

11

신경계: 자율신경계와 체성신경계

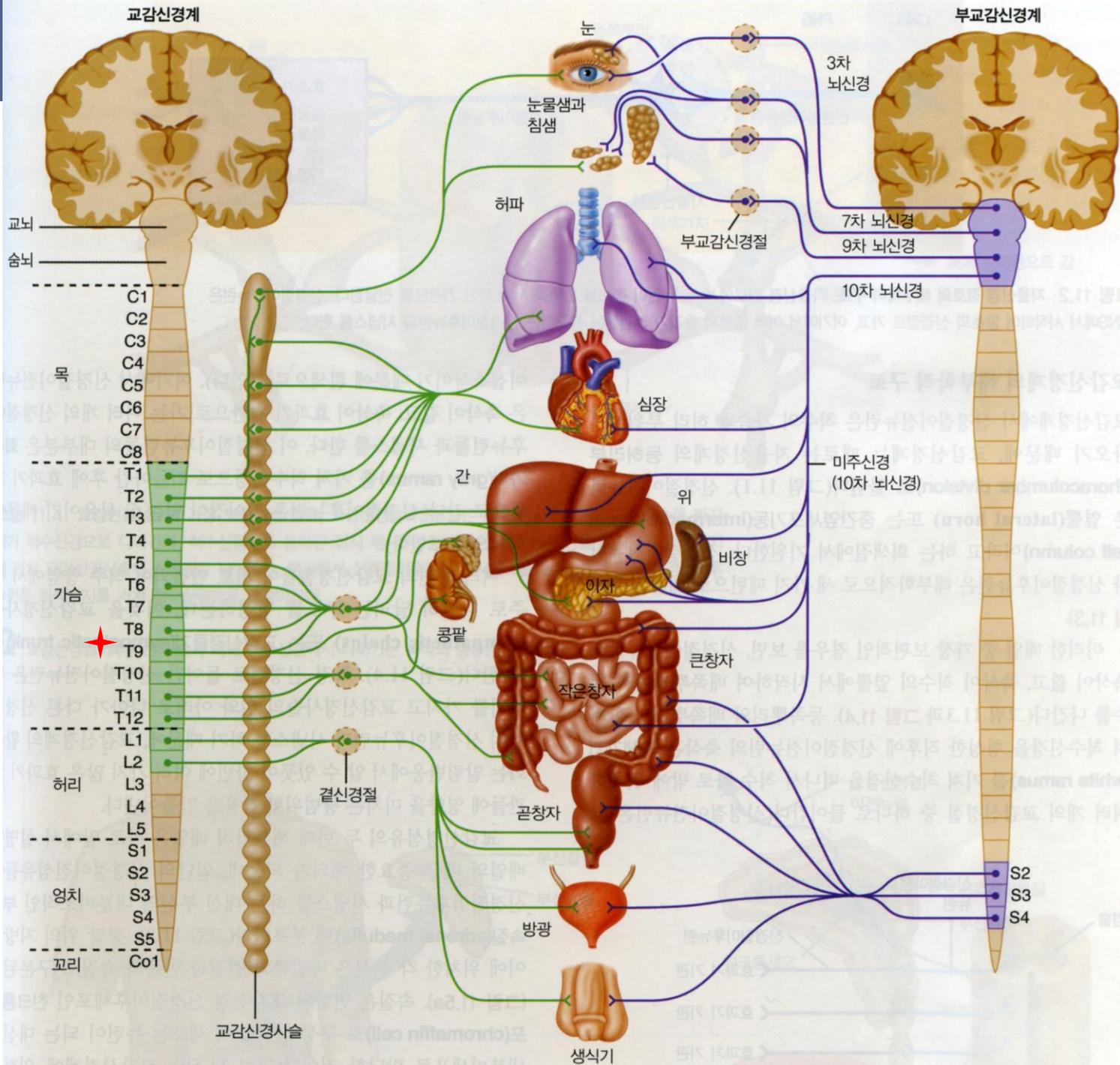
1. 자율신경계
2. 체성신경계

11-1 자율신경계(autonomic nervous system) (278)

- 자율기관(심장근, 내장기관, 분비샘, 지방조직, 혈관 평활근)에 분포하여 기관들의 기능을 조절함
 - 자율기관은 기본적인 활성을 가지고 있음
 - 자율신경계는 자율기관의 활성 수준을 증가시키거나 감소시킴
- 자율신경계의 기능은 잠재의식 수준에서 일어남
(자율; autonomic)

1. 자율신경계의 이중신경분포(dual innervation) (278)

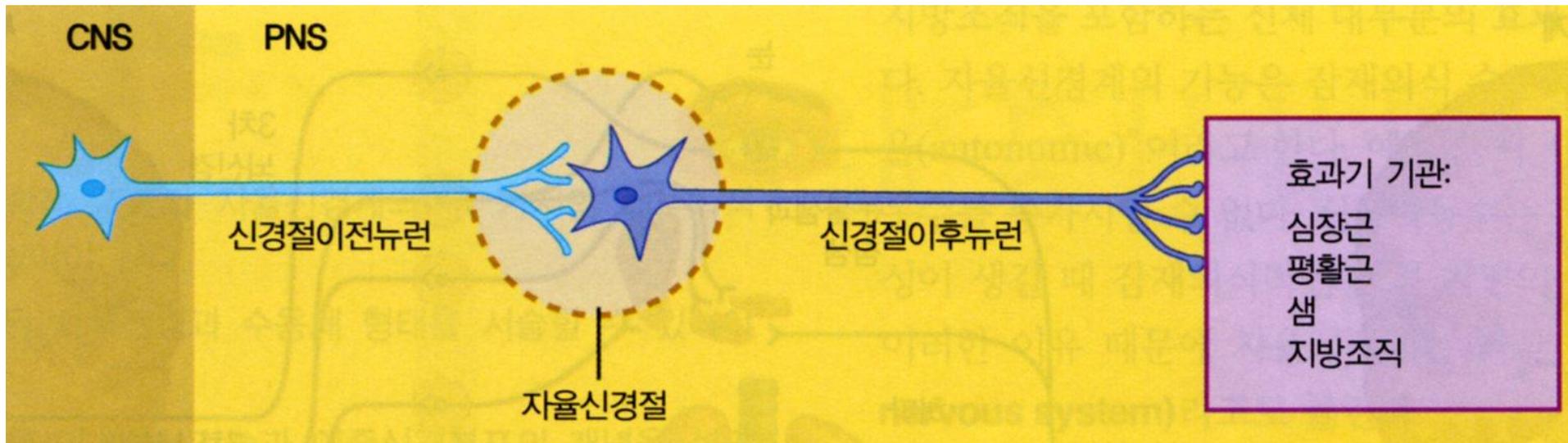
- 자율신경계의 교감신경 가지(sympathetic division)와 부교감신경 가지(parasympathetic division)가 대부분의 자율기관에 분포함 (11.1)
 - 두 신경 가지는 자율기관에 서로 반대의 효과를 발휘함
 - 자율신경계의 주 기능
 - 부교감신경은 안정상태와 소화 시에 매우 활성적임
 - 교감신경은 흥분 시, 또는 육체활동 중에 매우 활성적임 → 알림 반응을 일으켜 육체활동을 위하여 신체를 준비시킴
- ⇒ 항상성을 유지함



(11.1)

2. 자율신경계의 해부학적 구조 (278)

