Extracorporeal Life Support Organization (ELSO)
General Guidelines for all ECLS Cases
August, 2017

서론

본 진료지침은 **모든 연령의 심부전** 또는 **호흡부전 환자**에게 적용할 수 있는 장기간의 체외순환 생명보조장치(Extracorporeal Life Support, ECLS)에 대해 다룬다. 환자 범주에 대한 보다 구체적인 내용은 연관된 진료지침을 동일하게 적용한다.

ELSO에서 마련한 본 진료지침은 폭넓은 임상경험을 토대로 ECLS 적용 시 유용하고 안전한 방안에 대하여 기술하고 있다. ELSO 운영위원회의 검증을 받은 합의 도출된 권고안으로, 근거 기반의 진료지침들을 토대로 기술된 ELSO Red Book을 참조하였다. 본 지침은 표준진료지침으로 제작된 것은 아니며, 새로운 의료 정보와 의료기기, 약물, 의료기술의 변화에 따라 정기적으로 개정된다.

이번 진료지침의 배경, 근거, 참고문헌은 ELSO에서 발행한 'Extracorporeal Life Support: The ESO Red Book, 5th Edition, 2017'에 수록되어 있다. 본 지침은 ECLS 치료 시 필요한 장비와 환자 관리에 대해 다루고 있지만, 인력, 교육, 자격인증 및 평가, 자원, 후속 진료, 보고 및 질 평가와 같은 문제는 병원별로 차이가 있고 여기에서는 다루지 않는다.

참조:

ELSO Guidelines for Cardiopulmonary Extracorporeal Life Support
Extracorporeal Life Support Organization, Version 1.4, August 2017
Ann Arbor, MI, USA
www.elso.org

Translated and Validated:

Hwa Jin Cho, Do Wan Kim, Cho Hee Lee, Ji Seon Lee, Min Jeong Cho, In Seok Jeong
Chonnam National University Hospital and Medical School

번역 및 감수:

조화진, 김도완, 이지선, 조민정, 이초희, 정인석
전남대학교병원, 전남대학교 의과대학

목차

I. 환자 상태 (11, 19, 29, 37, 44장)....4

A. 적응증....4

B. 금기사항....4

C. 특정 환자 고려사항....4

II. 체외 회로 (4, 5장)....4

A. 회로 구성 요소의 선택 기준....4

1. 심기능 보조를 위한 혈류....5

2. 호흡부전시 혈류 및 가스교환 (VA 또는 VV)....5

B. 회로 구성 요소....5

C. 펌프....5

1. 유입구(흡입) 압력....5

2. 유출구 압력....6

3. 전원 장애....6

4. 용혈....6

D. 막형 산화기 (4, 5장)....6

E. 가스 유량 / 스위프 가스....7

F. 회로 프라이밍....7

G. 열 교환기....8

H. 모니터....8

I. 알람....9

J. 혈액 튜브....9

K. 응급 상황 시 회로 준비....9

III. 혈관 접근 (4, 12, 20, 30, 38, 47장)....9

A. 혈관 접근 모드....10

B. 캐뉼라....10

C. 캐뉼라 삽입....10

1. 방법....10

2. 캐뉼라 삽입 기술....10

3. 원위부 혈관의 관리....11

4. 캐뉼라 추가 또는 교체....12

IV. ECLS 적용시 관리 (4, 5, 14, 22, 32, 40, 49장)....12
A. 회로 관련....12
1. 혈류....12
2. 산화기....12
3. 이산화탄소 제거....13
4. 항응고제(6, 7, 8장)....13
5. 회로 모니터, 알람 및 안전(4, 5장)....15
6. 구성요소와 회로변경....17
7. 이동(66장)....17
B. 환자 관련 관리(4, 5, 14, 22, 32, 40, 49장)....17
1. 혈역학....17
2. 환기....18
3. 진정....19
4. 혈액량, 체액 균형 및 혈색소(8, 41, 62장)....20
5. 체온....21
6. 신장 및 영양 관리(4, 41, 62장)....21
7. 감염 및 항생제....21
8. 체위....21
9. 출혈(7장)....21
10. 시술(6장)....23
V. 이탈, 중단 시도, 무의미함으로 인한 ECLS의 중단 (4, 16, 24, 34, 42, 51장)....24
A. 이탈....24
B. 중단 시도....24
C. 캐뉼라 제거....25
D. 무의미함으로 인한 보조 치료 중단....25
VI. 환자 및 질병 관련 프로토콜....25
VII. 예상되는 결과 (환자 및 질병 범주별)....25

ECLS란 심폐부전 상태에서 장기의 회복이나 이식 전까지 일시적으로(수일에서 수개월) 심장 또는 폐 기능(선택적 또는 완전보조)을 기계 장치를 사용하여 보조하는 것이다. 본 지침을 뒷받침하는 문헌, 근거는 ELSO Red Book에 수록되어 있으며, 제5판 Red Book(한국어 번역판도 동일)에서 참조한 내용에 해당하는 장을 'x장'으로 표기하였다.

I. 환자 상태 (11, 19, 29, 37, 44장)

A. 적응증

ECLS의 주요 적응증은 최적의 기존 치료에도 불구하고 진행하는 사망률이 높은 급성 중증 심부전 또는 폐부전이다. 50%의 사망률이 예상되는 경우 ECLS 적용을 고려해 볼 수 있으며, 기존 치료만으로는 80%의 사망률이 예상된다면 대게 ECLS의 치료 적응증에 해당한다. 질병의 중증도와 사망률은 연령과 질환에 따라 적절한 평가 기준으로 가능한 한 정확하게 평가한다. 자세한 내용은 질환별 진료지침을 참고하기를 바란다. 광범위 기관지 폐포 세척 시, 기관 또는 종격동 수술 시, 시술 중 관상동맥 폐색이 발생하는 경우와 같이 일시적으로 심장이나 폐가 기능을 할 수 없는 경우, 이를 보조하기 위해 시술 및 수술 전 미리 계획하여 ECLS 적용이 가능한 적응증에 해당한다.

B. 금기사항

대부분의 금기사항은 절대적이지 않고 시술의 위험성(다른 환자에게 사용하지 못하는 상황과 같은 자원배분의 문제 포함)과 잠재적 이점을 고려하여 ECLS의 적용을 고려한다. 상대적인 금기사항은 다음과 같다.

1) 환자가 회복하더라도 정상적인 삶을 영위할 수 없는 상태
2) 삶의 질에 영향을 미치는 기존 질환(중추신경계 질환, 말기 암, 항응고제 사용 시 전신 출혈 위험성이 높은 경우)
3) 환자의 나이와 체구

   의학적 무의미함: 환자의 상태가 매우 불량한 경우, 기존 치료를 이미 장기간 시행 받은 경우, 치사율이 높은 질환이 있는 경우. 자세한 내용은 질환별 진료지침을 참조한다.

C. 특정 환자 고려사항

질환별 진료지침을 참조

II. 체외 회로 (Extracorporeal circuit, 4, 5장)

A. 회로 구성 요소의 선택 기준(Criteria for selecting circuit component)

천식환자에서 이산화탄소 제거의 목적으로 부분적(선택적) 순환 보조를 하는 특별한 경우를 제외하면 일반적으로 회로는 완전 순환 보조가 가능하도록 설계한다.

1. 심기능 보조를 위한 혈류

심기능 보조가 필요한 경우에는 항상 정동맥(Venoarterial, VA) 체외 순환을 시행한다. 혈류는 3L/m^2/min(신생아 100cc/kg/min, 소아 80cc/kg/min, 성인 60cc/kg/min)를 유지할 수 있도록 회로 설계를 한다. 적절하게 전신 관류가 되고 있는지 확인할 수 있는 유용한 지표는 정맥혈 산소포화도 >70% 이다. 목표 혈류값에 도달하기 위하여 캐뉼라를 삽입하는 혈관, 배액관의 저항 및 혈액펌프의 특성과 같은 요인들을 적절하게 선택한다.

2. 호흡부전시 혈류 및 가스교환(VA 또는 VV)

환자의 정상적인 대사 수준시와 적어도 동일한 정도의 산소 공급(신생아의 경우 6cc/kg/min, 소아 4-5cc/kg/min, 성인 3cc/kg/min)과 이산화탄소 제거가 가능할 수 있도록 막형 산화기(Membrane lung)와 혈류 설계를 해야 한다. VV 보조 시의 혈류는 일반적으로 신생아의 경우 120ml/kg/min, 성인의 경우 60-80ml/kg/min에 해당한다. 산소 전달 능력은 혈류, 혈중 헤모글로빈 농도, 막형 산화기로 유입되는 유입구(inlet) 혈중 산소혈색소 포화도 및 막형 산화기의 특성에 따라 결정된다. 완전 보조 유지 이산화탄소 제거는 산소 공급량을 초과한다.

이산화탄소 제거를 목적으로 한 회로 설계 시 혈관 접근 경로는 VA, VV(venovenous, 정정맥), AV(arteriovenous, 동정맥) 모두 가능하다. 일반적으로 혈류는 심박출량의 약 10-25%이며, 이는 대사 결과 생성된 이산화탄소를 충분히 제거할 수 있는 정도(3-6cc/Kg/min)이다. 이산화탄소의 제거율은 회로의 혈류, 스위프 가스 유량, 막형 산화기 유입구 혈중 이산화탄소 분압 및 막형 산화기의 특성에 따라 달라진다.

B. 회로 구성 요소(Circuit component)

기본적인 회로는 혈액펌프, 막형 산화기, 도관(tube)으로 구성된다. 때에 따라 추가로 열 교환기, 모니터, 알람이 포함되기도 한다.

C. 펌프(Pump)

앞서 기술한 바와 같이, 환자에게 최대 혈류 보조가 가능한 펌프를 사용해야 하며, 필요한 조건을 충족한다면 유입구 압력 제어기능(inlet pressure control)이 있는 변형식 롤러펌프(modified roller pump), 유입구 압력 제어기능(inlet pressure control)이 있는 원심형(centrifugal), 축회전형(axial rotary), 박동형(peristaltic) 펌프 모두 사용할 수 있다.

1. 유입구(inlet, suction, 흡입) 압력

펌프로의 유입구 라인이 막힌 상태에서 유입구 압력이 -300mmHg를 넘지 않아야 한다. 정맥혈 배액이 막히면 유입구 흡입 압력이 -300mmHg에 도달할 만큼 매우 강해질 수 있는데 이는 용혈과 라인이 떨리는 현상(chattering)을 유발하게 된다. 유입구에 과도한 흡입 압력이 발생하는 것은 압력센서가 내장된 펌프를 사용하거나, 서보제어 압력 센서를 사용하여 방지할 수 있다.

2. 유출구(outlet) 압력

유출구 라인이 막힌 상태에서 출구 압력이 400mmHg를 넘지 않아야 한다(압력센서가 내장된 펌프를 사용하거나, 서보제어 압력 센서를 사용하여 방지).

3. 전원 장애

펌프는 적어도 1시간 이상 작동할 수 있도록 배터리가 충전되어 있어야 하고, 전원 장애가 발생하면 펌프를 수동으로(hand crank) 작동시킬 수 있어야 한다.

