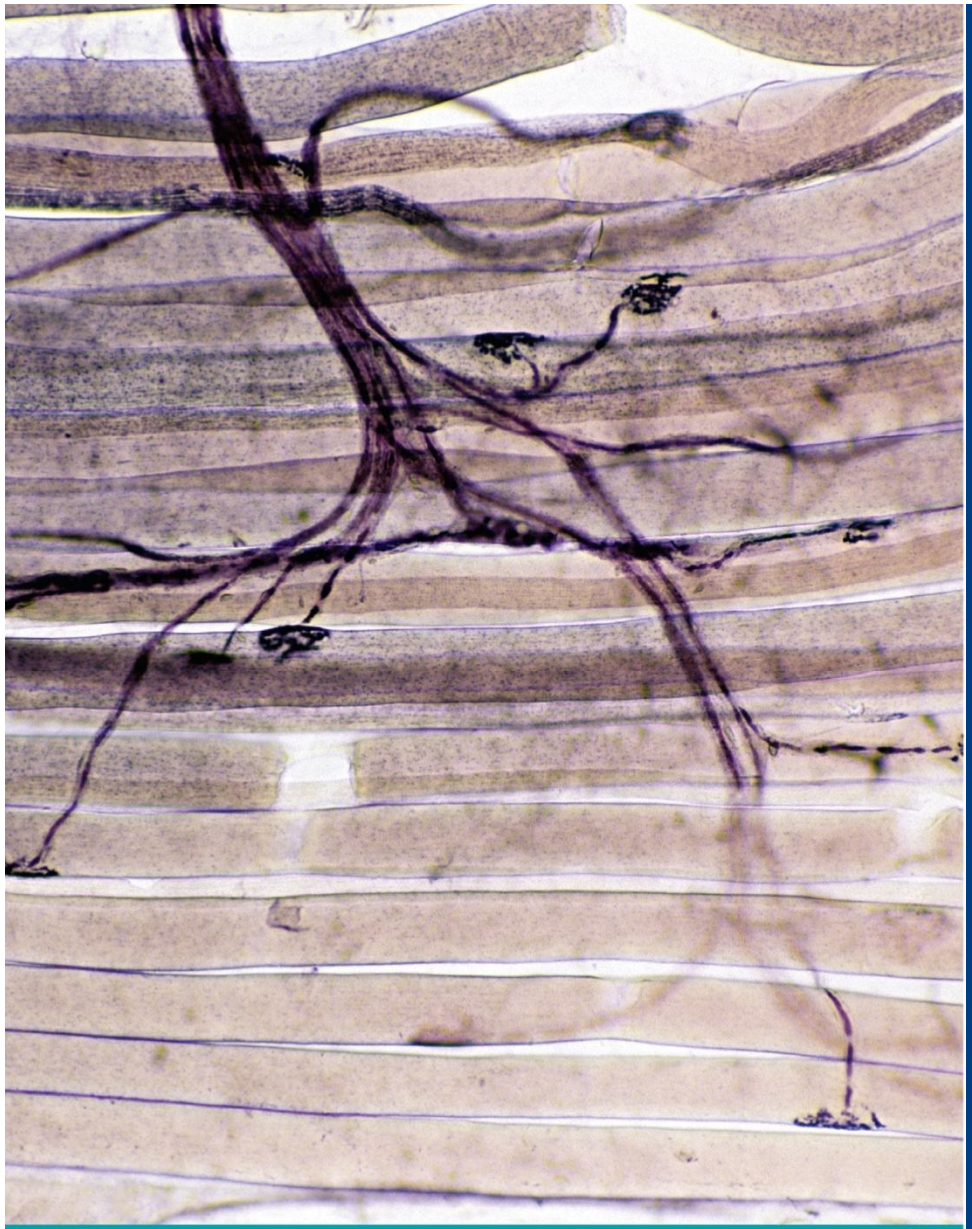


신경근육연접부의 광학현미경 사진

11

신경계: 자율신경계와 체성신경계

Copyright © 2012 Biosciencepublishing, Inc

개요

I. 자율신경계

II. 체성신경계

I. 자율신경계

- 자율신경계의 이중신경분포
- 자율신경계의 해부학적 구조
- 자율신경계의 신경전달물질과 수용체분자
- 자율신경계의 신경효과기연접부
- 자율기능의 조절

자율신경계의 이중신경분포

자율신경의 두 가지가 대부분의 기관에 분포

자율신경계의 이중신경분포

- 주기능—항상성을 유지하기 위해 효과기관관을 조절하는 것
- 교감신경과 부교감신경의 작용은 정반대이다
  - 부교감신경계—안정상태에서 우세
  - 교감신경계—알림반응(fight or flight response, 격투반응)

자율신경계의 이중신경분포

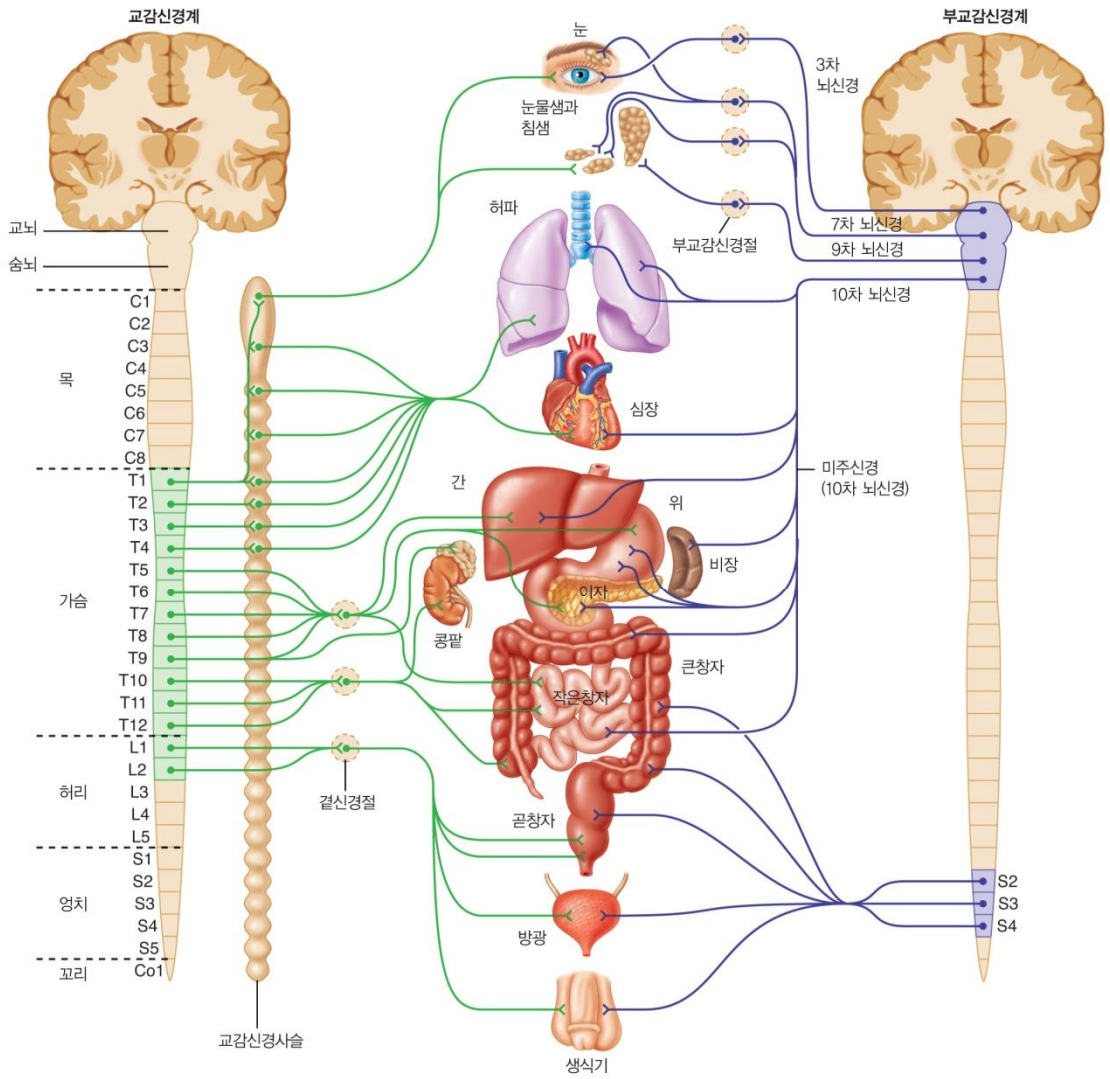


그림 11.1 자율신경계의 이중신경분포. 자율신경계를 상세하게 나타낸 이 그림에서 부교감신경 경로는 보라색으로, 교감신경 경로는 녹색으로 나타내었다. 대체로 자율신경계의 두 가지가 같은 기관에 분포한다. (각 신경계에 대해서 신체의 한쪽만을 나타내었다. 따라서 실제로는 두 개의 교감신경사슬, 뇌신경과 척수신경이 두 개씩 있다.)