- 자율신경계는 연속하여 배열한 두 개의 뉴런으로 구성됨
→ CNS와 효과기 기관 사이를 의사소통함
- 두 뉴런은 자율신경절(autonomic ganglion)에서 서로 의사소통함 (11.2)
 - 신경절이전뉴런(preganglionic neuron)
 - 신경절이후뉴런(postganglionicneuron)



(11.2)

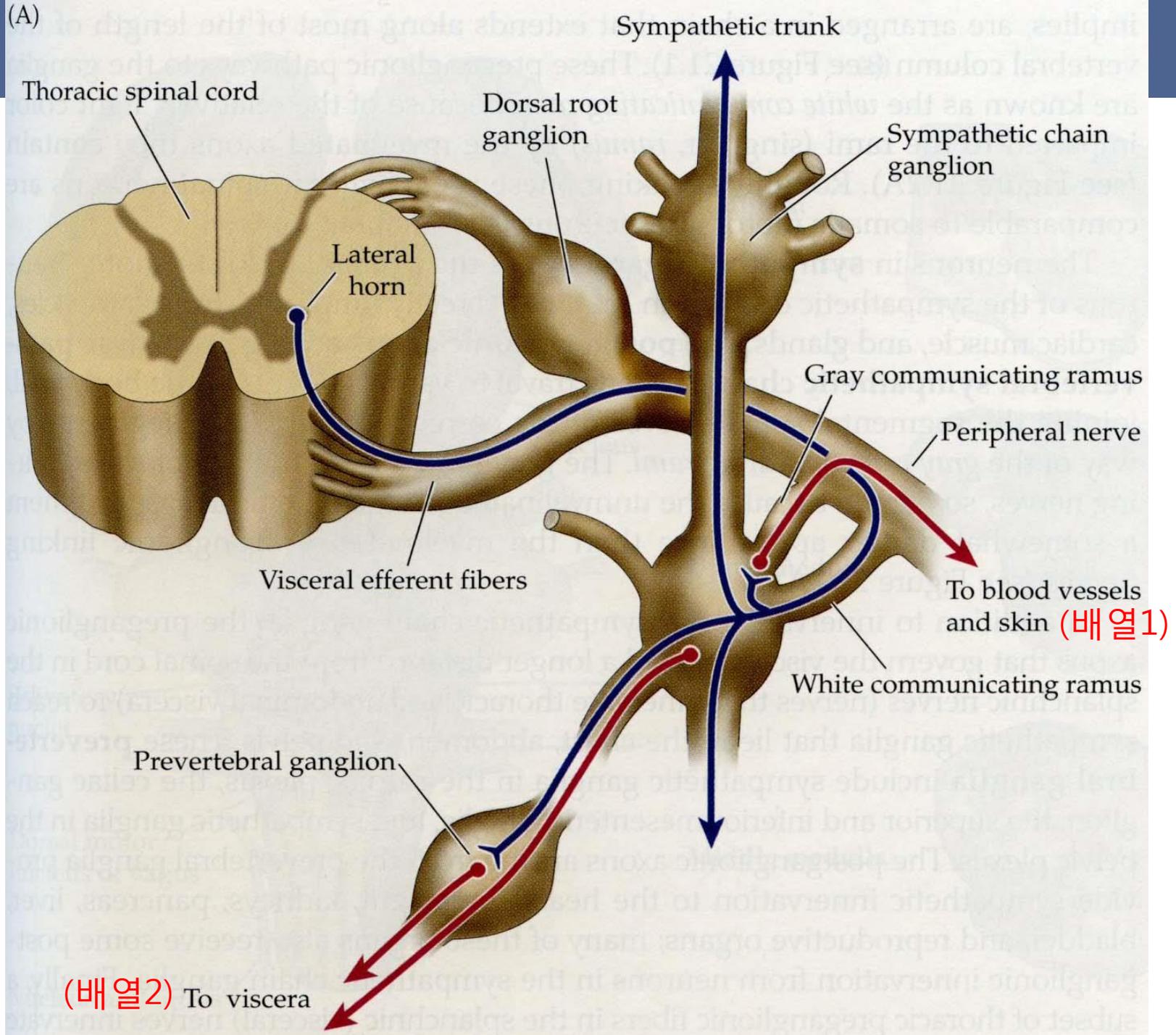
1) 교감신경계의 해부학적 구조 (280)

- 신경절이전뉴런이 척수의 가슴과 허리 부위에서 나옴 (등허리부; thoracolumbar division) (11.1)
- 신경절이전뉴런은 옆뿔에서 기원함
- 신경절이전뉴런과 신경절이후뉴런은 3가지 패턴으로 배열함

교감신경의 배열 1 (280)

■ 가장 보편적인 배열

- ① 신경절이전뉴런은 축삭이 짧고 척수의 옆뿔에서 시작하여 배쪽 뿌리에서 척수를 나감 (a)
 - ② 등쪽뿌리와 배쪽뿌리가 합쳐 척수신경을 이룬 직 후에 신경절이전뉴런의 축삭은 백색가지를 거쳐 척수신경을 떠나 척수 바로 밖의 여러 개의 교감신경절 중 하나로 들어감
 - ③ 교감신경절에서 신경절이후뉴런과 시냅스를 함
 - ④ 신경절이후뉴런의 축삭들 대부분은 회색가지를 거쳐 척수신경으로 되돌아간 후에 효과기 기관으로 감
- 여러 방면의 교감신경절(사슬신경절)들이 서로 연결되어 척주 양 옆에서 교감신경사슬을 이룸
 - 특정 신경절로 들어간 신경절이전뉴런은 곁가지를 가지고 교감신경사슬의 위와 아래로 가서 다른 신경절들의 신경절이후뉴런들과 시냅스를 함 → 광범위한 효과

