류, 동맥류 등에 삽입하면 그 곳을 통한 혈류를 제한하여 일종의 내부 교약술을 시행하는 효과를 얻을 수 있다<sup>24)</sup>.

### 동맥관 스텐트 삽입술

좌심 형성부전 증후군 같은 동맥관 의존성 선천성 심질환에서는 동맥관을 유지하기 위해 prostaglandin E1(PGE1)을 사용하고 결국 체-폐동맥간에 단락술이 필요하게 된다.

심장 이식 때까지 PGE1 없이 장기적으로 동맥관을 유지하기 위한 방법으로 동맥관에 스텐트를 삽입하는 방법이 시행되었다<sup>25)</sup>. 좌심 형성부전 증후군에서는 동맥관에 스텐트를 넣고 폐동맥 분지에서 경피적 폐동맥 교약술을 시행하면 전통적인 Norwood stage I 수술과 같은 효과를 얻을 수 있다<sup>23)</sup>. 동맥관 스텐트 삽입술은 폐동맥 폐쇄나 심한 활로씨사정 같은 동맥관의 의존성 폐혈류 질환에서도 단락술을 피하기 위해 이용할 수 있다.

동맥관 의존성 심질환에서 동맥관을 통과하는 조작은 동맥관의 심한 수축이나 손상을 피하기 위해 0.014" 혹은 0018" guidewire를 통해 매우 조심스럽게 시행해야 한다.

동맥관에 넣는 스텐트는 동맥관 전장을 덮어야 하며 대동맥이나 폐동맥 쪽으로 많이 튀어나오면 혈류 장애를 유발할 수 있으므로 주의해야 한다. 때로는 스텐트가 주기관지를 눌러서 문제가 될 수도 있다.

동맥관 스텐트 삽입에는 먼저 Palmaz stent가 이용되었으나 성공적인 스텐트 삽입 후에도 스텐트 사이의 articulation을 통해 막히는 경우가 있어서 문제가 될 수 있다. 최근에는 covered Jo stent(JoMed, Sweden)나 Saxx stent(Devon, Germany)를 사용하여 좋은 결과가 보고되었고, self-expanding stent를 사용하면 동맥관을 풍선으로 막지 않고도 스텐트를 삽입할 수 있다.

### 경피적 폰탄 술식

Hausdorf 등<sup>26)</sup>은 Norwood stage I 수술을 받은 좌심 형성부전 증후군 환자에서 수술과 중재적 치료를 병합한 경피적 폰탄 술식을 발표하였다. 이들은 이차 수술인 양방향성 상대정맥-폐정맥 문합술을 hemi-Fontan 형태로 하면서 하대정맥과 우폐동맥 사이를 perforated baffle로 연결하여 하대정맥 혈류가 우

심실로 흐르게 한다. 나중에 막혀 있는 상대정맥과 우심방 연결부를 스텐트 혹은 풍선 도관으로 열어주고 baffle의 fenestration들을 코일로 막아주면 경피적으로 total cavopulmonary connection을 완성할 수 있다. 혹은 하대정맥에서 우측 폐동맥까지를 긴 covered stent(NuMed ePTFE Covered CP Stent)로 연결해주어도 같은 효과를 얻을 수 있다(Cheatham et al, the Pediatric Intervention Cardiology Symposium IV in 2002).

### 관상동맥 이상을 가진 소아에서의 중재적 치료

소아에서 관상동맥 이상을 보일 수 있는 질환으로는 가와사키병이 대표적이며, 대혈관 전위에 대한 대혈관 치환술 혹은 좌측 관상동맥의 폐동맥 이상 기시 수술 후 등의 경우에 관상동맥 협착이나 폐쇄 등을 간혹 볼 수 있고, 심장 이식 후에도 관상동맥 이상이 잘 올 수 있다.

가와사키병 후 관상동맥 변화는 처음 수 년 이내에 많이 일어나고 그 후에는 서서히 변화하며 시간이 오래 지날수록 석회화 등으로 일반적인 풍선 관상동맥 성형술에 잘 반응하지 않는다는 점을 고려해야 한다. 또한 소아에서는 주요한 관상동맥이 막히더라도 측부혈관이 잘 발달하고, 특히 우측 관상동맥은 완전히 막힌 후에도 recanalization이 되는 경우가 드물지 않아서 증상과 관상동맥 이상 정도가 비례하지 않는 경우가 많다.

