# 10장 감각생리학

- 감각계의 일반적인 특성
- 체성감각

# 감각계의 일반적인 특성

감각수용체: 물리적 에너지형태로 자극이 받아들여 세포내 신호로 전환하는 변환기

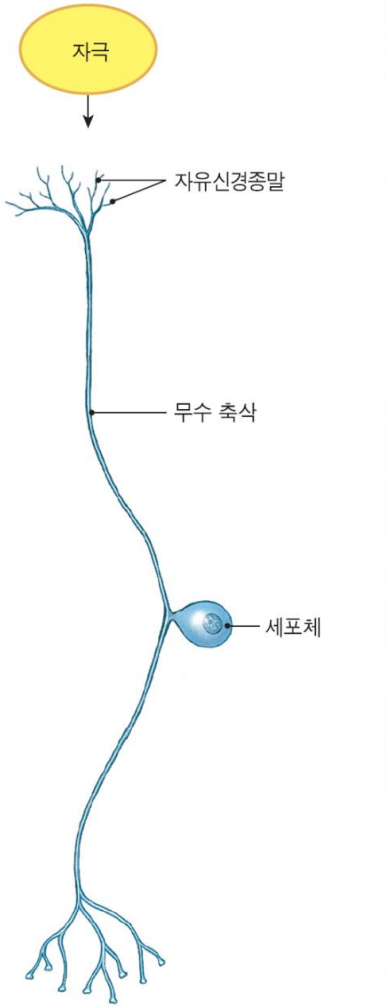
- 자극이 역치 이상이면 감각뉴런을 따라 CNS로 전달, 통합

**표 10-1 감각신경계에 의한 정보처리**

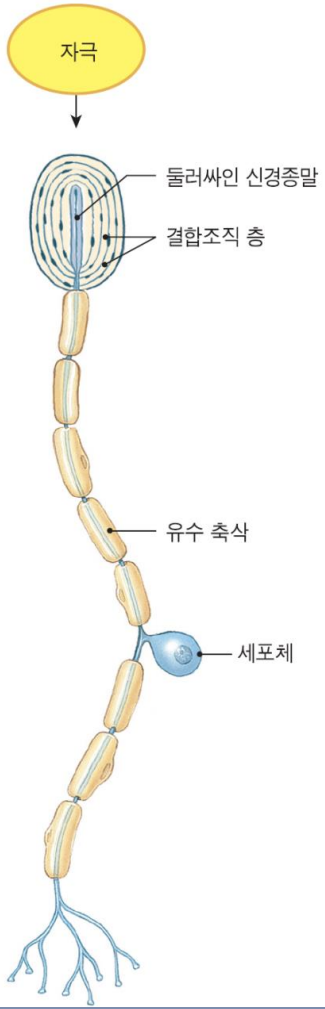
| 자극처리 과정은 보통 의식적이다 | |
|---|---|
| **특수감각** | **체성감각** |
| 보기 | 접촉 |
| 듣기 | 온도 |
| 맛 | 통증 |
| 냄새 | 가려움 |
| 평형 | 자기수용신호 경로에 영향을 주는 독소 |
| **자극처리 과정은 보통 잠재의식적이다** | |
| **체성자극** | **내장자극** |
| 근육 길이와 장력 | 혈압 |
| 자기수용 | 위장관의 팽창 |
| | 혈당 농도 |
| | 내부 체온 |
| | 체액의 삼투몰농도 |
| | 폐의 팽창 |
| | 뇌척수액의 pH |
| | 혈액의 pH와 산소 용량 |

# 수용기는 특정 에너지 형태에 민감하다

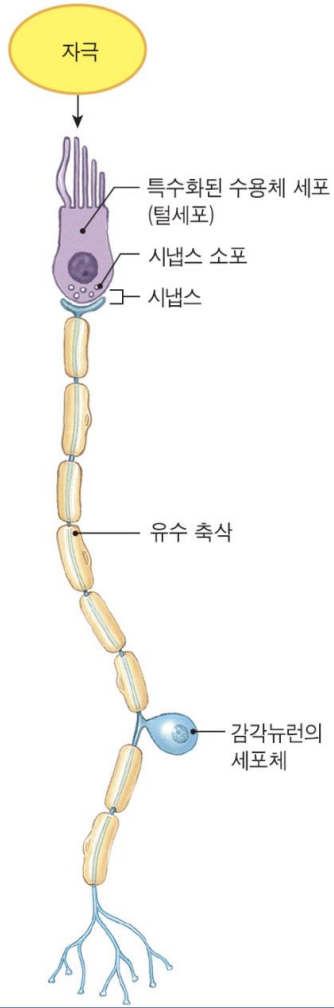
(a) 단순 수용기는 자유신경종말을 갖고 있는 뉴런이다. 그것들은 유수 또는 무수 축삭을 가지고 있다.




(b) 복합 신경수용기는 결합조직으로 둘러싸인 신경종말을 가지고 있다. 이 그림은 접촉을 감지하는 파치니소체를 나타낸다.




(c) 대부분의 특수감각수용기는 감각뉴런으로 신경전달물질을 방출하여 활동전위를 개시하는 세포들이다. 이 세포는 귀에서 발견되는 털세포이다



# 수용기는 특정 에너지 형태에 민감하다

**표 10-2 감각수용기의 유형**

| 수용기의 유형 | 자극의 예 |
|---|---|
| 화학수용기 | 산소, pH, 포도당과 같은 다양한 유기분자들 |
| 기계적 수용기 | 압력(압력수용기), 세포 신장(삼투수용기), 진동, 가속, 소리 |
| 광수용기 | 빛의 광자 |
| 열수용기 | 변화하는 열의 정도 |

# 감각 변환은 자극을 차등전위로 전환시킨다

변환: 물리적 자극을 전기 신호로 변환시켜 신경계에 처리될 수 있는 정보로 바꾸는 것

- 이온 채널의 개폐를 통해서 막전위의 변화로 전환

적합자극: 감각수용기가 반응을 가장 잘 일으키는 특정한 에너지의 형태

- 수용기는 강도가 크다면 다른 에너지의 형태에도 반응

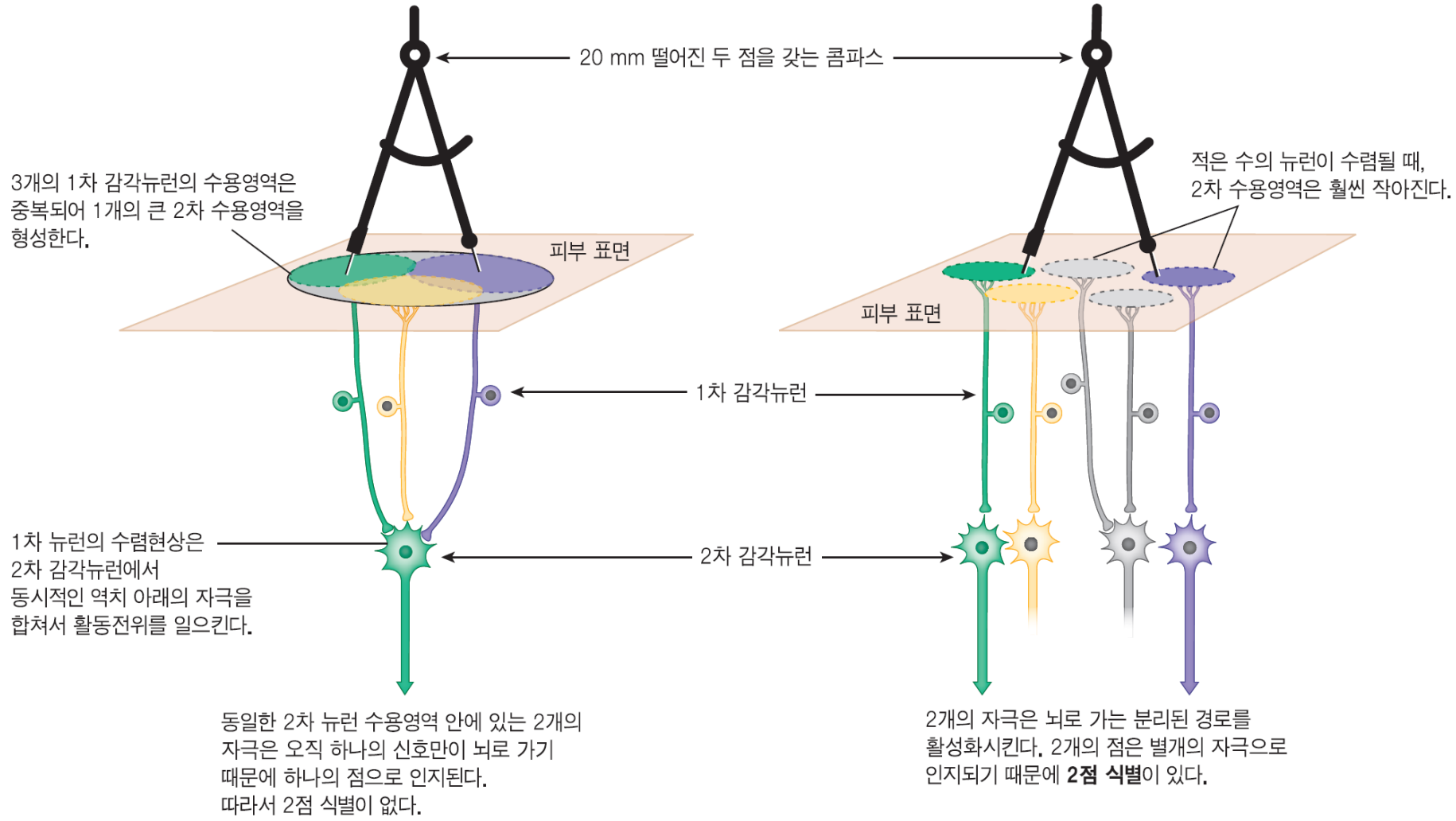
역치: 수용기를 활성화시키는데 필요한 최소한의 자극

- 감각수용기의 막전위의 변화: 수용기 전위

# 하나의 감각뉴런은 하나의 수용영역을 가진다

(a) 수렴현상은 큰 수용영역을 만들어낸다.