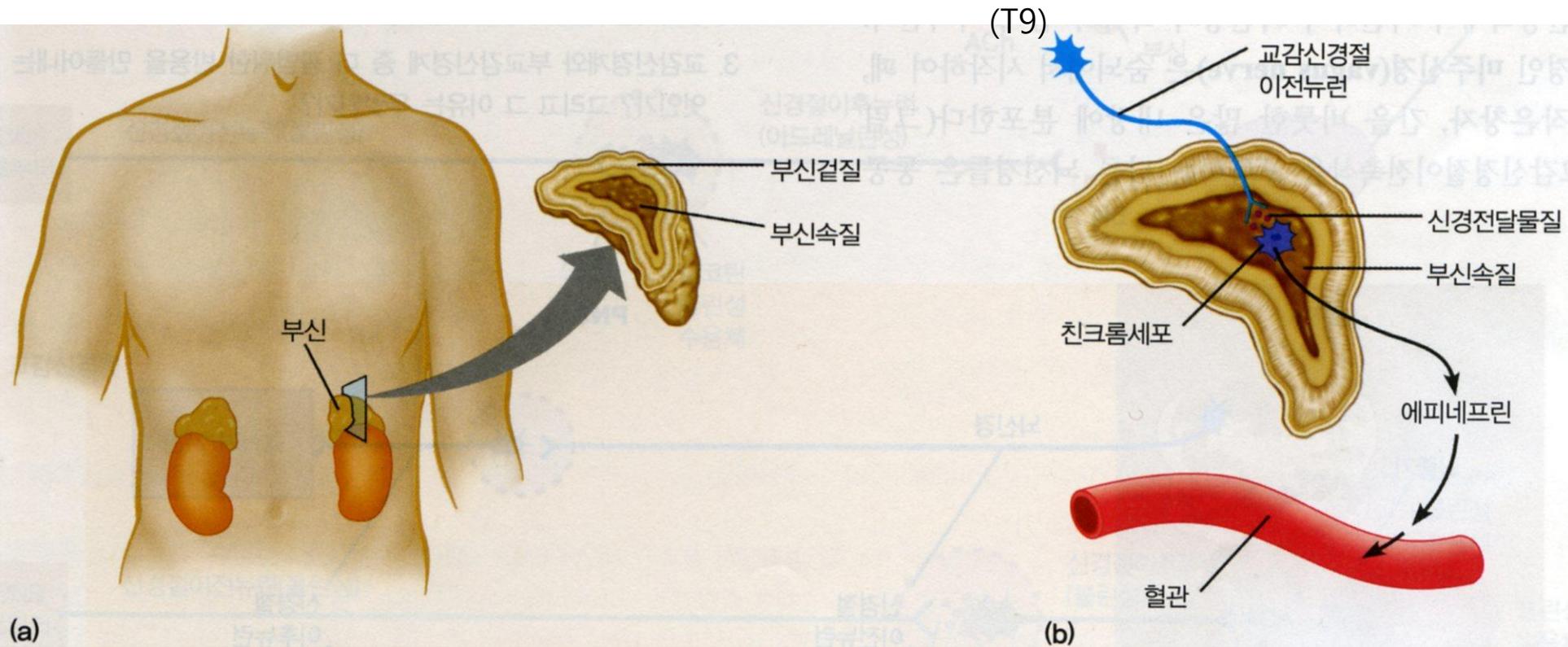


(a)

교감신경의 배열 2와 3 (280)

- 신경절이전뉴런과 신경절이후뉴런의 배열 2
 - 신경절이전뉴런의 축삭이 교감신경사슬을 통과하여 **결신경절(척추앞신경절)**에서 신경절이후뉴런과 시냅스를 함 → 특정 조직에 효과를 발휘함 (a)

- 신경절이전뉴런과 신경절이후뉴런의 배열 3
 - 신경절이전뉴런(T9)의 축삭이 부신속질에 분포함 (11.5)
 - 교감신경의 자극을 받은 부신속질의 **친크롬세포(변형된 교감신경절이후세포)**는 카테콜아민을 혈액으로 방출함(에피네프린 80%, 노르에피네프린 20%, 극소량의 도파민) → 광범위한 효과



2) 부교감신경계의 해부학적 구조 (282)

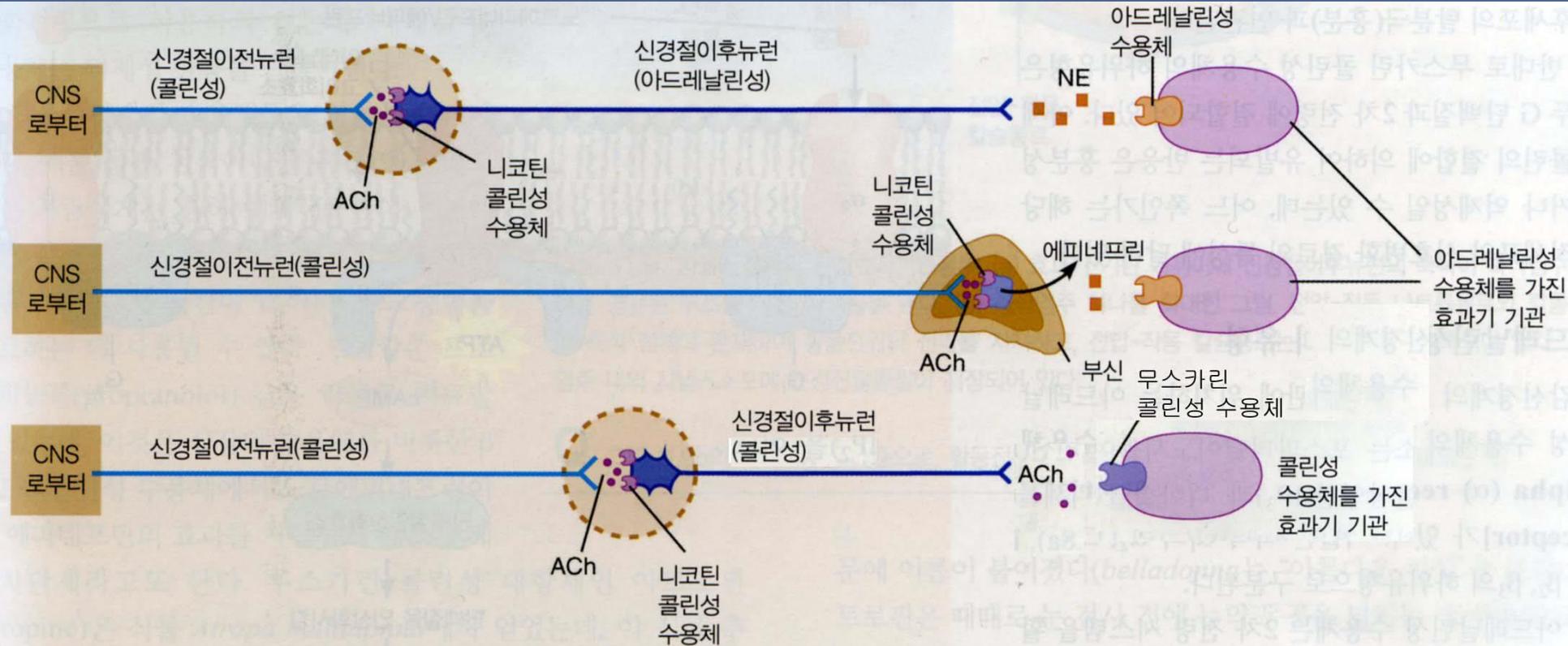
- 신경절이전뉴런이 뇌줄기나 척수의 엉치 부위에서 시작함 (머리엉치부; craniosacral division) 4
 - 신경절이전뉴런의 축삭이 길고 효과기 기관 가까이 위치한 신경절(끝신경절)에서 신경절이후뉴런과 시냅스를 함
- 머리 부위에서 나온 신경절이전뉴런의 축삭은 뇌줄기의 신경핵에서 기원하여 뇌신경의 축삭과 함께 나아감
 - 3차 뇌신경(눈돌림신경), 7차 뇌신경(얼굴신경), 9차 뇌신경(혀인두신경)
 - 10차 뇌신경(미주신경; vagus nerve)은 내장에 분포함
- 엉치 척수에서 나온 신경절이전뉴런은 척수신경과 합치지 않고 골반신경을 이룸

3) 자율신경의 혼합 성분 (282)

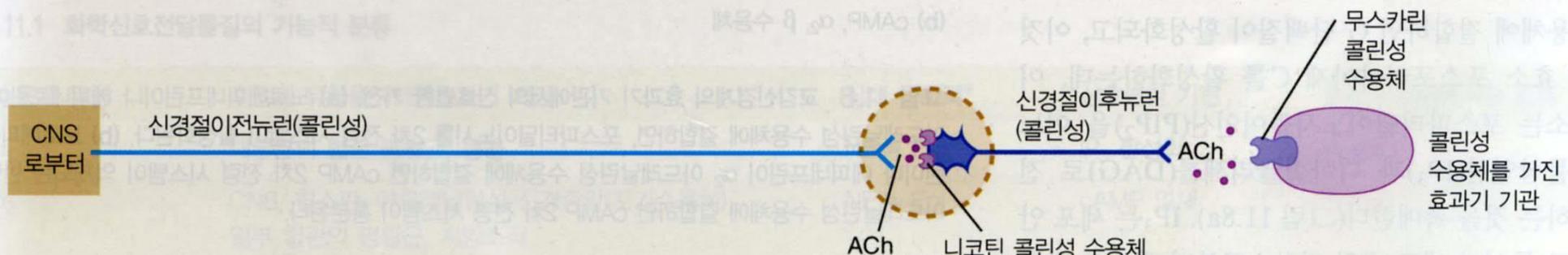
- 자율신경계의 축삭들은 자율기관의 기능을 통제함 (날섬유)
- 자율신경의 일부(미주신경)는 들섬유도 포함하고 있음
 - 들섬유는 내장수용체의 정보를 CNS로 전달함
 - 날섬유만이 자율신경계의 부분이 되어 자율기관의 기능을 조절함

