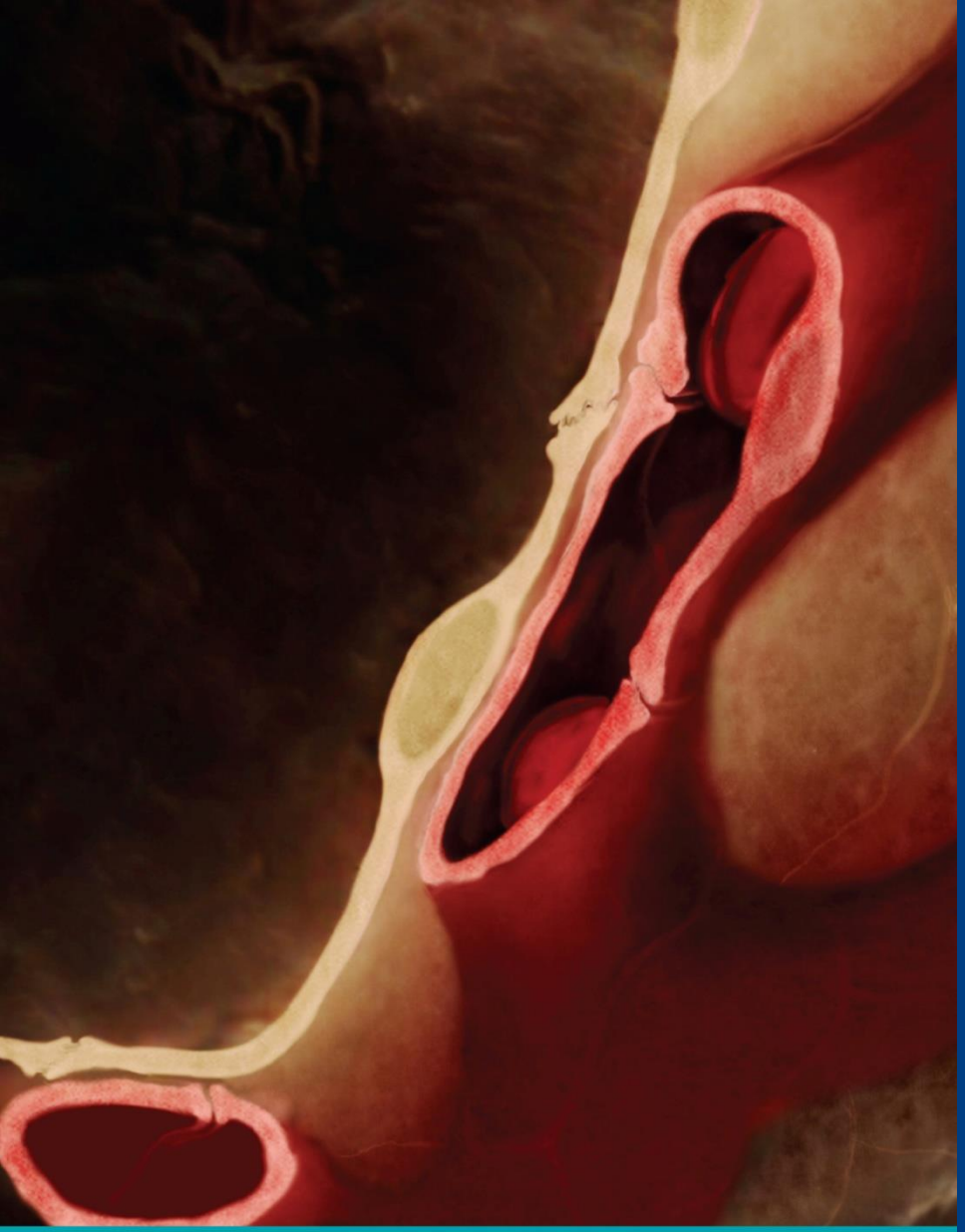


호흡막의 주사전자현미경 사진

17

호흡계: 가스교환과 호흡조절

Part B

Copyright © 2012 Biosciencepublishing, Inc

V. 환기의 중추조절

- 운동신경에 의한 호흡의 신경조절
- 뇌간에서 호흡리듬의 발생
- 말초신경의 호흡중추로의 입력

환기의 중추조절

- 호흡근 =골격근
- 운동신경에 의해 조절됨
- 흡기(Inspiration)
  - 횡격막신경(Phrenic nerve) → 횡격막 지배
  - 외늑간신경 → 외늑간근(external intercostal muscles)지배
- 호기(Expiration)
  - 내늑간근신경 →내늑간근(internal intercostal muscles)지배

안정호흡과 능동환기의 비교

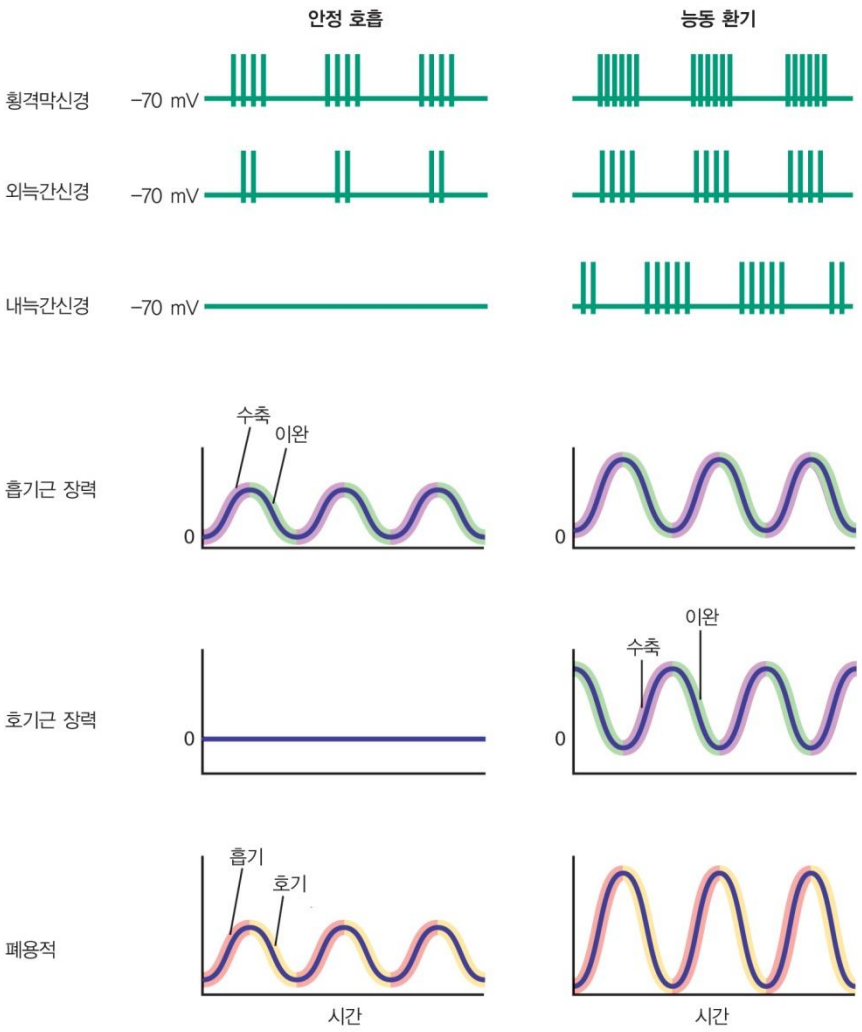


그림 17.14 안정 호흡과 능동 환기의 비교. 환기는 호흡근의 신경자극이 주기적으로 변하는 것과 관련이 있으며, 폐용적을 주기적으로 변화시킨다. 신경기록은 시간이 지남에 따라 활동전위가 발생하는 것을 보여준다. 안정호흡을 할 때 호기는 수동적으로 일어나므로 신경이나 호기근의 활성이 나타나지 않는다. 능동환기 중에 흡기뉴런과 흡기근은 더욱 활성화되고, 호기뉴런과 호기근도 활성화된다.