전원 장애가 발생할 경우 펌프와 회로에 **역류**(VA 모드에서 동맥에서 정맥으로)를 방지하는 장치나 알람 기능이 있어야 한다.

4. 용혈(Hemolysis)

일반적으로 혈장 혈색소(Plasma hemoglobin)는 10mg/dl 미만이어야 한다. 혈장 혈색소가 50mg/dl을 초과하는 경우 용혈 원인을 확인해야 한다.

D. 막형 산화기(Membrane lung, Oxygenator)(4, 5장)

가스교환을 담당하는 산화기 종류로는 실리콘 고무막형, 미세 다공성 중공사형(microporous hollow fiber)(예: 폴리프로필렌) 또는 비다공성 중공사막(예: PMP 또는 폴리메틸 펜텐, polymethylene)가 있다. 막 표면적과 혈류의 혼합은 최대 산화능력(Rated flow, 정격 유량)을 결정한다.

완전 순환 보조 시, 막형 산화기는 II.A.에 정의된 대로 환자에게 최대치의 O_2 및 CO_2 교환이 가능해야 한다. 막형 산화기의 가스 교환 능력은 '정격 유량(rated flow)' 또는 '최대 산소 공급(maximal oxygen delivery)'으로 표시한다. 산화기로 유입되는 산소포화도 75%인 혈액을 산화기를 거쳐 산소포화도 95%인 혈액으로 만들 수 있는 분당 산화 가능한 혈액량을 이 두 지표로 나타낼 수 있다.

정격 유량은 산화기 출구에서 정맥혈(Saturation 75%, Hb 12mg%)이 완전히 포화(95%)하는 혈류량이다. **최대 산소 공급**은 정격 유량일 때 분당 공급되는 산소량이다. 이 값은 유출구-유입구 O_2 함량(보통 4-5cc/dL, 정상 폐와 동일)에 혈류를 곱한 값으로 계산된다. 예를 들어, 정격 유량 2L/min, 최대 산소 공급 100cc O_2/min인 산화기의 경우 환자의 완전 순환보조(total support)에 필요한 혈류가 1L/min(약 50cc O_2/min)이라면 이 막형 산화기 사용이 가능하다. 하지만 필요한 혈류가 4L/min인 경우 산화 능력이 충분하지 않으므로 회로에 두 개의 산화기를 병렬로 연결하거나 4L/min의 정격 유량에 맞는 더 큰 막형 산화기가 필요하다.

VV 모드에서는 환자에게 유입된 혈액이 재순환(recirculation)되어 유입구 혈액의 산소포화도가 75% 이상으로 높아질 수 있다. 이 경우 혈류 단위당 유출구-유입구 O_2 차이가 감소하며 원하는 만큼의 O_2 공급을 충족시키기 위해 더 혈류량을 올리거나 캐뉼라 재배치, 환자 전체 혈류량 증량, 혈색소 수치를 높이는 것이 필요하다.

E. 가스 유량/스위프 가스(Sweep gas)

대부분의 경우 스위프 가스 유입 속도는 혈류 속도와 동일한 속도(1:1)이며 100% 산소 또는 카보젠(5% CO_2, 95% O_2)으로 이루어져 있다. 스위프 유량을 증가시키면 CO_2 제거율이 증가하지만, 산소 공급에는 영향을 미치지 않는다. 막형 산화기에 수증기가 응축되어 CO_2 제거율이 저하될 수 있는데, 이럴 경우에는 스위프 가스 유량을 간헐적으로 증가시켜 해결할 수 있다.

CO_2 제거만 필요한 경우에는 혈류량을 0.5L/min/m^2까지 낮출 수 있다. 산화기는 완전 순환 보조 시 필요한 것보다는 작아도 되고, 스위프 가스 유량은 일반적으로 산소로만 포함 되어있으며 가스 대 혈액 유량 비율이 10:1이다.

막형 산화기에서 발생할 수 있는 **공기색전증을 예방**. 스위프 가스 압력이 혈압을 초과하거나 혈압이 대기압보다 낮은 경우 공기나 산소 기포가 산화기를 통해 혈액으로 들어갈 수 있다(혈류나 혈압이 없을 때 발생하며, 혈액이 중력에 의해 막형 산화기에서 튜브로 유출되는 경우 막형 산화기의 공기가 혈액으로 들어갈 수 있다). 이는 미세 다공성 중공사 막의 단점이긴 하지만 실리콘 또는 PMP에서도 막에 공기 유입이 가능하게 매우 작은 구멍이 있기 때문에 발생할 가능성은 있다. 이는 혈압을 가스압력보다 높게 유지하여 예방하거나, 산화기를 환자보다 더 낮은 곳에 위치시키고, 스위프 가스 공급 장치에 압력 방출이 가능한 팝오프(popoff) 밸브 또는 압력감시 서보 제어 장치를 두어, 펌프가 멈추는 상황에서도 공기가 유입되지 않도록 할 수 있다. 실리콘이나 PMP를 사용하는 경우에도 막형 산화기를 환자보다 더 낮게 위치하여 유지하는 것이 바람직하다.

F. 회로 프라이밍(Priming the circuit)

조립된 회로는 무균적으로 4-5mEq/L 칼륨이 함유된 정상적인 세포외액과 유사한 전해질 용액으로 프라이밍 한다. 충진액을 모든 기포가 제거될 때까지 보유주머니(reservoir)를 통해 순환시키는데, 프라이밍 전에 회로 내에 100% CO_2를 미리 통과시켜 주면 기포 제거 과정을 더욱 빠르게 할 수 있다. 미세 다공성 막형 산화기는 회로 내 가스가 미세 기공을 통해 제거될 수 있기 때문에 빠르게 프라이밍 할 수 있다. 프라이밍은 회로를 사용하기 직전에 또는 수일 전에 할 수 있고, 프라이밍 한지 30일이 지난 회로는 사용하지 않는 것이 좋다.

환자에게 회로를 연결하기 전에 수조를 가열하여 회로 내 충진액의 온도를 높인다. 일반적으로 결정질 용액(crystalloid)을 이용한 프라이밍을 한다. 많은 기관에서 혈액에 노출하기 전에 사람 혈청 알부민(12.5gm)으로 회로 내 벽을 코팅하기도 한다. 영아의 경우 농축 적혈구를 추가하여 혈색소를 30-40으로 만든다. 혈액을 프라이밍 용액에 추가하는 경우 항응고 상태를 유지하기 위해 헤파린을 추가하고(프라이밍 용액 cc 당 1 단위) 저장혈액에 포함된 구연산염에 결합하여 제거되는 칼슘을 보충하기 위해 칼슘을 추가한다. 급박한 상황이 아니라면 회로 사용 전 전해질 구성과 이온화 칼슘 수치를 확인하는 것이 좋다. 응급상황의 경우 프라이밍은 결정질만으로 시행 후 혈액 희석효과로 인해 나타날 수 있는 문제는 ECMO 보조를 먼저 시작한 후 교정한다.

G. 열 교환기(Heat exchanger)

혈액 및 환자 체온을 조절해야 할 경우 열 교환기가 필요하다. 열 교환기에는 가열된(또는 냉각된) 물을 열 교환 장치를 통해 순환시키는 외부 수조가 있어야 한다. 일반적으로 수조의 온도는 40℃ 미만으로 유지되며, 보통은 37℃를 유지한다. 순환수(circulating water)와 순환혈액(circulating blood)의 접촉은 매우 드물게 발생할 수 있다. 이는 순환수에 소량의 혈액 또는 단백질이 보이거나 원인불명의 용혈이 발생한 경우에 이를 의심해 보아야 한다. 수조 내 물은 멸균상태가 아니며 오염될 수 있으므로, 수시로 수조를 청결하게 관리하며, 소독제로 세척해야 한다.

H. 모니터

모니터는 회로 기능 상태를 확인하고 비정상적인 상태를 알려주도록 설계되어 있다. 대부분의 회로는 다음 기능을 포함한다.

1. 혈류

일반적으로 초음파 탐지기를 사용하여 혈류를 직접 측정하여 모니터링한다. 롤러 펌프를 사용하는 경우 표준화된 튜브를 사용하여 펌프 최대 유량 및 분당 회전수를 기준으로 계산하여 모니터링 할 수 있게 된다.

2. 막형 산화기 유출입구 압력

과도한 압력을 방지하기 위해 최대 압력 서보 조절 제어 장치가 포함될 수 있다.

3. 펌프로 유입되는 정맥혈 배액 라인 압력

유입구에 과도한 음압이 걸리지 않도록 서보 조절 제어 장치를 설치할 수 있다.

4. 산화기 유출입구 산소혈색소(oxyhemoglobin) 포화도 측정

정맥혈 산소 헤모글로빈 포화도는 산소 공급과 소모에 관련된 회로 및 환자 요인을 관리하고 모니터링하기에 유용한 지표이다. 산화기에서 나가는 혈액의 포화도 모니터링은 산화기가 정격 유량으로 잘 작동하는지, 기능이 저하되고 있는지를 보여준다. 혈액 기체 값은 유출구 모두에서 측정하며, 튜브 표면에서 연속적으로 산소포화도 값을 측정하거나 또는 직접 혈액 샘플링을 하여 측정한다. 혈액 기체 분석의 주요 목적은 산화기 유입구 및 유출구 PCO_2를 측정하여 산화기 기능을 평가하고 혈액 pH를 확인하여 대사 이상 여부를 확인하는 것이다.

5. 모니터, 혈액 샘플링 및 용액/약물 투여를 위한 경로

루어(luer) 커넥터와 스톱콕(stopcock)을 통해 회로 내의 혈액을 채취할 수 있다. 회로 내 혈관이 외부와 접촉할 수 있는 위치의 수는 최소화해야 하지만 최소 두 개(산화기 전후에 위치)는 필요하다. 공기가 유입될 위험이 있기 때문에 환자와 펌프 유입구 사이에는 혈액 접근 부위가 없어야 한다. 일부 센터에서는 환자의 IV 라인에 직접 주입하는 것을 선호하지만 혈액 샘플링과 약물주입 모두 회로를 통해

시행할 수 있다.

I. 알람

산화기 전후 압력 및 알람. 산화기 전후 압력 측정을 통해 경막(transmembrane) 산화기 압력차이를 알 수 있는데, 산화기에 혈전이 생기면 산화기 압력 차이가 벌어진다.

많은 센터에서 혈액 환류(return) 라인에 기포 탐지기를 장착하여 모니터링한다. 압력 및 기포 탐지기 알람 작동 시 라인을 클램핑하고, 펌프를 켜거나 꺼서 안전관리를 자동화시킬 수 있다.

J. 혈액 튜브

튜브 길이와 직경은 혈류에 대한 저항을 결정한다. 정맥 배액이 자유롭게 되게 하고 높은 저항력에 의한 압력 강하(high resistance pressure drop)가 혈액 환류 측에서 발생하지 않아야 하므로 이를 튜브 선택 시 고려해야 한다. 100mmHg 압력 변화가 있는 1m 튜브의 경우 일반적으로 사용하는 튜브의 내경(인치)별 혈류량은 다음과 같다. 3/16 : 1.2L/min, 1/4 : 2.5L/min, 3/8 : 5L/min, 1/2 : 10L/min

환자와 가까이에 있는 동맥 라인과 정맥 라인 사이의 '브리지(bridge)'는 유용한 회로 구성 요소이며, 특히 VA 보조 시, 우회 차단시, 이탈(weaning) 과정 중 또는 응급상황에서 유용하게 쓰인다. 그러나 브리지는 혈전증과 감염을 일으킬 수 있는 정체된 영역이 될 수 있다. 일반적으로 브리지를 사용하는 경우 ECLS 적용 중에는 폐쇄 상태로 유지해야 하며, 사용하지 않을 때는 브리지 내에 정체된 혈액을 제거하거나 씻어낼 수 있도록 해야 한다.