가와사키병에서 관상동맥 협착이 있으면서 심근 허혈 증상이 있을 때, 허혈 증상이 없더라도 부하 검사에서 심근 허혈 소견을 보일 때, 혹은 허혈 소견이 없더라도 좌전하행동맥의 심한 협착 같이 급사의 위험이 있는 경우에 치료를 고려한다. 중재적 치료는 협착이 심하되(대개 75% 이상) 긴 부위나 여러 혈관을 침범하지 않은 짧고 국소적인 협착인 경우에 주로 시행하며 입구 협착(ostial stenosis)이 아닌 경우를 대상으로 한다. 관상동맥에 대한 중재적 시술로는 percutaneous transluminal coronary angioplasty(PTCA), coronary rotational ablation, atherectomy, stent implantation 및  $\beta$ -radiation brachytherapy 등이 있으며 환자의 연령, 관상동맥 이상의 양상 등에 따라 적절한 방법을 선택한다. PTCA는 심한 석회화가 없는 비교적 어린 소아에서(주로 질병 앓은 후 6-8년 이내) 일차적으로 적용되는 방법이다. 5-6 French guiding catheter 통하여 시술이 가능하므로 혈관 손상의 위험이 낮다. 스텐트 삽입은 주로 13세 이후의 연장 소아나 청소년에서 사용하며 석회화가 심한 경우에는 대개 도움이 되지 않는다. 거대 관상동맥류로 인해 관상동맥 혈류에 불균형이 있는 경우에도 스텐트를 삽입할 수 있다. 석회화가 심한 경우에는 rotablator를 주로 이용하며 atherectomy는 합병증의 위험이 높아서 잘 사용되지 않는다<sup>27, 28)</sup>.

심장이식 후 발생한 관상동맥 협착에 대한 중재적 시술은 근본적인 해결책이 될 수는 없지만 재이식을 기다리는 동안 환자가 보다 안전하고 증상이 완화된 상태에서 지낼 수 있게 해줄 수 있다<sup>29)</sup>.

### 신생아, 저체중아 및 태아에서의 중재적 치료

최근에는 기구의 소형화 및 중재적 치료에 대한 축적된 경험을 바탕으로 체중이 작은 신생아에서도 중재적 시술이 시도되고 있다. 한편으로는 신생아에서의 심장 수술도 점차 보편화되어 가고 있으므로 다른 경우와 마찬가지로 중재적 치료의 장단점을 조기 수술의 위험도와 비교하여 치료 방침을 신중하게 선택해야 한다.

저체중아나 신생아에서 중재적 치료 시에는 특히 접근 혈관의 손상과 체온 유지 문제가 어려운 점이라고 할 수 있다. 흔하지는 않으나 부정맥이나 심장 천공도 좀 더 큰 환자보다 잘 올 수 있고 시술 관련 사망의 원인이 될 수 있다. 출혈이나 체중에 비해 많은 양이 사용되는 조영제 관련 문제도 상대적으로 잘 올 수 있다. 이러한 문제들을 줄이기 위해서는 기관 삽관 후 환자를 충분히 안정시킨 상태에서 심도자를 시행하고, 체온 유지를 위해 warmer를 사용하며, 환자의 대사 및 호흡 상태 파악을 위해 주기적인 혈액 가스 분석을 하면서 혈액 소실에 대해 주의한다. 혈관 손상을 줄이기 위해 가능한 작은 도관이나 sheath를 사용하며, 심장이나 혈관의 천공을 피하기 위해 floppy tip wire를 사용한다. 시술 시간, 조영제 양 및 심도자 관련 합병증을 줄이기 위해 꼭 필요하지 않은 혈관 조영이나 혈액학 자료 측정은 피하도록 한다.

신생아에서는 가능하면 제대정맥을 이용한다. 만삭아에서는 제대정맥을 통해 8 French sheath를 넣을 수 있고<sup>30)</sup>, 1 kg 미만의 매우 작은 신생아에서도 3-4 French sheath를 넣는 데는 문제가 없다. 동맥 쪽의 접근이 필요할 때도 대퇴동맥의 손상을 줄이기 위해 가능하면 제대동맥을 이용한다. 매우 작은 신생아에서도 3-4 French pigtail catheter는 제대동맥을 통해 무리 없이 넣을 수 있으나 제대동맥의 경로 문제로 인해 sheath는 넣을 수는 없다. 대퇴동맥을 통해 심도자를 할 때는 적극적인 heparin 사용이 필요하지만 복부나 뇌실 내 출혈에 유의해야 한다.