호흡리듬을 발생시키는 요소

- 흡기와 호기뉴런
- 연수의 호흡조절중추
- 교뇌의 호흡조절중추
- 중추형발동기

호흡을 조절하는 뇌간중추

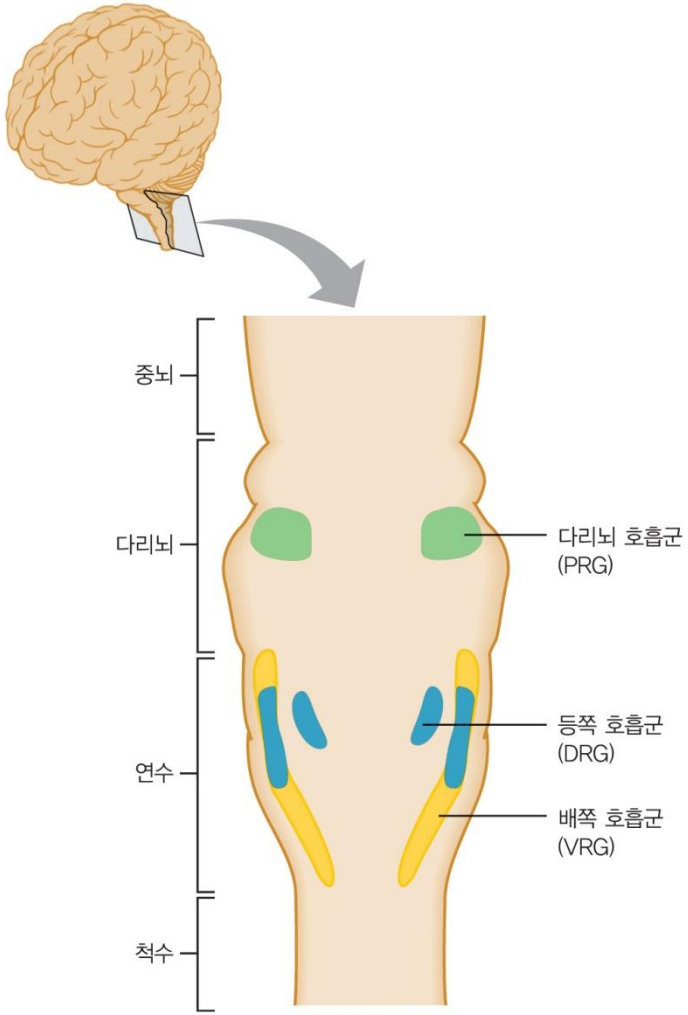


그림 17.15 호흡을 조절하는 뇌간 중추. 주로 흡기뉴런이 들어 있는 영역은 푸른색, 호기뉴런이 지배적인 영역은 노란색, 흡기뉴런과 호기뉴런이 산재해 있는 부위는 녹색으로 표시되어 있다.

- 흡기뉴런
  - 흡기중 탈분극
- 호기뉴런
  - 호기중 탈분극
- 혼합뉴런
  - 흡기와 호기뉴런의 특징을 모두지님

흡기뉴런의 활동

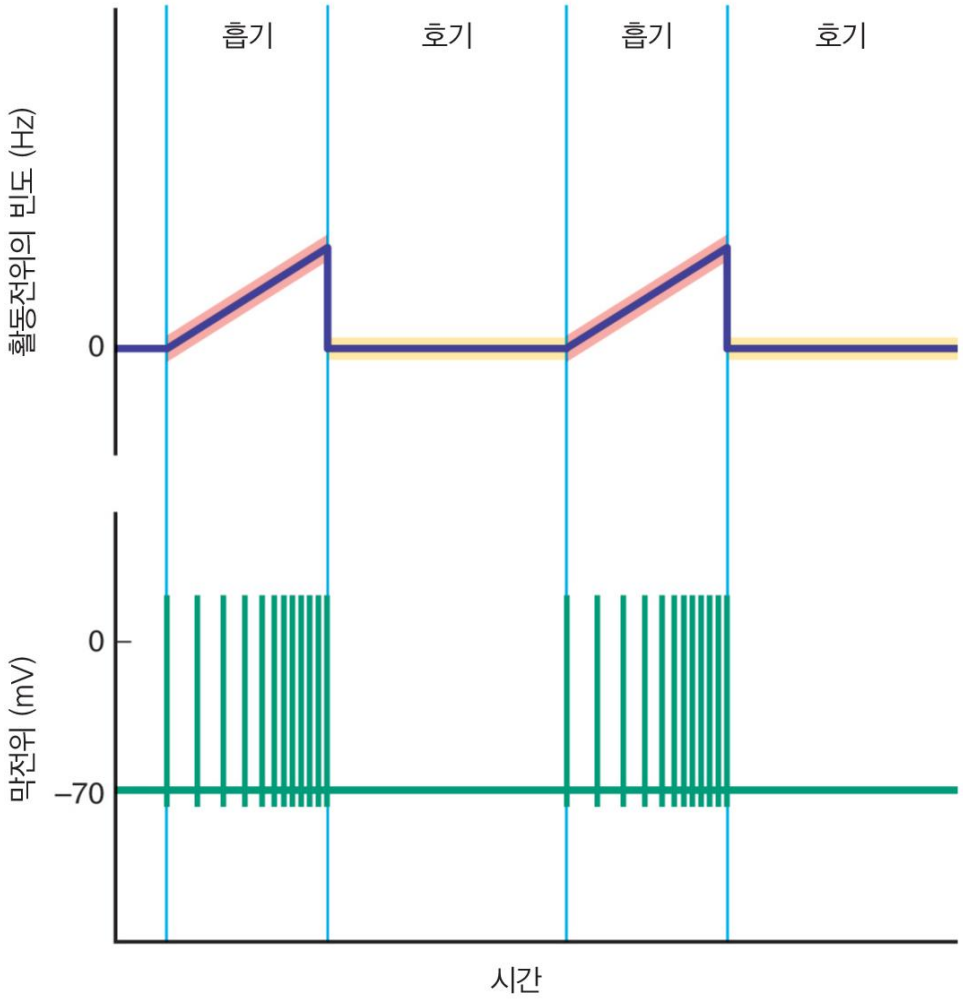


그림 17.16 흡기뉴런의 활동. 흡기뉴런은 흡기 중 활동전위의 빈도가 일정한 기울기로 증가하는 모습을 보이며, 흡기가 끝날 무렵 모든 활동이 갑자기 끝나면서 호기가 시작된다.