(b) 작은 수용영역은 보다 민감한 부위에서 발견된다.



# 중추신경계는 감각정보를 통합한다

- 대부분의 감각정보는 척수 → 상행성 경로 → 뇌
- 일부 감각정보 뇌신경 → 뇌줄기
- 코에서 나오는 후각 경로는 후구를 지나 후각피질로
- 대부분의 감각경로는 시상으로 가며, 시상은 피질중추로 가는 정보를 변경시키고 중계
- 평형 경로는 소뇌로 뻗어있음
- 지각역치를 넘은 자극 강도가 전달
- 습관화: 자극의 인식이 감소되는 것

# 암호화와 처리 과정은 자극 특성을 구별한다

감각양식: 활성화되는 감각뉴런의 종류, 뇌의 부분

- 표지계열암호화: 특정 수용기의 집단에서 오는 신호는 특정 양식과 결합

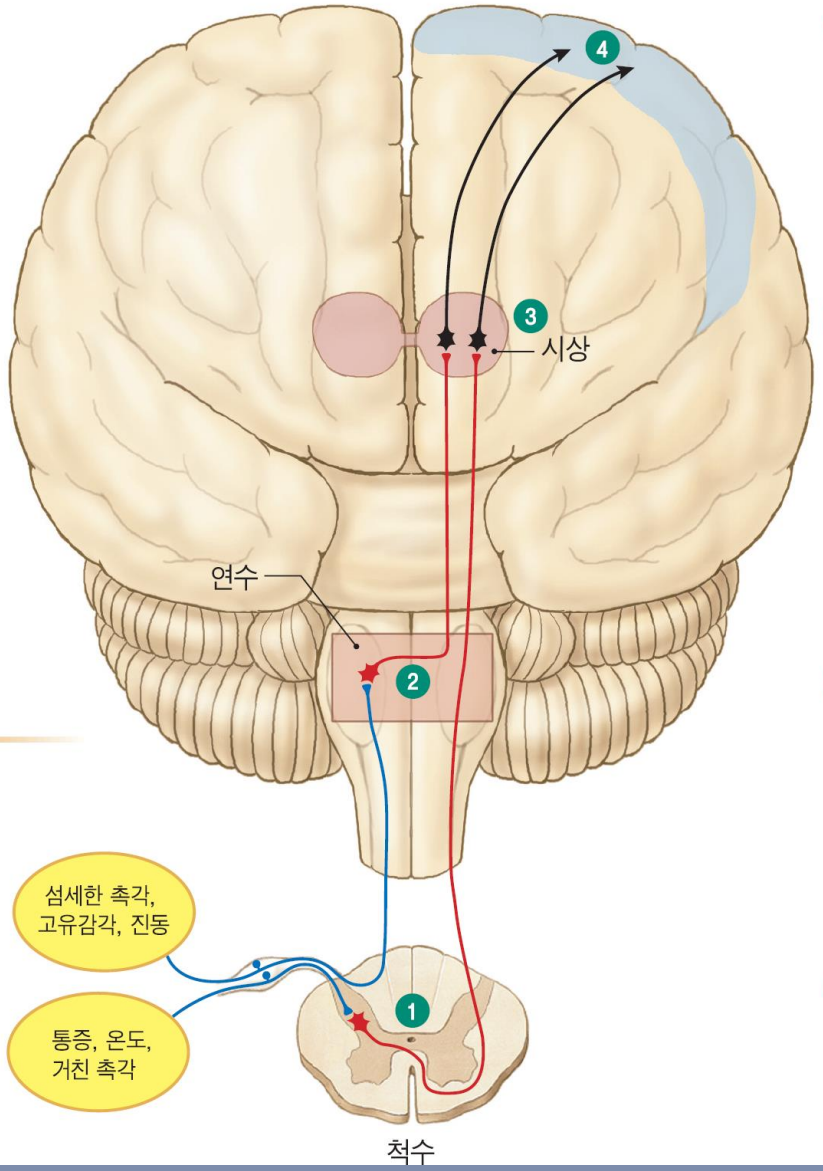
자극의 위치: 활성화되는 수용영역

자극의 강도: 활성화된 수용기의 수와 활동전위의 빈도수

자극의 지속시간: 감각뉴런에서의 활동전위의 지속시간

- 자극이 지속되면 적응하든지 반응을 멈춤
- 긴장수용기: 늦게 적응, 자극이 존재하는 한 유지
- 상성수용기: 빠르게 적응, 자극이 유지되면 흥분이 멈춤

# 체성지각 경로는 체성감각피질과 소뇌로 뻗어 있다

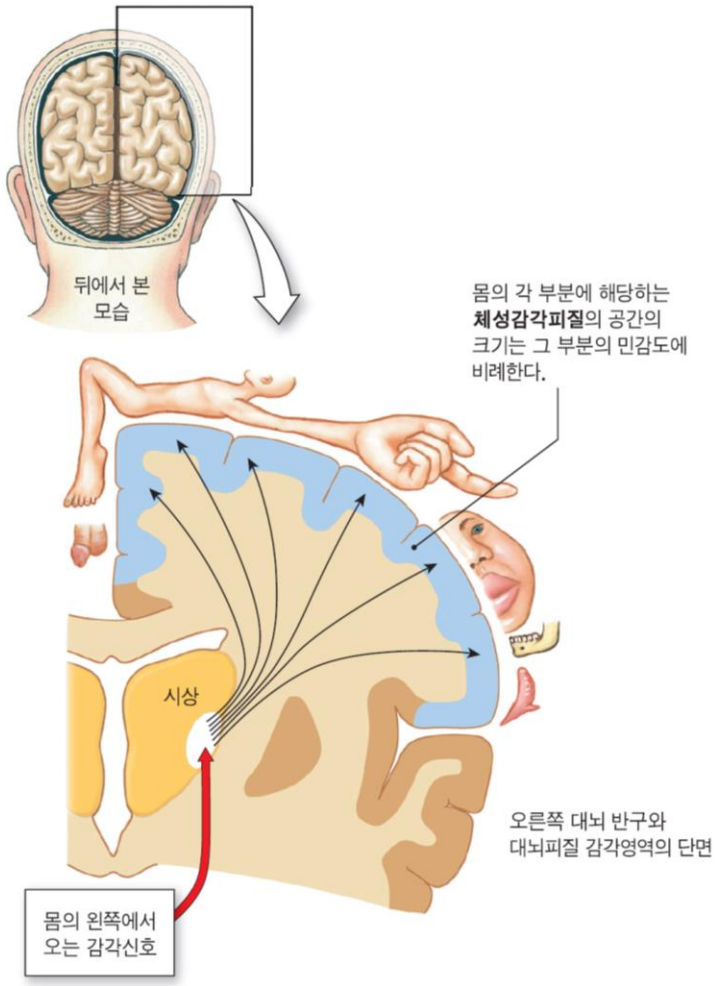



4 감각은 1차 체성감각피질에서 지각된다.

3 감각로는 시상에서 시냅스를 형성한다.

2 섬세한 촉각, 진동, 고유감각로들은 연수에서 중간선을 교차한다.

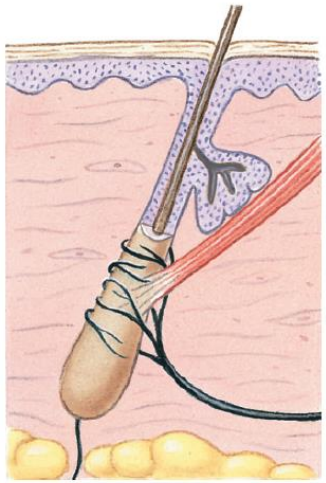
1 통증, 온도, 거친 촉각은 척수에서 중간선을 교차한다.



# 체성지각 경로는 체성감각피질과 소뇌로 뻗어 있다

| | 1차 감각 | 2차 감각 | 시냅스 형성 | 3차 감각 |
|---|---|---|---|---|
| **미세한 접촉, 고유감각, 진동** | 1차 감각뉴런은 연수에서 시냅스를 이룬다. | 2차 감각뉴런은 연수의 중앙선을 교차한다. | 시상의 3차 감각뉴런과 시냅스를 이룬다. | 3차 감각뉴런은 체성감각피질에서 끝난다. |
| **자극물, 온도, 거친 접촉** | 1차 감각뉴런은 척수의 배각에서 시냅스를 이룬다. | 2차 감각뉴런은 척수의 중앙선을 교차한다. | | |

# 촉각수용기는 여러 가지 다양한 자극들과 반응한다



모근의 자유신경종말은
털의 움직임을 감지한다.