3. 자율신경계의 신경전달물질과 수용체 분자 (283)

- 콜린성 뉴런(cholinergic neuron)
 - 뉴런이 NT로 아세틸콜린을 주로 방출함
 - 자율신경계의 신경절이전뉴런, 부교감신경계의 신경절이후뉴런, 교감신경계의 신경절이후뉴런의 일부(땀샘, 그리고 골격근의 일부 혈관을 지배함) (11.7)
- 아드레날린성 뉴런(adrenergic neuron)
 - 뉴런이 NT로 노르에피네프린을 주로 방출함
 - 교감신경계의 신경절이후뉴런의 대부분



(a) 교감신경계



(b) 부교감신경계

1) 콜린성 수용체의 유형 (283)

- 니코틴 콜린성 수용체
 - 4개의 하위유형이 있음 (N_1-N_4)
 - 자율신경계의 신경절이후뉴런의 세포체와 가지돌기, 부신속질의 친크롬세포, 골격근세포에 있음 (11.7, b)
 - 아세틸콜린이 결합하면 나트륨과 칼륨에 투과성인 이온통로로 작용함 → 나트륨 유입이 칼륨 유출보다 큼 → 시냅스이후뉴런이 탈분극(흥분)함
- 무스카린 콜린성 수용체
 - 5개의 하위유형(M_1-M_5) 이 있음
 - 부교감신경계의 효과기 기관에 있음
 - G 단백질과 2차 전령에 연결됨
 - 표적세포는 신호변환 경로에 따라 흥분되거나 억제됨

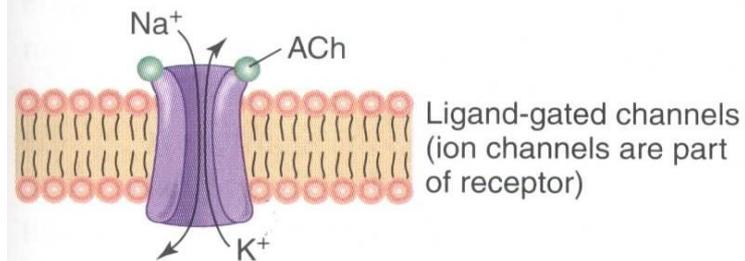
Nicotinic ACh receptors

Postsynaptic membrane of

- All autonomic ganglia
- All neuromuscular junctions
- Some CNS pathways

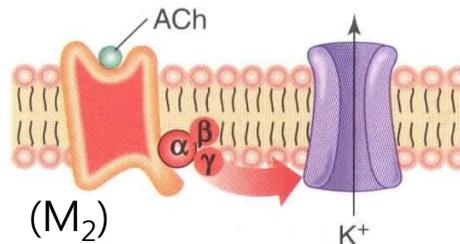
Muscarinic ACh receptors

- Produces parasympathetic nerve effects in the heart, smooth muscles, and glands
- G-protein-coupled receptors (receptors influence ion channels by means of G-proteins)



Depolarization

Excitation

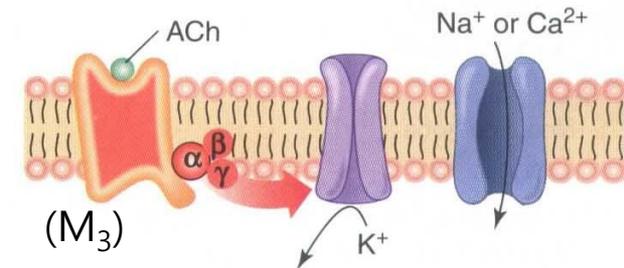


Hyperpolarization

(K⁺ channels opened)

Inhibition

Produces slower heart rate



Depolarization

(K⁺ channels closed)

Excitation

Causes smooth muscles of the digestive tract to contract

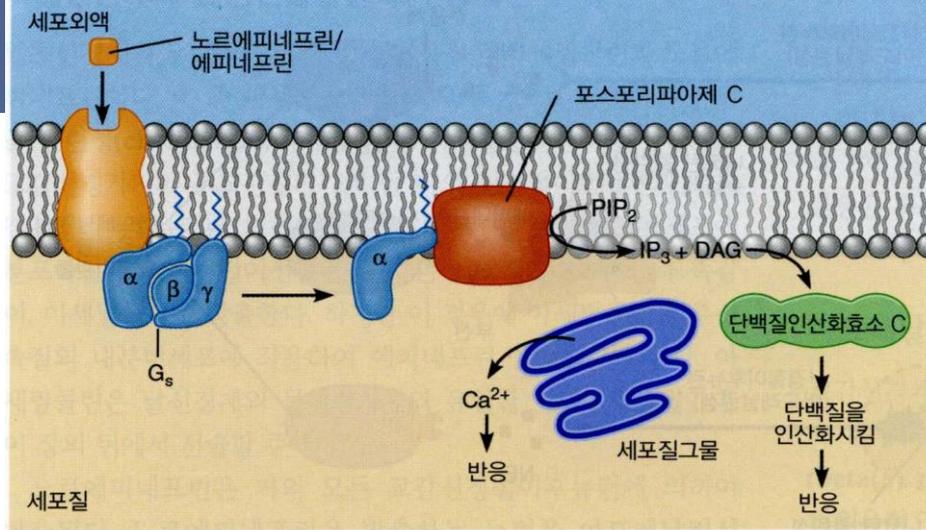
2) 아드레날린성 수용체 (284)