운동뉴런의 출력

- 흡기뉴런이 흡기근을 조절하는 운동뉴런을 조절한다는 최근이론이 있다
- 호기뉴런은 호기근을 조절하는 운동뉴런을 조절하여 호기뉴런을 억제한다는 최근이론이 있다

교뇌의 호흡조절중추

교뇌호흡군(Pontine respiratory group)

- 흡기, 호기, 혼합뉴런이 있다
- 흡기와 호기의 전환을 조절

중추형발동기

- 중추형발동기는 호흡주기를 나타냄
- 활동기작은 알려지지 않음

안정호흡 모델

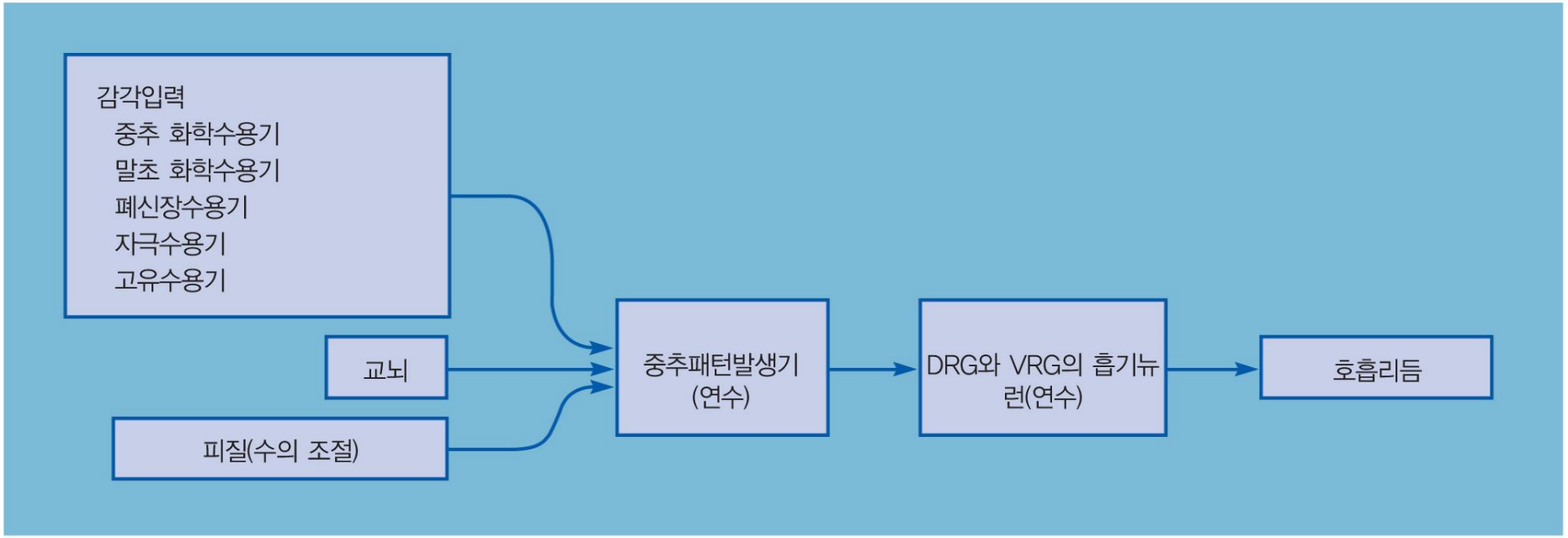


그림 17.17 안정 호흡 중의 호흡조절 모델.

말초신경의 호흡중추로의 입력

- 화학수용기(Chemoreceptors)
- 폐신장수용기(Pulmonary stretch receptors)
- 자극수용기(Irritant receptors)
- 근육과 관절의 고유수용기(proprioceptors)

VI. 화학수용기에 의한 환기조절

- 화학수용기
- 화학수용기 반사

화학수용기

- 화학수용기는 O_2 와 CO_2 분압을 감지
- 경동맥소체에 있는 말초화학수용기(Peripheral chemoreceptor)
- 연수에 있는 중추화학수용기(Central chemoreceptor)

말초화학수용기

- 경동맥동 주변의 경동맥 소체(carotid body)에 위치
- 동맥혈과 직접 접촉
- 화학전달자의 분비로 원심성뉴런(afferent neurons)과 소통
- 원심성뉴런은 연수의 호흡조절영역으로 돌출
- 혈액의 pH변화에 주로 반응

