

7강

체온의 조절

김유용 교수

목차

① 체 온

② 외온동물

③ 내온동물



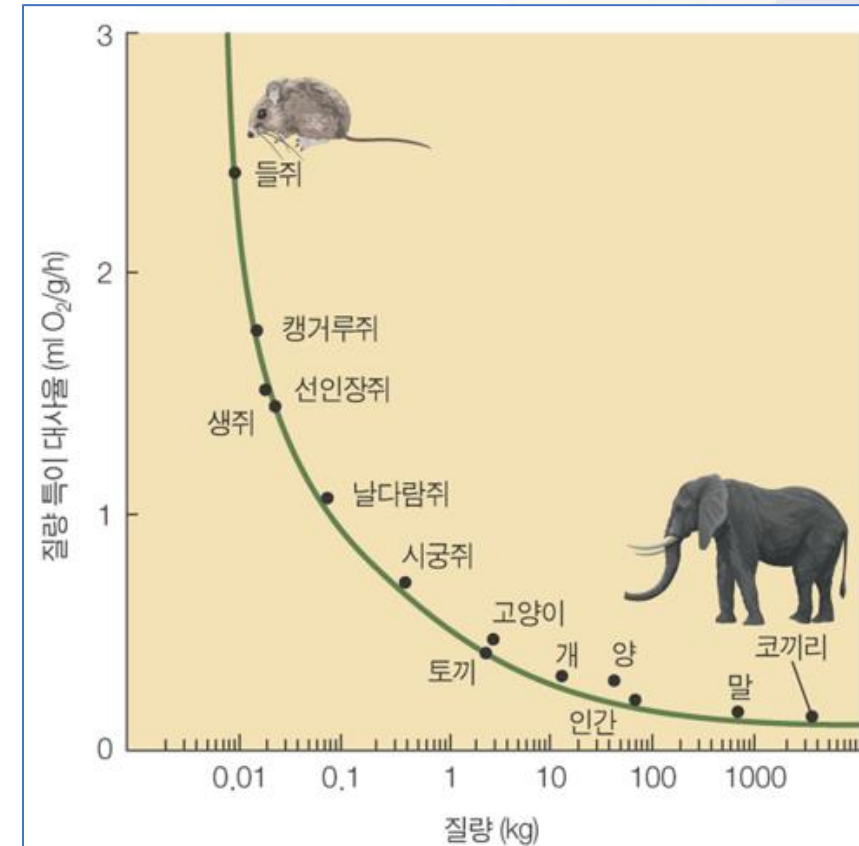
01

체온

동물의 대사율 (Metabolic rate)

1. 체온

- 표준대사율 (standard metabolic rate)
 - 일반적인 정상적인 온도에서 외온동물의 휴식대사율
→ 외부온도에 따라 변하므로 온도를 명시해야 함
- 기초대사율 (basal metabolic rate)
 - 동물의 열조절이 필요 없는 상태에서의 휴식대사율
- 대사율과 체중의 상관관계
 - 체중이 무거운 동물이 더 많은 에너지를 소모
→ 단위체질량(부피/시간/kg)으로 계산시 들쥐가 코끼리보다 훨씬 많은 대사율을 가짐



(라이프사이언스, 2009)

➤ 체온

- 동물의 활동적인 대사가 가능한 체온 범위 : $-2^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$
 - -2°C : 해수의 어는점 / 50°C : 일부 사막, 해양의 열수 배출구
 - 남극의 펭귄도 체내의 열 발생과 보존으로 체온 약 40°C 로 유지
 - 일부 동물은 -2°C 이하의 체온에서도 생존가능, 대부분 동면 상태
 - 50°C 이상의 체온에서 견디는 동물은 없음
- 체온유지에는 고온이 저온보다 위험
 - 저온: 모든 대사를 지연시킬 뿐
 - 고온: 비가역적으로 세포막, 단백질 손상시킴