K. 응급 상황 시 회로 준비

회로 구성 요소의 특성은 앞서 설명하였다. 응급 상황에서 급하게 회로를 사용해야 한다면, 수 분 이내에 사용할 수 있도록 빠르게 준비해야 하며, 결정질로 프라이밍하고 환자에게 캐뉼라를 삽입하는 즉시 연결할 수 있도록 해야 한다. 또한 응급 캐뉼라 삽입을 하고 회로 연결 시 유입구의 높은 음압과 유출구의 높은 양압이 발생하며 생길 수 있는 상황을 방지하기 위한 안전 요소도 고려해야 한다. 응급상황에서 회로를 준비해야 하는 경우 미세 다공성 막형 산화기(프라이밍하기 쉬움)와 원심형 펌프(고압 제한, 초기 설정 시 모니터 또는 알람 장치가 필요 없음)를 사용할 수 있다.

III. 혈관 접근 (4, 12, 20, 30, 38, 47장)

혈관 접근은 일반적으로 목이나 서혜부에 있는 큰 혈관에 캐뉼라를 삽입함으로써 이루어진다. 정맥 배액 캐뉼라의 혈류 저항은 회로가 제공할 수 있는 총혈류량을 결정한다. 혈액 환류 캐뉼라의 저항은 산화기 유출구 혈액 환류 라인의 압력을 결정하고 이는 환류 혈액량에 영향을 준다. 특정 환자 상태에 따라 다른 혈관 접근 경로를 선택할 수 있다(질환별 진료지침 참조).

A. 혈관 접근 모드

1. 정동맥(Venoarterial, VA). 심기능 보조 시 필요하고 호흡 보조에도 적합함.

2. 정정맥(Venovenous, VV). 혈역학적 보조는 없으며 주로 호흡 보조에 선호됨. 큰 동맥 삽입이 필요하지 않아 잠재적인 전신 색전증이 예방됨.

3. 동정맥(Arteriovenous, AV). 낮은 혈류를 유지하는 때에만 한하여 사용됨. CO_2 제거를 위해서 사용.

B. 캐뉼라(cannula)

'캐뉼라'란 ECLS를 위해 혈관에 직접 들어가는 카테터를 의미하며 다른 일반적인 카테터와는 구별된다. 캐뉼라의 혈류 저항은 길이에 정비례하고 반경의 4제곱에 반비례한다. 따라서 캐뉼라의 내경은 혈류 저항을 조절하는 가장 중요한 요소이다. 사이드 홀/측공(side holes) 및 테이퍼링 섹션/반경이 줄어드는 부분(tapering sections)과 같은 다른 요소들도 저항에 영향을 미치며, 혈류량이 증가할수록 저항력도 향상하므로 캐뉼라 삽입전에 각 캐뉼라의 특성을 알고 있어야 한다. 100mmHg 압력 변화에서 주로 사용되는 캐뉼라별 혈류량은 환자별 진료지침에 설명되어 있다. 캐뉼라는 목표 혈류량에 맞춰 선택한다(section II A).

C. 캐뉼라 삽입(cannulation)

1. 방법

캐뉼라는 다음과 같이 삽입할 수 있다.

1) 컷다운(Cut down)
2) 경피적 혈관 천자, 가이드와이어 삽입, 삽입부 확장(셀딩거, Seldinger 기법)
3) 컷다운으로 혈관 노출을 하고 셀딩거 기법으로 캐뉼라 삽입
4) 개흉술을 통해 우심방과 대동맥에 직접 캐뉼라 삽입

경부 혈관에 캐뉼라 삽입 시 신생아/소아의 경우 보통 **컷다운으로 혈관 노출이 필요하다**. **경피적 캐뉼라 삽입**은 2세 이상의 소아 및 성인의 VV-ECMO 적용에 흔히 사용된다. **심장과 혈관에 직접 캐뉼라를 삽입하는 것**은 일반적으로 수술장에서 심폐기 이탈(cardiopulmonary bypass, CPB)이 불가능한 경우 심폐기 전용 캐뉼라를 사용하여 시행한다.

이중 내강(double lumen) 캐뉼라 또는 2개의 정맥 캐뉼라를 통해 VV 접근을 할 수 있다.

2. 캐뉼라 삽입 기술

환자가 응고 장애 및 출혈이 있는 경우에도 캐뉼라 삽입 직전에 헤파린(일반적으로 kg당 50-100 units)을 투여한다.

컷다운 캐뉼라 삽입(Direct cut down cannulation). 캐뉼라 삽입은 완전 무균 준비가 된 중환자실이나

수술실에서 시행된다. 근육 이완제를 사용하여 깊은 진정의 유지와 마취는 공기색전증을 유발할 수 있는 자발 호흡을 방지하기 위해 필수적이다. 피부에 국소마취를 시행한 후, 절개하여 혈관을 노출한다. 혈관을 직접 만지는 것은 혈관 수축을 방지하기 위해 가능한 한 최소화한다. 리도카인 또는 파파베린 용액을 묻혀주면 혈관 수축을 예방하는 데 도움이 된다. 캐뉼라 삽입 부위의 위와 아래의 혈관에 실을 거치한 후, 헤파린을 IV로 투여(kg당 50-100units)한다. 원위부 혈관은 거치된 실로 묶어주고, 근위부 혈관은 혈관 클램프로 잡은 후 혈관을 절개하고 캐뉼라를 삽입한다. 혈관이 매우 작은 경우, 캐뉼라 삽입이 어려운 경우, 혈관수축이 발생하는 경우 얇은 실로 근위부 혈관의 가장자리 유지/고정 봉합(stay suture)을 하여 들어 올리면 캐뉼라 삽입에 도움이 된다. 캐뉼라가 삽입된 혈관을 실로 묶어 두는데, 이때 플라스틱 부츠에 실을 걸어 묶어 두면 추후 캐뉼라 제거 시 도움이 된다. 대퇴동맥의 경우 캐뉼라 삽입 위치의 원위부 혈관으로도 충분한 혈류를 유지해야 하므로 원위부 혈관을 묶지 않는다(non-ligation technique, 아래의 세미셀딩거 기법 참조).

경피적 캐뉼라 삽입(Percutaneous cannulation). 캐뉼라 삽입은 중환자실(ICU), 수술실(OR) 또는 심혈관조영실(cath lab)에서 무균적으로 시행한다. OR팀은 필수적인 것은 아니지만 경피적 삽입과 관련된 합병증 발생 시 바로 컷다운 접근을 할 수 있도록 대비해야 한다. 가장 안전한 방법은 먼저 혈관 캐뉼라로 혈관 천자를 하는 것이다. 캐뉼라 유도침으로부터 나오는 혈액을 샘플링하거나 혈압 측정을 하여 원하는 혈관에 잘 천자 되었는지 확인할 수 있다. 이후 가이드 와이어를 유도침의 내부로 통과시키고 유도침을 제거한 후 순차적으로 확장기(dilator)를 이용하여 혈관을 넓혀준다. 마지막 단계로 사용하는 가장 큰 dilator는 삽입된 캐뉼라가 혈관 안으로 밀려 들어가지 않을 정도로만 혈관 확장을 해준다. 현존하는 장비로 경피적 캐뉼라 삽입을 하려면 두 사람이 함께 시행해야 한다. 한 사람은 dilator를 가이드와이어에 끼워 밀어 넣어주고, 나머지 한 사람은 확장된 혈관에서 혈액이 밀려 나오지 않도록 dilator 삽입부와 혈관 사이를 눌러주어야 한다. 큰 사이즈의 dilator와 캐뉼라를 사용하는 경우 dilator를 바꿀 때마다 가이드와이어 상태를 확인하는 것이 중요하다. 와이어가 꼬이거나 구부러진 경우에는 와이어를 제거하고 새 와이어로 교체해야 한다. 초음파나 X선을 이용한 투시조영이 캐뉼라 위치를 확인하는 데 도움이 된다. 헤파린 투여는 주 와이어를 배치한 후 언제든지 투여할 수 있다.

세미 셀딩거 기법(Semi-Seldinger technique). ICU, OR 또는 Cath Lab에서 무균상태로 마취하고 시행한다. 컷다운하여 혈관을 노출하지만, 혈관 자체를 절개하지는 않는다. 작은(20G) IV 캐뉼라를 이용하여 피부 절개부 하방에서 시작하여 혈관 천자를 한다. 흡인하여 혈관 안으로 잘 들어갔는지 확인한 후 헤파린을 투여한다. 그 다음, 이 캐뉼라를 통해 가이드 와이어를 끼운다. 셀딩거 기법과 마찬가지 방법으로 dilator를 사용하여 혈관을 확장한 후 ECMO 캐뉼라 삽입을 한다. 캐뉼라 삽입 부위를 덮을 수 있도록 피부 절개 부위를 봉합해 주고 표준적인 경피적 캐뉼라 삽입 시와 같이 마무리한다. 기존의 경피적 접근법에 비해 이 기법의 장점은 신속함, 혈관 크기의 정확한 평가 및 접근의 유연성이다.

3. 원위부 혈관의 관리

경부 컷다운 접근을 하는 경우, 정맥과 동맥의 원위부는 결찰되고 머리로 들어오고 나가는 혈액은 측부 순환에 의존하게 된다. 일부 센터에서는 루틴으로 두부 정맥 캐뉼라를 추가로 삽입하기도 하지만

이는 기관별로 선택할 수 있는 사항이며 필수사항은 아니다. 대퇴혈관으로 접근하는 경우 정맥 측부 혈관은 적절하더라도 원위부 동맥이 막혀 있는 경우가 상당히 많다. 다리로 가는 원위부 동맥 혈류량이 부적절한 경우 직접 컷다운하여 원위부 표재성 대퇴동맥(distal superficial femoral artery)에 별도의 관류 라인을 삽입하거나 역행 관류를 위해 후경골 동맥(posterior tibial artery)에 라인을 삽입한다.

4. 캐뉼라 추가 또는 교체

배액 캐뉼라의 혈류 저항으로 정맥 배액이 불충분하거나 제한되는 경우, 첫번째 단계는 다른 정맥에 추가적인 배액 캐뉼라를 삽입하는 것이다. 캐뉼라를 더 큰 크기로 바꿔 볼 수도 있지만 기존의 캐뉼라를 제거하고 교체하는 것은 어려운 일이다. 캐뉼라에 구멍이 나거나, 꼬이거나, 손상되거나, 혈전이 생긴 경우 캐뉼라를 교체해야 한다. 캐뉼라를 컷다운하여 삽입한 경우 절개부를 열고, 혈관을 노출시키고, 캐뉼라를 교체하며, 혈관에 유지 봉합(stay suture)을 하면 도움이 된다. 경피적 접근에 의해 캐뉼라를 삽입한 경우 캐뉼라를 쉽게 교체할 수 있도록 캐뉼라를 통해 와이어를 삽입한 후 교체한다.