**메르켈수용기**는 일정한
압력과 질감을 감지한다.

**마이스너소체**는 가벼운 촉감과
쓰다듬기에 반응한다.

털

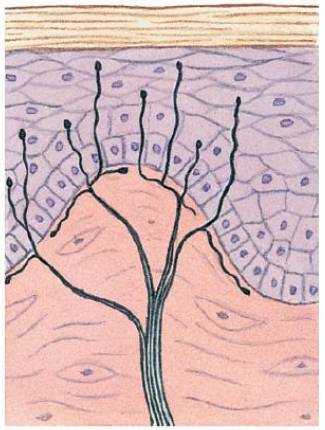
자유신경종말

모근

**파치니소체**는
진동을 감지한다.

**감각신경**은 신호를
척수로 전달한다.

**루피니소체**는
피부 신장에 반응한다.



통각수용체의 자유신경
종말은 유해한 자극에
반응한다.

# 촉각수용기는 여러 가지 다양한 자극들과 반응한다

| 수용기 | 자 극 | 위 치 | 구 조 | 적 응 |
|---|---|---|---|---|
| **자유신경종말** | 온도, 유해자극, 털의 이동 | 모근 주위와 피부 표면 아래 | 무수 신경종말 | 가변적 |
| **마이스너소체** | 가벼운 촉감, 쓰다듬기 | 피부의 표면층 | 결합조직에 둘러싸임 | 빠름 |
| **파치니소체** | 진동 | 피부의 깊은 층 | 결합조직에 둘러싸임 | 빠름 |
| **루피니소체** | 피부의 신장 | 피부의 깊은 층 | 확대된 신경종말 | 느림 |
| **메르켈수용기** | 일정한 압력, 질감 | 피부의 표면층 | 확대된 신경종말과 시냅스를 이루는 표피세포 | 느림 |

# 온도수용기는 자유신경종말이다

- 냉각수용기는 체온보다 낮은 온도에 민감
- 온각수용기는 37-45℃의 온도에 민감, 그 이상의 온도는 통증 수용기가 활성화 → 고통
- 온각수용기에 비하여 냉각수용기가 많음
- 온도수용기는 20-40℃에서 천천히 적응

  반응 초기: 온도가 변하고 있음

  지속된 반응: 주위의 온도를 나타냄
- 범위 밖의 온도에서는 조직 손상의 가능성이 커지며 수용기는 적응하지 않음

# 통각수용기는 보호반응을 일으킨다

- 조직 손상을 초래하는 여러가지 강력한 유해자극에 반응하는 수용기로 주로 보호적인 반응을 일으킴
- 중추신경계에는 없음
- 통각수용기가 활성화 될 때의 감각: 통증과 가려움

**표 10-3 체성감각 신경섬유의 분류**

| 섬유 종류 | 섬유 특성 | 전도 속도 | 관련 자극 |
|---|---|---|---|
| Aβ(베타) | 큰 유수신경 | 30~70 m/sec | 물리적 자극 |
| Aδ(델타) | 작은 유수신경 | 12~30 m/sec | 차가움, 빠른 통증, 물리적 자극 |
| C | 작은 무수신경섬유 | 0.5~2 m/sec | 느린 통증, 열, 차가움, 물리적 자극 |

# 통각수용기는 보호반응을 일으킨다

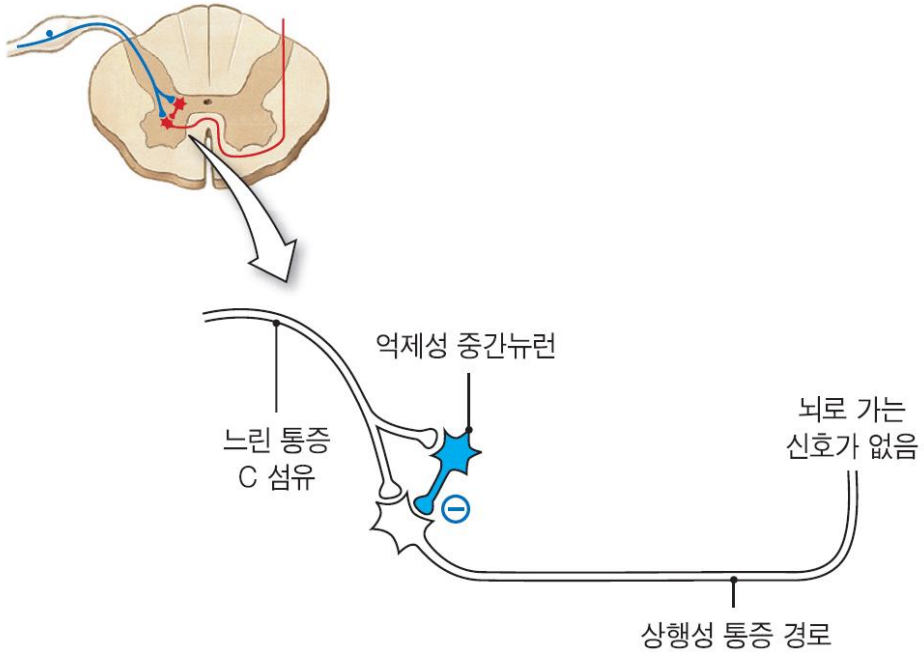
- 조직 손상을 초래하는 여러가지 강력한 유해자극에 반응하는 수용기로 주로 보호적인 반응을 일으킴
- 중추신경계에는 없음
- 통각수용기가 활성화 될 때의 감각: 통증과 가려움

**표 10-3 체성감각 신경섬유의 분류**

| 섬유 종류 | 섬유 특성 | 전도 속도 | 관련 자극 |
|---|---|---|---|
| Aβ(베타) | 큰 유수신경 | 30~70 m/sec | 물리적 자극 |
| Aδ(델타) | 작은 유수신경 | 12~30 m/sec | 차가움, 빠른 통증, 물리적 자극 |
| C | 작은 무수신경섬유 | 0.5~2 m/sec | 느린 통증, 열, 차가움, 물리적 자극 |

# 통각수용기는 보호반응을 일으킨다

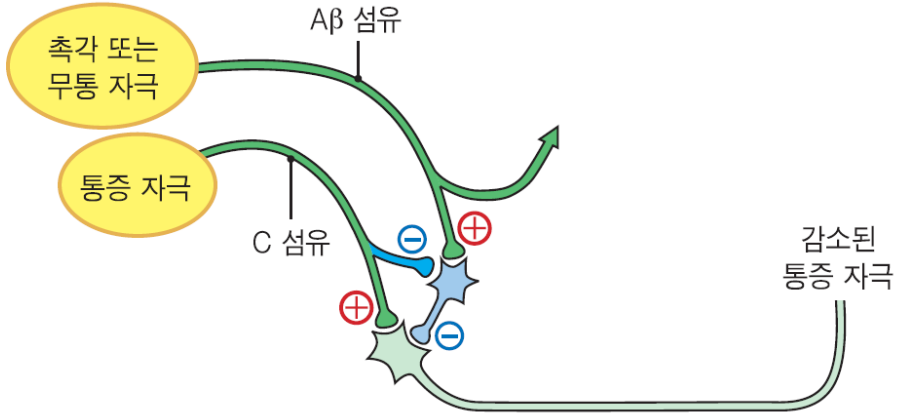
(a) C 섬유로부터 입력이 없으면, 강한 활성 억제성 중간뉴런이 통증 신호를 줄일 수 있다.




(b) 강한 통증과 함께, C 섬유는 경로의 억제를 중단하여 강한 신호를 뇌로 보내도록 한다.




(c) 통증은 동시적 체성감각 입력에 의하여 조절될 수 있다.



# 통각수용기는 보호반응을 일으킨다

진통제: 통증의 약리적 완화를 하는 물질

- 아스피린: 프로스타글란딘 억제, 염증 감소, 통증 신호를 더디게 함
- 아편제: CNS 오피오이드 수용체에 직접적으로 작용 1차 감각뉴런으로부터 신경전달물질 방출 감소 → 2차 감각뉴런의 시냅스후 억제 작용에 의해 통증 차단

    내인성 아편제: 엔도르핀, 엔케팔린, 다이놀핀

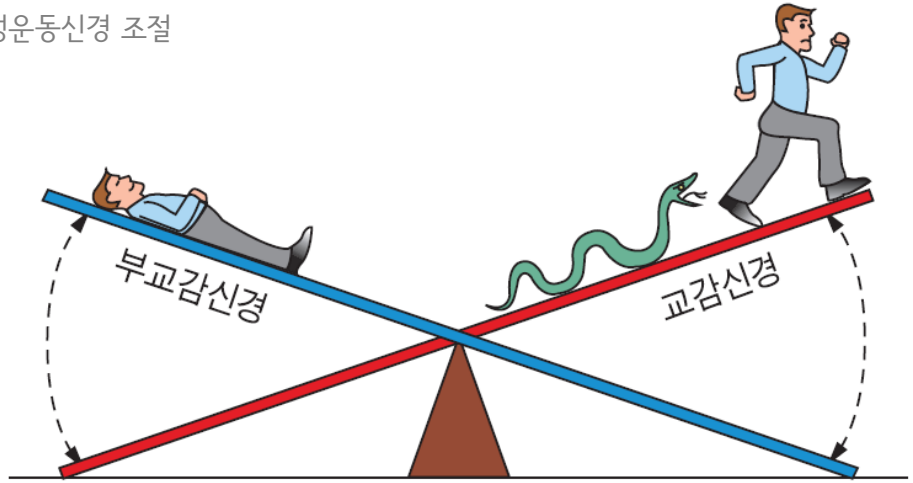
    엔도르핀: 시상하부 신경내분비세포에서 ACTH와 같은 프로호르몬에서 만들어짐