➤ 온도에 적응하며 진화한 예시

■ 생체막

- 지방산 사슬들 간의 소수성 상호작용으로 약하게 결합되어 있음
- 이로 인해 물질 수송에 중요한 특정 점성도와 유동성을 가짐
- 온도 변화에 매우 민감
 - 저온 : 점성도 증가로 막이 지나치게 견고해짐
 - 고온 : 점성도를 잃고 지나치게 유동적



온도 적응 (Adaptation)

1. 체온

➤ 온도에 적응하며 진화한 예시

■ 생체막 (세포막, 피부)

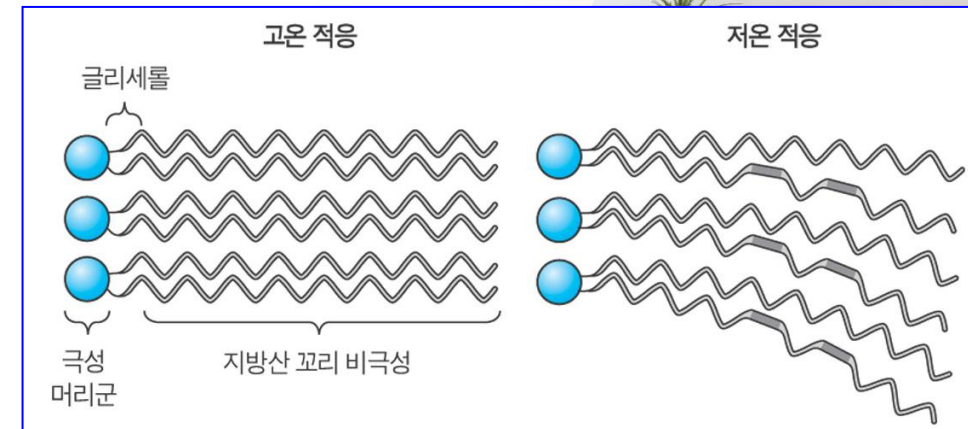
- 이를 지방산의 길이, 지방산의 포화도의 변화로 대응

➔ 고온에 적응한 동물 : 생체막 내 포화지방산, 콜레스테롤 함량 ↑

➔ 인지질 유동성 ↓

➔ 저온에 적응한 동물 : 생체막 내 불포화지방산 함량 ↑

➔ 인지질 유동성 ↑



➤ 온도에 적응하며 진화한 예시

■ 효소(체내 단백질)

- 고온 노출 시, 변성되어 기능 상실
- 저온 노출 시, 견고해지면서 기능 감소
- 이를 효소가 반응을 촉매하는 속도를 조절하여 대응
 - ➔ 고온에 적응한 동물 : 효소가 비효율적으로 반응 촉매
 - ➔ 저온에 적응한 동물 : 효소가 빠르게 반응 촉매
 - ➔ 이를 통해 온도와 효소의 유용성 간의 균형을 유지



➤ 분류

- **외온동물** : 체온유지에 외부 열원에 의존하는 동물
→ 파충류, 뱀, 나비, 거북 등
- **내온동물** : 체온유지에 내부 열원에 의존하는 동물
→ 체내 대사를 통해 열을 생산
- **변온동물** : 환경에 따라 체온이 변하는 동물
→ 파충류(뱀), 양서류(개구리), 어류, 무척추동물
- **항온동물** : 환경과 관계없이 체온이 유지되는 동물



체온 유지에 따른 분류

1. 체온

➤ 분류

- **외온동물 = 변온동물, 내온동물 = 항온동물로 착각**
→ 마멋은 포유류인 내온동물이지만 동면을 하기 때문에,
동면 기간 동안은 체온이 떨어지는 변온동물
- **내온성이지만, 완전한 항온성 아닌 동물 - 이온동물**
 - 항온 동물 역시 완벽히 체온을 일정하게 유지할 수는 없음
보통 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 체온 변이까지는 항온성으로 간주
 \therefore 항온동물과 이온동물의 명확한 구분은 어려움