- α 수용체
 - α_1, α_2 하위유형 수용체
 - 노르에피네프린 친화력이 큼

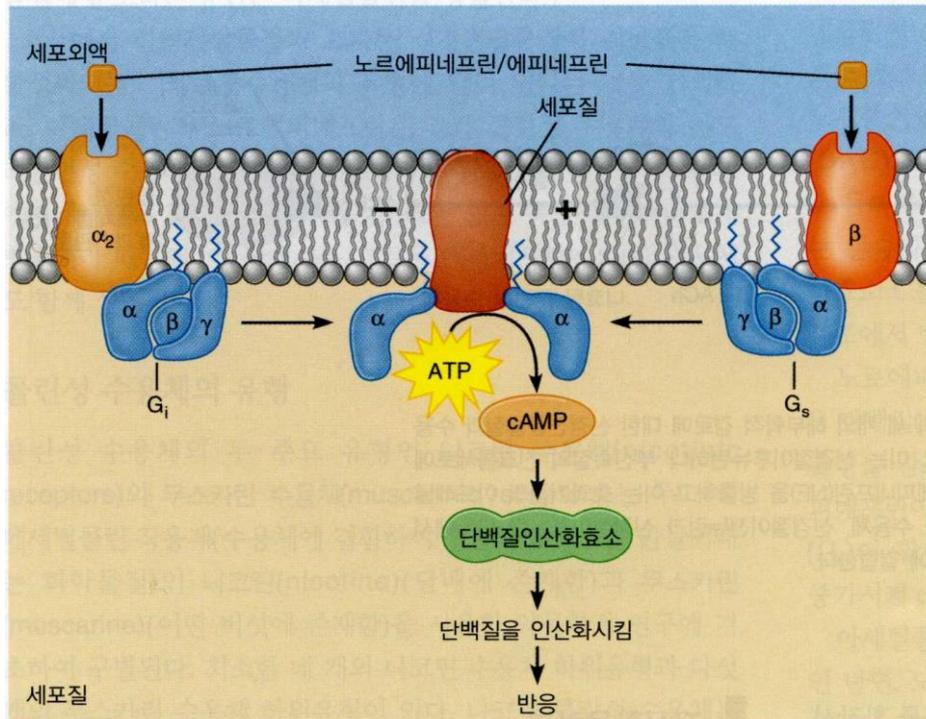
- β 수용체
 - $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 하위유형 수용체
 - 에피네프린 친화력이 큼

α 아드레날린성 수용체 (284)

- 노르에피네프린이나 에피네프린이 α_1 수용체에 결합하면 IP_3 2차 전령시스템이 활성화되어 세포질에 Ca^{2+} 이 증가함 (11.8a, 표11.1)
- 노르에피네프린이나 에피네프린이 α_2 수용체에 결합하면 억제 G 단백질(G_i)을 활성화시켜 cAMP의 합성을 억제함 (11.8b)



(a) 포스파티딜이노시톨인산(PIP₂)과 α₁ 수용체



(b) cAMP, α₂, β 수용체

(11.8)

β 아드레날린성 수용체 (284)

- 노르에피네프린이나 에피네프린이 β 수용체에 결합하면 흥분 G 단백질(G_s)을 활성화시켜 **cAMP의 합성을 촉진함** (11.8b)
 - β_1, β_3 수용체는 흥분성 경향임 (표11.1, c)
 - β_2 수용체는 억제성 경향임

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 \ll Epi	cAMP 활성화	억제성
β_3	지방조직	NE = Epi	cAMP 활성화	흥분성

*NE = 노르에피네프린; Epi = 에피네프린; > = 더 큼; \gg = 매우 더 큼. IP₃: 이노시톨삼인산

[†]효과는 절대적인 것이 아니고 대체적인 효과임.

Adrenergic

Integral proteins in postsynaptic plasma membranes; activated by the neurotransmitter norepinephrine, and by the hormones norepinephrine and epinephrine.

 α_1

Smooth muscle fibers in blood vessels that serve salivary glands, skin, mucosal membranes, kidneys, and abdominal viscera; radial muscle in iris of eye; sphincter muscles of stomach and urinary bladder.

Salivary gland cells.

Sweat glands on palms and soles.

 α_2

Smooth muscle fibers in some blood vessels.

Cells of pancreatic islets that secrete the hormone insulin (beta cells).

Pancreatic acinar cells.

Platelets in blood.

 β_1

Cardiac muscle fibers.

Juxtaglomerular cells of kidneys.

Posterior pituitary.

Adipose cells.

 β_2

Smooth muscle in walls of airways; in blood vessels that serve the heart, skeletal muscle, adipose tissue, and liver; and in walls of visceral organs, such as the urinary bladder.

Ciliary muscle in eye.

Hepatocytes in liver.

 β_3

Brown adipose tissue.

Excitation \rightarrow contraction, which causes vasoconstriction, dilation of pupil, and closing of sphincters.

Secretion of K^+ and water.

Increased sweating.

Inhibition \rightarrow relaxation \rightarrow vasodilation.

Decreased insulin secretion.

Inhibition of digestive enzyme secretion.

Aggregation to form platelet plug.

Excitation \rightarrow increased force and rate of contraction.

Renin secretion.

Secretion of antidiuretic hormone.

Breakdown of triglycerides \rightarrow release of fatty acids into blood.

Inhibition \rightarrow relaxation, which causes dilation of airways, vasodilation, and relaxation of organ walls.

Inhibition \rightarrow relaxation.

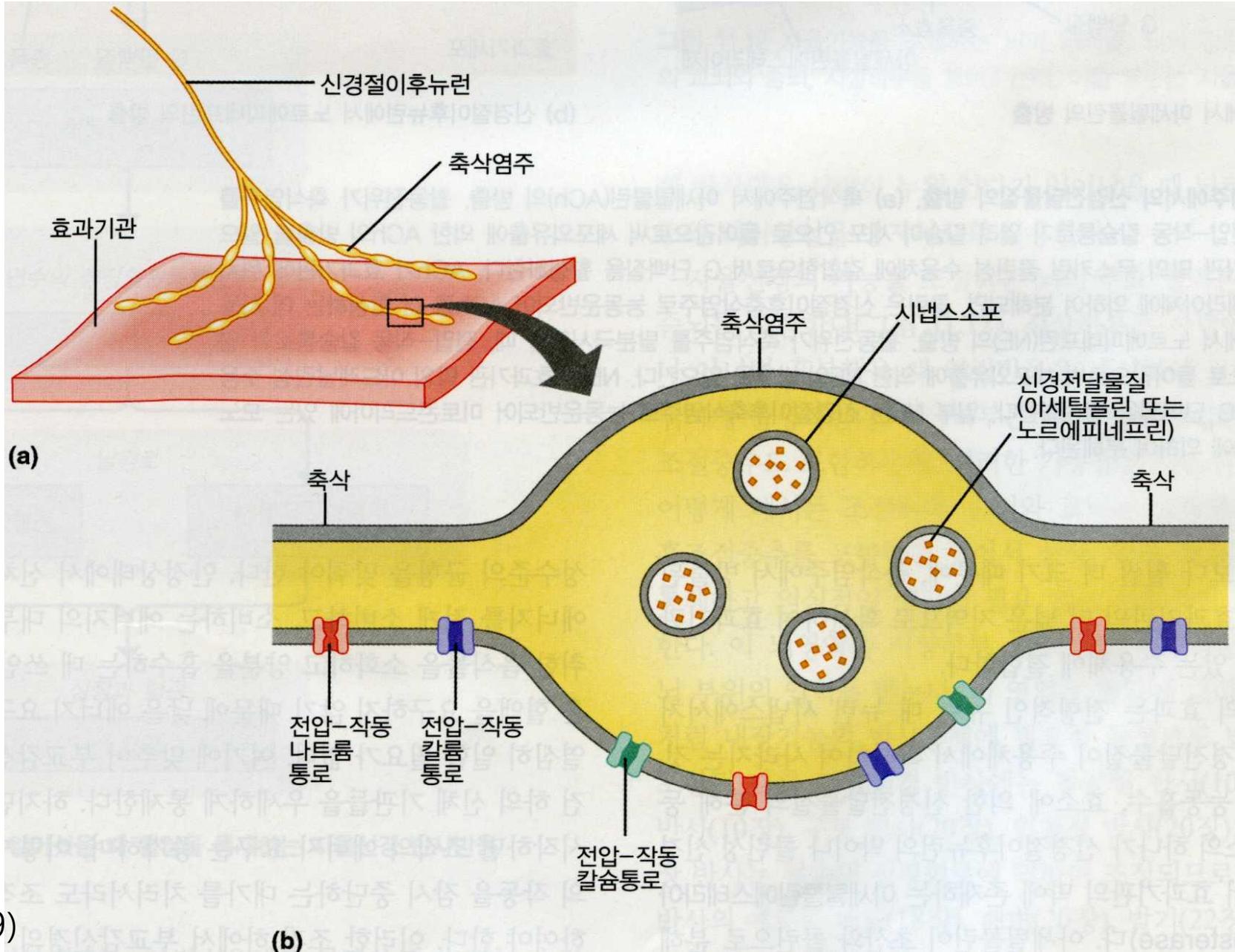
Glycogenolysis (breakdown of glycogen into glucose).