- 오피오이드 약제는 장기적 복용시 내성

# 11장 원심신경계: 자율신경과 체성운동신경 조절

- 자율신경계
- 체성운동신경계

# 자율신경계




자율신경계 = 교감신경가지 + 부교감신경가지

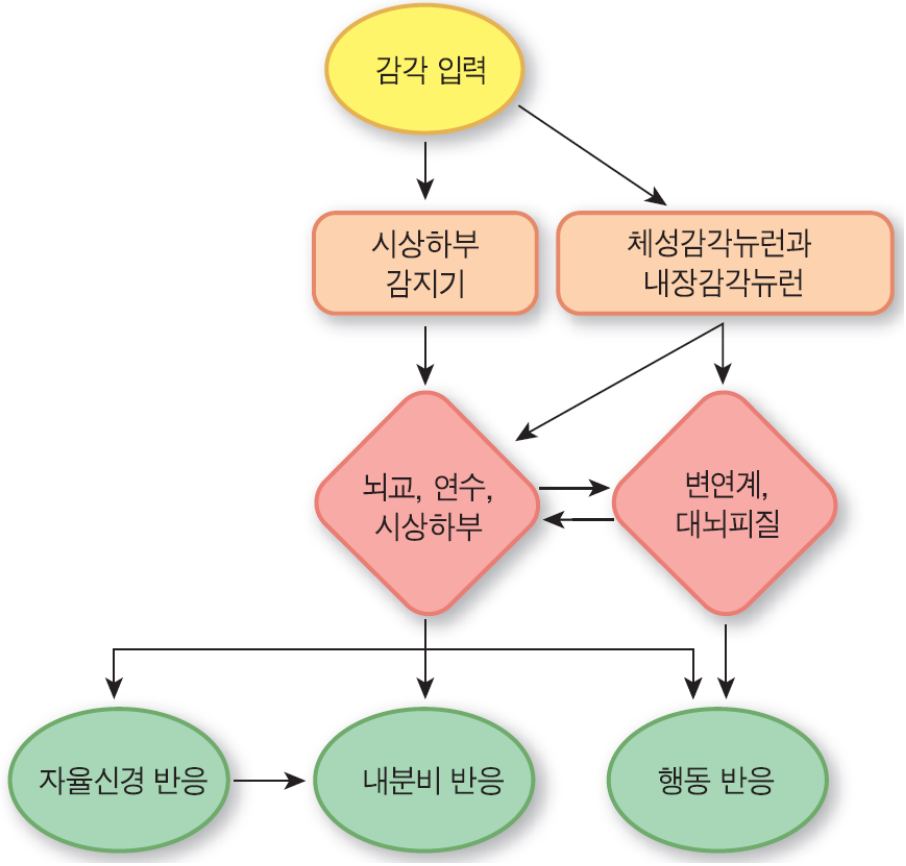
- 해부학적으로 구별 용이, 표적 작용을 구분하기 어려움
- 가장 활동적인 상황으로 구분하는 것이 적절
- 모든 교감신경이 싸움-혹은-도주(fight-or-flight response)에 관여하는 것은 아님

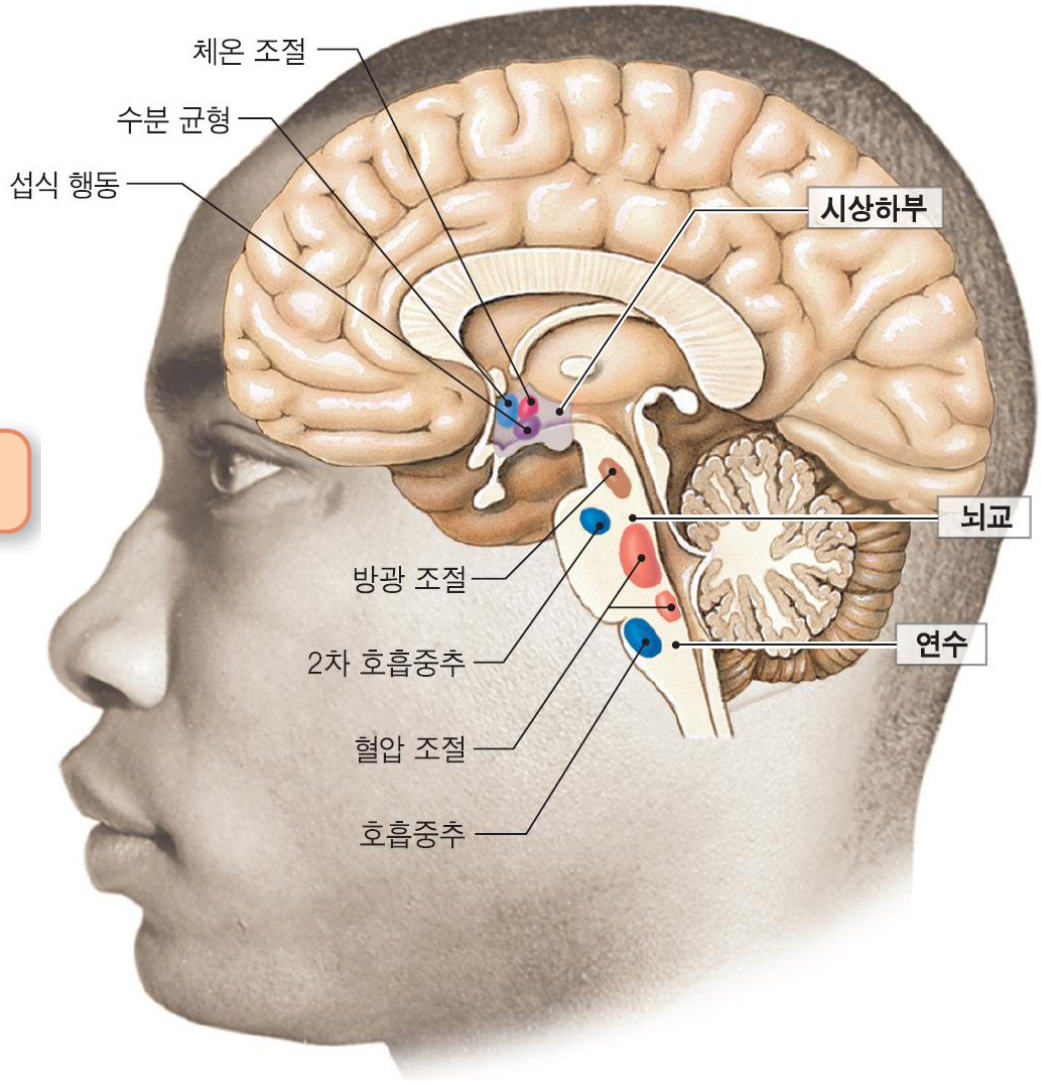
# 자율신경반사는 항상성을 위해 중요하다

- 감각정보는 뇌의 시상하부, 뇌교, 연수 등에 있는 항상성 조절 중추로 전달
- 시상하부: 체온 조절, 삼투압 조절
- 시상하부와 뇌줄기: 행동반응, 내분비 반응, 자율신경 반응
- 대뇌피질과 변연계: 감정 조절, 정서적 영향
- 척수반사: 배뇨, 배변, 음경 발기 등