IV. ECLS 적용시 관리 (4, 5, 14, 22, 32, 40, 49장)

A. 회로 관련

환자 체구에 따라 회로 구성 요소를 선택한다(II.A).

1. 혈류(Blood flow)

캐뉼라 삽입 후에는 혈류를 점차 높여 환자의 순환 혈액과 회로 내의 충진액을 혼합시키고, 최대 유량에 도달할 때까지 혈류를 올려 캐뉼라의 저항과 환자 상태에 따라 가능한 최대 유량을 확인한다. 최대 혈류를 확인한 후에는 적절한 수준의 보조가 가능한 최소 유량값까지 혈류를 줄여 본다. VA 보조 시, 체순환과 폐순환의 원활한 연속 순환이 가능하도록 동맥 혈관에서 측정한 맥압(arterial pulse pressure)이 최소 10mmHg를 유지할 수 있을 때까지 유량을 줄이는 것이 이상적이지만, 대개의 경우에는 심장 기능 저하가 심하여 가능하지 않은 것이 실상이다. VV 보조 시, 적정 수준의 보조란 동맥혈 산소 포화도가 80% 이상 일 때이며, 이를 유지할 수 있을 정도까지 유량 값을 줄인다. 생리학적 지표(평균 동맥압, 동맥혈 및 정맥혈 산소포화도)의 목푯값을 설정하고 이에 따라 유량을 조절한다.

2. 산화기(Oxygenation)

혈류가 산화기의 정격 유량보다 낮다면 (산화기 유입구에서 포화도가 70% 이상) 산화기 유출구의 산소혈색소 포화도는 95% 이상이어야 한다. 일반적으로 산화기 유출구 산소포화도는 100%이고 산소분압(PO_2)은 300 이상이다. 스위프 가스가 100% O_2이거나 정격 유량 혹은 그 이하의 유량에서 유출구 포화도가 95% 미만인 경우 산화기가 최대 효율로 작동하지 않는다는 것을 의미한다(불규직한 유량 또는 산화기 내 혈전 발생으로 인함). 이때는 산화기를 교체해야 할 수도 있다.

완전한 보조(낮은 인공호흡기 설정값과 FiO_2에서 전신 포화도가 95%(VA) 이상 또는 80%(VV) 이상)를

위해 산소 공급은 적절히 이루어져야 한다. 정맥포화도는 동맥포화도보다 20-30% 낮아야 한다. 이는 전신 산소 공급이 산소 소비량의 3-5배임을 나타낸다. 적혈구 용적률을 40% 이상으로 유지하면 가능한 가장 낮은 혈류로도 산소 공급을 최적화할 수 있다.

3. 이산화탄소 제거(CO_2 clearance)

산화기를 통한 CO_2 제거는 산소 유입보다 더 많이 된다. CO_2 제거는 스위프 가스 유량에 의해 결정된다. 처음에는 가스 대 혈류 비율을 1:1로 설정하고 PCO_2가 원하는 범위로 유지되도록 가스 유량을 조절한다. 다른 방법으로, 카보젠(carbogen, 5% CO_2/95% O_2)을 스위프 가스로 사용하면 가스 유량을 조절하지 않고도 유출구 PCO_2를 약 40mmHg로 유지할 수 있다. CO_2 제거량은 감소하였지만, 산소 공급이 적절할 경우 원인은 대개 가스통로(gas phase)에 물이 쌓여 발생한다. 초기 $PaCO_2$가 70보다 크면 CO_2 및 pH에 영향을 받는 대뇌 관류의 급격한 변화를 방지하기 위해 $PaCO_2$를 즉시 정상화하지 않고 몇 시간에 걸쳐 서서히 정상화해야 한다.

4. 항응고제(Anticoagulation)(6, 7, 8장)

4a. 헤파린(저분자량 헤파린이 아닌 일반 또는 '미분획' 헤파린)은 캐뉼라 삽입시 볼러스(kg당 50-100unit)로 투여하고 ECLS 적용시 지속 주입한다.

4a1. 헤파린 효과 측정. 헤파린 용량은 **전혈** 활성화응고시간(activated clotting time, ACT)을 적절한 수준(ACT 측정 시스템의 경우 일반적으로는 1.5배)으로 유지하며 조절한다. ACT는 피브린 활성화 시약에 반응하여 전혈이 응고되는 시간(초)이다. 각 ACT 측정 장치에는 정상 혈액의 상한이 있다(대부분의 시스템에서 120-140초). ACT는 매시간 측정하며 ACT 수치 변동이 있으면 더 자주 측정한다. 헤파린 투여 결정이 즉시 필요한 경우가 많기 때문에 ACT는 병상에서 측정한다(검사실로 보내지 않음).

부분 트롬보플라스틴 시간(Partial thromboplastin time, PTT)은 칼슘과 결합한 피브린 활성화 시약에 반응하여 **혈장**이 응고되는 시간(초)이다. PTT는 검사실에서 측정되므로 ACT보다 더 편리한 면이 있다. 그러나 혈장과 혈소판에서 측정되며 헤파린 활성에 영향을 줄 수 있기 때문에 응고시간을 측정하는 기준으로 전혈 ACT보다 신뢰성이 떨어진다. 정상인의 경우 시간당 kg당 헤파린 10units를 사용하면 정상수치의 약 1.5배가 된다. 그러나 ECLS 적용 환자는 정상인으로 간주할 수 없으므로 헤파린을 표준 용량으로 투여할 수 없다. 또한 ECLS 적용 중에는 혈액 내의 헤파린이 표준 농도로 유지되지 않는다. 환자의 혈소판 또는 백혈구 수치가 높거나 '과응고 장애'가 있는 경우 목표 ACT 수치를 유지하기 위해 많은 양의 헤파린이 필요할 수 있다. 환자가 혈소판 감소증, 신부전 또는 순환성 피브린 분할 산물을 가지고 있는 경우 소량의 헤파린이 필요할 수 있다.

헤파린 농도는 간접적으로 **'anti-Xa'**로 측정될 수 있다. 이는 헤파린 혈중농도를 측정할 수 있으므로 원하는 수준의 헤파린 농도(일반적으로 0.5units/ml)에 도달하도록 용량을 조절하는 데 사용할 수 있다. Anti-Xa를 사용하여 헤파린을 조절할 때 헤파린 이외의 요소도 혈액 응고에 영향을 미친다는 것을 이해하는 것이 중요하다.

혈전탄성조영술(Thromboelastography, TEG)은 자극(일반적으로 카올린)에 대한 응고 형성 시간과 밀도를 기록하는 장치를 이용한 방법이다. 전혈을 이용하여 측정하는 것이므로 응고시간은 ACT이다. 혈전의 밀도는 응고인자, 혈소판 및 섬유소 용해의 영향을 받기 때문에 TEG는 ACT보다 더 많은 정보를 제공한다. TEG는 헤파린을 비활성화시키는 제제를 사용하거나 사용하지 않고도 시행할 수 있으므로 헤파린의 항응고 효과와 다른 요인에 의한 효과는 구별된다. TEG는 병상에서 바로 채혈하거나 검사실에서 칼슘이 없는 혈액(활성제에 칼슘 추가)을 이용하여 시행할 수 있다.

4a2. 헤파린은 **항트롬빈(antithrombin**, 일반적으로 AT3라고 함)이라고 불리는 혈장 분자를 '활성화'하여 작용한다. 혈장 내 AT3 농도가 낮으면 헤파린을 다량으로 투여해도 혈액이 응고될 수 있다. AT3 수치는 정상범위(대조군의 80-120%)로 유지해야 한다. 낮은 AT3는 신선한 냉동 혈장(fresh frozen plasma, FFP), 저온 침전물 또는 재조합 AT3를 제공하여 교정할 수 있다. 모든 병원 검사실에서 AT3 검사가 가능하지는 않다. 정상 또는 고용량의 헤파린 투여에도 불구하고 회로에서 혈전이 발생하는 경우, AT3 검사가 가능하지 않은 경우, 응고가 조절될 때까지 AT3를 대체할 FFP(저렴함)를 투여하거나 재조합 AT3(매우 비쌈)를 투여해 볼 수 있다. 회로 응고는 파종성 혈관 내 응고(disseminated intravascular coagulation, DIC)와 유사한 소모성 증후군으로 진행될 수 있다. 회로 혈전 발생 시 치료는 새로운 회로로 교체하는 것이다.

4a3. 헤파린 유도 혈전성 혈소판 감소증(heparin-induced thrombotic thrombocytopenia, HITT). HITT는 드물게 발생하지만 다발성 백색 동맥혈전과 심한 혈소판 감소(10,000개 미만)의 특징을 갖는다. 간단한 HITT 분석법을 사용할 수 있지만 위양성률이 높다. ECLS 환자들은 모두 헤파린을 사용하고 있으며 여러 가지 이유로 혈소판 감소증을 보일 수 있다. HITT를 가지고 있지는 않더라도 이러한 환자에게 HITT 검사는 양성인 경우가 많다. ECLS 환자가 순수하게 HITT를 가진 경우 혈소판 주입에도 불구하고 혈소판 수는 10,000개 미만으로 지속된다. 이러면 혈소판 감소증에 대한 다른 원인을 찾을 수 없다면 헤파린 외 다른 항응고제를 사용하는 것이 타당하며, 직접 트롬빈 억제제(argatroban 또는 bivalirudin)가 대안이 될 수 있다.

4a4. 헤파린 역전(Reversing heparin). 헤파린 효과는 프로타민에 의해 역전될 수 있다. 이는 주로 심장 수술에서 시행되는데 수술 중에 헤파린의 효과가 필요하고 우회술 중단 후에는 효과가 최소화되어야 하기 때문이다. ECLS 적용 중에는 정확한 용량으로 프로타민 투여가 어렵고 정상 응고 상태가 되면 오히려 회로 내 혈전이 발생할 수 있기 때문에 프로타민은 거의 사용되지 않는다.

4b. 직접 트롬빈 억제제(direct thrombin inhibitor, DTI). DTIs는 HITT 환자에게 사용되며, 많은 센터에서 DTI를 주요 항응고제로 사용하고 있다. DTI 효과는 ACT, PTT 또는 TEG로 측정된다. DTI 용량은 헤파린과 마찬가지로 정상 응고시간의 1.5배로 적정한다. DTI는 AT3에 의존하지 않으므로 AT3 모니터링 또는 보충이 필요하지 않다. 역전시킬 수 있는 약물은 없지만 반감기는 수 시간 이내이므로 과다 용량 상태가 오래 지속되지 않는다.

4c. 혈소판 감소증(thrombocytopenia)(혈소판 수 150,000개 미만)은 ECLS 환자에게 흔하게 발생한다. 기저질환, 약물 혹은 그 외 다른 치료에 의해 발생하기도 하고 혈액과 표면 노출로 인해 발생할 수 있다.