자율신경계의 해부학적 구조

- CNS와 효과기관을 연결하는 두 개의 뉴런으로 구성
  - 신경절이전뉴런(Preganglionic neuron)
  - 신경절이전뉴런(Postganglionic neuron)
- 자율신경절(Autonomic ganglia)
  - 신경절이전뉴런에서 신경절이전뉴런 으로 의사소통을 함
  - 내재뉴런(Intrinsic neurons)

자율신경계의 해부학적 구조

- 효과기 기관(Effector organs)
  - 심장근
  - 평활근
  - 샘조직
  - 지방조직

자율신경 경로

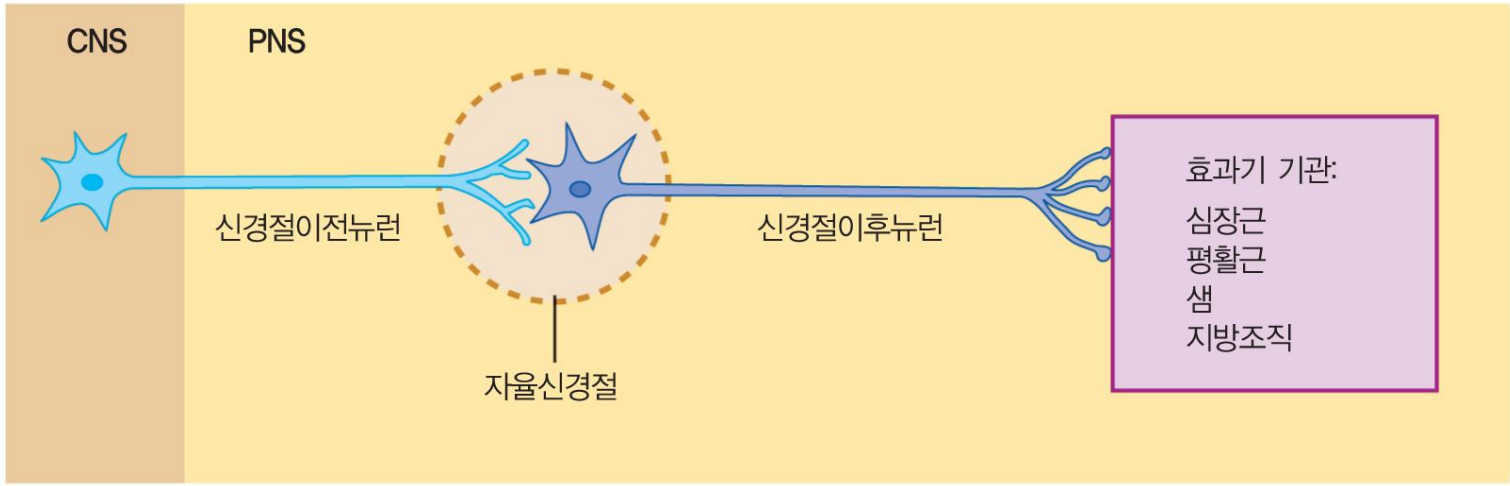


그림 11.2 자율신경 경로의 해부학적 구조. 자율신경 경로에서 두 뉴런이 정보를 CNS에서 효과기 기관으로 전달한다. 신경절이전뉴런은 CNS에서 시작하여 말초의 신경절로 가고, 여기에서 여러 종류의 효과기 기관들에 분포하는 신경절이후뉴런과 시냅스를 한다.

교감신경계의 해부학적 구조

- 신경절이전뉴런은 척수의 가슴과 허리부위에서 나온다
- 해부학적 경로
  - 축삭이 짧은 신경절이전뉴런은 교감신경사슬을 지남
  - 긴 신경절이후뉴런은 사슬에서 효과기기관으로 간다
  - 신경절은 교감신경사슬에 연결되어 있다

교감신경계의 해부학적 구조

- 해부학적 배열의 예외
  - 곁신경절(Collateral ganglia)—교감신경절 외부에서 연결
  - 부신수질(Adrenal medulla)

교감신경 경로

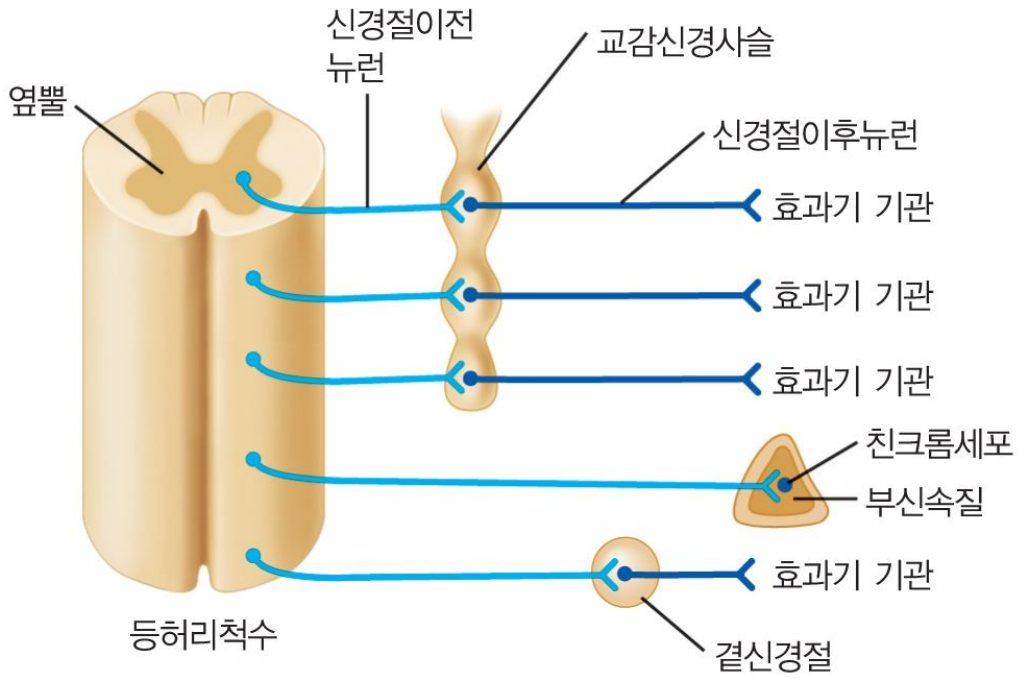


그림 11.3 교감신경계에서 신경절이전뉴런과 신경절이후뉴런의 해부학적 경로. 교감신경절이전뉴런의 대부분은 교감신경사슬 신경절에서 신경절이후뉴런과 시냅스를 하고, 교감신경절이전뉴런의 일부는 부신속질의 분비세포에 분포하며, 나머지 다른 교감신경절이전뉴런은 교감신경사슬과 무관한 곁신경절에서 시냅스를 한다.

교감신경사슬과 연결된 교감신경경로

- 신경절이전뉴런
  - 척수의 배쪽뿌리에서 나와 척수신경으로 들어감
  - 축삭은 백색가지(white ramus)를 거쳐 척수신경을 떠나 교감신경절로 들어감
  - 교감신경절에서 신경절이후뉴런과 소통을 함

교감신경사슬과 연결된 교감신경경로

- 신경절이후뉴런
  - 신경절은 회색가지(gray ramus)를 떠나 다시 척수신경으로 되돌아간 후
  - 척수신경의 효과기로 감

교감신경섬유의 보편적인 경로

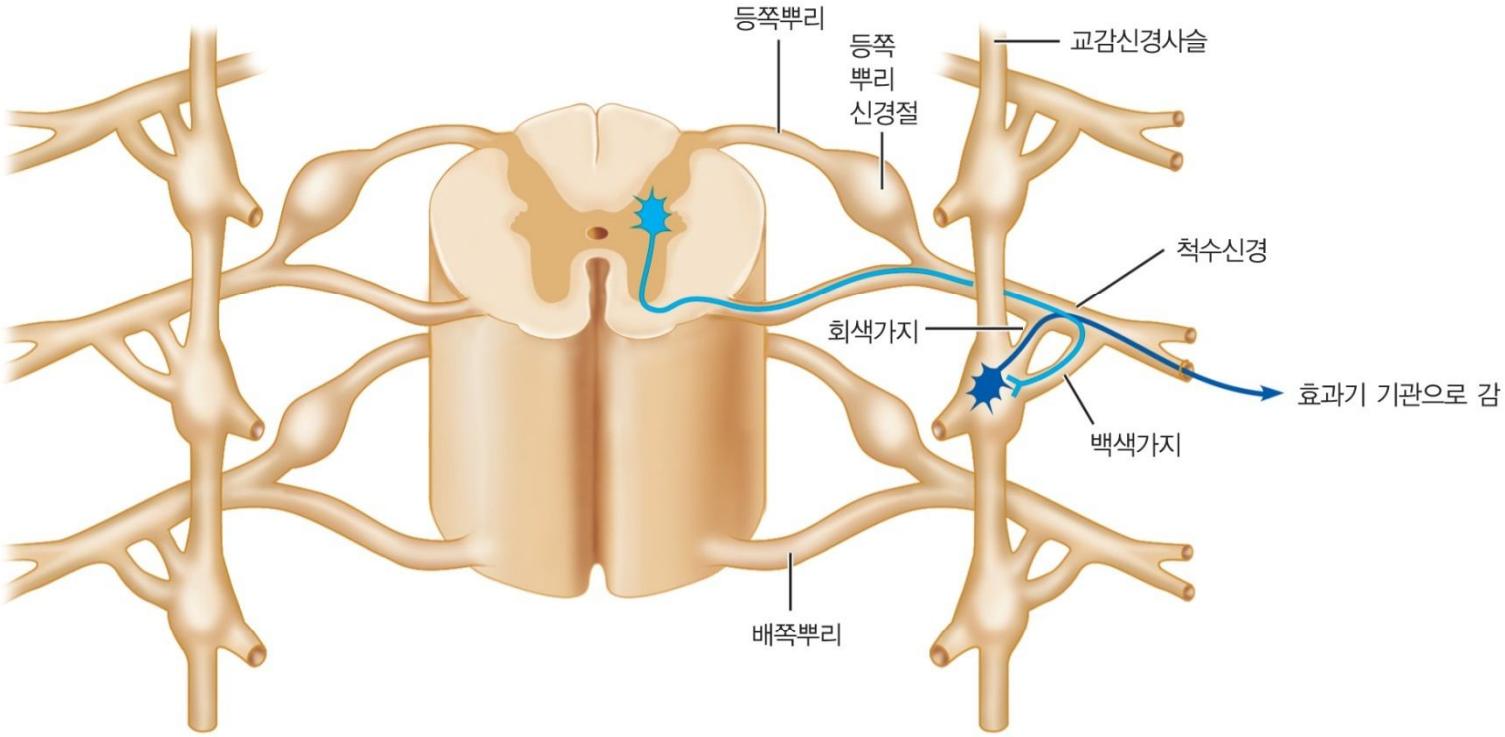


그림 11.4 교감신경섬유의 가장 보편적인 경로. 교감신경절이전뉴런은 배쪽뿌리의 부분으로서 척수를 빠져나가 척수신경으로 나아간다. 척수신경으로 들어간 잠시 후, 신경절이전뉴런은 척수신경을 빠져나가 백색가지를 거쳐 교감신경사슬의 신경절로 나아가고, 여기에서 신경절이후뉴런과 시냅스를 한다. 그런 후에 신경절이후뉴런은 회색가지를 거쳐 척수신경으로 되돌아간다.