뇌로부터의 입력신호가 반드시 필요하지는 않음

# 자율신경반사는 항상성을 위해 중요하다



# 길항조절은 자율신경계의 특징이다

교감신경가지와 부교감신경가지의 네가지 특징

① 내부 환경의 적합성의 보전

② 간장조절에 의한 상향-하향 조절

③ 길항조절

④ 조직에 따라 효과가 다른 화학적 신호

- 길항조절: 일반적으로 하나가 흥분성이면 다른 하나는 억제성
- 여러 조직에 협동적으로 작용하여 공통 목적을 달성하기도 함

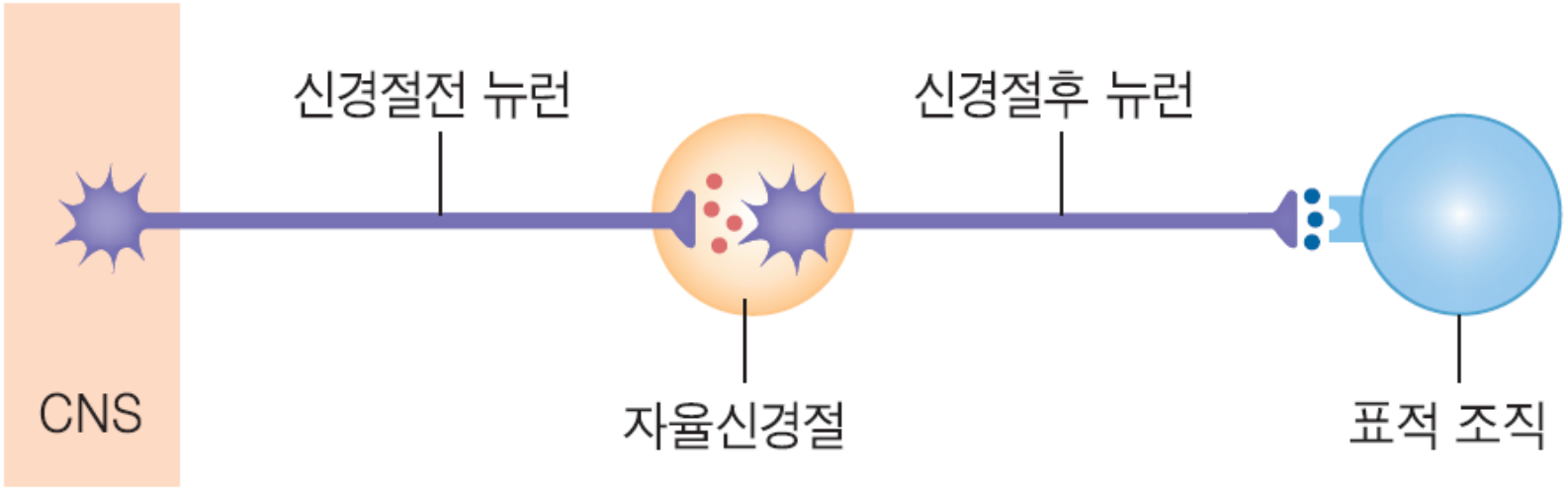
# 길항조절은 자율신경계의 특징이다

| 효과기 기관 | 교감신경 반응 | 아드레날린성 수용체 | 부교감신경 반응** |
|---|---|---|---|
| 눈의 동공 | 확장 | $\alpha$ | 수축 |
| 침샘 | 점액, 효소 | $\alpha$와 $\beta_2$ | 물 분비 |
| 심장 | 심박수와 수축력 증가 | $\beta_1$ | 심박수 완화 |
| 세동맥과 정맥 | 수축<br>확장 | $\alpha$<br>$\beta_2$ | — — |
| 폐 | 세기관지 확장 | $\beta_2$* | 세기관지 수축 |
| 소화관 | 운동성과 분비를 감소시킴 | $\alpha$, $\beta_2$ | 운동성과 분비를 증가시킴 |
| 외분비 이자 | 효소 분비 감소 | $\alpha$ | 효소 분비 증가 |
| 내분비 이자 | 인슐린 분비 억제 | $\alpha$ | 인슐린 분비 촉진 |
| 부신수질 | 카테콜아민 분비 | — | — — |
| 신장 | 레닌 분비 증가 | $\beta_1$ | — — |
| 방광 | 오줌의 정체 | $\alpha$, $\beta_2$ | 오줌의 방출 |
| 지방조직 | 지방 분해 | $\beta_3$ | — — |
| 남녀의 성기관 | 사정 (남성) | $\alpha$ | 발기 |
| 자궁 | 성주기에 따름 | $\alpha$, $\beta_2$ | 성주기에 따름 |
| 림프조직 | 일반적으로 억제성 | $\alpha$, $\beta_2$ | — — |

* 오직 호르몬성 에피네프린

** 모든 부교감신경 반응은 무스카린 수용체에 의해 중계된다.

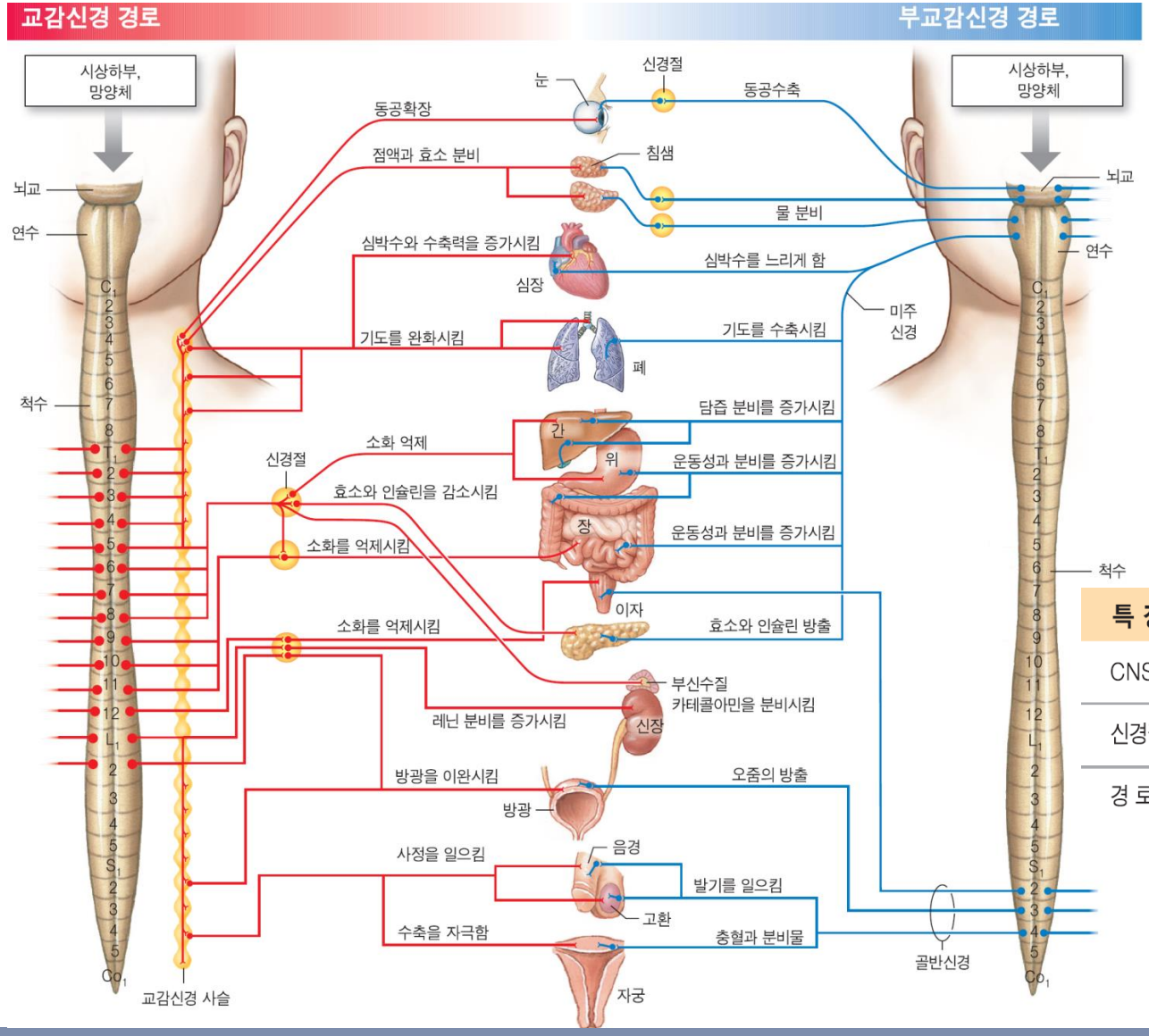
# 자율신경 경로는 연속적인 2개의 원심성 뉴런을 가지고 있다




자율신경경로는 연속된 2개의 뉴런으로 구성

- 신경절전 뉴런: 첫번째 뉴런, 중추신경계에서 시작하여 중추신경계 바깥으로 뻗어나감
- 신경절후 뉴런: 두번째 뉴런, 시냅스를 형성하며 표적조직으로 뻗어나감
- 발산 → 하나의 신호가 많은 표적세포에 동시에 영향을 끼침