순환 혈소판은 플라스틱 표면에 부착되어 다른 혈소판을 끌어당기는 '방출 반응(release reaction)'을 거친다. 이러한 '무력해진(effete)' 혈소판의 응집체는 혈액에서 순환하며 간과 비장에 의해 제거된다. 혈소판 수가 20,000개 미만인 경우 자발적 출혈이 발생할 수 있다. 일반적으로는 혈소판을 수혈하여 80,000개 이상의 혈소판을 유지하는 것이 좋다. 혈소판 수가 80,000개 이상이더라도 혈소판 기능은 저하되어 있을 수 있다. 출혈이 문제가 될 경우 칼리크레인 억제제(kallikrein inhibitor)(aprotinin 또는 tranexamic acid)를 사용하면 혈소판 기능을 개선할 수 있다(IVB 출혈 참조).

4d. 피브리노겐(Fibrinogen). 피브린(섬유소) 형성은 항응고제에 의해 억제될 수 있지만 피브리노겐(섬유소원)은 ECLS 중에 고갈될 수 있다. 피브리노겐 수치는 매일 측정하고 FFP 또는 피브리노겐을 주입하여 정상범위(250-300mg/dl)로 유지한다. 기저질환 또는 회로 내 응고에 의해서 섬유소 용해가 발생할 수 있고 섬유소 분할 산물이 혈액 내 순환될 수 있다. 이는 항응고제 역할을 하며 출혈 위험을 높일 수 있다. 섬유소 분할 산물을 검출하거나 출혈이 과도한 경우 항섬유소용해제를 사용하면 섬유소용해를 억제할 수 있다(출혈 부분 참조).

4e. 표면 코팅(surface coatings). 체외 회로 및 장치는 혈액과 표면의 상호작용을 최소화하기 위해 표면에 헤파린 코팅 또는 다른 중합체(polymer)를 코팅하여 사용할 수 있다. 이러한 코팅된 표면은 혈액과 표면의 상호작용을 다소 감소시킬 수 있지만, 현재 시판되고 있는 표면 코팅을 사용할 때는 여전히 전신 항응고요법이 필요하다. 다른 방법으로 출혈을 조절할 수 없는 경우 전신 항응고요법 없이 ECMO를 관리할 수 있다. 전신 항응고요법을 시행하지 않는 ECLS 적용 시에는 혈류를 높게 유지해야 하며 회로 내 혈전 발생을 대비하여 교체할 수 있는 프라이밍 된 회로가 준비되어 있어야 한다.

5. 회로 모니터, 알람 및 안전(4, 5장)

5a. 고압. 관류 압력이 높을수록 누출 또는 분출의 위험이 커진다. 일반적으로 400mmHg가 안전 범위의 가장 높은 수준이다. 펌프 후 압력이 원하는 유속에서 300mmHg를 초과하는 경우 환자의 전신 혈압(VA 모드), 혈액 환류 접근 캐뉼라(return access cannula)의 높은 저항, 막형 산화기에서 캐뉼라까지 도관 내 높은 저항, 막형 산화기의 높은 저항 등이 원인일 수 있다. 압력이 갑자기 증가하여 고압 알람이 울리면 일반적으로 주입 튜브 또는 캐뉼라가 일시적으로 막힌 것이다. 이 경우 펌프를 중지한 다음 서서히 흐름을 되돌려 가면서 갑자기 저항이 증가하는 원인을 파악한다.

5b. 회로의 공기는 직접 보이거나 기포 탐지기로 감지될 수 있다. 회로에서 공기가 감지되면 펌프를 중지시키고 환자 근처에 있는 라인을 클램프로 고정한 다음 환자에게 들어가는 약물과 인공호흡기 세팅을 올려놓는다. 환자가 ECLS에 전적으로 의존하는 경우가 많기 때문에 회로에서 공기의 원인을 매우 신속하게 찾아 복구해야 한다. 가장 일반적인 원인은 캐뉼라 삽입 부위에서 정맥 배액 라인으로 공기가 흡입되었거나 커넥터 또는 열린 스톱콕을 통해 공기가 흡입된 것이다. 또 다른 일반적인 원인은 환자에게 들어가는 정맥 내 주입 라인의 기포이다. 공기가 배액 측면으로 들어가면 대개 작은 기포가 발생하며 환자에게 들어가기 전 산화기나 버블 트랩(bubble trap)에 잡힌다. 주입구 쪽의 공기는 훨씬 더 심각한 문제이다. 가장 일반적인 원인은 막형 산화기의 공기 유입이다. 이는 산화기가 환자보다 높게

위치되거나 혈액 쪽 압력이 가스 쪽 압력보다 낮은 경우 발생할 수 있다.

5c. 회로 내 혈전은 손전등을 사용하여 모든 체외 회로를 신중하게 확인할 수 있다. 혈전은 표면에서 움직이지 않는 매우 어두운 영역으로 보인다. 모든 회로에는 커넥터 주위, 주입 라인, 펌프 전 방광 또는 막형 산화기의 저유량 부위에 약간의 작은 혈전들이 보일 수 있다. 이러한 혈전들은 1-5mm 범위에 있으며 이 경우 회로를 변경할 필요는 없으며 주기적으로 관찰만 한다. 5mm보다 큰 혈전 또는 회로의 주입 측면(막형 산화기 이후)에 큰 혈전이 있는 경우 회로의 해당 부분을 제거하고, 이러한 혈전이 많으면 전체 회로를 교체해야 한다. 혈소판/피브린 혈전은 회로의 커넥터 및 정체 구간에서 흰색 영역으로 나타난다. 이는 적혈구가 축적되지 않은 응고이며, 보통 혈류가 매우 높은 영역에 있다. 어두운색 혈전과 마찬가지로 백색 혈전이 5mm를 초과하여 커지지 않는 한 특별한 처치가 필요하지는 않다.

5d. 전원 장애. 회로는 주 전기가 끊긴 경우 배터리 작동으로 자동 전환되도록 설계되어야 한다. 회로가 배터리 작동으로 전환되면 알람이 울려야 한다. 문제의 원인을 파악하는 동안 배터리를 이용하여 회로를 30-60분 동안 작동한다. 주요 전력이 요구되는 부분은 열 교환기의 수조이다. 배터리 전원으로 작동할 때는 수조를 끄는 것이 좋다. 전기 회로 및 배터리에도 결함이 있는 경우 저유량 알람 또는 환자에게 부착된 알람(포화도 또는 혈압)이 울리게 된다. 이 경우 펌프를 손으로 크랭킹해야 한다.

5e. 캐뉼라 제거(Decannulation)는 캐뉼라 삽입 부위의 심각한 출혈, 배액 회로의 공기(배액 캐뉼라가 빠져나온 경우), 혈액 손실과 혈압 하강(주입 캐뉼라가 소실된 경우) 등을 보이는 생명을 위협하는 응급상황이다. 적어도 두 위치 이상에서 캐뉼라를 피부에 고정하고 캐뉼라와 캐뉼라 고정 위치를 자주 확인하고 환자를 적절히 진정시킴으로써 캐뉼라가 제거되는 상황을 예방할 수 있다. 캐뉼라가 빠져나오게 되면 즉시 환자 가까이에 있는 라인을 클램핑하여 혈액을 우회시키고 직접 압력을 가해 출혈을 조절한 후 가능한 한 신속하게 캐뉼라를 다시 삽입한다.

5f. 소변이 붉은색(용혈이 아닌 방광 출혈 때문일 수도 있음)이고 혈장 혈색소 측정으로 확인된 경우 **용혈(Hemolysis)**이 의심된다. 일반적으로 혈장 혈색소는 10mg/dL 미만이어야 한다. 혈장 혈색소의 증가는 환자의 기존 상태나 회로 구성요소에 의해 발생할 수 있다. 유입구 압력이 -300mmHg를 초과하지 않는 한 펌프 자체는 용혈을 유발하지 않는다. 이 압력은 펌프 흡입력이 혈액 배출을 초과할 경우 발생할 수 있다. 펌프 챔버에 혈전(원심 펌프에서 발생할 수 있음)이 있는 경우 펌프가 용혈을 유발할 수 있다. 혈액이 아주 작은 구멍(orifice)을 통해 빠른 속도로 흐르는 경우 용혈이 발생할 수 있다. 이러한 문제는 혈액 환류 캐뉼라의 저항이 매우 높거나 펌프 후 회로에 심각한 폐색이 있는 경우에 발생할 수 있다. 혈액여과기(hemofilter) 또는 혈장분리교환술(plasmapheresis) 장치가 회로에 부착되어 높은 유량으로 작동하는 경우에도 용혈이 발생할 수 있다. 용혈이 발생하면 원인을 찾아 교정해야 한다.

5g. 이러한 모든 문제를 해결하기 위한 **응급 시 대응 훈련**은 팀에서 정기적으로 실시해야 한다.

5h. 안전. ECMO는 중증 환자에게 사용되는 기술 의존적인 치료법이다. 성공적인 결과는 의사, ECMO 전문가, 체외순환사, 간호사 등 다양한 팀의 반복적인 안전 관행에 의해 크게 좌우된다. 안전한 ECMO

프로그램을 지원하는 정책으로는 정기적인 응급 기술 실습 세션, 팀 교육, 시술 전 'time out'을 사용하여 주요 요소 확인 및 ECMO 후 보고 등이 있다.

6. 구성요소와 회로변경

스톱콕 및 커넥터와 같은 작은 구성요소, 펌프 챔버나 막형 산화기와 같은 큰 구성요소 또는 전체 회로를 제거하고 교체하기 위해 ECLS를 중지해야 할 수 있다. 환자가 ECLS에 전적으로 의존하는 경우 1분 이내에 다음과 같이 이 작업을 수행할 수 있다. 환자를 인공호흡기 설정값과 약물 보조 설정값을 최대로 설정한다. 최소한 한 명 이상의 의료진의 도움을 확보하고 클램프와 구성품을 모두 조립한다. 환자와 가까운 쪽 라인을 클램핑하고 교체할 구성요소의 위와 아래에 있는 라인을 클램핑한다. 멸균 기법으로 구성요소를 잘라내고 새 구성요소를 삽입하여 튜브에 식염수를 채우고 모든 기포를 제거한다. 막형 산화기를 교체하거나 추가할 때는 회로에 연결하기 전에 결정질 용액으로 프라이밍 해야 한다.

7. 이동(66장)

이동은 위험할 수 있다. 시술들은 가능하면 ICU에서 시행한다.

입원 중(In hospital). 다음과 같이 영상의학과, 수술실 또는 심혈관조영실로 이동해야 할 수 있다. 배터리가 완전히 충전되어 있고 핸드 크랭크를 펌프에 사용할 수 있는지 확인한다. 수조를 꺼서 전기를 절약한다. 스위프 가스로는 작은 산소 탱크를 사용한다. 환자를 침대에서 이동하기 전에 환자 모니터를 EKG, 혈압 및 SaO_2 용 휴대용 모니터로 전환한다. 가능한 한 정맥 내 주입 약물 수를 최소화한다. 앰뷰백, 별도의 산소 탱크와 응급 약물을 지참한다. ICU를 떠나기 전에 이동 동선을 계획한다. 엘레베이터를 잡고 복도를 비운 다음 환자를 받을 곳에서도 준비되었는지 확인한다. 환자와 ECLS 카트를 이동할 때 한 사람은 튜브의 장력을 줄이기 위해 한 손은 운반용 침대 위에, 다른 한 손은 카트에 두도록 배정된다.