저체중아 군에서 주로 시행되는 중재적 치료로는 풍선 판막 성형술, 풍선 심방 중격 절개술 및 대동맥 축착에 대한 풍선 혈관 성형술을 들 수 있다. 폐동맥 판막 혹은 대동맥 판막에 대한 풍선 판막 성형술은 신생아나 영아에서는 이미 널리 쓰이는 효과가 입증된 치료법이며 특히 폐동맥 판막에 대해서는 저체중아에서도 큰 문제 없이 시행이 가능하다. 심한 대동맥 판막 협착 시에는 만삭아에서와 마찬가지로 1 kg 전후의 저체중아에서도 제대혈관 및 우측 경동맥을 이용할 수 있다<sup>31)</sup>. 최근에는 1 kg 미만의 대동맥 축착을 가진 신생아에서도 풍선 혈관 성형술이 성공적으로 시행된 바 있으나 일반적으로 신생아에서의 대동맥 치료에 대한 비수술적 치료에 대해서는 많은 논란이 있다.

동맥관 개존의 비수술적 치료도 2.0 kg 전후의 신생아에서까지 시행되었으나<sup>31)</sup> 동맥관 개존은 미숙아에서도 수술의 위험도가 거의 없다는 점을 고려해야 한다.

근래에는 저체중아에서 더 나아가 심각한 선천성 심질환을 가진 태아에서의 중재적 심도자도 시도되고 있고 대동맥 판막 협착을 가진 태아에서의 풍선 확장술이 성공된 경우도 있지만<sup>32)</sup> 아직까지는 대부분 좋은 결과를 얻지 못하였다.

### 실시간 자기공명영상을 이용한 심도자

최근 매우 빠르게 영상을 얻는 기술적인 발전을 통해 자기공명영상은 진단적인 목적 뿐 아니라 치료적인 면에도 이용될 수 있게 되었다<sup>33)</sup>. 자기공명투시영상을 이용한 방법은 무엇보다 방사선 노출을 피할 수 있다는 장점이 있어서 오랜 시간을 요하는 중재적 심도자와 부정맥에 대한 고주파 절제술에 특히 도움이 될 수 있다. 또한 중재적 치료 전후의 혈관 혹은 심장 내 영상들을 고해상도로 확인하고, 생리적인 혹은 기능적인 지표들을 얻을 수 있어서 향후 기대되는 분야이다.

### 참 고 문 헌

- 1) Carminati M, Giusti S, Hausdorf G, Qureshi S, Tynan M, Witsenburg M, et al. A European multicentric experience using the CardioSEAL and Starflex double umbrella devices to close interatrial communications holes within the oval fossa. *Cardiol Young* 2000;10:519-26.
- 2) Zahn EM, Wilson N, Cutright W, Latson LA. Development and testing of the Helex septal occluder, a new expanded polytetrafluoroethylene atrial septal defect occlusion system. *Circulation* 2001;104:711-6.
- 3) Sideris EB, Kaneva A, Sideris SE, Mouloupoulos SD. Transcatheter atrial septal defect occlusion in piglets by balloon detachable devices. *Catheter Cardiovasc Interv* 2000;51:529-34.
- 4) Harper RW, Mottram PM, McGaw DJ. Closure of secundum atrial septal defects with the Amplatzer septal occluder device: techniques and problems. *Catheter Cardiovasc Interv* 2002;57:508-24.
- 5) Meier B, Lock JE. Contemporary management of patent foramen ovale. *Circulation* 2003;107:5-9.
- 6) Pienvichit P, Piemonte TC. Percutaneous closure of post-myocardial infarction ventricular septal defect with the CardioSEAL septal occluder implant. *Catheter Cardiovasc Interv* 2001;54:490-4.
- 7) Gu X, Han YM, Titus JL, Amin Z, Berry JM, Kong H, et al. Transcatheter closure of membranous ventricular septal defects with a new nitinol prosthesis in a natural swine model. *Catheterization and Cardiovascular Interventions* 2000;50:502-9.
- 8) Litvack F, Grundfest WS, Papaioannou T, Mohr FW, Jakubowski AT, Forrester JS. Role of the laser and thermal ablation devices in the treatment of vascular disease. *Am J Cardiol* 1988;61:81G-86G.
- 9) De Giovanni JV, Edgar RA, Cranston A. Adenosine induced transient cardiac standstill in catheter interventional procedures for congenital heart disease. *Heart* 1998;80:330-3
- 10) Ledesma M, Alva C, Gomez FD, Sanchez-Soberanis A.