부신에서의 교감신경분포

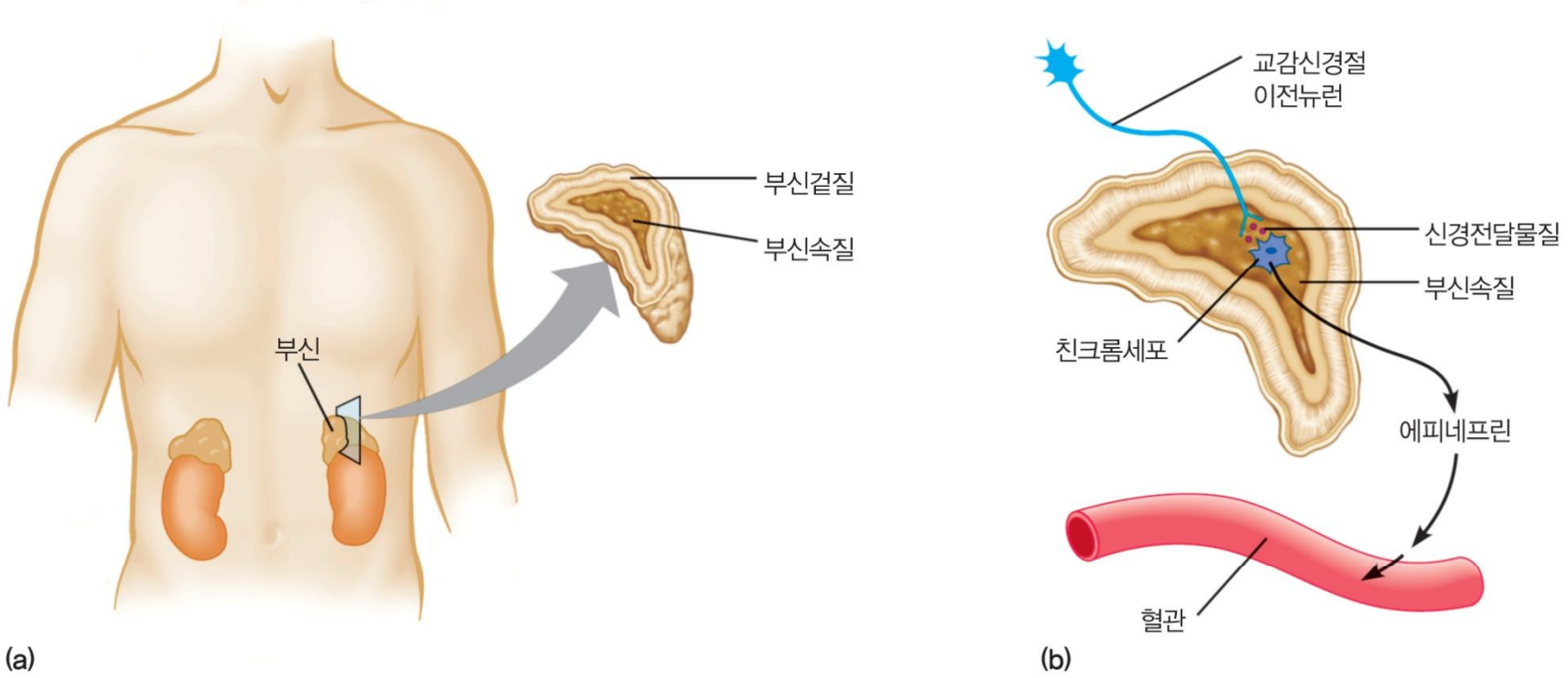


그림 11.5 부신에서의 교감신경분포. **(a)** 콩팥 꼭대기의 지방덩이 내에 위치한 부신은 바깥쪽의 겉질과 안쪽의 속질로 구성된다. **(b)** 교감신경절이전뉴런은 부신속질의 친크롬세포에 분포하며 혈액으로 에피네프린(그리고 소량의 노르에피네프린)의 방출을 자극한다.

부교감신경계의 해부학적 구조

- 신경절이전뉴런은 뇌줄기나 엉치(천추)의 척수에서 기원함
- 해부 구조
  - 부교감신경절이전뉴런은 길고 효과기 기관이 가까이 위치
  - 부교감신경절이전뉴런은 신경절에서 이후뉴런과 소통함
  - 신경절에서 효과기기관으로 나가는 짧은 신경절이후뉴런과 연결됨

부교감신경 경로

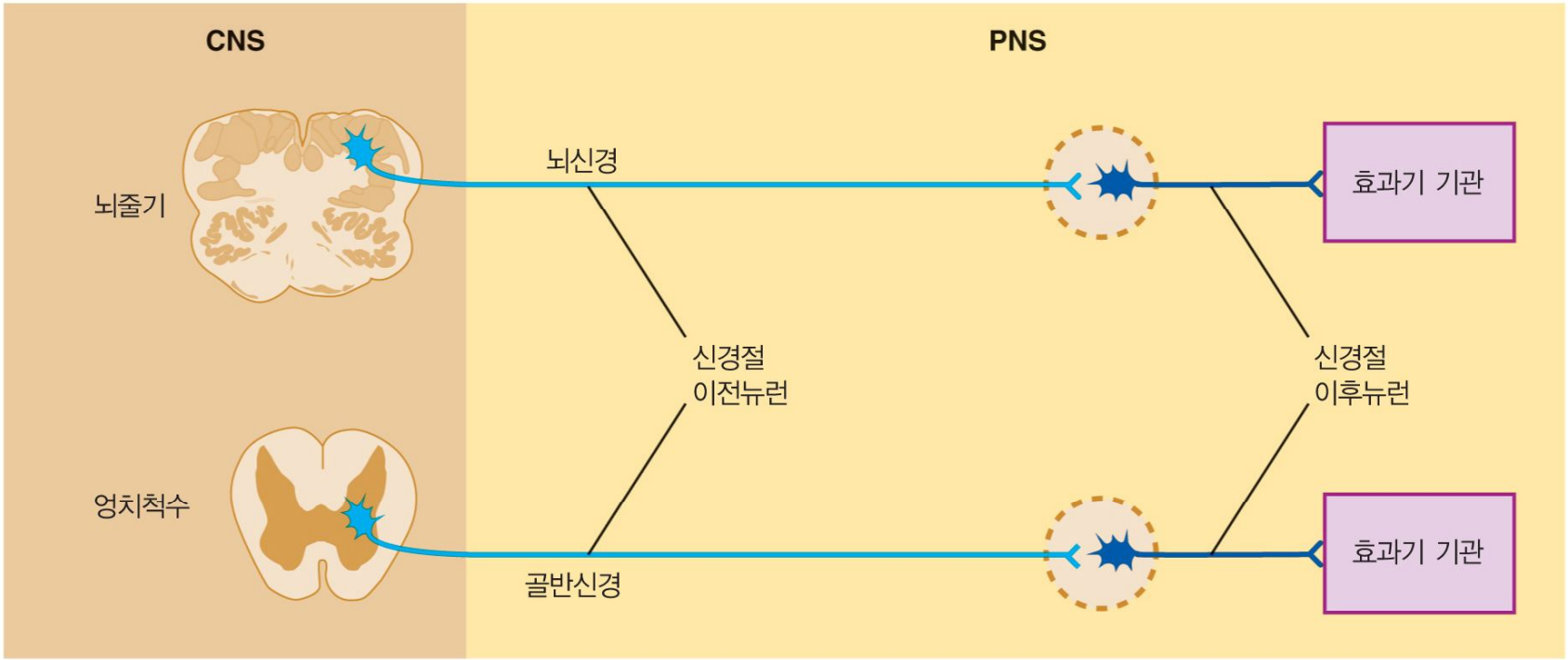


그림 11.6 부교감신경계의 경로. 교감신경절이전뉴런은 뇌줄기나 엉치 척수에서 기원하고, 그 축삭은 각각 뇌신경과 골반신경에 존재한다. 이 축삭은 효과기 기관 가까이에서 또는 그 안에서 신경절이후뉴런과 시냅스를 형성한다.