병원에서 병원으로(Hospital to hospital). 위에 나열된 모든 세부 사항 외에도 병원 간 이송을 위한 이송팀은 완전히 독립적이어야 한다. 여기에는 모든 구성품을 위한 예비 부품, 다양한 크기의 캐뉼라, 작동 기구와 약물이 포함된다. 의뢰 병원에서 병원의 이송과 연관된 특정 권리를 부여받는다. 가족, 동의서, 혈액, 혈소판 및 혈장 준비에 관한 지침을 의뢰 병원에 보내거나 필요한 경우 수술팀에 보낸다.

B. 환자 관련 관리(4, 5, 14, 22, 32, 40, 49장)

1. 혈역학(Hemodynamics)

VV 적용 중에 환자는 본인의 혈역학적 생리에 의존한다. 심박출량, 혈압 및 저항을 조절하기 위해 적절한 약물이 사용된다.

VA 적용 중에 혈역학은 혈류(펌프 유량+본래의 심박출량)와 혈관 저항으로 조절된다. 맥박압이 낮기 때문에 평균 전신 동맥압은 정상 압력보다 약간 낮다(신생아의 경우 40-50mmHg, 소아 또는 성인의 경우 50-70mmHg). 또한 심장 보조를 위해 ECLS를 시행하는 환자는 ECLS가 시작될 당시 고용량의 승압제(pressor)를 사용한다. 이러한 약물은 적정 수준으로 조절되므로 전신 혈압이 비례적으로 감소하게

된다. 전신 관류압이 불충분한 경우(소변 배출량 적음, 관류 불량) 혈액을 추가하거나 저용량의 승압제를 투여하여 혈압을 상승시킬 수 있다. 패혈성 쇼크 환자에게는 혈관 수축제가 필요한 정도의 전신 혈관 확장이 흔히 나타난다. 평균 동맥압이 낮더라도 전신 관류는 충분할 수 있다. 전신 관류는 혼합 정맥 혈액 포화도를 통해 측정하는 것이 가장 좋다. SaO_2가 95% 이상에서 정맥포화도를 70% 이상이라면 혈압이 낮더라도 전신 산소 공급이 적절하다는 것을 의미한다. 전신 산소 공급이 적절하지 않으면(정맥포화도가 70% 미만) 관류가 적절할 때까지 펌프 혈류를 증가시킨다. 추가적인 혈류를 얻기 위해 혈액량이 추가로 필요한 경우, 수혈과 결정질 용액의 상대적 이점을 고려한다.

2. 환기(Ventilation)

2a. 기계 환기(Mechanical ventilation). 환자가 VV 또는 어떤 모드에서도 인공호흡기는 폐가 휴식을 취할 수 있도록 가능한 낮은 설정에서 관리해야 한다. 호흡부전 환자에서 ECLS 초기 급성 염증 단계에서 폐 용적(volume)을 동원(recruit)하는 것은 일반적으로 저지르는 실수이다. 일반적인 휴식(rest) 설정은 긴 흡기시간과 낮은 호흡수, 낮은 고원 흡기 압력(plateau inspiratory pressure)(25cm H_2O 미만)과 낮은 FiO_2 가 포함된다. 호기말양압(positive end expiratory pressure, PEEP)은 모든 레벨에서 세팅이 가능하다. 실제로 인공호흡기는 지속적인 양압과 간헐적으로 압력이 방출되는 기도압 방출 환기(APRV, Airway pressure release ventilation) 또는 자발적인 호흡이 있는 지속 기도 양압(CPAP, continuous positive airway pressure)으로 관리할 수 있다. 그러나 VV 모드에서 환자를 관리할 때 높은 PEEP 으로 설정 시 정맥 환류를 방해하고 혈역학의 부정적인 영향을 미친다. PEEP 은 보통 5-15cm H_2O 사이로 설정한다.

심각한 폐공기 누출 또는 간질성 폐기종이 있는 경우 공기 누출이 더 이상 생기지 않을 때까지 인공호흡기 압력은 수 시간 또는 수일 동안 낮추거나 완전히 끌 수 있다. 하지만 이는 원발성 폐질환과 더불어 무기폐를 유발할 수 있다. 환자에게 기흉이 발생한 경우 모든 환자에서 흉관 삽입을 하지는 않는다. 작은 튜브만으로도 상당한 출혈이 발생할 수 있으며 결국 개흉술이 필요할 수 있다. 혈역학적으로 안정적인 상태의 작은 기흉(20% 미만)은 흡수를 기다리는 것이 가장 좋다. 혈역학적으로 불안정한 상태를 유발하는 기흉이거나 지속해서 진행하는 기흉은 외부 배액이 필요하다. 이 작업은 가장 익숙한 기술을 이용하여 수행하는 것이 가장 좋다. 사용되는 기술로는 Seldinger 기법으로 작은 캐뉼라를 삽입하거나 외과적으로 흉관을 삽입할 수 있다(아래 section 9 시술 참조).

급성염증이 가라앉은 경우 폐포모집술(Lung recruitment maneuvers)(H_2O 25-30m 에서 1-2 분 동안 장기간 팽창)을 시행할 수 있다. 폐의 회복이 시작되면 자가 호흡은 회복을 촉진한다. 자가 호흡이 가능하도록 진정제를 조절하고, 스위프 가스를 조절하여 주입구 혈액을 PCO_2 20-45mmHg 로 유지하고, 인공호흡기를 보조 모드로 설정하면 폐 회복 속도를 높일 수 있다.

2b. 기도 접근(Airway access). ECLS 를 시작하면 모든 환자가 기관내삽관을 한다. 환자의 심장 보조를 위해 VA-ECLS 를 적용하고 있고 폐 기능이 적절한 경우 발관(extubated)을 하고 자발적인 호흡으로 깨어 있도록 관리할 수 있다.

환자에게 호흡부전이 있는 경우 위와 같이 휴식 설정에서 기관내삽관을 지속하여 기도를 관리한다. 안전하게 양압을 유지하면 폐 팽창을 유지하면서 폐 회복을 기대할 수 있고 폐 기능을 향상할 수 있다. 기관절개술은 삽관의 불편함을 피하고 병원 내 폐렴의 위험을 감소시킨다. 그러나 기관절개술은 항응고제를 사용하는 환자에서 출혈의 위험이 있으므로 시술의 기술이 중요하다(B10 참조).

가스 교환은 ECLS 로 완전히 보조되기 때문에 환자를 발관하고 기계환기 없이 관리할 수 있다. 이는 활동과 보행을 용이하게 하며 폐 이식에 연결된 환자에게 자주 사용된다.

2c. ECLS 회로와 가스교환 관리. 환자 동맥혈 **가스**는 대동맥(VA) 또는 우심방(VV)에서 본래의 혈액과 주입된 혈액이 혼합되어 발생한다. 주입된 혈액은 일반적으로 PCO_2 40mmHg, PO_2 500mmHg, 포화도 100%, 산소 함량 22ccO_2/dL 이다.

VV mode 에서 주입된 혈액이 전신 정맥 혈액과 혼합된다. 일반적인 혈류에서 주입된 혈액과 탈산소화 된 우심방 혈액의 비율은 보통 3:1 이다. 그 결과 폐동맥에서는 PCO_2 41, PO_2 40, sat 80%, 산소함량 17ccO_2/dL 이 된다. 본래의 폐 기능이 전혀 없다면 동맥혈 가스 결과도 이와 동일하다. VV 적용 중에는 일반적으로 전신 동맥 산소포화도가 약 80%임을 인지하는 것이 중요하다. 혈색소가 40% 이상이고 심장 기능이 양호하다면 이 정도의 저산소증 상태에서도 전신 산소 공급은 적절하다(저산소증으로 착각하여 휴식 설정에서 환기 설정으로 세팅을 높이지 않도록 한다). 폐 기능이 회복하게 되면 sat 80% 이상으로 증가하게 된다.

VA mode 에서 주입된 혈액은 대동맥의 혈액과 혼합된다. 주입된 혈액과 본래의 대동맥 혈류의 비율은 일반적으로 8:1 이다(전체 우회술에 가까움). 본래의 폐 기능이 정상이고(예: 심장 지원에서) FiO_2가 0.2 이면 PCO_2 40, PO_2 200, Sat 100%, 산소함량 21ccO_2/dL 이 된다.

본래의 폐 기능이 없는 경우 이 혼합은 PCO_2 40.5, PO_2 100, Sat 98%, 함량 20ccO_2/dL 이 된다. 참고로 앞서 설명한 내용은 주입된 혈액이 대동맥 근위부(쇄골하동맥, 경동맥 또는 직접 대동맥궁)까지 이동하는 경우에는 이는 측정하는 부위와 관계가 없다. 하지만 주입된 혈액이 대퇴동맥으로 유입되는 경우 역행성 혈류가 생기게 되고 이 경우 대동맥 중간 어딘가에서 혼합이 발생하게 되며, 혈류 속도가 높을수록 혼합은 더 윗부분에서 이루어진다. 중증 호흡부전 시 일반적인 VA 유속(전체 심박출량의 80%)에서 좌심실의 불포화된 혈액이 대동맥궁 및 관상동맥을 관류하고 완전히 포화된 주입혈액이 신체의 하부 2/3 를 관류할 수 있다. 이는 큰 소아와 성인에게 발생할 수 있으며, 정맥 배액에 SVC 혈액을 포함하거나 일부 주입 혈액을 우심방에 주입하여(VVA) 관리할 수 있다. 자세한 내용은 질환별 진료 지침을 참조하기를 바란다.

3. 진정(Sedation)

환자는 캐뉼라 삽입 시와 가벼운 마취로 관리가 가능해지는 시점까지는(일반적으로 첫 12-24 시간 동안은) 완전히 진정시켜야 한다. 그 목적은 캐뉼라 삽입 중 공기색전증을 유발할 수 있는 자발호흡을 피하고, 전신 대사율을 최소화하며, 캐뉼라 삽입을 어렵게 할 수 있는 움직임을 피하고, 환자를 편안하게

하기 위한 것이다. 정맥 캐뉼라를 배치하는 동안 자발호흡을 피하는 경우를 제외하고는 환자를 마비(paralysis) 시킬 필요는 거의 없다.

ECLS 로 안정화된 후에는 정밀한 신경학적 검사를 할 수 있을 정도가 될 정도의 시간 동안 모든 진정제와 마약류를 중단해야 한다. 그런 다음 환자의 불안과 불편감 수준에 따라 진정제와 진통제를 재개할 수 있다. VV-ECLS 적용 중 진정제를 사용하는 주된 이유는 기관내삽관을 견디기 위한 것이다. 5 세 이상 환자의 경우 진정 작용을 감소시키기 위해 조기에 기관절개술로의 전환을 고려해야 한다. 진정 작용은 최소화해야 하지만, 환자가 캐뉼라와 튜브를 잡아당겨 캐뉼라 제거나 관류 라인이 막히는 일이 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다. 어떤 이유로든 정맥혈 배액이 제한되는 경우에는 혈류가 전신 관류나 가스 교환을 보조하기 적합하지 않게 된다. 이는 환자가 불안하거나, 움직이거나, 기침하는 경우에 발생할 수 있다. 진정은 전신 대사율의 증가를 막을 정도로 유지하고, 정맥 배액이 이루어지지 않는 경우 신경근 차단제와 냉각이 필요할 수 있다. 신경학적 검사를 수행할 수 있을 정도로 진정제와 진통제를 유지하는 것은 중요하다(매일 약물 휴지기를 갖는다).