말초화학수용기

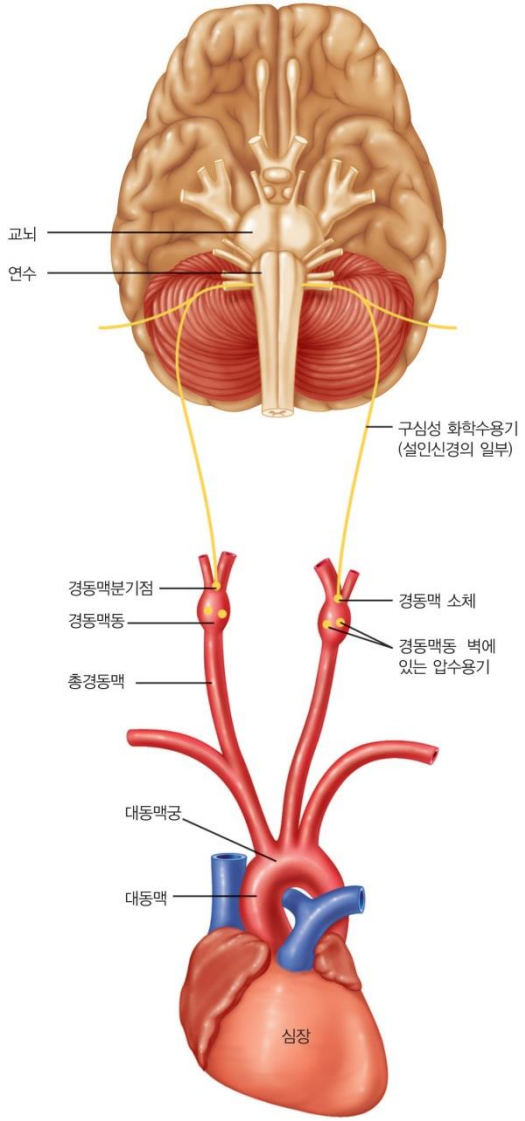
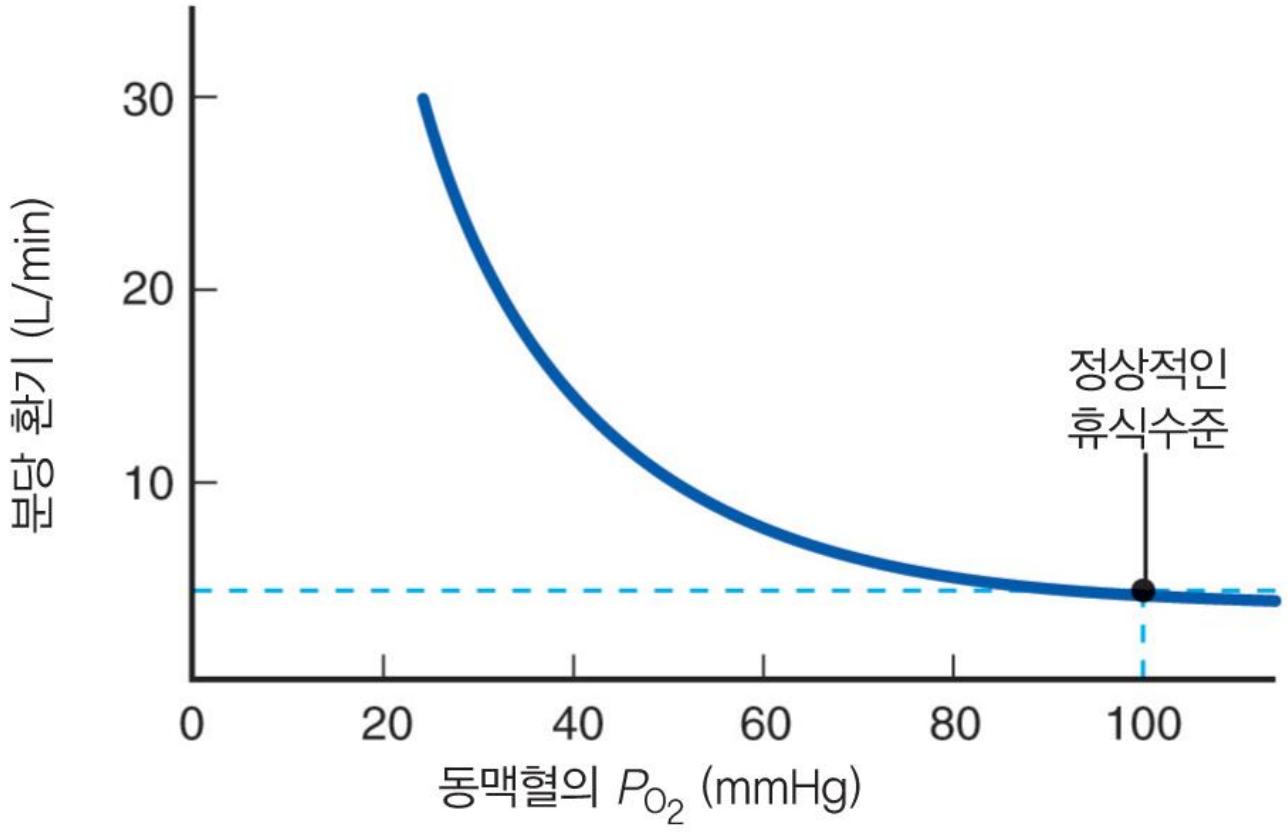


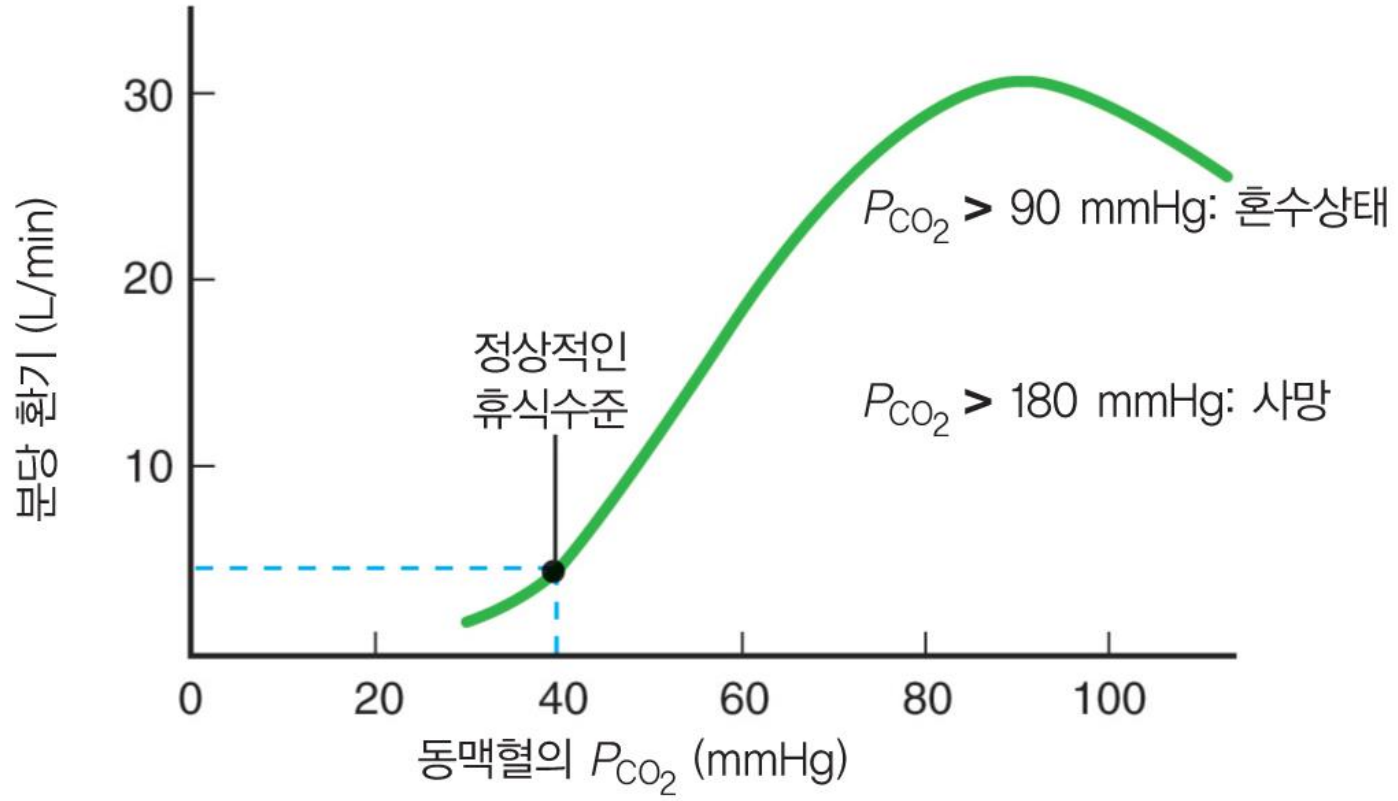
그림 17.18 경동맥 소체에 있는 말초 화학수용기의 위치. 화학수용기에서 들어오는 구심성 뉴런은 연수로 올라가지만 직접 호흡중추로 가는 것은 아니다.