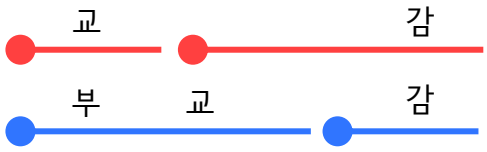
# 교감신경가지와 부교감신경가지는 다른 부위에서 나온다



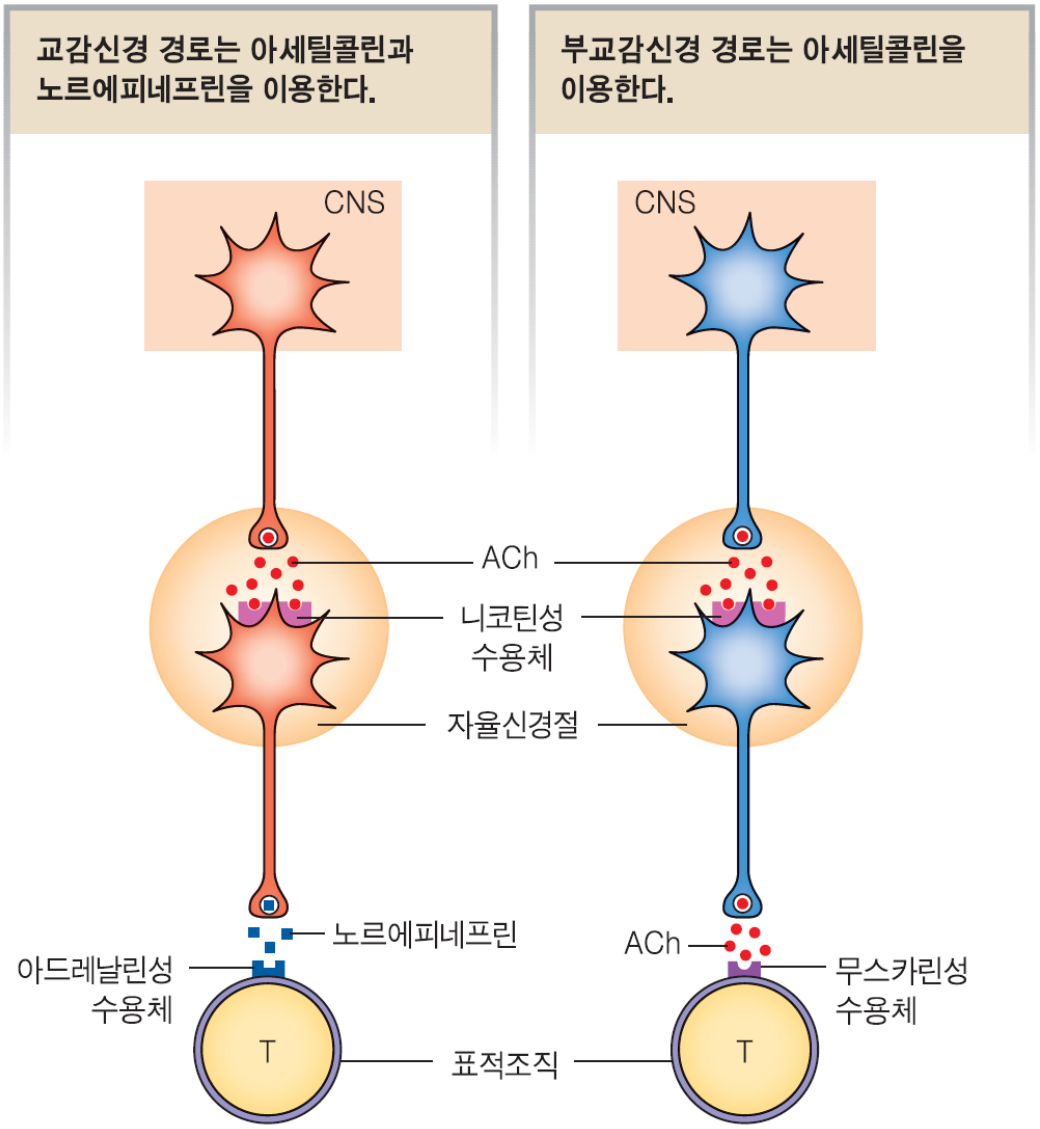

기호

- 교감신경
- 부교감신경

| 특 징 | 교감신경 | 부교감신경 |
|---|---|---|
| CNS의 시작점 | 흉부와 요부 | 뇌줄기와 천골부 |
| 신경절 위치 | 척수 근처 | 표적 위 또는 근처 |
| 경 로 | 짧은 절전 뉴런, 긴 절후 뉴런 | 긴 절전 뉴런, 짧은 절후 뉴런 |



# 자율신경 경로는 평활근, 심근, 분비샘을 조절한다



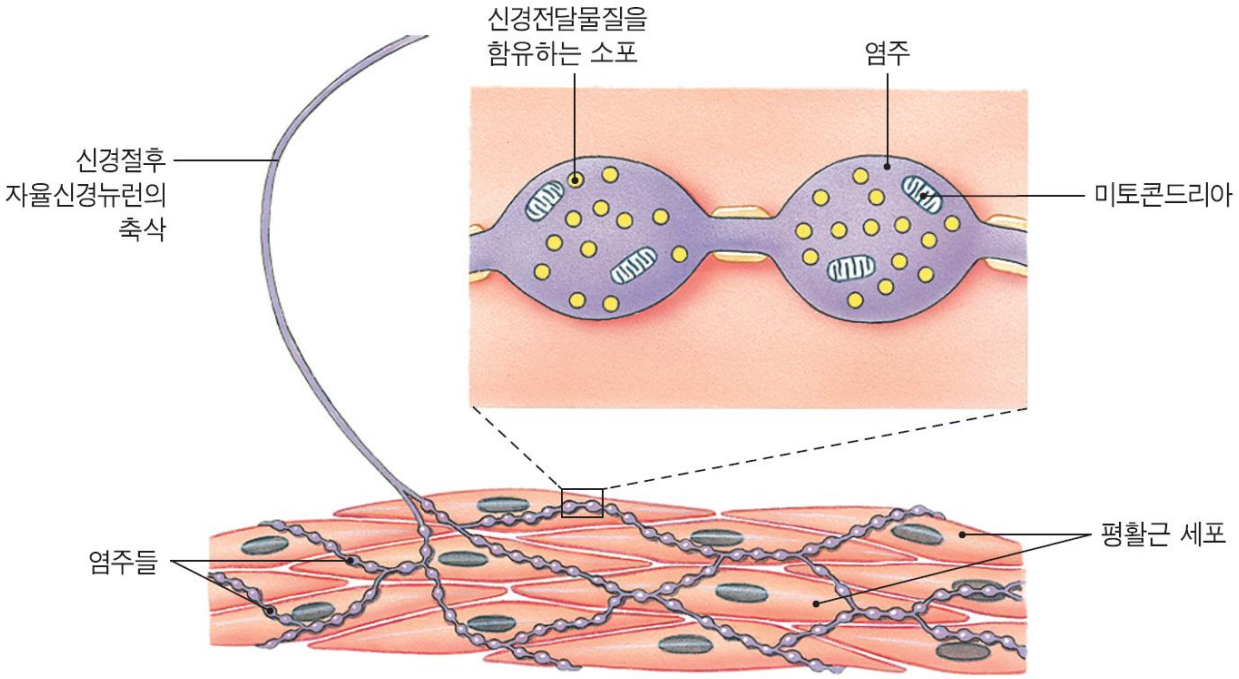

예외)

- 교감신경 콜린성 뉴런: 노르에피네프린보다 아세틸콜린 분비
- 비아드레날린성 뉴런, 비콜린성 뉴런: 위치에 따라 교감/부교감신경, 물질 P, 소마토스타틴, 혈관활성 장펩티드 (VIP), 아데노신, 산화질소, ATP 등 분비

# 자율신경 경로는 평활근, 심근, 분비샘을 조절한다

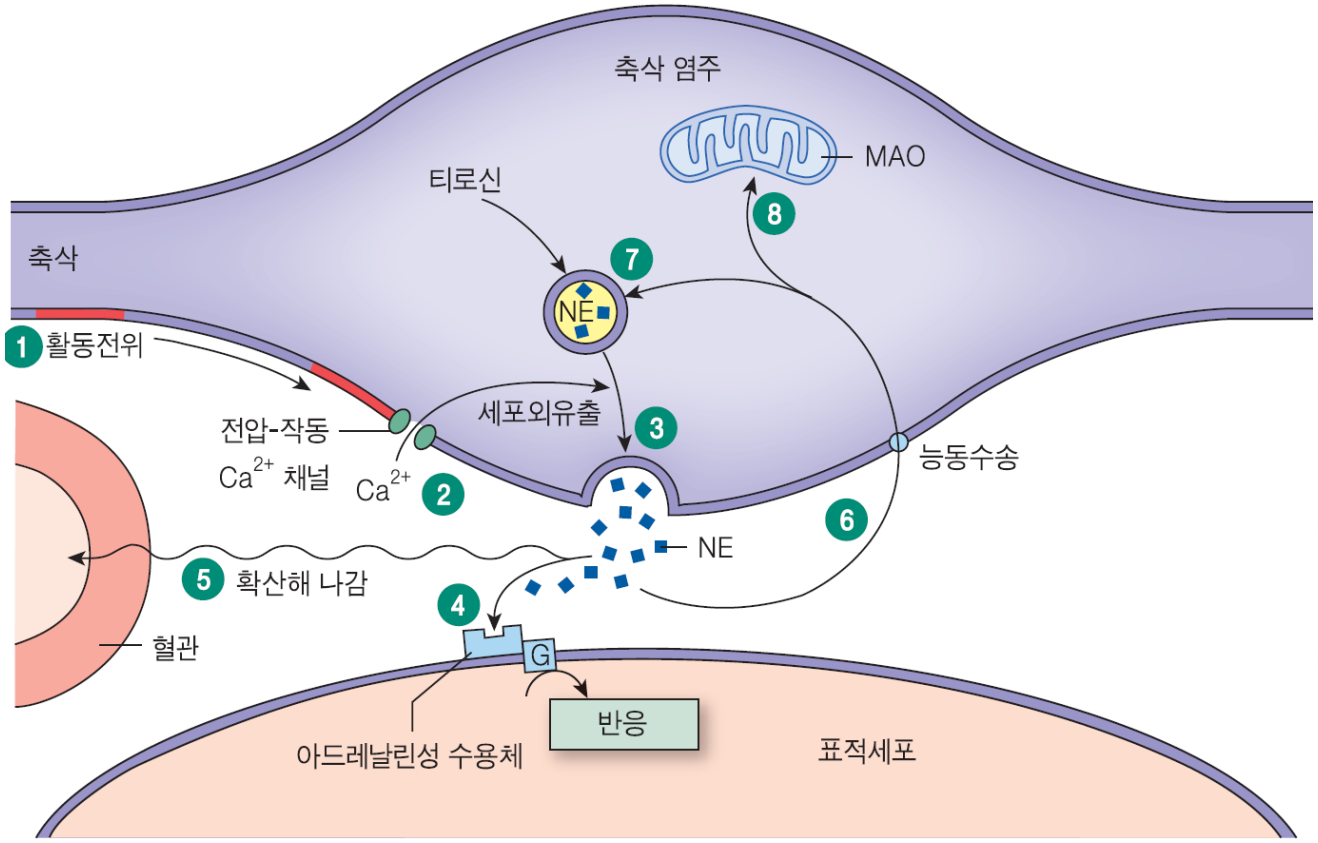
- 표적: 평호라근, 심근, 외분비샘, 내분비샘, 일부 지장조직
- 신경효과기접합부: 신경절후 자율신경 뉴런과 표적세포 사이의 시냅스

(a) 자율신경의 염주는 표적세포의 표면으로 신경전달물질을 방출한다.