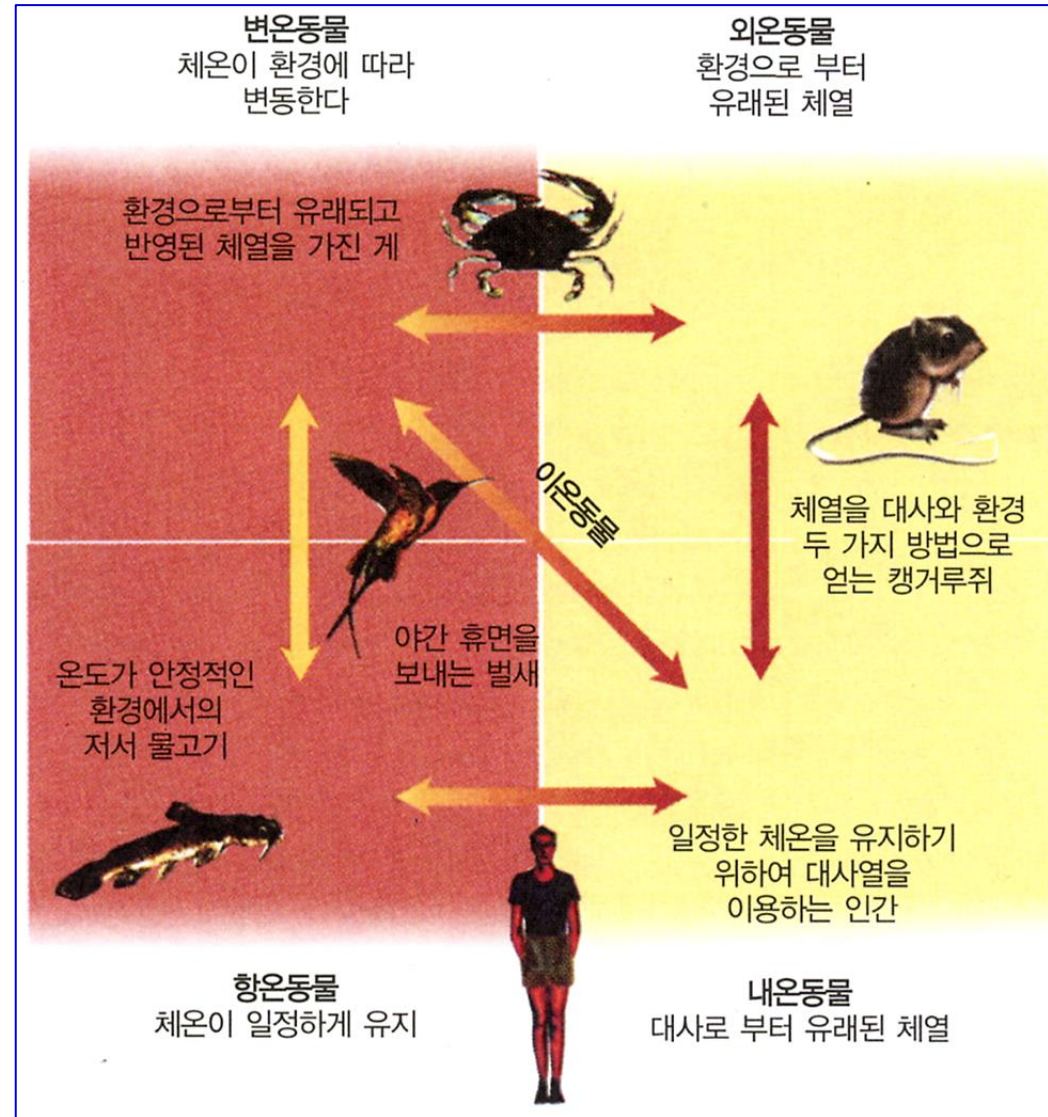


(BBC, 2019)