환기에 대한 동맥혈의 P_{O_2} 효과



(a) 환기에 대한 동맥혈의 P_{O_2} 효과

환기에 대한 동맥혈의 P_{CO_2} 효과



(b) 환기에 대한 동맥혈의 P_{CO_2} 효과

중추화학수용기

- 연수의 배쪽표면에 위치
- 뇌척수액(CSF)의 pH변화에 반응
- CO_2는 직접 영향을 주지 않는다
  - pH에 의한 CO_2에 간접적으로 반응
  - CO_2 증가-> pH 감소
- $[O_2]$의 농도변화에 반응하지 않음

중추화학수용기

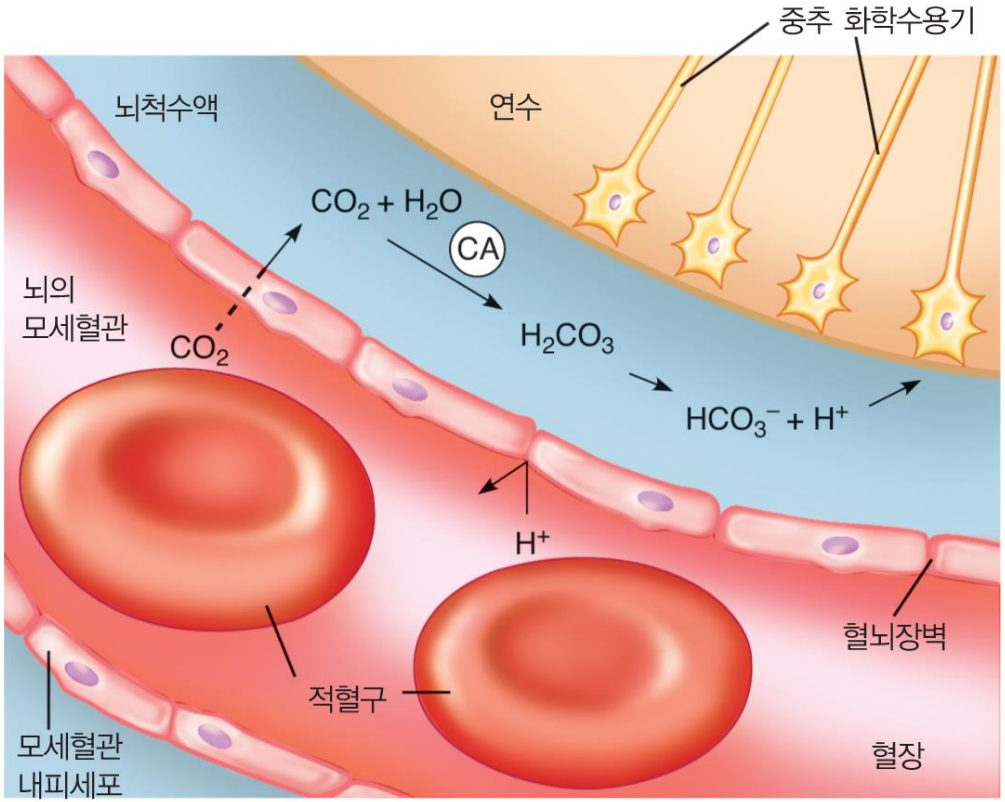


그림 17.20 연수에 있는 중추 화학수용기의 활동. 중추의 화학수용기는 뇌척수액의 pH 변화에 가장 잘 반응한다. 하지만 수소이온은 혈뇌장벽을 통과할 수 없으므로 대신 혈액 속의 이산화탄소가 뇌척수액으로 확산되어 탄산탈수효소(CA)에 촉진작용에 의해 이산화탄소와 물을 탄산(H_2CO_3)으로 전환한다. 탄산은 중탄산염(HCO_3^-)과 수소이온(H^+)으로 분리된다. 그 후 수소이온은 중추 화학수용기를 활성화시킨다.

화학수용기 반사

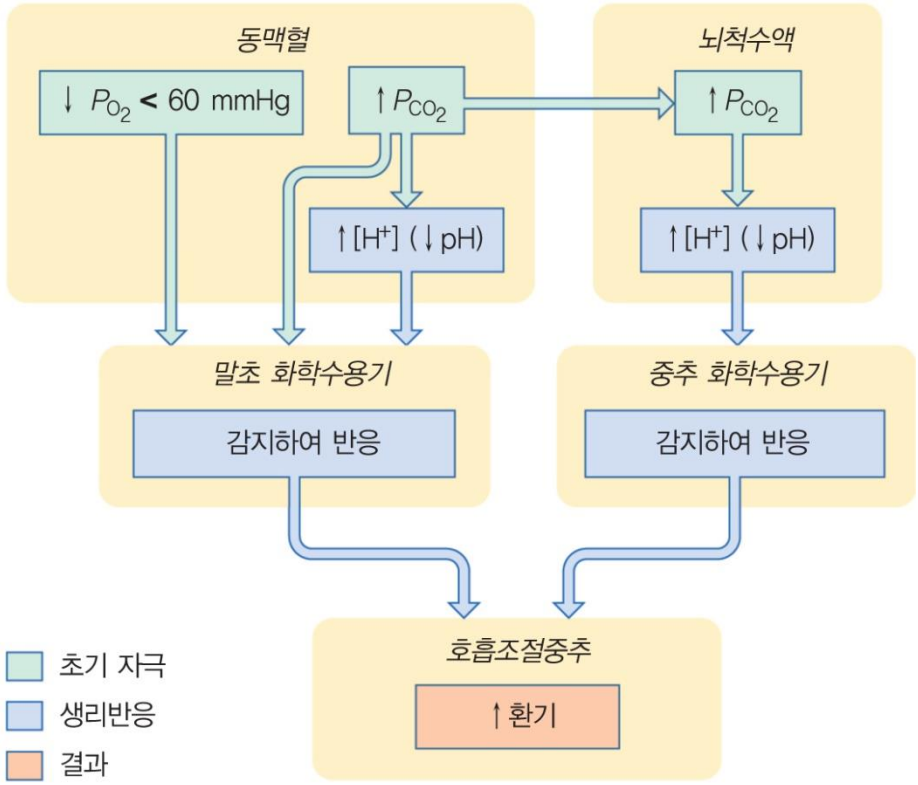
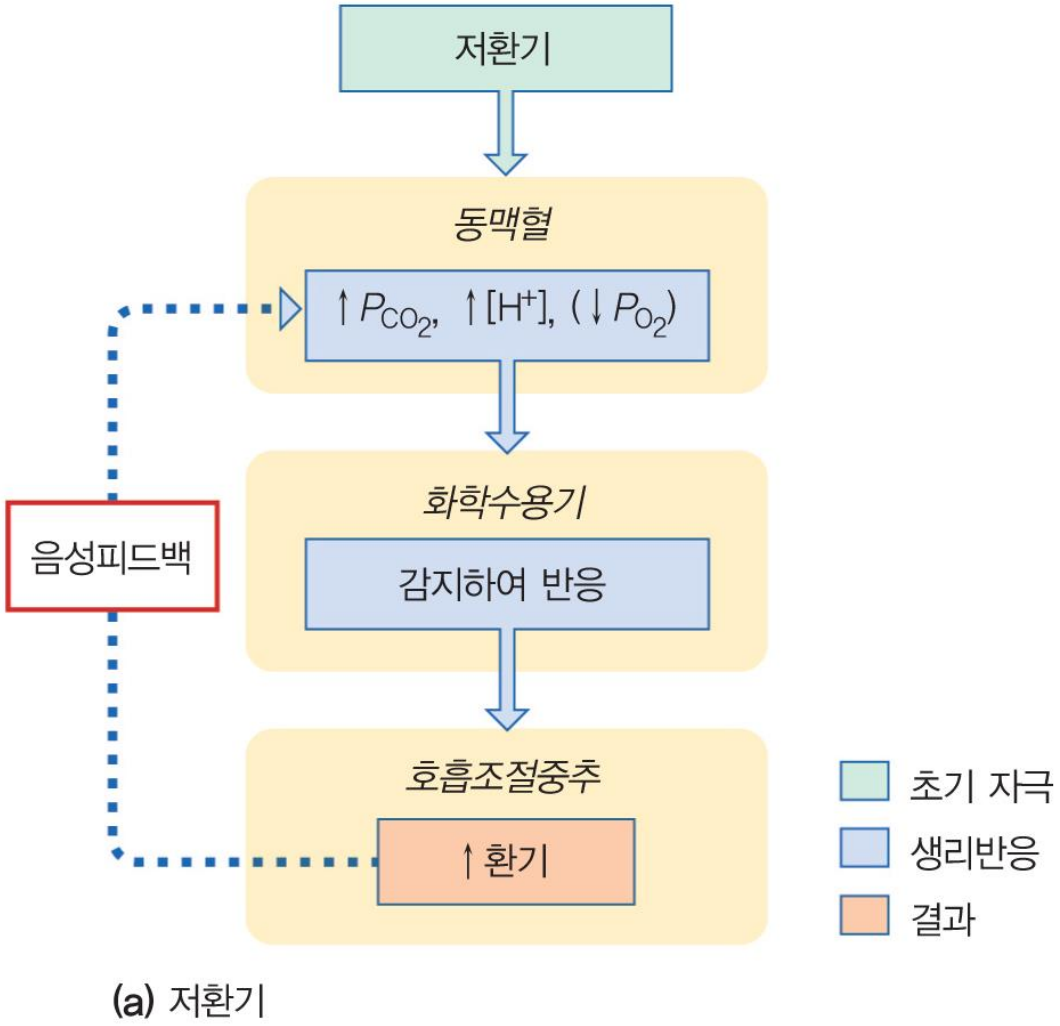