4. 혈액량, 체액 균형 및 혈색소(8, 41, 62장)

일반적인 중환자와 마찬가지로 궁극적인 목표는 적절한 혈색소, 정상 체중(수액 과부하 없음)과 정상 혈액량이다. ECLS 적용 중 **혈액량(blood volume)**은 체외 회로의 용적(volume)에 의해 증가한다. 하지만 체외 회로에 의해 증가한 2-3 배의 혈액은 혈역학적 효과가 없으며, 제거된 혈액은 즉시 동일한 용량으로 대체된다. 체외 회로는 결정질 용액(영아에서는 적혈구 수혈)으로 프라이밍 되며 프라이밍 용액은 ECLS 의 처음 몇 분 동안 본래의 혈액과 평형을 이룬다. 이렇게 하면 본래의 혈액과 체외 프라이밍 간의 비율에 따라 혈액 세포, 혈소판 및 단백질이 희석된다. 이렇게 희석되면 혈장의 결정질 성분이 증가하여 세포 외 공간으로 평형화되면서 부종을 유발한다.

혈액량은 우심방 혈압이 5-10mmHg 범위에서 유지될 수 있을 정도의 수준으로 유지되어야 한다. 이렇게 하면 배액 캐뉼라의 저항이 적절하게 유지된다면, 정맥 배액을 위한 적절한 혈액량을 보장할 수 있다.

체액 관리의 목표는 **세포 외액량(extracellular fluid volume)**을 정상(건체중, dry weight)으로 되돌리고 그 상태로 유지하는 것이다. 그 이유는 중증질환 또는 의인성 결정질 수액 수입으로 인한 부종이 폐와 심근부전을 유발하여 일차적인 문제를 가중하기 때문이다. 패혈증 환자의 혈장에서 세포 외 공간으로 모세혈관 누출이 심한 환자에게서는 정상적인 세포 외액(extracellular fluid, ECF) 상태에 도달하기가 어려울 수 있다. ECLS 초기의 급성 염증 단계에서는 모세혈관 누출이 발생하며 이는 과도한 결정질 주입에 의해 악화한다. 환자가 혈역학적으로 안정되면(일반적으로 12 시간 후) 이뇨제를 투여하고 건체중에 도달할 때까지 지속해서 투여한다. 이뇨제 반응으로 수분 제거가 충분하지 않거나 환자가 신부전을 보이는 경우 수액과 전해질 균형을 유지하기 위해 회로의 지속적인 혈액 여과를 추가할 수 있다.

5. 체온(Temperature)

체온은 수조의 온도를 조절하여 원하는 수준으로 유지할 수 있다. 체온은 보통 37°C 에 가깝게 유지한다. 저산소성 허혈성 뇌손상을 초래할 수 있는 조건에서 캐뉼라 삽입을 한 경우, 첫 24-72 시간 동안은 가벼운 저체온증(32-34 도)을 유지하여 뇌 손상을 최소화하는 것이 좋다. 저체온을 유지하면 몸의 떨림이 발생할 수 있고 이는 출혈을 악화시킬 수 있으므로 이를 예방하기 위해 진정 또는 마비가 필요하다. 고체온(발열 또는 염증으로 인한) 발생 시에는 열교환기로 조절하여 대사과다증(hypermetabolism)을 예방한다.

6. 신장 및 영양 관리(4, 41, 62장)

위에서 언급한 바와 같이 환자가 건체중에 근접하고 부종이 해소될 때까지 자발적 또는 약리학적 이뇨를 시행해야 한다. 이렇게 하면 심부전 또는 폐부전의 회복이 촉진되고 ECLS 를 적용해야 하는 시간이 단축될 수 있다. 신부전 발생은 기저질환과 관련이 있으며 지속적 혈액 여과(Continuous hemofiltration, CVVHD)로 치료한다. 모든 중증 환자와 마찬가지로 완전한 칼로리 보충과 단백질 영양 지원이 필수적이다.

7. 감염 및 항생제

캐뉼라 삽입 부위는 소독액으로 자주 소독하고 소독용 크림이나 연고를 바른다. 균이 배양된 감염에 대해서는 적절한 항생제를 투여해야 한다. 환자가 ECLS 적용 중에 있다는 이유만으로 예방적 항생제가 필요하지는 않다. ECLS 중 균혈증은 회로의 구성요소에서 세균 증식과 관련이 있을 수 있지만, 일반적으로 환자의 다른 원인과 관련이 더 많다. 일반적으로 중환자에서 의심되는 '도관 연관 패혈증' 관리와 달리 감염이 의심되는 경우에도 ECLS 캐뉼라 교체는 어렵고 회로를 교체하는 것도 위험할 수 있다. 다른 모든 균혈증의 원인이 배제된 경우라면 캐뉼라를 포함한 전체 회로를 신속하게 교체할 수 있다.

8. 체위(Positioning)

환자 체위는 환자 상태에 따라 다르지만 가능한 한 이동 가능하고 정상 체위여야 한다. 환자를 마취시키고 수일 동안 지속해서 앙와위(supine)를 유지하는 경향이 있다. 나이가 많은 소아와 성인의 경우 이는 후폐 압박과 무기폐로 이어져 가능한 피해야 한다. 일차적인 문제가 호흡부전인 경우 매일 수 시간 동안 복와위(prone) 자세를 취함으로써 뒤쪽 경화(posterior consolidation)를 예방하고 치료할 수도 있다. 다른 대안은 앉는 자세이지만 앉는 자세에서 ECLS 흐름을 유지하기는 어려울 수 있다. 심장 보조를 위해 ECLS 적용 중인 경우 가능한 기도발관을 하고 환자가 침대에서 자발적으로 움직일 수 있도록 한다. 경흉부 캐뉼라 삽입 또는 개흉술을 시행한 환자에게는 이 방법이 권장되지 않는다.

9. 출혈(7장)

출혈은 전신 항응고요법, 혈소판감소증 및 혈소판 기능장애로 인해 ECLS 적용 중에 발생할 수 있는 가장 흔한 합병증이다. ECLS 과정 전반에 걸쳐 출혈을 **예방**하는 것이 중요하다. 의료진들은 단순한

정맥천자, 손가락 혈당검사, 기관 내 흡인, 코나 요도를 통과한 캐뉼라 삽입 등이 통제 불가능한 출혈로 이어질 수 있다는 사실을 인지해야 한다. ECLS 환자에게서는 충분히 혈관으로 접근이 가능하기 때문에 바늘 천공이 거의 필요하지 않다. 캐뉼라 흡인 또는 삽입은 항응고 상태가 최적인지 확인한 후에 신중하게 수행해야 한다(적절한 ACT, 적절한 혈소판 수치). 침습적 시술이 필요한 경우에도 적절한 준비가 필요하다. 항응고요법 관리에 대해서는 위의 IV.A.4 장에서 설명한다. 환자에게 헤파린을 투여하는 경우 피브리노겐과 AT3 레벨에 특히 주의를 기울여야 한다.

출혈 **관리**는 응고 상태를 가능한 정상으로 회복하는 것부터 시작한다. 이는 ACT 또는 PTT 가 정상 수치의 1.4-1.5 배가 될 때까지 항응고제 주입을 줄이고, 혈소판 수가 100,000 개 이상이 될 때까지 혈소판을 수혈하며, 섬유소용해가 확인되거나 의심되는 경우(특히 최근 수술 후) 항섬유소 용해제를 투여하는 것을 포함한다. 결핍이 보이면 FFP 또는 특정 응고인자를 사용할 수 있다. 이렇게 함으로써 대부분 출혈이 조절된다. 하지만 조절되지 않는 경우 항응고제를 완전히 중단하는 것이 합리적이지만 심각한 회로 내 혈전이 발생할 수 있으므로 해당 조치를 모두 시행하기 전까지는 시행해서는 안 된다. 혈전 예방 코팅 회로를 사용하면 혈전 합병증의 위험이 더 적어지면서 더 오래 헤파린을 중단해 볼 수 있다.

캐뉼라 삽입 부위: 특히 직접 컷다운으로 접근한 경우 캐뉼라 삽입 부위는 가장 흔한 출혈 부위이다. 출혈을 최소화하려면 전신 헤파린 사용 없이 절개하고 환자 상태가 괜찮다면 캐뉼라 삽입 전에 몇 분 정도 기다려야 한다. 캐뉼라 삽입 부위에 출혈이 있으면 캐뉼라 고정 부위가 느슨해졌거나 빠졌음을 의미할 수 있다. 캐뉼라 제거의 가능성도 항상 고려해야 한다. 일반적으로 캐뉼라 부위 출혈은 피부나 피하조직의 작은 혈관 손상과 연관되어 서서히 새어 나온다. 국소 압력으로 출혈을 조절하는 경우가 많지만 직접 캐뉼라를 압박하지 않도록 주의해야 한다. 컷다운 접근 후 출혈이 지속되면 다시 열어서 상처 부위를 확인해야 한다.

흉부튜브 배치 후 출혈: 튜브를 배치하는 동안 적절한 모든 조치를 취하더라도 출혈은 흔하게 발생하는 합병증이다. 직후에 발생하기도 하고 수일 후에 발생하기도 한다. 튜브 위치를 조절하여 고여 있는 혈액을 배출해야 한다. 고인 혈액을 배출하면 출혈 속도를 정량화하고 혈흉이나 이후에 조직화한 응고의 위험을 감소시킨다. CT 스캔은 튜브가 폐의 실질 내에 있는지 확인하기 위한 것이다. 튜브 제거가 필요한 경우 출혈과 공기 누출을 조절하기 위해 개흉술이 필요할 수 있다. 위에 설명된 방법으로도 출혈을 멈출 수 없다면 개흉술을 시행한다(흉강경 검사를 통해서 하거나 직접 개흉술을 통해). 출혈은 수술로 조절된다고 하더라도 수일 내에 재발하는 경우가 많다. 이 때문에 환자가 ECMO 를 중단할 때까지 침상 옆에서 자주 확인할 수 있도록 가슴을 열어 두는 것이 좋다.

최근 수술: 두 번째로 가장 흔한 출혈 부위는 최근 수술과 연관이 있다. 특히 수술 후 심부전으로 인해 환자가 ECLS 적용이 필요한 경우에는 개흉술과 관련이 있다. 이러한 상황(특히 CPB 에서 ECLS 로 바로 전환하는 경우)에서 첫 번째 단계는 수술 부위에 석션 캐뉼라를 배치하고 폐색성 플라스틱 드레이프로 부위를 밀봉한 다음 혈액을 채취하여 출혈량을 정량화하는 것이다. 배액된 혈액은 재주입을 위해 '자가 수혈기(cell saver)'를 이용할 수 있다. 수술실에서는 CPB 에서 ECLS 로 바로 가는 경우

항응고요법을 시작하기 전에 ACT 가 정상이 되거나 출혈이 멈출 때까지 기다리는 것이 합리적이다. 혈소판 수, ACT 및 기타 약물이 최적으로 조절되면 수술 부위를 다시 확인하여 지속적인 출혈이 있는지 확인해야 한다. 수술 부위에서 출혈이 있는지 검사할 때는 피부를 외과적으로 봉합하기보다는 배액 및 플라스틱 봉합을 통해 수술 부위를 열어 두는 것이 가장 좋다(컷다운하여 캐뉼라 삽입한 경우는 예외이다). 출혈이 완전히 조절될 때까지 수술 부위를 여러 번 다시 확인하는 작업이 필요할 수 있다. 상처 감염의 위험은 중간 정도이지만 지속적인 출혈의 위험보다는 훨씬 낮다(심장 절개술 후와 기타 질환에 대한 질환별 진료 지침을 참조).