체온 유지에 따른 분류

1. 체온

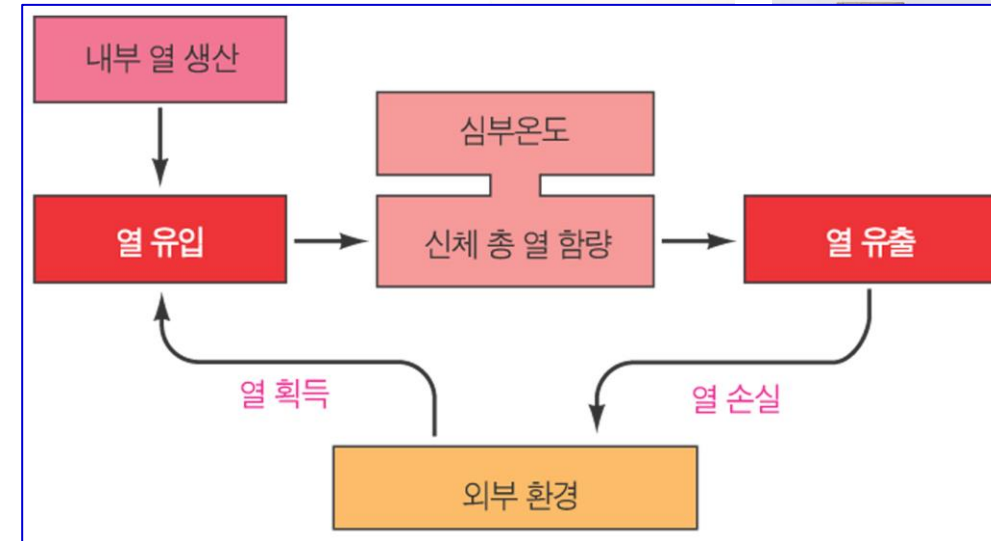
➤ 분류



(에커트, 2004)

➤ 체온유지 방법

- 외온동물, 내온동물 모두 체온은 열의 유입과 유출의 차이에 의존
- **열의 유입**
 - 외부 환경 : 외온동물의 주된 방식
 - 내부 열발생 : 내온동물의 주된 방식
- **열의 유출**
 - 동물의 표면에서 열 손실
➔ 외온동물, 내온동물 모두 해당됨



(라이프사이언스, 2009)

➤ 체온 유지 방법

- 모든 열 손실, 열 획득은 표면과 그 주변 환경 사이에서 발생
- 이때 열 이동 메커니즘을 따름
 - 복사 : 공간을 이동하는 전자기파의 형태 예) 태양열
 - 전도 : 직접 맞닿은 물체 중 따뜻한 물체에서 찬 물체로 운반
한 분자로부터 인접한 분자로 열 에너지가 이동
 - 대류 : 공기의 흐름에 의한 열 에너지 운반, 예) 전기난로
체 표면에 공기 이동을 강화하면 촉진됨
 - 증발 : 땀과 같은 액체가 기체 수증기로 전환
피부의 수분이 증발하면서 피부로부터 열을 흡수후 발산



체온유지 방법

1. 체온

▶ 체온 유지 방법

화살표의 방향은 열 운반을 나타낸다.

1 복사 - 공간을 여행하는 전자기파('열 파')의 형태로 더운 물체로부터 더 찬 물체로 운반된다.

2 전도 - 직접 맞닿은 물체 중 더 따뜻한 물체에서 더 찬 물체로 열 운반. 열은 열에너지가 한 분자로부터 인접한 분자로 열에너지의 이동을 통하여 운반된다.

3 대류 - 공기의 흐름에 의한 열에너지 운반. 전도의 증가를 통하여 찬 공기가 몸에 의해서 덥혀지면 더 찬 공기로 대체된다. 이 과정은 체 표면에 공기의 이동을 강화시키면 촉진된다.