# 자율신경의 신경전달물질은 축삭에서 합성된다

(b) 교감신경의 신경효과기접합부에서 노르에피네프린(NE)의 방출과 제거




1. 활동전위가 염주에 도달한다.
2. 탈분극에 의해 전압-작동 $Ca^{2+}$ 채널이 열린다.
3. $Ca^{2+}$의 유입은 시냅스 소포의 세포외유출을 일으킨다.
4. NE는 표적세포의 아드레날린성 수용체에 결합한다.
5. NE가 시냅스로부터 분산되면 수용체 활성화가 중단된다.
6. NE가 시냅스에서 제거된다.
7. NE는 재방출을 위해 시냅스 소포로 재흡수된다.
8. NE는 모노아민산화효소(MAO)에 의해 대사된다.

# 자율신경의 신경전달물질은 축삭에서 합성된다

활성화가 끝나는 조건

① 신경전달물질의 확산

② 세포외액 속에 있는 효소에 의해 대사

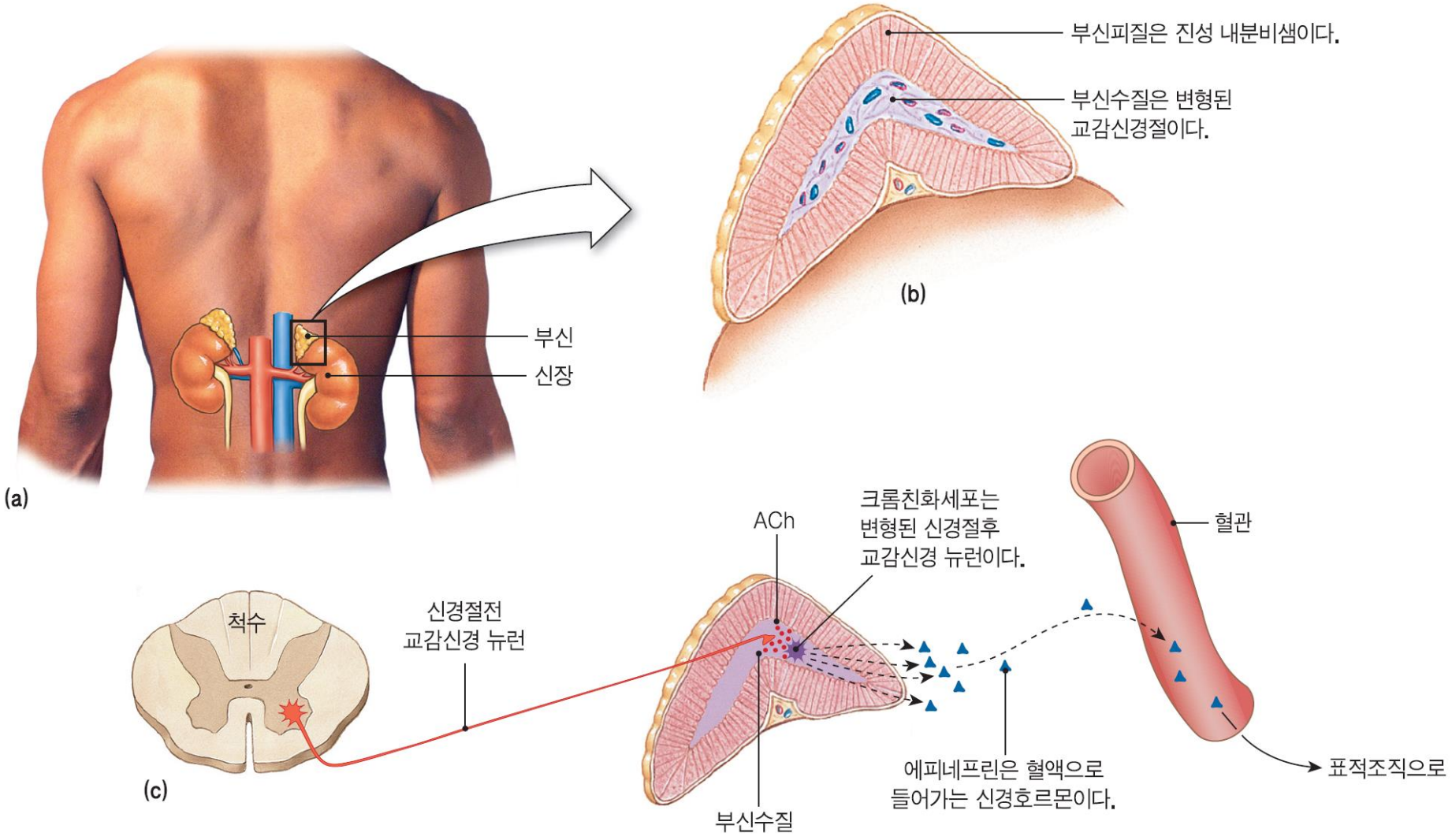
③ 시냅스 주위 세포로 능동 수송

- 뉴런으로 흡수된 신경전달물질은 다시 사용 가능

**표 11-1 신경절후 자율신경전달물질**

| | 교감신경계 | 부교감신경계 |
|---|---|---|
| 신경전달물질 | 노르에피네프린(NE) | 아세틸콜린(ACh) |
| 수용체 유형 | α-와 β-아드레날린성 | 니코틴과 무스카린 콜린성 |
| 합성 전구물질 | 티로신 | 아세틸 CoA + 콜린 |
| 불활성화 효소 | 염주의 미토콘드리아에 있는 모노아민산화효소(MAO) | 시냅스 틈에 있는 아세틸콜린에스테라아제(AChE) |
| 염주막 수송 | 노르에피네프린 | 콜린 |

# 부신수질은 카테콜아민을 분비한다



# 자율신경의 작용제와 길항제는 연구와 의약에서 중요한 도구이다

**표 11-2 아드레날린성 수용체의 특성**

| 수용체 | 발견되는 장소 | 민감도 | 2차 전령에 대한 효과 |
|---|---|---|---|
| $\alpha_1$ | 대부분의 교감신경 표적조직 | NE > E* | 인지질분해효소 C를 활성화시킴 |
| $\alpha_2$ | 위장관과 이자 | NE > E | cAMP를 감소시킴 |
| $\beta_1$ | 심근, 신장 | NE = E | cAMP를 증가시킴 |
| $\beta_2$ | 특정 혈관과 일부 기관의 평활근 | E > NE | cAMP를 증가시킴 |
| $\beta_3$ | 지방조직 | NE > E | cAMP를 증가시킴 |

*NE = 노르에피네프린, E = 에피네프린.

**표 11-3 신경전달물질 수용체의 작용제와 길항제**

| 수용체 유형 | 신경전달물질 | 작용제 | 길항제 | 간접 작용제/길항제 |
|---|---|---|---|---|
| **콜린** | 아세틸콜린 | | | AChE* 억제제: 네오스티그민 |
| 무스카린성 | | 무스카린 | 아트로핀, 스코폴라민 | |
| 니코틴성 | | 니코틴 | α-붕가로톡신(오직 근육), TEA(테트라에틸 암모늄, 오직 신경절), 큐라레 | |
| **아드레날린** | 노르에피네프린(NE), 에피네프린 | | | NE 방출 자극: 에페드린, 암페타민<br>NE 흡수 억제: 코카인 |
| 알파(α) | | 페닐에프린 | '알파 차단제' | |
| 베타(β) | | 이소프로테레놀, 알부테롤 | '베타 차단제': 프로프라놀롤($\beta_1$과 $\beta_2$), 메토프롤롤(오직 $\beta_1$) | |

*AChE = 아세틸콜린에스테라아제.