Thermogenesis (heat production).

(C)

4. 자율신경의 신경효과기이음부 (286)

- 자율신경절이후뉴런은 축삭종말이 구별되어 있지 않고 축삭을 따라 축삭염주들이 형성되어 있음
 - 축삭염주에 신경전달물질이 저장되어 있음
 - 활동전위가 축삭염주에 도달하면 축삭의 모든 축삭염주들에서 신경전달물질이 방출됨 (11.9)
 - 신경효과기이음부의 시냅스틈새가 넓어 신경전달물질은 효과기 기관의 더 넓은 지역으로 확산함



5. 자율기능의 조절 (287)

- 자율신경계는 변하는 신체의 요구에 대처하기 위하여 (교감신경과 부교감신경 가지의 활성 수준의 균형 통제를 통하여) 자율기관들의 활성 수준을 통제함으로써 **항상성을 유지함** (표11.2)
- 안정상태에서는 부교감신경의 우세한 통제 하에
 - 안정상태에서 기관들의 혈액요구는 작음
 - 에너지 소비가 작고 소비하는 에너지의 대부분은 음식물 소화와 양분 흡수에 쓰임
- 신체의 활동 시에는 교감신경의 우세한 통제 하에
 - 활동 시에 조직의 에너지 요구가 증가함
 - 심장의 활성이 증가하고 골격근으로의 혈류가 증가함

표 11.2 자율신경계 분포의 효과

기관계	부교감신경계*		교감신경계	
	효과	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 	
뇌의 소동맥	-	혈관확장(에피네프린)	β_2 	
정맥	-	혈관수축	α_1	
		혈관확장(에피네프린)	β_2	
폐				
기관지근육	수축	이완	β_2 	
기관지섬	분비촉진	분비억제	α	
 소화관				
운동성	증가 	감소	$\alpha_1, \alpha_2, \beta_2$	
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	

표 11.2 계속

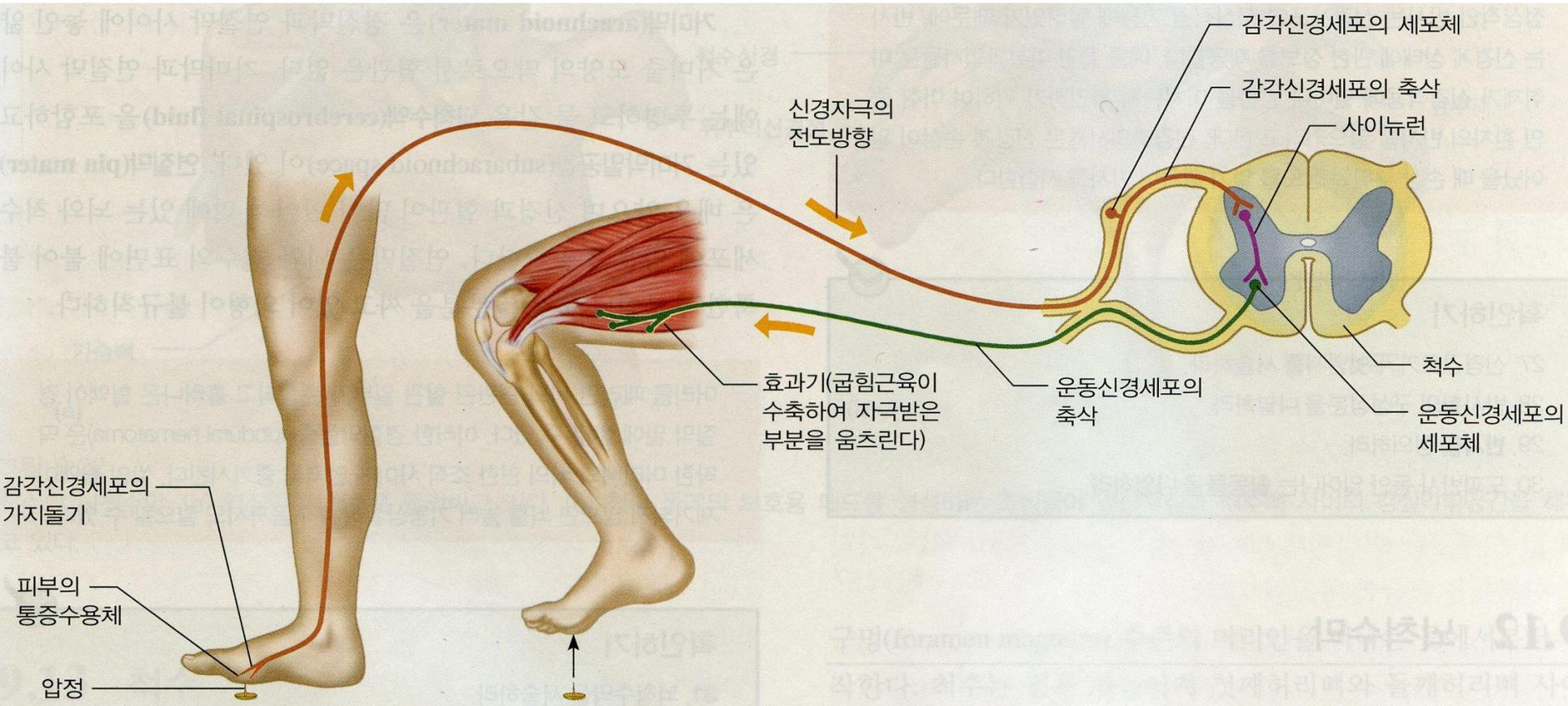
기관계	부교감신경계*		교감신경계	
	효과	효과	효과	아드레날린성 수용체 유형
콩팥				
renin 방출	-	촉진	β_1	
방광				
방광벽	수축	이완(효과 작음)	β_2	
조임근	이완	수축	α_1	
남성생식관				
혈관(발기)	혈관확장	-		
정관과 정낭(사정)	-	사정	α_1	
여성생식관				
자궁(불임 중)	모름	이완	β_2	
자궁(임신 중)	모름	수축	α_1	
피부				
땀샘	분비촉진	분비촉진	α_1 , 무스카린성 [†]	
털세움근	-	수축(털이 일어남)	α_1	
눈				
홍채근(동공크기)	돌림근수축(동공수축)	부챗살근수축(동공확장)	α_1	
섬모체근(수정체조절)	수축(가까운 사물)	이완(먼 사물)(효과 작음)	β_2	
대사				
간	-	글리코겐분해와 포도당신합성 촉진	α_1, β_2	
지방조직	-	지방분해촉진	β_3	

* 모든 효과기관은 무스카린 콜린성 수용체를 가지고 있기 때문에, 부교감신경계에 대한 수용체 유형은 나타내지 않았다.

† 땀샘에 대한 교감신경절이후뉴런은 신경전달물질로 아세틸콜린을 방출한다.