부교감신경

- 뇌신경(Cranial nerves)
  - 10차 뇌신경 =미주신경(vagus nerve)
  - 3차 뇌신경 = 눈돌림신경(oculomotor)
  - 7차뇌신경 = 얼굴신경(facial nerve)
  - 9차 뇌신경 = 혀인두신경(glossopharyngeal nerve)
- 척수신경(Spinal nerves)
  - 골반신경은 체성 척수신경과는 별개로 형성됨

자율신경계의 혼합성분

- 날섬유
  - 자율신경계
- 들섬유
  - 신호를 내장 수용체에서 CNS로 전달
  - 항상성 유지에 중요

자율신경계의 신경전달물질과 수용체 분자

- 콜린성 수용체의 유형
- 아드레날린성 수용체의 유형

자율신경계의 신경전달물질

- 신경절이전뉴런(Preganglionic neurons)
  - 아세틸콜린
- 부교감 신경절이후뉴런
  - 아세틸콜린
- 교감 신경절이후뉴런
  - 노르에피네프린

- **중요: 체성신경계**—아세틸콜린

부신에서의 호르몬

- 카테콜아민
  - 80% 에피네프린
  - 20% 노르에피네프린
  - 일부 도파민 (별로 중요하지 않음)

자율신경계의 신경전달물질

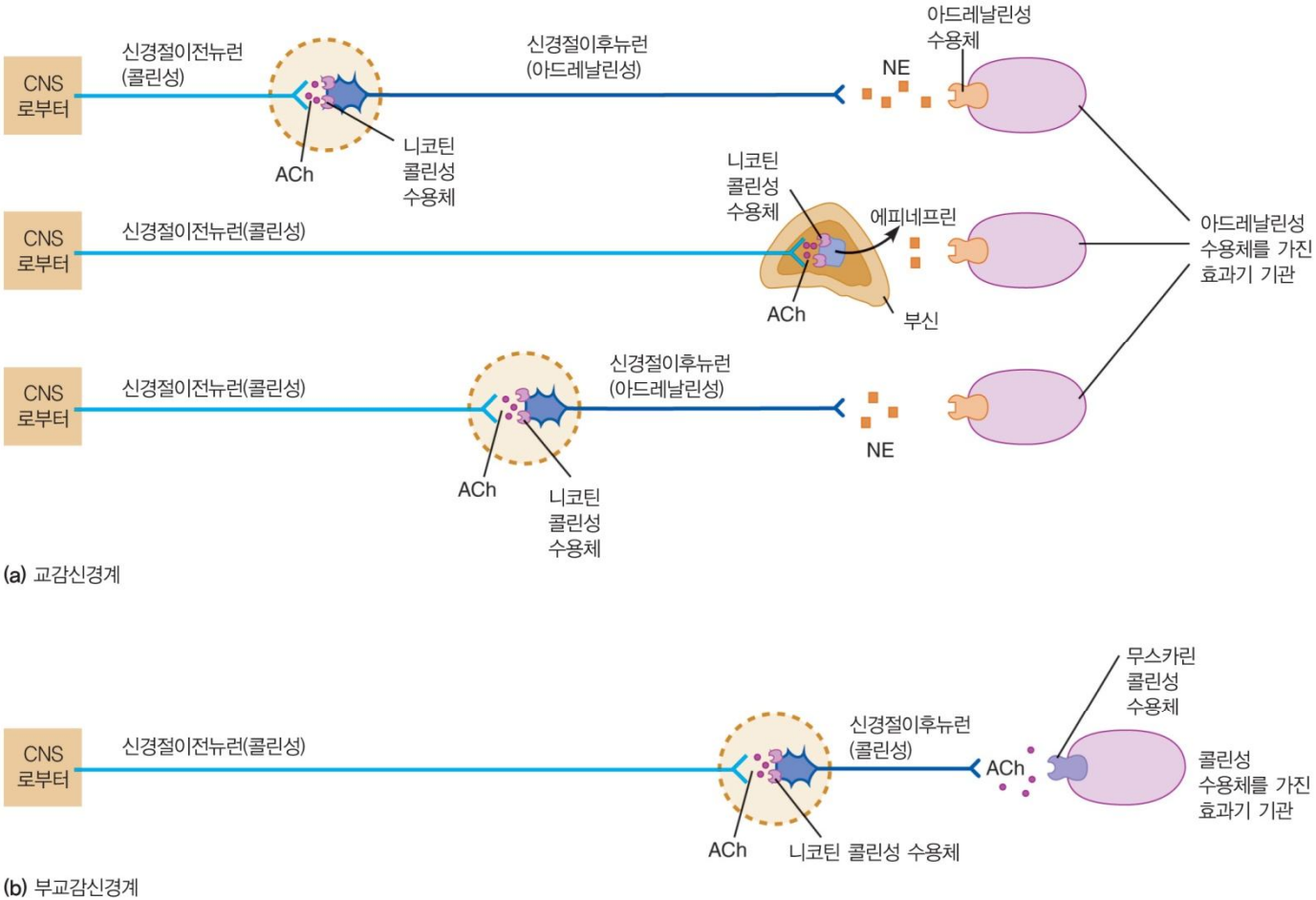


그림 11.7 **자율신경계의 신경전달물질과 수용체. (a)** 교감신경계의 세 개의 해부학적 경로에 대한 신경전달물질과 수용체. 모든 경우에 신경절이전뉴런은 아세틸콜린(ACh)을 방출하고 이는 신경절이후뉴런이나 부신속질의 친크롬세포에 있는 니코틴 콜린성 수용체에 결합한다. 신경절이후뉴런은 노르에피네프린(NE)을 방출하고 이는 효과기 기관의 아드레날린성 수용체에 결합한다. **(b)** 부교감신경 경로의 신경전달물질과 수용체. 신경절이전뉴런과 신경절이후뉴런 모두에서 아세틸콜린이 방출되고 이는 효과기 기관의 무스카린 콜린성 수용체에 결합한다.

콜린성수용체의 유형

- 니코틴 수용체
  - 양이온의 통로가 열림
  - 그 결과 탈분극이 생김
- 무스카린 수용체
  - G 단백질과 연결
  - 효과는 표적세포에 달려있음

콜린성수용체의 위치

- 자율신경계 신경절이후 뉴런
  - 니코틴성
- 부교감신경의 효과기기관
  - 무스카린성
- 골격근
  - 니코틴 콜린성

아드레날린 수용체 유형

- 두가지 주요 유형:알파와 베타
- 각각은 하위유형으로 구분됨
- 모두 G에 연결되어있음

알파수용체

- 알파 1 (α1)
- 알파 2 (α2)

베타수용체

- 베타 1 (β1)
- 베타 2 (β2)
- 베타 3 (β3)