- Diaz y Diaz E, Benitez-Perez C, et al. Results of stenting for aortic coarctation. *Am J Cardiol* 2001;88:460-2.
- 11) 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* 2001;38:1518-23.
  - 12) Cheatham JP. Stenting of coarctation of the aorta. *Cathet Cardiovasc Intervent* 2001;54:112-25.
  - 13) Forbes TJ, Rodriguez-Cruz E, Amin Z, Benson LN, Fagan TE, Hellenbrand WE, et al. The genesis stent: A new low-profile stent for use in infants, children, and adults with congenital heart disease. *Cathet Cardiovasc Intervent* 2003;59:406-14.
  - 14) Schneider MBE, Zartner PA, Magee AG. Cutting balloon for treatment of severe peripheral pulmonary stenoses in a child. *Heart* 1999;82:108.
  - 15) Feinstein JA, Goldhaber SZ, Lock JE, Ferndandes SM, Landzberg MJ. Balloon pulmonary angioplasty for treatment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Circulation* 2001;103:10-3.
  - 16) Bonhoeffer P, Boudjemline Y, Saliba Z, Hausse AO, Aggoun Y, Bonnet D, et al. Transcatheter implantation of a bovine valve in pulmonary position: a lamb study. *Circulation* 2000;15:813-6.
  - 17) Bonhoeffer P, Boudjemline Y, Qureshi S, Le Bidois J, Iserin L, Acar P, et al. Percutaneous insertion of the pulmonary valve. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:1664-69.
  - 18) Paniagua D, Induni E, Ortiz C, Mejia C, Lopez-Jimenez F, Fish RD. Images in cardiovascular medicine. Percutaneous heart valve in the chronic in vitro testing model. *Circulation* 2002;106:e51-e52.
  - 19) Lutter G, Kuklinski D, Berg G, Von Samson P, Martin J, Handke M, et al. Percutaneous aortic valve replacement: an experimental study, I: studies on implantation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002;123:768-76.
  - 20) Atz AM, Feinstein JA, Jonas RA, Perry SB, Wessel DL. Preoperative management of pulmonary venous hypertension in hypoplastic left heart syndrome with restrictive atrial defect. *Am J Cardiol* 1999;83:1224-8.
  - 21) Amin Z, Danford DA, Pedra CA. A new Amplatzer device to maintain patency of Fontan fenestrations and atrial septal defects. *Catheter Cardiovasc Interv* 2002;57:246-51.
  - 22) Le Bret E, Bonhoeffer P, Folliguet TA, Sidi D, Laborde F, de Leval MR, et al. A new percutaneously adjustable thoracoscopically implantable, pulmonary artery banding: an experimental study. *Ann Thorac Surg* 2001;72:1358-61.
  - 23) Mitchell MB, Campbell DN, Boucek MM, Sondheimer HM, Chan KC, Ivy DD, et al. Mechanical limitation of pulmonary blood flow facilitates heart transplantation in older infants with hypoplastic left heart syndrome. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 2003;23:735-42.
  - 24) Levi DS, Sim JY, Myers J, et al. In vivo testing of a novel parachute-stent for adjustable vessel occlusion. Presented at the 6th Annual Pediatric Interventional Cardiac Symposium (PICS-VI). *Catheter Cardiovasc Interv* 2002;57:110.
  - 25) Ruiz CE, Gamra H, Zhang HP, Garcia EJ, Boucek MM. Stenting of the ductus arteriosus as a bridge to cardiac transplantation in infants with hypoplastic left heart syndrome. *N Eng J Med* 1993;328:1605-8.
  - 26) Hausdorf G, Schneider M, Konertz W. Surgical preconditioning and completion of total cavopulmonary connection by interventional cardiac catheterization: a new concept. *Heart* 1996;75:154-9.
  - 27) Akagi T, Ogawa S, Ino T, Echigo S, Kishida K, Baba K, et al. Catheter interventional treatment in Kawasaki disease: a report from the Japanese Pediatric Interventional Cardiology Investigation group. *J Pediatr* 2000;137:181-6.
  - 28) Ishii M, Ueno T, Akagi T, Baba K, Harada K, Hamaoka K, et al. Research committee of ministry of health, labour and welfare. Guidelines for catheter intervention in coronary artery lesion in Kawasaki disease. *Pediatrics International* 2001;43:558-62.
  - 29) Shaddy RE, Revenaugh JA, Orsmond GS, Tani LY. Coronary interventional procedures in pediatric heart transplant recipients with cardiac allograft vasculopathy. *Am J Cardiol* 2000;85:1370-72.
  - 30) Appleton RS, Jureidini SB, Balfour IC, Nouri S. Venous sheath to facilitate cardiac catheterization via the umbilical vein. *Am Heart J* 1992;124:1392-3.
  - 31) Schneider DJ, Moore JW. Interventional cardiac catheterization in very small infants. *Progress in Pediatric Cardiology* 2001;14:27-33.
  - 32) Allan LD, Maxwell DJ, Carminati M, Tynan MJ. Survival after fetal aortic balloon valvuloplasty. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1995;5:90-1.
  - 33) Lardo AC. Real-time magnetic resonance imaging: diagnostic and interventional applications. *Pediatr Cardiol* 2000;21:80-98.