자율신경계의 작용제와 대항제(차단제)

- α_1 작용제
 - 충혈을 치료할 때 사용함 ✨
- β_2 작용제
 - 호흡기도 확장과 고혈압 치료에 사용함 ✨
- β_1 차단제
 - 심장박동수 감소시킴 → 고혈압 치료에 사용함 ✨
- 아트로핀
 - 무스카린 콜린성 차단제
 - 창자의 경련과 구역질 치료에 사용함 ✨
- 큐라레
 - 니코틴 콜린성 차단제
 - 전신마취 수술 시 근육 이완제로 사용함 (d)



(d)

자율신경의 기능을 조절하는 뇌의 주요 영역 (287)

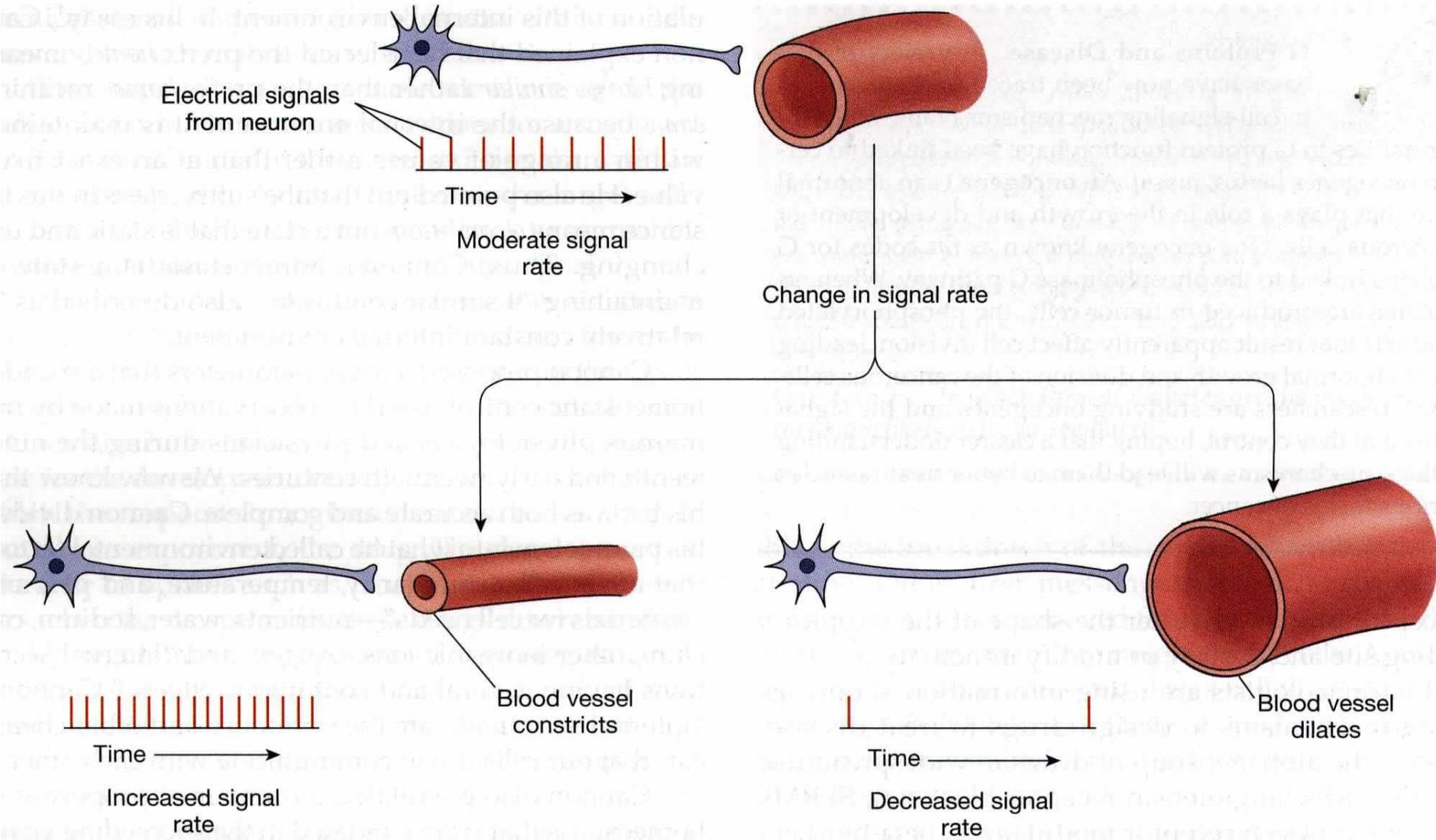
- 시상하부
 - 위험에 처하거나 흥분한 경우에 알림반응을 개시하여 교감신경계를 광범위하게 활성화 함
 - 체온, 음식물섭취, 물평형 조절중추들을 포함함

- 교뇌와 숨뇌
 - 심장혈관조절중추, 호흡조절중추를 포함함
 - 시상하부, 대뇌겉질, 변연계의 입력을 받음
 - 동공빛반사, 수정체조절반사, 구토반사, 입천장반사도 포함됨

- 척수
 - 척수반사로 배뇨, 배변, 발기, 사정을 조절함

긴장적 통제(tonic control)

- 부신, 입모근, 땀샘, 대부분의 혈관은 교감신경만의 지배를 받음
- 이들 기관의 조절은 교감신경섬유의 흥분성 증가와 감소에 의하여 이루어짐
 - 피부혈관의 수축은 α -아드레날린 작용성 수용체를 자극하는 교감신경 활성의 증가로, 피부혈관의 확장은 교감신경 활성의 감소로 일어남 \Rightarrow "긴장적 통제 (tonic control)" (e)