알파 아드레날린성 수용체의 특징

- 교감신경계 효과기 기관에 위치
- 가장 흔함
- 흥분성
- 에피네프린 보다 노르에피네프린에 친화력이 더 크다

베타 아드레날린성 수용체의 특징

- cAMP 를 활성화 시킴
- 노르에피네프린에 친화력이 있고 에피네프린에는 다양하게 반응

베타1 아드레날린성 수용체의 특징

- 심장근육과 신장에 위치
- 흥분성
- 노르에피네프린과 에피네프린에 친화력이 같다

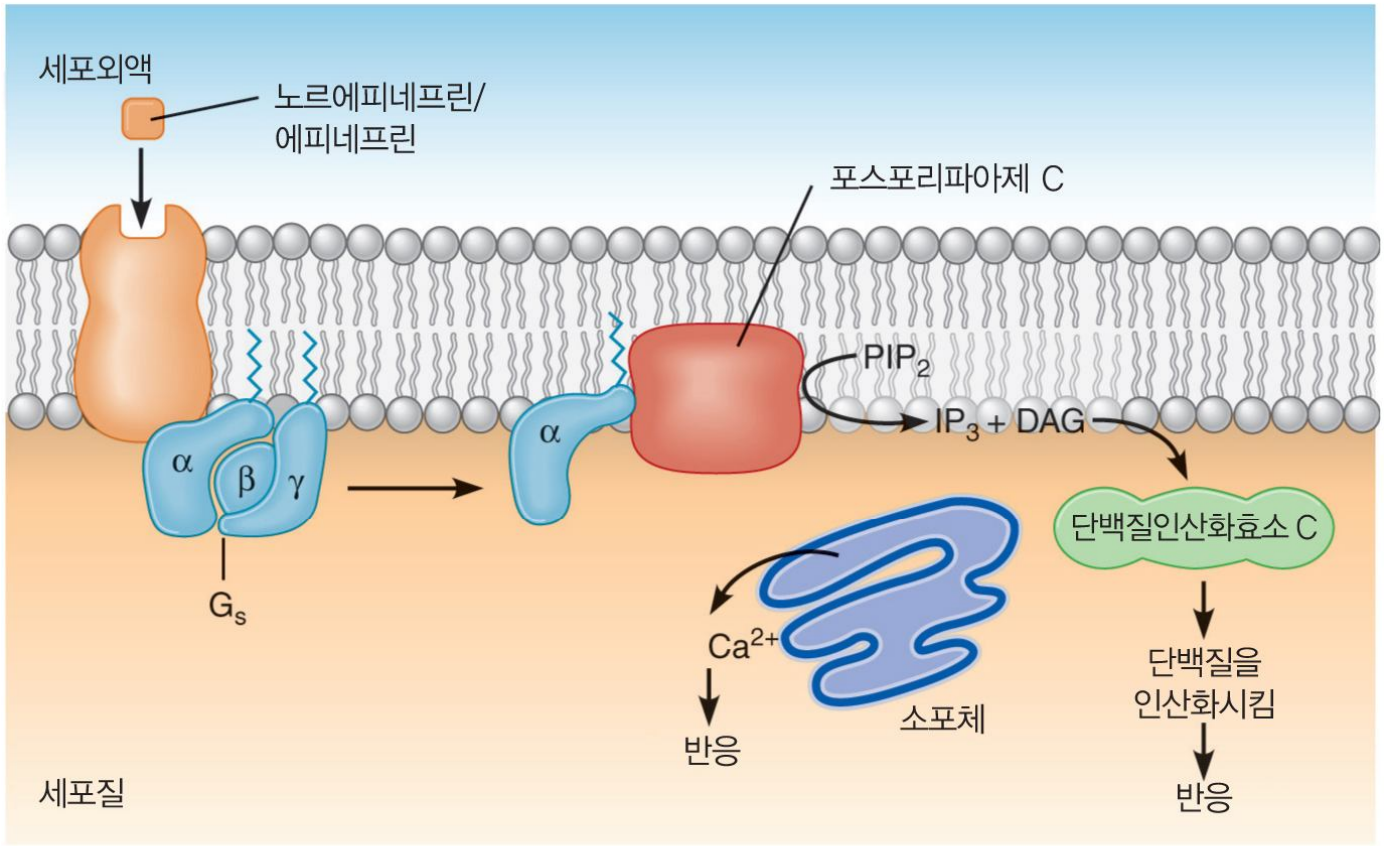
베타2 아드레날린성 수용체의 특징

- 일부 혈관, 평활근에 위치
- 억제성
- 노르에피네프린 보다 에피네프린에 친화력이 크다

베타3 아드레날린성 수용체의 특징

- 지방조직에 위치
- 흥분성
- 노르에피네프린과 에피네프린에 대한 친화력이 같다

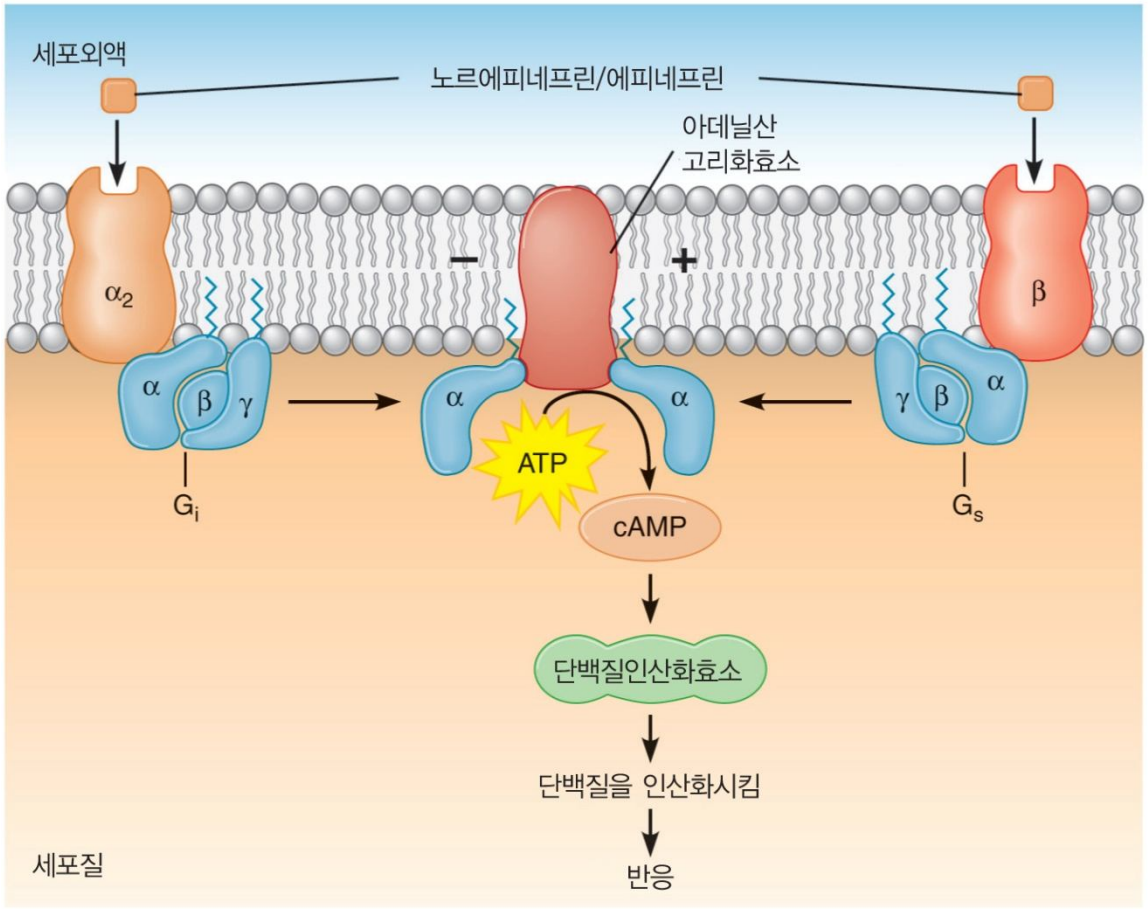
교감신경계의 신호변환 기전:알파 1 수용체



(a) 포스파티딜이노시톨이인산(PIP_2)과 α_1 수용체

그림 11.8 교감신경계의 효과기 기관에서의 신호변환 기전. (a) 노르에피네프린이나 에피네프린이 α_1 아드레날린성 수용체에 결합하면, 포스파티딜이노시톨 2차 전령 시스템이 활성화된다.

교감신경계의 신호변환 기전:알파 2 와 베타수용체



(b) cAMP, α_2, β 수용체

그림 11.8 교감신경계의 효과기 기관에서의 신호변환 기전. **(b)** 노르에피네프린이나 에피네프린이 α_2 아드레날린성 수용체에 결합하면 cAMP 2차 전령 시스템이 억제되는 반면 β 아드레날린성 수용체에 결합하면 cAMP 2차 전령 시스템이 흥분된다.

아드레날린성 수용체

표 11.1 화학신호전달물질의 기능적 분류

수용체 유형	수용체 유형을 가진 효과기 기관	상대 친화력*	신호변환 기전	효과기 기관에서의 효과†
α_1	대부분의 혈관 평활근, 동공	NE > Epi	IP_3 활성화	흥분성
α_2	CNS, 혈소판, 아드레날린성 신경종말(자가수용체), 일부 혈관의 평활근, 지방조직	NE > Epi	cAMP 억제	흥분성
β_1	CNS, 심장근육, 신장	NE = Epi	cAMP 활성화	흥분성
β_2	일부 혈관, 호흡기도, 자궁	NE ≪ Epi	cAMP 활성화	억제성
β_3	지방조직	NE = Epi	cAMP 활성화	흥분성

*NE = 노르에피네프린; Epi = 에피네프린; > = 더 큼; ≫ = 매우 더 큼. IP_3: 이노시톨삼인산
†효과는 절대적인 것이 아니고 대체적인 효과임.

자율신경의 신경효과기연접부

자율신경계에서 날뉴런과 효과기 기관 간의 시냅스

신경효과기연접부

- 자율신경절이후뉴런과 효과기 기관 사이
- 신경전달물질이 수많은 팽윤된 축삭염주(Varicosities)에 저장됨
  - 신경절이후뉴런에서 활동전압에 반응하여 방출됨

자율신경의 신경효과기연접부

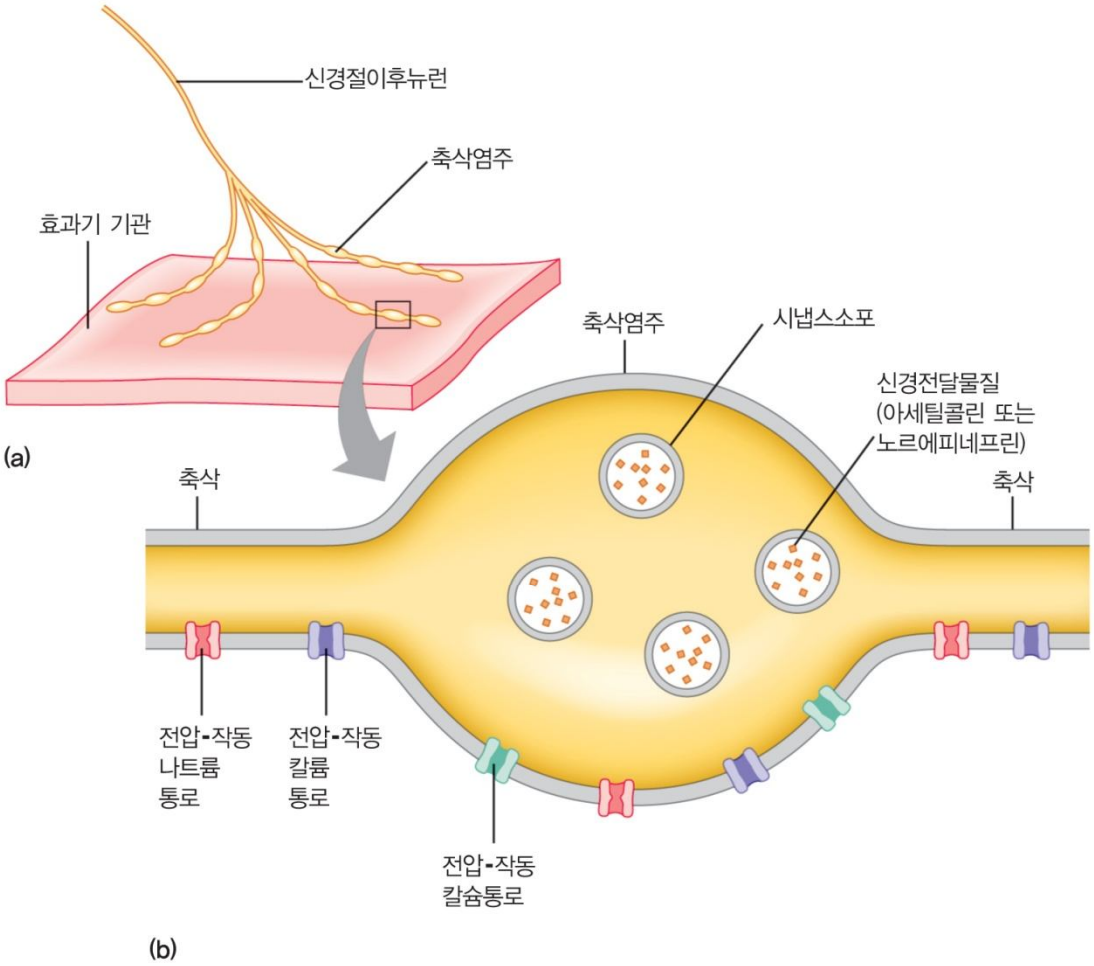


그림 11.9 자율신경계의 신경효과기연접부. (a) 효과기 기관 가까이에 신경절이후뉴런의 축삭이 축삭염주라고 하는 팽윤된 구조를 가진 가지들을 낸다. (b) 축삭염주 하나를 확대한 그림. 전압-작동 나트륨통로와 칼륨통로가 축삭 전체에 존재하여 활동전위의 전파를 지지하고, 전압-작동 칼슘통로는 축삭염주에 농축되어 있다. 축삭염주 내의 시냅스소포에 신경전달물질이 저장되어 있다.