점막: 비인두, 구강, 기관지, 직장 또는 방광에서 출혈은 환자의 치료와 관련된 경미한 손상과 함께 흔히 발생한다. 이 부위들의 출혈을 직접적인 압력으로 조절하기는 어렵지만 비강 패킹 또는 방광에 큰 풍선이 있는 유치 도뇨관(foley catheter)을 이용하여 견인하면 큰 출혈을 멈출 수 있다.

자궁: 가임기 여성은 ECLS 적용 중에 드물게 월경 기간을 경험할 수 있다. 일반적으로 자궁 출혈은 보통 심하지 않고 저절로 가라앉는다. 하지만 최근 출산한 산후 환자에게 ECLS 를 사용하면 자궁 출혈이 심각한 문제가 될 수 있다. 남아 있는 임신 생성물을 제거한 후, 옥시토신 또는 자궁 내 풍선 탐포네이드를 생성하여 출혈을 조절할 수 있다. 자궁절제술이 필요한 경우는 매우 드물다.

위장관 출혈은 식도염, 위염, 십이지장 궤양 또는 다른 원인으로 인해 발생할 수 있다. 내시경 검사나 혈관조영술을 통해 출혈 부위를 확인하는 것이 중요하다. 내시경 또는 동맥 캐뉼라를 통해 출혈 부위에 도달할 수 있는 경우 국소 조치를 취해야 한다. 출혈을 제어하거나 출혈 장기를 절제하는 수술은 위장관 출혈 및 전신 응고 장애 환자와 동일하다. 가능한 한 응고 장애를 교정한 후 조절되지 않는 출혈이 지속될 경우 수술을 결정한다. 다른 고형 장기(간, 신장, 후복막 조직)로의 자발적 출혈이나 흉곽 또는 복막 공간으로의 출혈도 마찬가지이다.

두부 또는 뇌실질 출혈은 가장 심각한 ECLS 합병증이며, 일반적으로 광범위하고 치명적이다. 높은 인공호흡기와 약물을 높이면서 ECLS 에서 분리가 가능한 경우에는 필요하다면 수술하여 혈액을 배출하는 것이 좋다.

이러한 모든 조치에도 불구하고 출혈이 지속되면 출혈이 멈출 때까지 항응고요법을 모두 중단하는 것이 합리적이다. 가장 좋은 방법은 환자의 상태만 괜찮다면 고유량 높은 인공호흡기/승압제 설정에서 우회술을 중단하는 것이다. 환자가 ECLS 를 수 시간 동안 중단하면 출혈이 멈추는 경우가 많다. 환자가 우회술 이탈을 견딜 수 없다면 항응고제를 완전히 중단하고 ACT 가 정상 범위로 회복하도록 하는 것이 합리적이다. 이렇게 하면 출혈이 멈출 수 있지만 회로에 혈전이 발생할 수도 있으므로 항응고제 중단을 결정할 때는 항상 즉시 사용할 수 있는 프라이밍 된 회로가 준비되어 있어야 한다.

10. 시술(6장)

정맥천자에서 간 이식까지 다양한 시술이 ECLS 적용 중에 성공적으로 시행할 수 있다. 수술이 필요한 경우 위에서 설명한 대로 응고를 최적화해야 한다(항응고요법 최소화). 흉관 튜브 배치와 같은 작은

수술도 광범위한 전기소작술이 필요할 수 있다. 외과 의사에게 이 시술은 응고 장애 환자를 수술하는 것과 동일하다.

기관절개술은 ECLS 환자에게 흔히 시행되지만, 이 기법은 표준 기관절개술과는 다르다. 기관지는 작은 절개를 통해 노출되고 광범위한 전기소작술이 필요하다. 기관지의 가장 작은 구멍은 링 사이에 있으며, 가급적 바늘, 와이어 및 확장 기법을 사용한다. 링을 절개하거나 플랩(flap)을 만들지 않는다. 환자가 ECLS 지원을 받고 있기 때문에 ET tube 에서 T-tube 로 옮길 때 급하게 바꿀 필요가 없다. 기관지를 포함함 수술 부위는 수술 후 출혈이 전혀 없어야 한다. 출혈이 멈출 때까지 지속해서 확인하여 지연되어 발생하는 출혈(수술 수일 후 흔히 발생)을 관리해야 한다.

V. 이탈, 중단 시도, 무의미함으로 인한 ECLS의 중단 (4, 16, 24, 34, 42, 51장)

A. 이탈(Weaning)

IV 장에 설명된 대로(낮은 인공호흡기 설정값과 승압제 용량에서 최저 유량으로도 보조가 충분할 때) 진행되면 이탈은 자동으로 진행된다. 부전 장기 기능이 회복됨에 따라 체외 순환 보조의 필요성이 감소한다. 체외 순환 보조가 전체 순환의 30% 미만인 경우, 체외순환의 보조 없이도 본래의 심장 또는 폐 기능이 충분히 기능할 수 있을 것으로 예상되며, 중단 시도(trial off)가 가능한 상태이다. 참고로 30-50%의 체외순환 보조가 유지되는 상황이라면 해결할 수 없는 출혈과 같은 특수한 상황이 있는 경우를 제외하고는 중단 시도를 하지 않는다.

B. 중단 시도(Trial off)

VV 적용 중에 중단 시도는 매우 간단하다. 심장 기능은 적절하므로 가스 교환 상태만 확인하면 된다. ECLS 보조 없이도 유지될 정도의 인공호흡기 설정 값(rate, plateau pressure, PEEP, FiO_2)으로 조정한다. 펌프 혈류와 항응고제 사용은 지속하되 스위프 가스 공급을 중단 후 산화기를 차단(cap off) 한다. 환자의 SaO_2 와 PCO_2 를 지속적으로 확인한다. 폐 기능이 허용할 수 있는 인공호흡기 설정값에서 1 시간 이상 적절하게 유지되면 캐뉼라 제거를 할 수 있다.

VA 적용 중에 중단 시도를 하려면 배액 및 주입 혈관을 클램핑하고 AV bridge 를 통해 회로를 천천히 순환시켜야 한다. 강심제와 혈관수축제의 용량과 인공호흡기 설정을 허용할 수 있는 수준으로 조정한다. 그런 다음 체외 회로를 클램핑하고 관류 및 가스 교환을 확인한다. 심초음파 검사는 trial off 중 심장 기능을 평가하는 데 매우 유용하다. Trial off 하는 동안 항응고제 투여가 계속되고 혈관과 접근 캐뉼라는 혈류정체를 예방하기 위해 주기적으로 클램핑을 풀어준다. 중단 시도가 성공하면 회로 라인을 절단하고 캐뉼라를 헤파린 식염수로 '고정'하여 캐뉼라 제거를 기다릴 수 있다. Trial off 가 성공했지만, 환자가 불안정한 경우 회로만 제거하고 캐뉼라는 혈관 그대로 두어 ECLS 보조를 다시 시작해야 하는 때를 대비할 수 있다. 이러한 상황에서는 저용량 헤파린 식염수를 캐뉼라에 주입하고 자주 재평가해야 한다. 삽입된 캐뉼라는 24 시간

이상 그대로 둘 수 있다. ECLS 의 추가적인 필요성에 대한 불확실성이 없다면 trial off 가 성공적으로 완료된 후 캐뉼라를 제거하는 것이 바람직하다.

C. 캐뉼라 제거(Decannulation)

캐뉼라는 환자가 준비되면 제거할 수 있다. 헤파린을 30-60분 동안 중단한 후에 제거하는 것이 좋다. 컷다운으로 삽입한 캐뉼라는 혈관을 노출해 캐뉼라를 제거하고 혈관을 간단히 결찰(종종 혈관 재건술이 필요한 경우도 있음) 한다. 대퇴동맥을 컷다운하여 캐뉼라를 삽입한 경우 혈관 교정술이 필요하다. 경피적 접근으로 삽입한 정맥 및 동맥 캐뉼라는 제거한 후 국소적으로 단순 압력을 가해 지혈한다.

정맥 캐뉼라를 제거할 때 환자가 자가 호흡을 하는 경우 공기가 측면 구멍을 통해 정맥혈로 들어갈 수 있다. 이는 정맥 캐뉼라 제거 시 인공호흡기의 발살바 조작(Valsalva maneuver)이나 단기적인 신경근 차단제 투여로 예방할 수 있다.

D. 무의미함으로 인한 보조 치료 중단(Stopping support for futility)

건강하게 생존할 희망이 없다면(중증 뇌 손상, 심장이나 폐의 상태가 회복되지 않는 경우, 심실보조장치(VAD)나 심장이식이 가능하지 않은 경우) ECLS 치료를 즉시 중단되어야 한다. 보조 치료를 시작하기 전 더 이상 치료가 무의미한 상황이 되면 치료를 중단해야 할 수 있음을 환자의 가족들에게 설명해야 한다. 비가역적 심장 또는 폐 손상의 정의는 환자와 기관의 자원에 따라 다를 수 있다. 각각의 경우, 장기 회복 또는 이식에 대한 합리적인 기한을 과정 초기에 정해야 한다. 예를 들어, 심부전의 경우 심실보조장치 또는 이식 후보자가 아닌 환자에게서 3-5일 동안 심장 기능이 없다면 대부분의 센터에서 무익한 것으로 간주한다. 50일 동안 ECLS를 적용한 후 폐가 회복되는 경우도 있지만, 폐부전의 경우 이식 대기 후보가 아닌 환자에서 2주 동안 폐 기능 회복이 없다면 많은 센터에서 무익한 것으로 간주한다. 호흡부전 환자에서 수 주 동안 VV-ECMO 보조에도 폐고혈압이 지속되는 경우도 VV 보조 치료가 무의미한 상태로 볼 수 있으며, 적어도 VA 보조로 전환이 필요할 수 있는 상태이다.

VI. 환자별 및 질환별 진료 지침

본 진료 지침은 모든 ECLS 사례에 적용할 수 있도록 작성되었지만, 특정 상황에서는 여전히 수정 보완이 필요하다. 신생아, 소아 및 성인 각각에 대한 호흡 및 심기능 보조에 관한 환자별 및 질환별 진료 지침은 별도로 작성하였으며, 천식, 폐색전증, 패혈증, 체외순환심폐소생술(ECPR) 등과 같은 특수 상황별 지침 역시 추후 마련될 예정이다.

VI. 예상 결과 (환자 및 질환 범주별)

환자별/질환별 진료 지침을 참조한다. ECLS 치료를 받은 환자에 대한 결과는 ELSO Registry의 반기 보고서에서 확인할 수 있다.