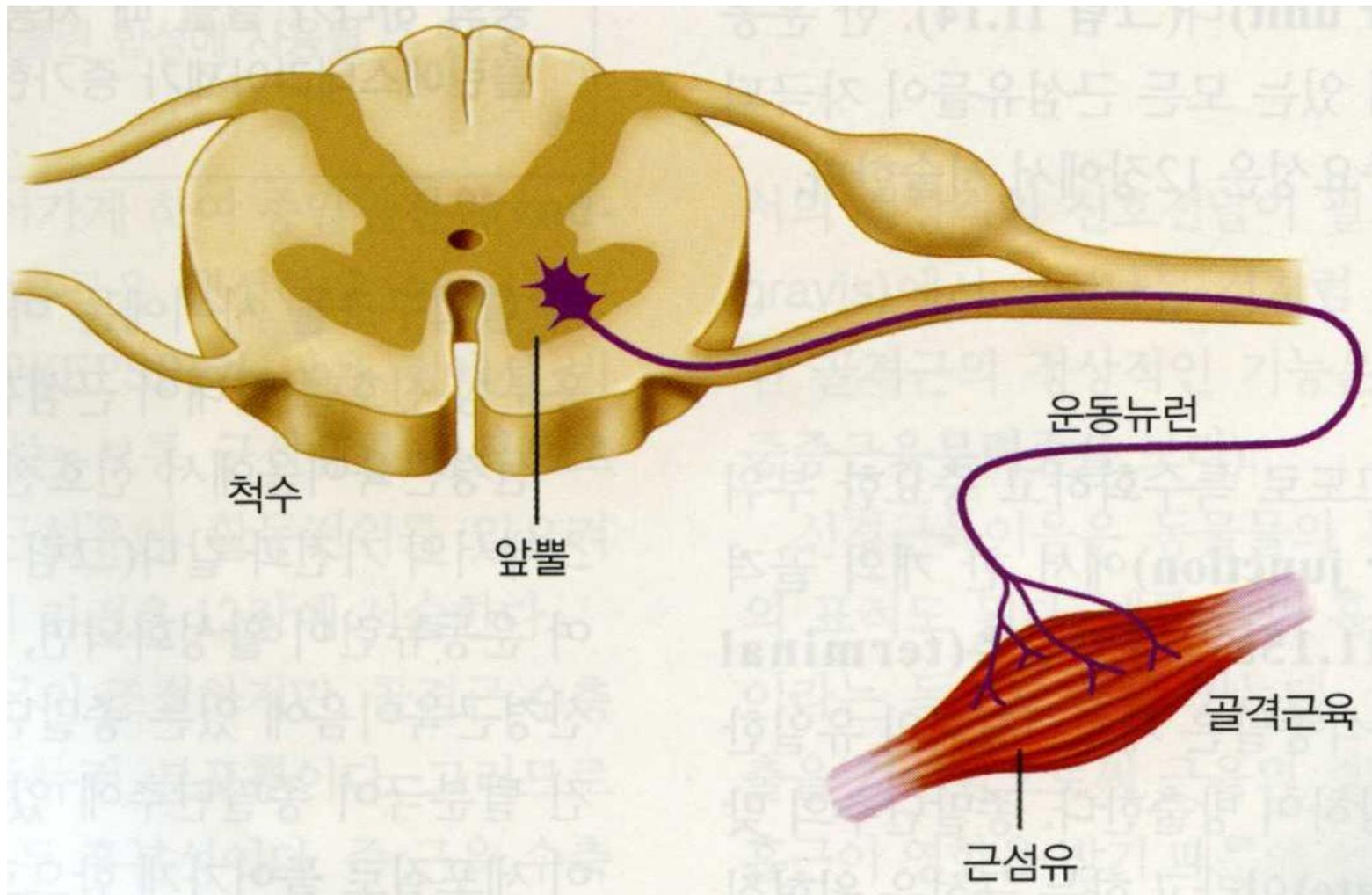
(e)

11-2 체성신경계(somatic nervous system) (290)

- 한 개의 날뉴런을 가짐
- 골격근만을 통제함
- 의식적으로 근육의 수축을 결정함

1. 체성신경계의 해부학적 구조 (290)

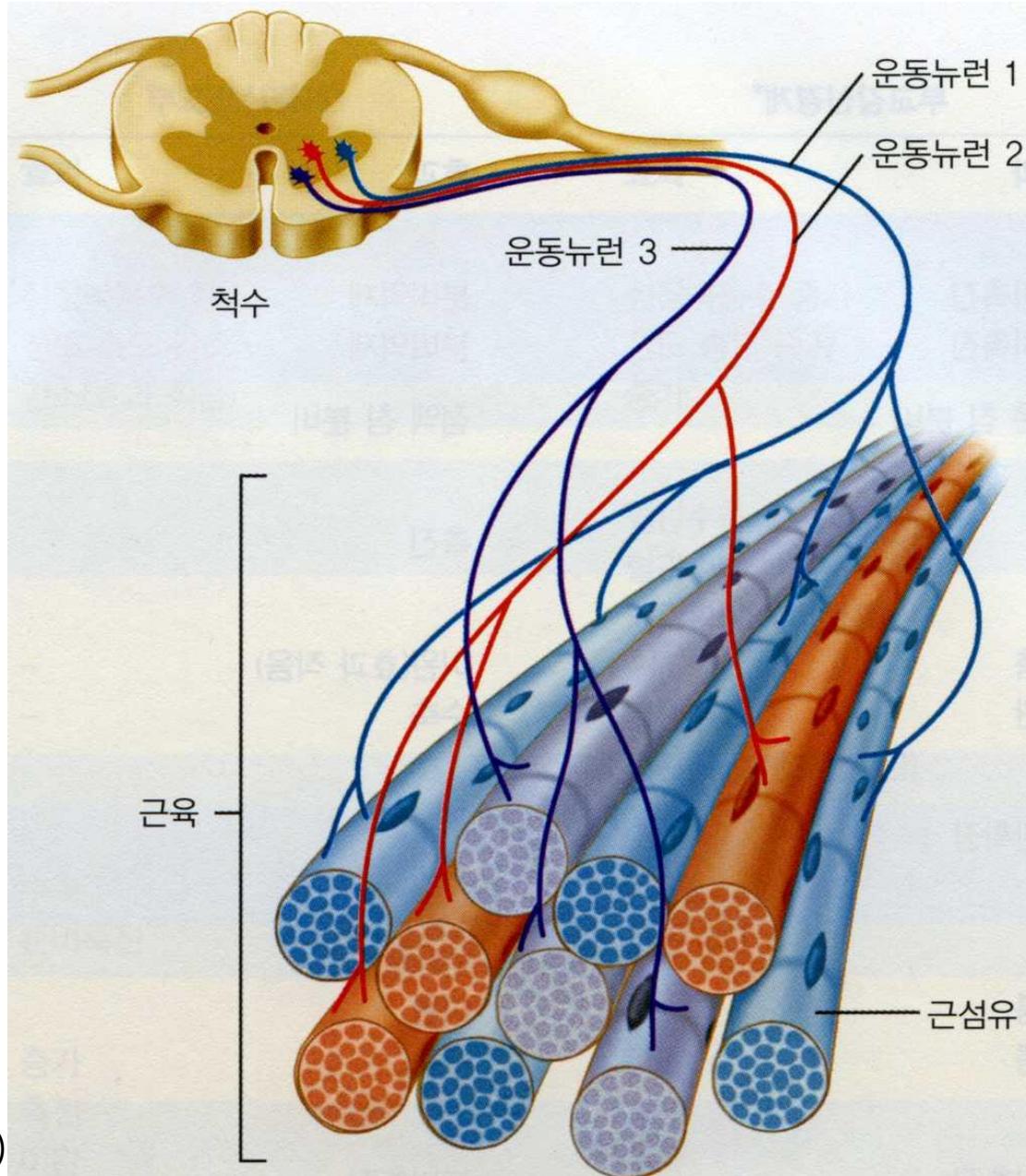
- 운동뉴런이 척수의 앞뿔에서 나와 근섬유에서 끝남 (11.13)
 - 운동뉴런은 뇌로부터 피라미트로와 피라미트외로의 신경입력을 받음



운동단위(motor unit) (290)

- 운동뉴런과 이 뉴런이 분포한 근섬유 모 두를 합친 것 (11.14)
- 한 운동단위에 속한 근섬유들의 유형은 동일함
 - 1개의 운동뉴런이 여러 개의 근섬유에 분포함
 - 각 근육섬유에는 1개의 운동뉴런만이 분포함

(11.14)



2. 신경근육이음부(neuromuscular junction) (290)

- 신경근육이음부(neuromuscular junction)
 - 운동뉴런의 종말단추가 근육섬유의 운동종말판과 시냅스를 함 (11.15)
 - 종말단추에는 아세틸콜린이 저장되어 있고 운동종말판에는 니코틴 콜린성 수용체가 있음
 - 운동종말판의 함입구조들 사이에는 AChE가 있음
- 체성신경계의 근육수축 통제
 - 운동뉴런에서 ACh가 방출됨
 - ACh이 운동종말판의 수용체에 결합함
 - 수용체가 양이온 통로로 작용하여 종말판전위(endplate potential; EPP)를 일으킴
 - EPP가 근육섬유에 활동전위를 일으켜 근육섬유를 수축시킴