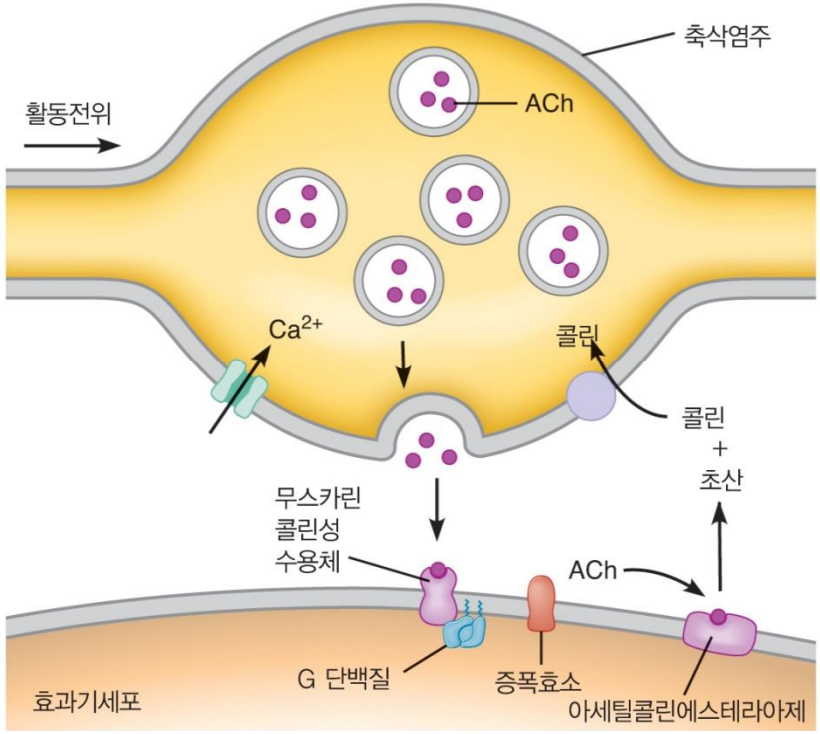
신경효과기연접부에서의 작용

1. 활동전압이 축삭염주에 도달
2. 전압작동 칼슘통로를 연다
3. Ca^{2+}이 세포외유출로 신경전달물질의 방출을 일으킴

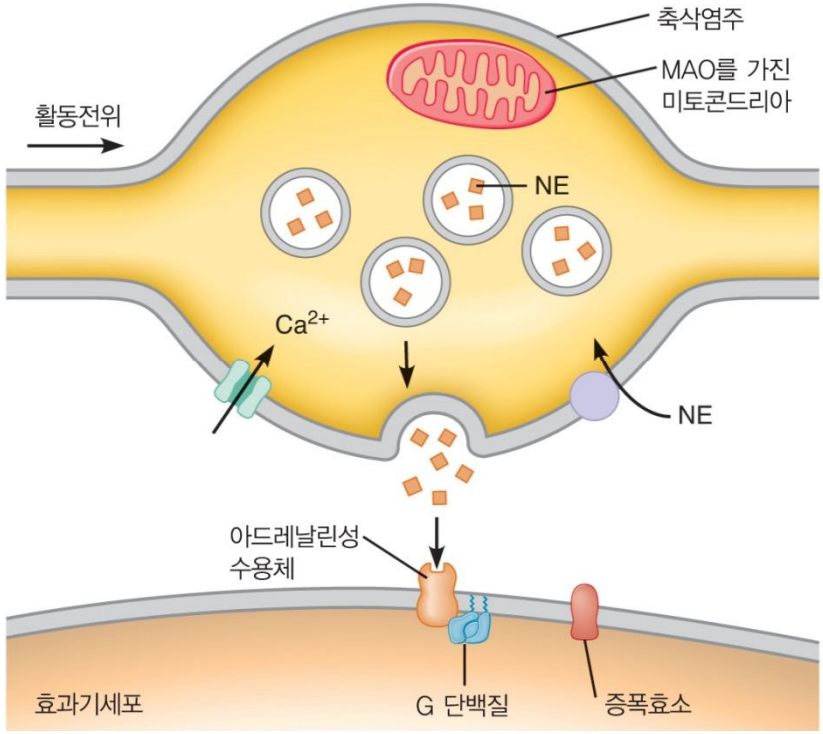
신경효과기연접부에서의 작용

4. 신경전달물질이 효과기 기관의 수용체와 결합
5. 효과기 기관에서 반응이 일어남
6. 신경전달물질이 분해, 확산, 재흡수된다

축삭염주에서 신경전달물질의 방출



(a) 신경절이후뉴런에서 아세틸콜린의 방출



(b) 신경절이후뉴런에서 노르에피네프린의 방출

그림 11.10 축삭염주에서의 신경전달물질의 방출. (a) 축삭염주에서 아세틸콜린(ACh)의 방출. 활동전위가 축삭염주를 탈분극시켰을 때, 전압-작동 칼슘통로가 열려 칼슘이 세포 안으로 들어감으로써 세포외유출에 의한 ACh의 방출을 일으킨다. ACh는 효과기 기관 막의 무스카린 콜린성 수용체에 결합함으로써 G 단백질을 활성화한다. ACh가 효과기 기관에 위치한 아세틸콜린에스테라아제에 의하여 분해되면, 콜린은 신경절이후축삭염주로 능동운반되어 ACh를 더 합성하는 데 사용된다. (b) 축삭염주에서 노르에피네프린(NE)의 방출. 활동전위가 축삭염주를 탈분극시켰을 때, 전압-작동 칼슘통로가 열려 칼슘이 세포 안으로 들어감으로써 세포외유출에 의한 NE의 방출을 일으킨다. NE는 효과기 기관 막의 아드레날린성 수용체에 결합함으로써 G 단백질을 활성화한다. 일부 NE는 신경절이후축삭염주로 능동운반되어 미토콘드리아에 있는 모노아민산화효소(MAO)에 의하여 분해된다.

자율기능의 조절

- 기관의 이중 지배
- 부교감과 교감신경 활성의 균형
  - 부교감—안정상태
  - 교감—흥분상태

자율기능의 조절

- 부교감의 활성이 증가하면 교감의 활성은 감소
- 교감의 활성이 증가하면 부교감의 활성은 감소

자율신경계의 조절: 혈압

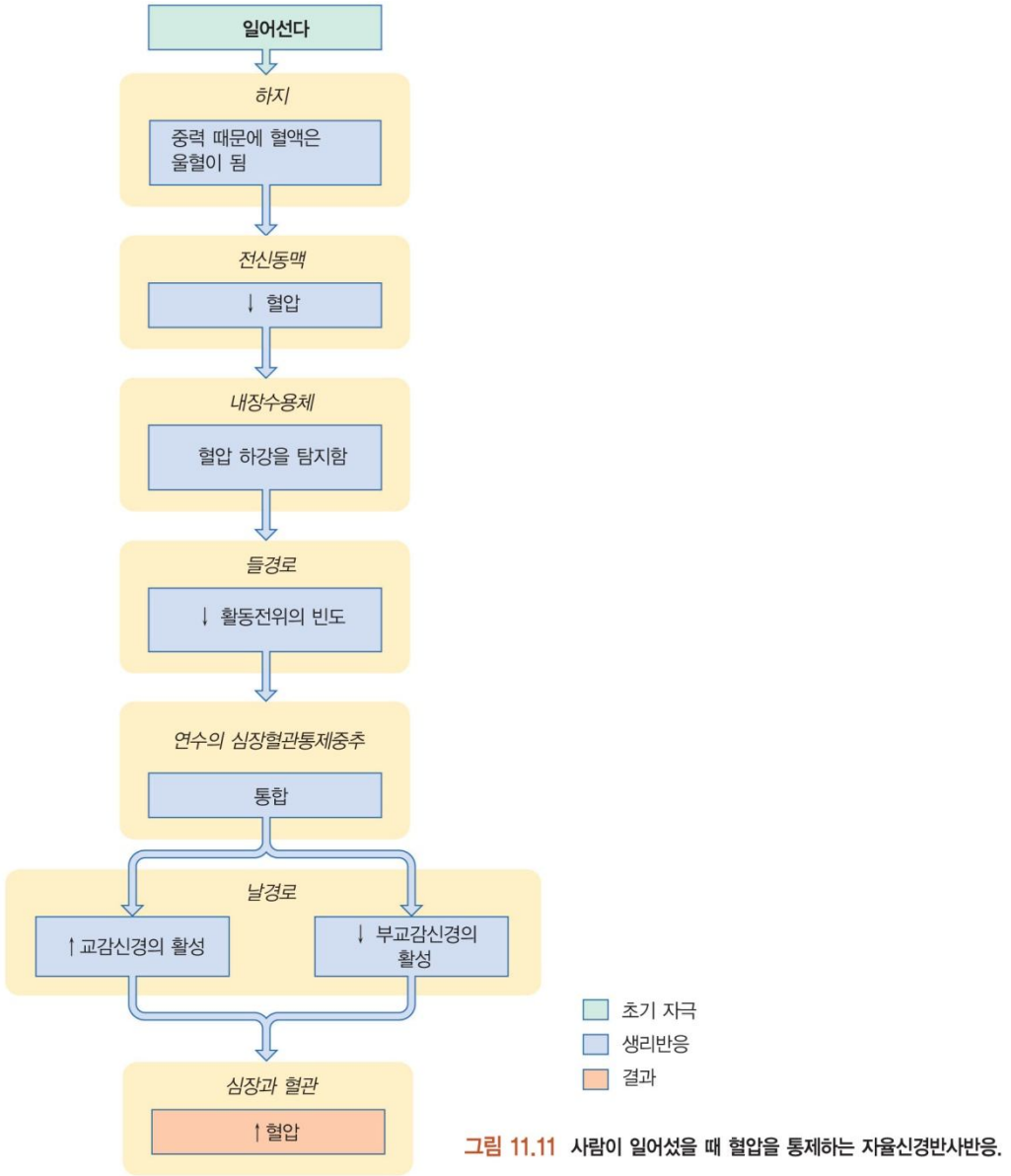


그림 11.11 사람이 일어섰을 때 혈압을 통제하는 자율신경반사반응.