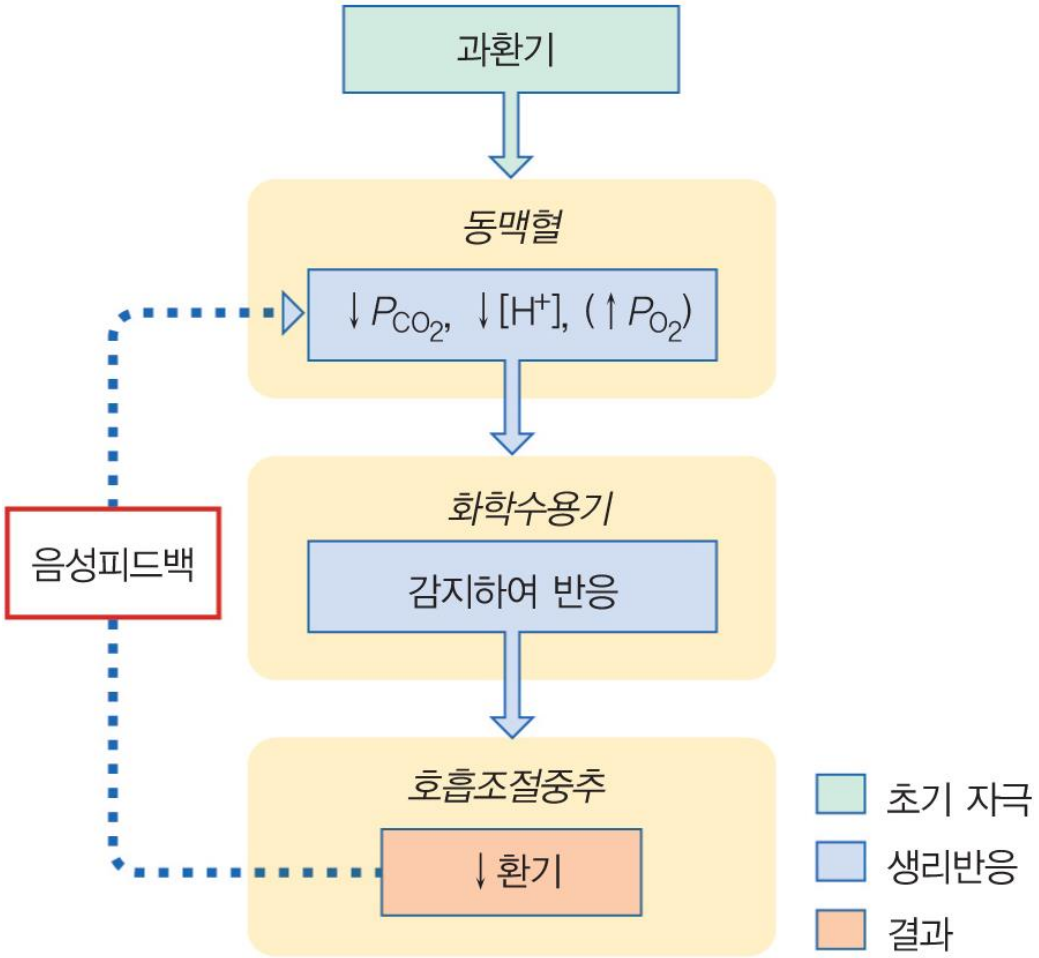
그림 17.21 화학수용기 반사: 환기에 대한 동맥혈의 P_{O_2}, P_{CO_2}, pH 변화의 효과. 동맥혈의 P_{O_2}가 60 mmHg 이하로 감소하면 말초 화학수용기는 활성화되지만 중추 화학수용기에는 별 효과가 나타나지 않는다. 동맥혈의 P_{CO_2}가 증가하면 말초 화학수용기가 직접 활성화되고, 이산화탄소가 수소이온(그리고 중탄산염)으로 전환된 후에는 말초와 중추 화학수용기 모두 활성화된다. 동맥혈의 pH가 감소하면 말초 화학수용기가 활성화된다. 일단 활성화되면 화학수용기는 환기가 증가하도록 자극하여 맨처음의 자극으로 음성피드백이 일어나도록 한다.