# 자율신경계의 일차성 장애는 비교적 드물다

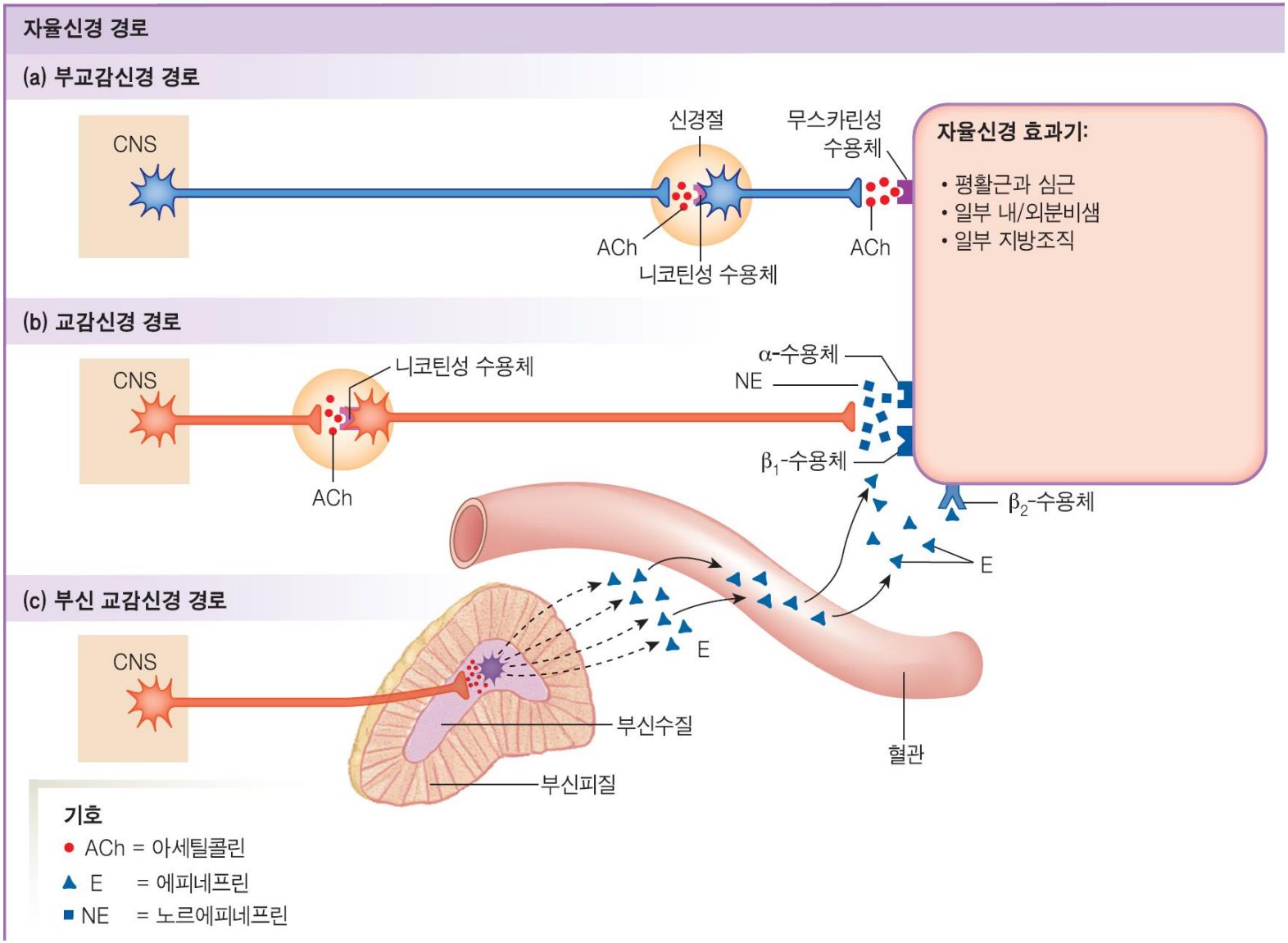
- 일반적으로 교감신경의 기능장애, 자율신경기능장애는 암, 당뇨병과 같은 전신질환에서 기인
- 다중시스템 위축: 중추신경계 제어 중추 퇴화
- 교감신경 자극 감소 → 혈압이 감소, 교감신경 장애는 주로 심혈관계에서 나타남
- 교감신경병리 증상: 요실금, 발기부전

# 교감신경가지와 부교감신경가지의 요약

**표 11-4 교감신경가지와 부교감신경가지의 비교**

| | 교감신경가지 | 부교감신경가지 |
|---|---|---|
| CNS 유래 지점 | 첫 번째 가슴 분절에서 두 번째 허리 분절까지 | 중뇌, 연수, 2~4번째 천골 분절 |
| 말초신경절의 위치 | 주로 척추 주위 교감신경 사슬; 하행동맥 곁에 위치한 3개의 외딴 신경절 | 표적기관 또는 그 근처 |
| 신경전달물질이 방출되는 영역의 구조 | 염주 | 염주 |
| 표적 시냅스의 신경전달물질 | 노르에피네프린(아드레날린성 뉴런) | ACh(콜린성 뉴런) |
| 시냅스의 신경전달물질의 불활성화 | 염주 안으로 흡수, 확산 | 효소적 분해, 확산 |
| 표적세포에 대한 신경전달물질 수용체 | 아드레날린성 | 무스카린성 |
| 신경절 시냅스 | 니코틴성 수용체에 대한 ACh | 니코틴성 수용체에 대한 ACh |
| 뉴런-표적 시냅스 | α - 또는 β -아드레날린성 수용체에 대한 NE | 무스카린 수용체에 대한 ACh |

# 교감신경가지와 부교감신경가지의 요약



# 체성운동신경계

**체성운동신경계과 자율신경계의 비교**

| | 체성운동신경계 | 자율신경계 |
|---|---|---|
| 원심성 경로에서 뉴런의 수 | 1 | 2 |
| 뉴런-표적 시냅스에서 신경전달물질/수용체 | ACh/니코틴성 | ACh/무스카린성 또는 NE/α 또는 β-아드레날린성 |
| 표적조직 | 골격근 | 평활근과 심근; 일부 내분비샘과 외분비샘; 일부 지방조직 |
| 신경전달물질이 방출되는 곳 | 축삭 말단 | 염주와 축삭 말단 |
| 표적조직에 대한 효과 | 흥분성: 근수축 | 흥분성 또는 억제성 |
| CNS 주변에 있는 말초성분들 | 축삭 | 신경절전 축삭, 신경절, 신경절후 뉴런 |
| 기능의 요약 | 자세와 움직임 | 내부기관의 운동과 분비를 포함하는 내장기능; 대사의 조절 |

**체성운동신경 경로**

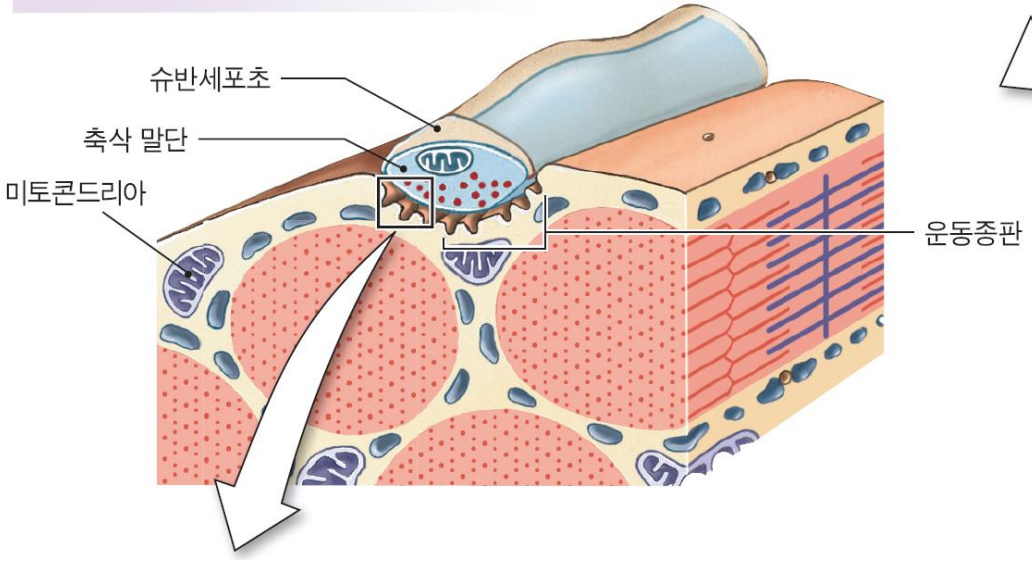


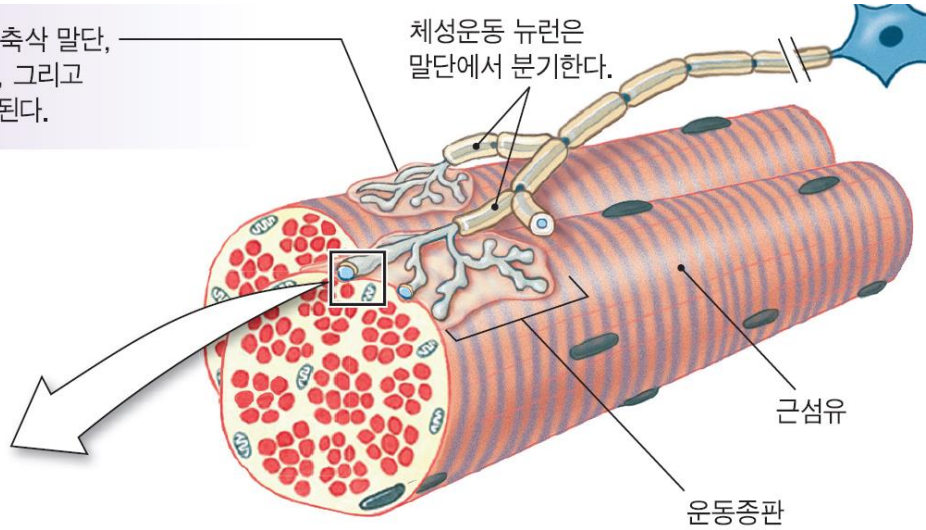
# 체성운동신경 경로는 하나의 뉴런으로 되어 있다

## 체성운동뉴런과 신경근육접합부

(a) **신경근육접합부**는 축삭 말단, 근육막의 운동종판, 그리고 슈반세포초로 구성된다.

(b) **운동종판**은 높은 농도의 ACh 수용체를 함유하고 있는 근육막 부위이다.



# 신경근육접합부는 니코틴성 수용체를 가진다