부교감신경의 활성

- 조용하고 편안한 상태
- 안정상태와 소화를 활성화 시킴
- 위장관 활동을 증가시킴
- 심박동과 혈압감소

교감신경의 활성

- 알림반응
- 비상 상태, 스트레스, 운동에 대한 준비
- 심박동과 혈압증가
- 저장된 에너지를 동원
- 동공확대
- 위장관과 방광기능 감소

안정상태에서의 강직성 활성화

- 두 개의 가지가 모두 활성화됨
- 부교감신경계가 우세

자율신경을 조절하는 뇌의 영역들

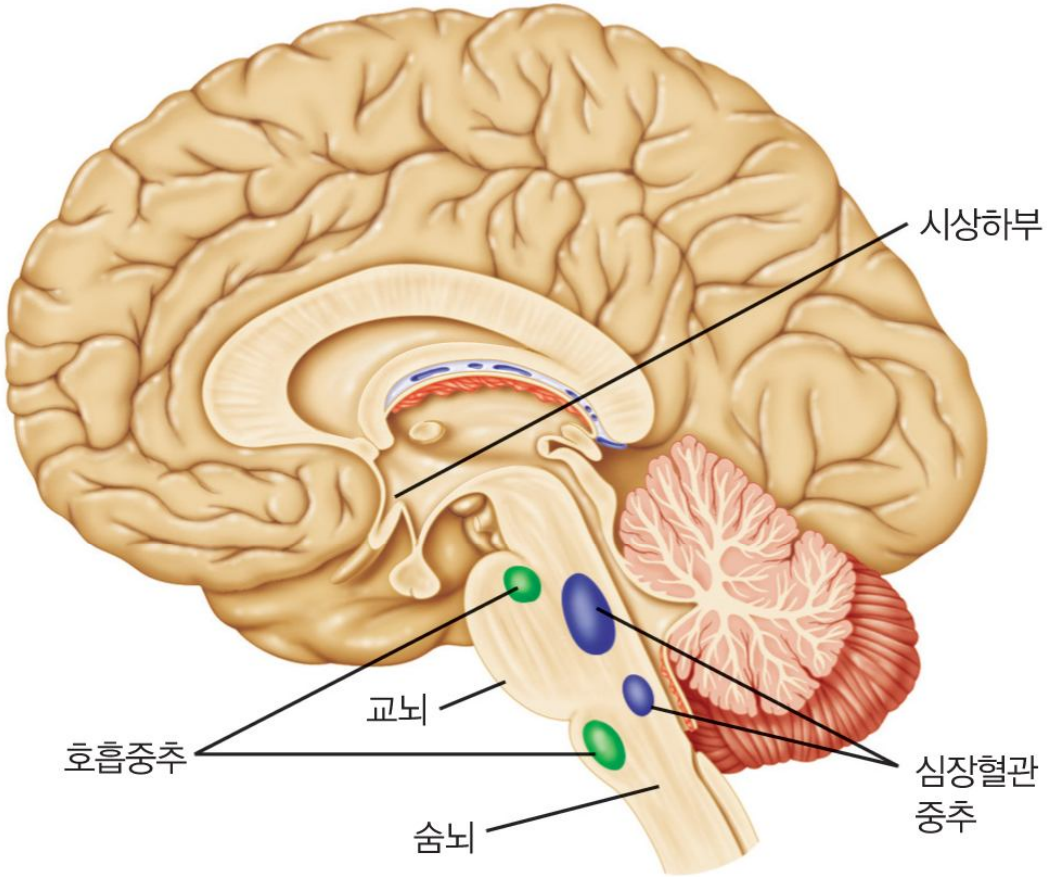


그림 11.12 자율기능을 조절하는 뇌의 영역들. 뇌의 정중시상단면은 뇌줄기의 교뇌와 숨뇌, 시상하부를 보여주는데, 이들 모두는 자율기능을 조절한다.

자율신경계 분포의 효과

표 11.2 자율신경계 분포의 효과

	부교감신경계*	교감신경계	
기관계	**효과**	**효과**	**아드레날린성 수용체 유형**
심장			
SA 결절	심장박동수 감소	심장박동수 증가	β_1
AV 결절	전도 속도 감소	전도 속도 증가	β_1
수축력	감소(효과 작음)	증가	β_1
혈관			
신체 대부분의 소동맥	–	혈관수축	α_1
골격근의 소동맥	–	혈관수축	α_1
		혈관확장(에피네프린)	β_2
뇌의 소동맥	–	–	
정맥	–	혈관수축	α_1
		혈관확장(에피네프린)	β_2

자율신경계 분포의 효과

기관계	부교감신경계* 효과	교감신경계 효과	교감신경계 아드레날린성 수용체 유형
폐			
기관지근육	수축	이완	β_2
기관지샘	분비촉진	분비억제	α
소화관			
운동성	증가	감소	α_1, α_2, β_2
분비	촉진	억제	α_2
조임근	이완	수축	α_1
이자			
외분비샘	분비촉진	분비억제	α
내분비샘	분비촉진	분비억제	α_2
침샘	맑은 침 분비	점액 침 분비	α_1
콩팥			
레닌 방출	–	촉진	β_1
방광			
방광벽	수축	이완(효과 작음)	β_2
조임근	이완	수축	α_1

자율신경계 분포의 효과

남성생식관			
혈관(발기)	혈관확장	–	
정관과 정낭(사정)	–	사정	α_1
여성생식관			
자궁(비임신 중)	모름	이완	β_2
자궁(임신 중)	모름	수축	α_1
피부			
땀샘	분비촉진	분비촉진	α_1, 무스카린성†
털세움근	–	수축(털이 일어남)	α_1
눈			
홍채근(동공크기)	돌림근수축(동공수축)	부챗살근수축(동공확장)	α_1
모양체근(수정체조절)	수축(가까운 사물)	이완(먼 사물)(효과 작음)	β_2
대사			
간	–	글리코겐분해와 포도당신생합성 촉진	α_1, β_2
지방조직	–	지방분해촉진	β_3

*모든 효과기 기관은 무스카린 콜린성 수용체를 가지고 있기 때문에, 부교감신경계에 대한 수용체 유형은 나타내지 않았다.
†땀샘에 대한 교감신경절이후뉴런은 신경전달물질로 아세틸콜린을 방출한다.

II. 체성신경계

- 체성신경계의 해부학적 구조
- 신경근육연접부

체성신경계

- CNS와 효과기 기관 사이의 한 종류의 뉴런
  - 운동뉴런(Motor neuron)
- 효과기기관 =골격근
- 수의근(Voluntary control)

체성신경계의 해부학적 구조

- 운동뉴런
- 척수의 앞뿔에서 시작
- 골격근을 지배
- 신경전달물질 =아세틸콜린
- 골격근에 분포한 수용체 =니코틴성 콜린성수용체

체성신경계 경로

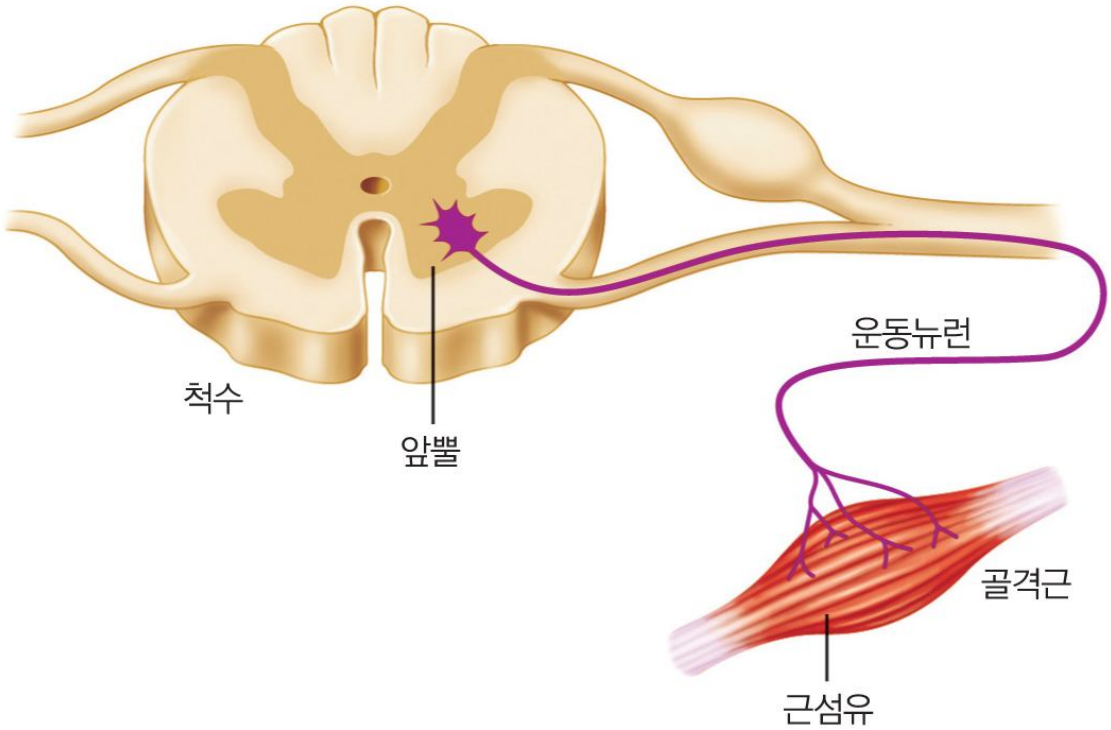


그림 11.13 체성신경계 경로의 해부학적 구조. 체성신경계는 운동뉴런으로 구성되는데, 척수의 앞뿔에서 시작하여 전신의 골격근섬유에서 끝난다.