저환기



(a) 저환기

과환기



(b) 과환기

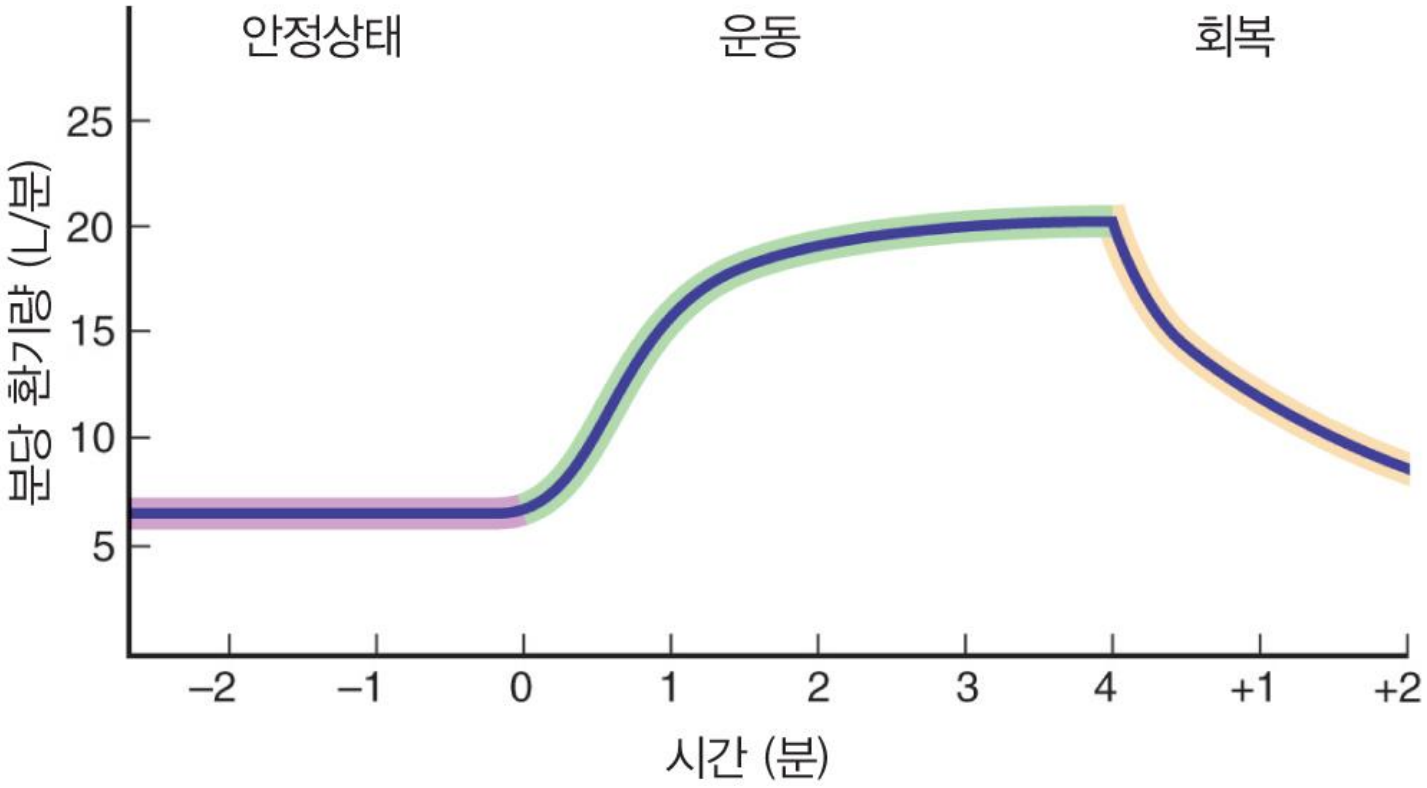
환기와 운동

- 피드포워드(Feedforward) 기전
  - 중추
  - 근육수용기
    - 화학수용기
    - 기계수용기(Mechanoreceptor)

환기와 운동

- 피드백 기전
  - 환기 억제
  - 과환기 방지

환기와 운동



VII. 환기와 관류의 국소조절

- 환기-관류 비
- 환기와 관류의 국소조절

관류에 대한 환기의 대비

- 환기(Ventilation) =공기흐름의 비율
- 관류(Perfusion) = 혈류의 비율
- 국소 환기와 관류는 대비를 이루어 조절됨

환기-관류 비

- 환기= $\dot{V}A$
- 관류 = $\dot{Q}$
- $\dot{V}A/\dot{Q}$ = 환기-관류 비(Ventilation-perfusion ratio)