4 증발 - 땀과 같은 액체가 기체 수증기로 전환, 이 과정은 열(증발열)을 필요로 하며 이를 피부로부터 흡수한다.

눈 덩이

가열 방식

액체가 기체로 전환된다.

대류

(라이프사이언스, 2009)

➤ 심부체온 조절

- **항온동물에서는 비교적 일정하게 유지**
 - ➔ 가축에서는 직장의 온도를 측정, 심장의 온도와 가장 근접
- **변온동물에서도 외부 환경온도의 변화보다는 변화가 적음**
- **조절 수단**
 - 외부 열 획득, 찬 환경에 손실 회피 (모피)
 - 내부 열의 보존 (동절기에 나는 피모)
 - 내부 열 발생 증가 (운동, 움직임)
 - 과다한 내부 열 제거, 뜨거운 환경으로부터 획득 감소 (그늘)



02

외온동물

➤ 체온 조절 방법

- 체온은 환경을 따르거나 외부와의 교환에 의해 조절
- 외부 온도가 체온과 차이가 클 때, 상반되는 2가지 반응
 - ➔ 변온성, 외온성 조절
- 변온성
 - 주변 온도가 변함에 따라, 체온도 변함
 - 동물의 대사율은 추운 곳에서 ↓, 따뜻한 곳에서 ↑
 - 육상생물은 수상생물보다 체온변화가 적음
 - ➔ 공기는 물보다 열전달에 효율적이지 못하기 때문



➤ 체온 조절 방법

■ 외온성 조절

- 주운 심해와 같은 **일정한 환경에 사는 외온동물의 경우, 포유동물보다 항온성이 더 좋음 (고래, 물개, 물고기)**
 - ➔ 약간의 온도 변화도 그들에게 치명적
- **약간의 기간동안 외온동물이 항온성을 유지할 수 있는 방법**
 - ➔ 외부 열 획득과 찬 환경에 손실 회피
 - ➔ 내부 열의 보존
 - ➔ 내부 열 발생 증가
 - ➔ 과다한 내부의 열 제거와 뜨거운 환경으로부터 획득 감소



▶ 체온 조절 방법

■ 대사보상

- 온도 변화에 적응하기 위한 생리적 변화
- ex) 저온에 익숙해진 악어는 추운 곳에서 더 잘 움직이게 됨

■ 대사보상 메커니즘

- 유사점성도 막 적응 : 생체막의 유동성 변화
- pH조절 : 추운 곳에 익숙해진 동물은 내부 pH가 높음
- 효소 농도의 변화 : 호흡에 관여하는 효소를 증가시킴
- 동형 조절 : 온도에 따라 다른 형태인 동일한 단백질을 발현