운동단위

하나의 운동뉴런과
이 뉴런이 분포한 근섬유 모두를 합친것

운동단위

- 체성운동뉴런은 골격근을 지배함
- 하나의 운동뉴런이 여러 근섬유를 지배함
- 각 근섬유는 하나의 운동뉴런의 지배를 받음

운동단위

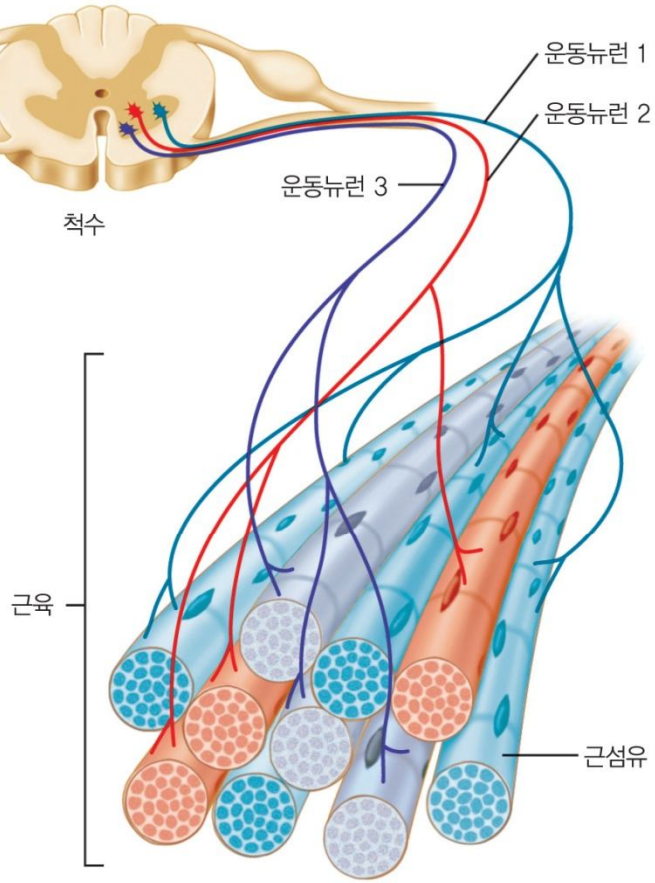


그림 11.14 운동단위. 운동단위는 한 운동뉴런과 그 운동뉴런이 분포하는 골격근섬유 모두로 구성된다. 한 개의 운동뉴런이 많은 근섬유에 분포하는 반면, 한 개의 근섬유에는 한 개의 운동뉴런만이 분포한다. 한 운동단위 내의 근섬유들은 그 근육 전체에 흩어져 있다.

신경근육연접부

- 운동뉴런과 근섬유 사이의 연접부

신경근육연접부의 특징

- 신경근육연접부의 해부학적 구조
  - 종말단추(Terminal bouton) = 축삭의 종말
  - 운동종말판(Motor end plate) =근섬유원형질막의 특수한 부위
- 모든 운동뉴런은 아세틸콜린을 방출
- 골격근세포의 수용체는 니코틴콜린성 수용체

신경근육연접부의 특징

- 골격근의 모든 시냅스는 흥분성
- 아세틸콜린에스테라아제는 연접부위에서 아세틸콜린을 분해함

신경근육연접부의 활동

- 운동뉴런의 활성화는 EPSPs/IPSPs의 가중에 달려있다
- 운동뉴런의 활동전압-> 신경근육연접부에서 아세틸콜리 방출을 자극함
    - 종말판전위는 운동종말판에서 일어남

신경근육연접부에서의 신호전달

1. 활동전압이 종말단추에 도달
2. 전압-작동 칼슘통로가 열림
3. 칼슘유입이 아세틸콜린 방출을 일으킴
4. Ach는 확산되어 운동종말판의 니코틴콜린성 수용체에 결합

신경근육연접부에서의 신호전달

5. Ach는 양이온인 나트륨과 칼륨의 이온 통로를 연다
6. 양이온이 내부로 순이동 → 탈분극
   - 종말판전위 = EPP
   - EPP > EPSP

신경근육연접부에서의 신호전달

7. EPP는 근육세포에서 활동전위를 생성한다
8. 활동전위가 골격근을 따라 퍼져-> 근육을 수축시킴

신경근육연접부

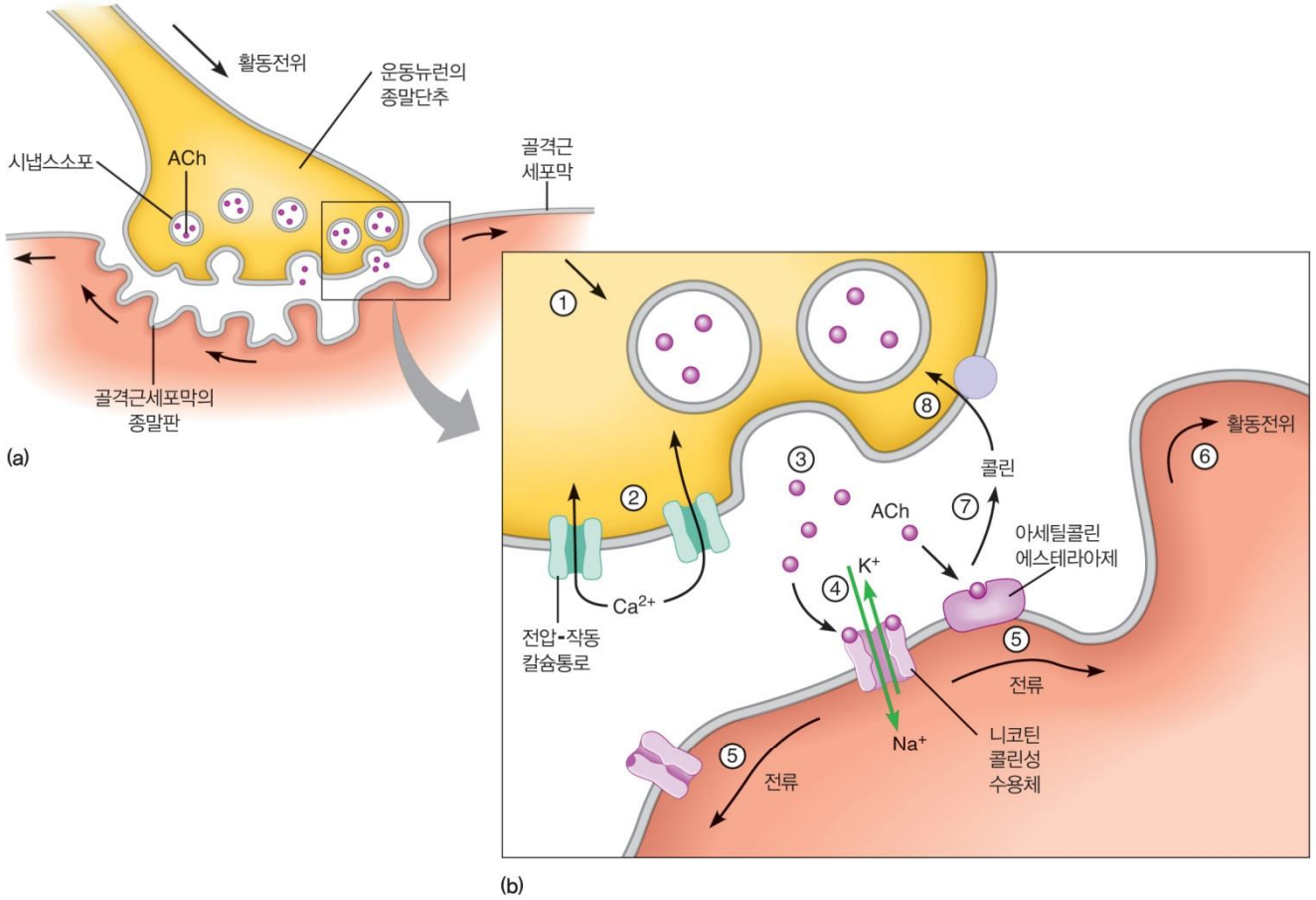


그림 11.15 신경근육연접부의 기능 해부학. **(a)** 운동뉴런의 축삭종말과 운동종말판이라고 하는 골격근의 원형질막의 부위는 모두 신경근육연접부에서 특수화되어 있다. **(b)** 신경근육이음에서의 의사소통. ① 활동전위가 운동뉴런의 축삭종말에 도착하면, ② 전압-작동 칼슘통로가 열려 칼슘이 세포질로 들어간다. ③ 칼슘 유입은 세포외유출에 의한 아세틸콜린(ACh) 방출을 일으키고, ACh는 확산하여 운동종말판의 니코틴 콜린성 수용체에 결합함으로써 양이온 통로를 연다. ④ 나트륨이 세포 안으로 들어가, ⑤ 종말판전위를 일으켜 골격근세포의 원형질막 전체에 전류를 생성한다. ⑥ 막이 문턱으로 탈분극하여 활동전위가 생성된다. 활동전위가 골격근세포막을 따라 퍼지고 궁극적으로 근육을 수축시킨다. ⑦ 아세틸콜린에스테라아제가 ACh를 초산과 콜린으로 분해한다. ⑧ 콜린은 축삭종말로 능동수송되어, 아세틸콜린 합성에 사용될 수 있다.

신경근육연접부

PLAY **A&P Flix:** 근육수축 **Part 1:** 신경근육연접부에서의 작용

자율신경계와 체성신경계의 특성

표 11.3 자율신경계와 체성신경계의 특성

특성	부교감신경계	교감신경계	체성신경계
기원	뇌줄기 또는 엉치 척수의 옆뿔	가슴과 허리 척수의 옆뿔	척수의 앞뿔
경로를 구성하는 뉴런	두 개(신경절이전뉴런과 신경절이후뉴런)	두 개(신경절이전뉴런과 신경절이후뉴런)	한 개(운동뉴런)
효과기 기관	심장근, 평활근, 샘	심장근, 평활근, 샘, 지방조직	골격근
신경효과기이음에서의 신경전달물질	아세틸콜린	노르에피네프린	아세틸콜린
효과기 기관의 수용체 유형	무스카린 콜린성 수용체	아드레날린성 수용체(모든 유형)	니코틴 콜린성 수용체
효과기 기관에 대한 효과	흥분 또는 억제	흥분 또는 억제	흥분
통제	주로 불수의적	주로 불수의적	주로 수의적