환기-관류 비

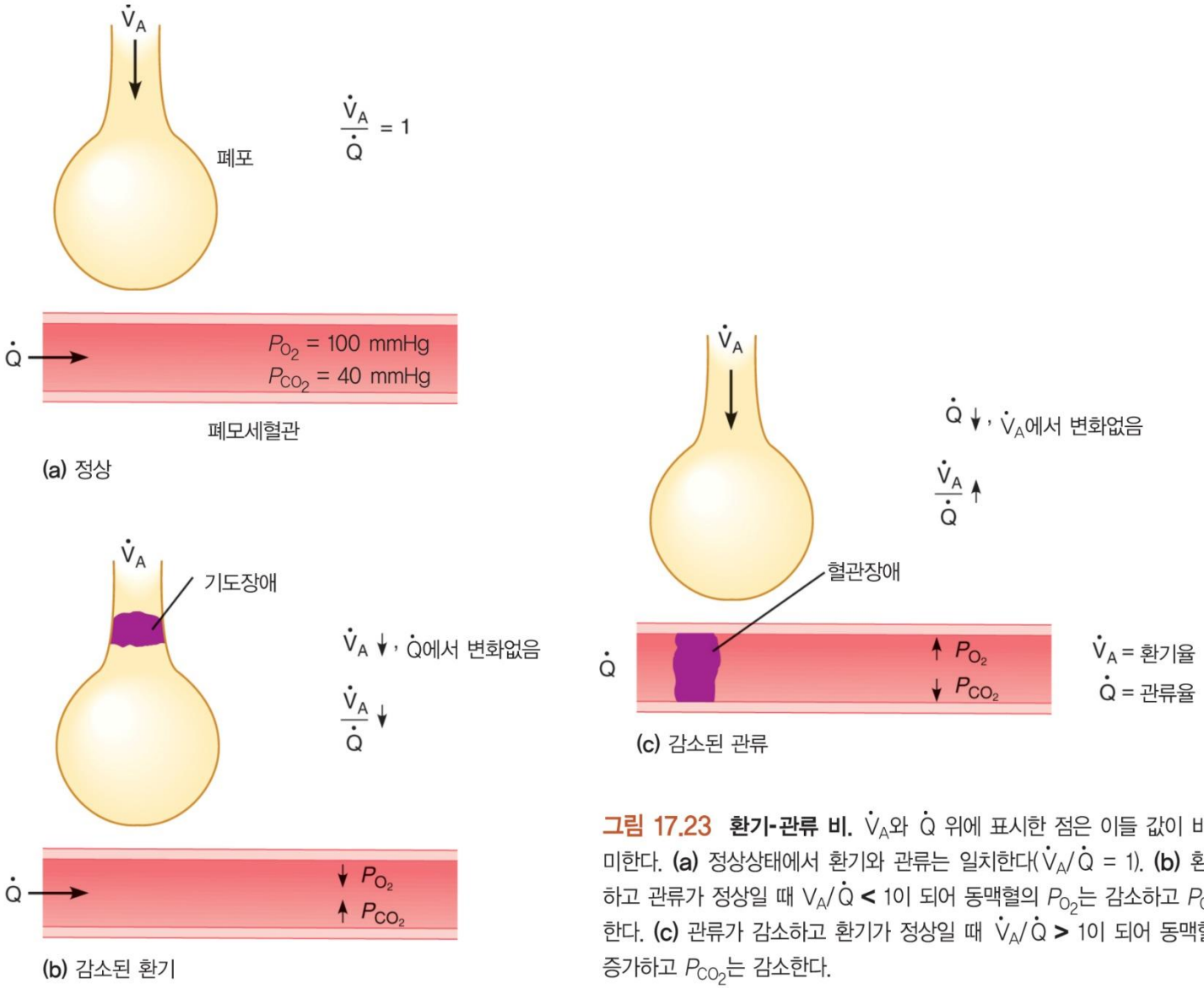


그림 17.23 환기-관류 비. $\dot{V}_A$와 $\dot{Q}$ 위에 표시한 점은 이들 값이 비율임을 의미한다. **(a)** 정상상태에서 환기와 관류는 일치한다($\dot{V}_A/\dot{Q}$ = 1). **(b)** 환기가 감소하고 관류가 정상일 때 $\dot{V}_A/\dot{Q}$ < 1이 되어 동맥혈의 P_{O_2}는 감소하고 P_{CO_2}는 증가한다. **(c)** 관류가 감소하고 환기가 정상일 때 $\dot{V}_A/\dot{Q}$ > 1이 되어 동맥혈의 P_{O_2}는 증가하고 P_{CO_2}는 감소한다.

관류에 대한 환기 대비 기전

- 폐 일부에 환기가 감소하면
  - 혈액과 공기의 P_{CO_2} 증가P_{O2} 감소
  - 세기관지의 P_{CO_2} 증가→ 기관지 확장
  - 동맥혈의 P_{O2} 감소 → 혈관수축
- 일부 폐포에서 관류가 감소하면
  - 혈액과 공기의 P_{O_2} 증가, P_{CO_2} 감소
  - 소동맥의 P_{O_2} 증가 →혈관확장
  - 세기관지의 P_{CO_2} 감소 →기관지수축

환기와 관류의 조절

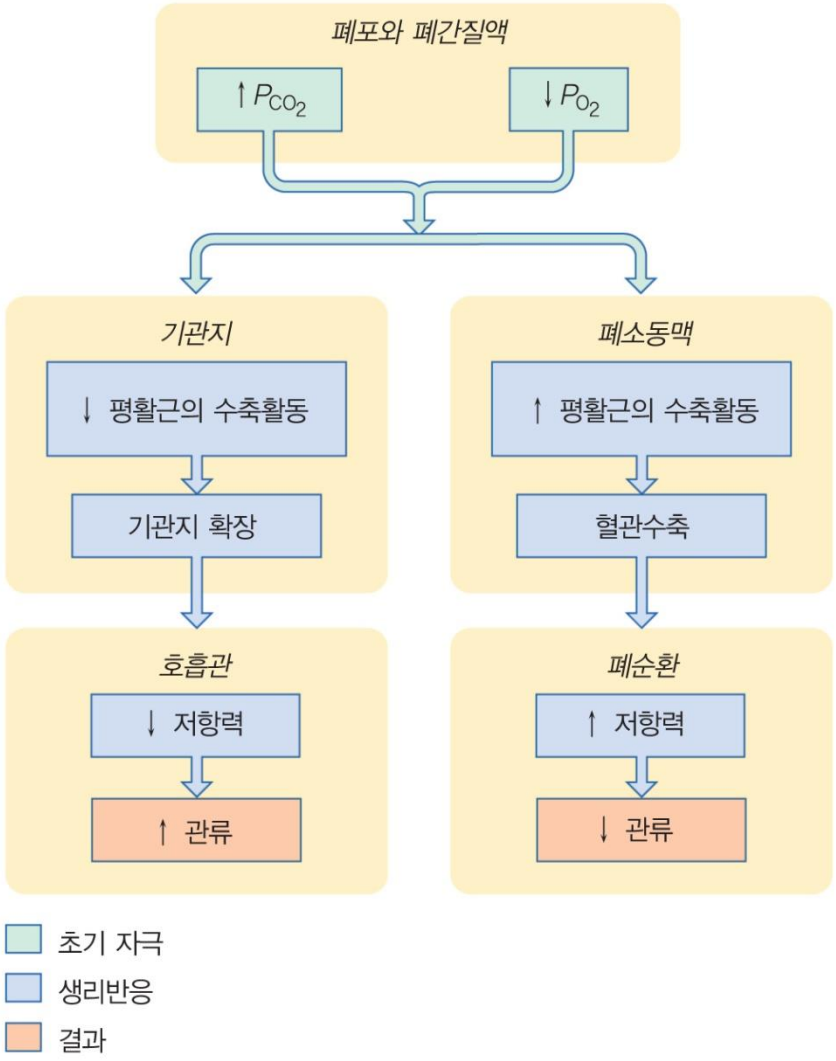


그림 17.24 환기와 관류의 국소조절.

환기-관류 짝물림

표 17.4 기관세지와 폐소동맥 반경의 국소조절

폐에서 기체조성의 변화	기관세지의 반응	폐소동맥의 반응
증가된 P_{CO_2}	확장(증가된 $\dot{V}_A$*)	약한 수축(감소된 $\dot{Q}^{\dagger}$)
감소된 P_{CO_2}	수축(감소된 $\dot{V}_A$)	약한 확장(증가된 Q)
증가된 P_{O_2}	약한 수축(감소된 $\dot{V}_A$)	확장(증가된 Q)
감소된 P_{O_2}	약한 확장 (증가된 $\dot{V}_A$)	수축(감소된 Q)

$\dot{V}_A$*는 환기

$\dot{Q}^{\dagger}$는 관류

VIII. 호흡계의 산-염기 항상성

- 혈액의 산-염기 교란
- 산-염기 균형에 대한 호흡계의 역할

혈액의 pH

- 정상 혈액의 pH = 7.4 (7.3 –7.42)
- 호흡계와 비뇨계가 혈액의 pH를 조절
- pH의 작은 변화가 생리적으로 심각한 변화를 나타냄
    - 단백질 활성의 변화

혈액의 pH

- 산증(Acidosis) = pH < 7.35
  - CNS 의 활성을 떨어뜨림
- 알칼리증 = pH > 7.45
  - CNS가 지나치게 흥분

산-염기 균형에 대한 호흡계의 역할

- 완충제로서의 헤모글로빈
  - 디옥시헤모글로빈은 H^+에 대한 친화력이 크다
  - $Hb + H^+ \leftrightarrow HbH$
- 완충제로서의 중탄산 이온
  - $HCO_3^- + H^+ \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow CO_2 + H_2O$
- CO_2 농도 조절로 pH를 조절할 수 있다

핸더슨-하셀바하 식

$$pH = 6.1 + \log \frac{[HCO_3^-]}{[CO_2]}$$

- 정상적으로 동맥혈의 pH = 7.4로 유지하기 위해
  - $[HCO_3^-] : [CO_2] = 20:1$이어야 함
- 호흡계는 $[CO_2]$를 조절
- 신장은 $[HCO_3^-]$를 조절

호흡계의 산-염기 교란

- 호흡성 산증(Respiratory acidosis)
  - $[CO_2]$의 증가로 생김
- 호흡성 알칼리증(Respiratory alkalosis)
  - $[CO_2]$의 감소로 생김