➤ 높은 온도에서의 생존

■ 단시간 노출

- 열충격 반응 유도

→ 열충격 단백질(HSPs) 유전자 활성화

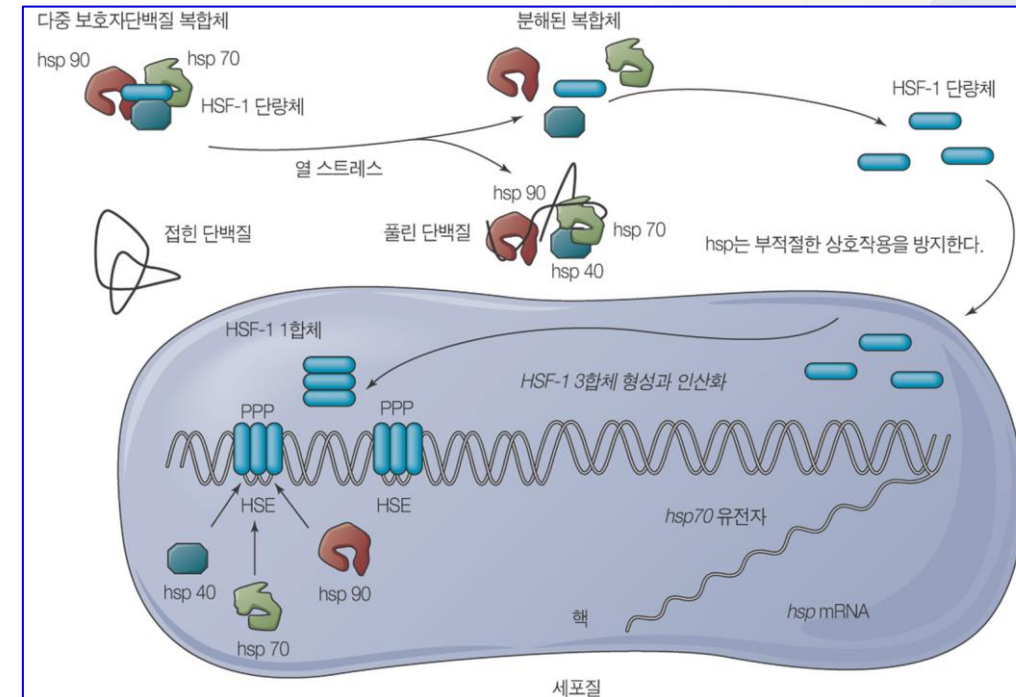
→ HSPs : 열에 의한 세포 치사 방지

■ 장시간 노출

- 대사보상이 발생, 결국은 사망

→ 남극의 물고기는 5°C 부터 사망

➔ 지구온난화로 인한 가축의 고온 스트레스문제는 축산분야에서 많은 연구가 진행되고 있음



(라이프사이언스, 2009)

➤ 낮은 온도에서도 생존

- 낮은 온도일 경우

- 대사율을 극적으로 낮춤(정상적인 휴식 대사율의 1~10%)
→ ATP 소모율 감소(저장된 에너지로 10배의 기간 연장)

- 일부는 체온이 어느점 이하로 내려가도 생존

- 결빙 내성 : 체액이 얼더라도 생존
→ ATP 사용 거의 없음, 신경 활동도 최소화
- 결빙 회피 : 항결빙제 단백질로 결빙 방지
과냉각 현상 이용



03

내온동물

➤ 내온동물

- 내온성 : 외온성에 비해 항온성 유지에 쉽기에, 더 진화된 형태로 생각됨
- 일반적으로 체온 이하의 환경에서 서식
- 내온동물은 대사과정 빠름
 - ➔ 체온 유지를 위해 끊임없이 열을 발생해야 함
 - ➔ 이를 위해 외온동물보다 5~20배 많은 에너지 소모
 - ➔ 높은 대사작용으로 과열될 위험성 존재
 - 이를 방지하고자, 효과적인 열 제거 메커니즘 보유



➤ 체온조절 4가지 메커니즘

1) 외부 열 획득, 추운 환경에서 손실 방지

- ➔ 외온성 행동 - 햇볕 쬐기 행동
- ➔ 태양 빛 흡수에 도움되는 짙은 피부

2) 내부 열의 보유

- ➔ 피부밑 혈관의 수축
- ➔ 가을에 털과 지방조직량이 증가 (brown adipose tissue)
- ➔ 추운 기후에 사는 종은 크고 무거움
(시베리아 호랑이 vs 벵갈 호랑이)



➤ 체온조절 4가지 메커니즘

3) 더 많은 내부 열 발생

→ 근육의 떨림으로 열 발생

에피네프린과 갑상선호르몬에 의해 열발생

4) 여분의 열 제거, 더운 환경으로부터 획득 회피

→ 사막의 내온동물은 피하 지방 없음

혈관을 이완시켜 체온의 방출

더울 경우, 땀을 통한 증발량 증가



➤ 시상하부

- **뇌에서 온도를 감지하는 부위**
 - ➔ 앞쪽은 따뜻함, 뒤쪽은 냉각에 활성화
- 대부분의 체온조절 메커니즘을 feedback 형식으로 조절
- **신체 여러 부위에서 체온에 대한 정보 획득**
 - ➔ 이후 열 획득, 열 손실 메커니즘 개시
- 혈액 온도 0.01°C 의 변화에도 민감하게 반응

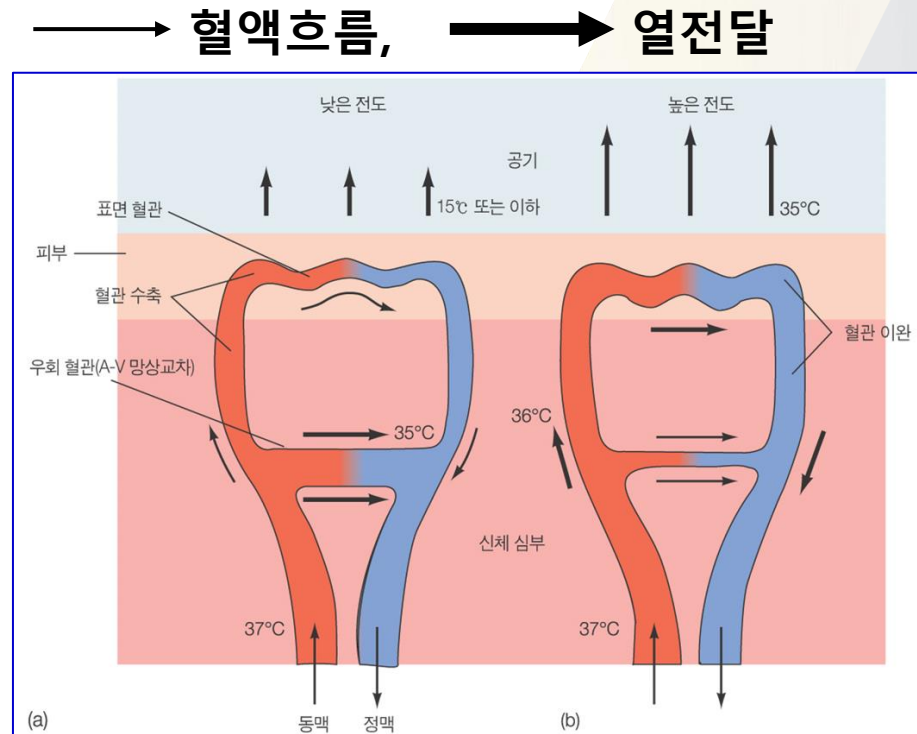


➤ 체온을 높여야 할 때

- 열발생 - 근육떨림, 갈색지방 대사, 내부열 발생
- 혈관수축 - 피부아래 혈관을 수축하여 혈류량 감소
- 호르몬분비 - 갑상선호르몬 분비, 신진대사 증가

➤ 체온을 내려야 할 때

- 발한 - 땀샘에서 땀 방출, 증발열로 열발산
- 혈관확장 - 피부 아래의 혈관확장, 혈류량 증가, 열방출



(라이프사이언스, 2009)

정리하기

➤ 체온

- 동물의 체온유지
 - 대사기능만 지연될뿐 고온과 저온에 적응
 - 생체막의 유동성, 피부 및 피모에 의해 환경에 적응
 - 변온동물, 항온동물, 외온동물, 내온동물 등으로 구분
- 내온동물의 체온조절 4가지 방법
 - 외부에서 열 획득 - 햇볧쑤기
 - 내부열의 유출억제 - 혈관수축, 모피와 지방조직 증가
 - 더 많은 내부열 발생 - 근육의 떨림 (겨울철 화장실에서 경험)
 - 여분의 열은 제거 - 사막의 동물은 피하지방이 거의 없음

8강

속종별 성장생리