

자율신경계

연세대학교 원주의과대학 마취과학교실

김 찬

The Autonomic Nervous System

Chan Kim, M.D.

Department of Anesthesiology, Yonsei University
Wonju College of Medicine, Wonju, Korea

체내의 내장기능을 조절하는 신경계의 부분을 자율신경계라 한다.

동맥압, 위장관운동 및 분비, 방광의 emptying, 발한, 체온등의 활동을 조절하여 여러신체 기능의 불균형을 교정하여 평형을 유지하고, 또 여러 감정 지배하의 행동을 원활히 수행하기 위해 지원을 해주는 기능을 가지고 있다.

* 자율신경계의 general organization

자율신경계는 주로 척수, 뇌간, 시상하부에 위치한 center들에 의해서 활성화 되어진다. 또한 변형계의 피질이나 내장반사에 의해서도 영향을 받게 된다¹⁾.

이 자율신경계는 대개 두가지로 크게 분류할 수 있다.

- 1) 해부학적으로는 교감신경 및 부교감신경
- 2) 약리학적으로는 신경말단에서 유리되는 화학전도물의 종류에 따라 cholinergic(Ach유리) 및 adrenergic(noradrenalin유리)으로 나눈다.

교감신경계

Fig. 1에서 보는바와 같이 교감신경은 T₁~L₂사이 에 있는 척수에서 나온다. 체성 반사궁과 달리 구심성 신경원은 척수의 측각에서 synapses를 일으키고, 여기에서 시작하는 interneuron은 척수밖으로 나간다. 이렇게 나온 신경절전 섬유들은 척수의 anterior root를 통하여 해당되는 척수신경으로 통과한다. 척수

신경이 척주를 떠난지후 교감 신경절전 섬유들은 신경을 떠나서 white ramus를 통하여 다음 새부위에서

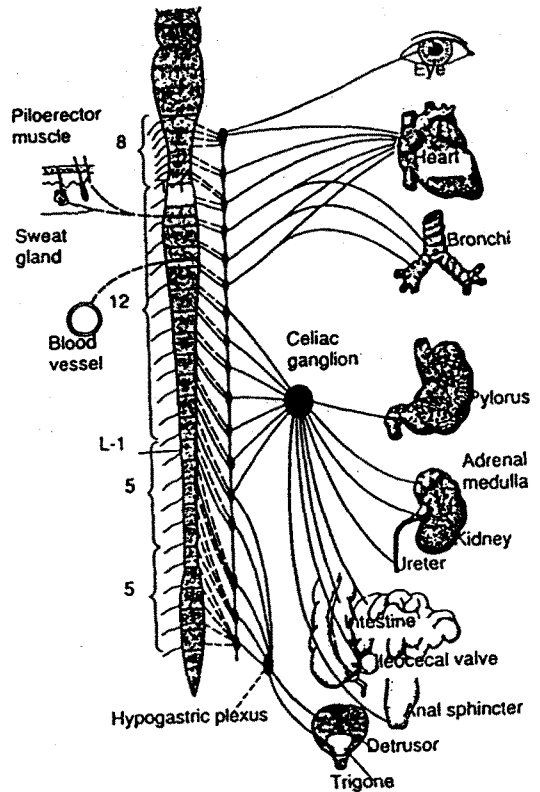


Fig. 1. The sympathetic nervous system.

postsynaptic fiber와 연결이 된다²⁾.

1) Paravertebral sympathetic trunk or ganglia

측각에서 시작한 신경절전 섬유는 white ramus communicans를 지나 교감신경절에서 postsynaptic fiber와 연결되어 이 후자는 gray ramus communicans를 지나 말초신경을 따라 신체 각 부위에 분포된다. Thoracolumbar segment에서 나오는 높이에 따라 신체의 각부위에서 분포되는 부위가 대개 결정된다.

2) Prevertebral plexus or ganglia

Celiac ganglia나 superior or inferior mesenteric ganglia등에서 synapses를 일으키고 여기서 시작하는 신경절후 섬유는 말초장기, 특히 혈관, 방광, 또는 내장에 분포한다.

3) 부신수질

여기에 분포하는 신경절전 섬유는 위의 어떤 곳에서도 synapses를 일으키지 않고 직접 부신수질에 분포한다.

척수의 다른 분절(different segments)에서 기원되는 sympathetic pathway들은 척수신경섬유들처럼 체내에서 반드시 일치하는 것은 아니다. T₁으로부터의 교감신경은 교감신경절을 위로 통과하여 두부로, T₂는 경부로, T₃, T₄, T₅, T₆는 흉부, T₇, T₈, T₉, T₁₀, T₁₁은 복부, T₁₂, L₁, L₂는 하지로 분포한다. 이 분포는 대략적인것이고 상당히 중복된다 (Table 1)³⁾.

Table 1. The Segmental Distribution of Sympathetic Fibers

Region	Segments
Head and neck	T ₁ -T ₂
Upper limb	T ₂ -T ₇
Thoracic viscera	T ₁ -T ₄
Abdominal viscera	T ₄ -L ₂
Lower limb	T ₁₁ -L ₂

부교감신경계

부교감 신경계는 뇌신경 III, VII, IX, X과 2nd와 3rd 천골신경 그리고 때로는 1st와 4th 천골신경이 이에 속한다. 모든 부교감 신경의 약 75%가 미주신경에 있으며, 이 미주신경은 심장, 폐, 식도, 위, 소장, 결장의 proximal half, 간, 담낭, 췌장, 뇨관의 upper portion에 부교감신경을 공급한다. 동안신경의 부교감신경 섬유는 동공괄약근과 섬모근을 통과하고, 안면신경의 섬유는 누선, 비점액선, 악하선들을 통과하며 설인신경의 섬유들은 이하선을 통과한다. 천골 부교감신경 섬유들은 nervi erigentes(pelvic nerves)를 형성하면서 모이게 되는데 이들 골반신경들은 cord의 양쪽에서 sacral plexus를 떠나서 이들의 말초신경섬유들은 하행결장, 직장, 방광, 뇨관의 하부에 분포한다. 또한 이 부교감신경계의 sacral group은 외부생식기에 신경섬유들을 공급하여 sexual stimu-

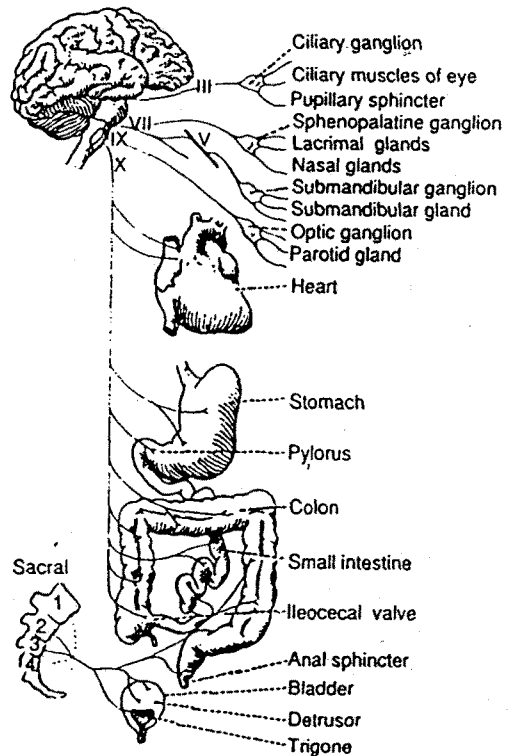


Fig. 2. The parasympathetic nervous system.

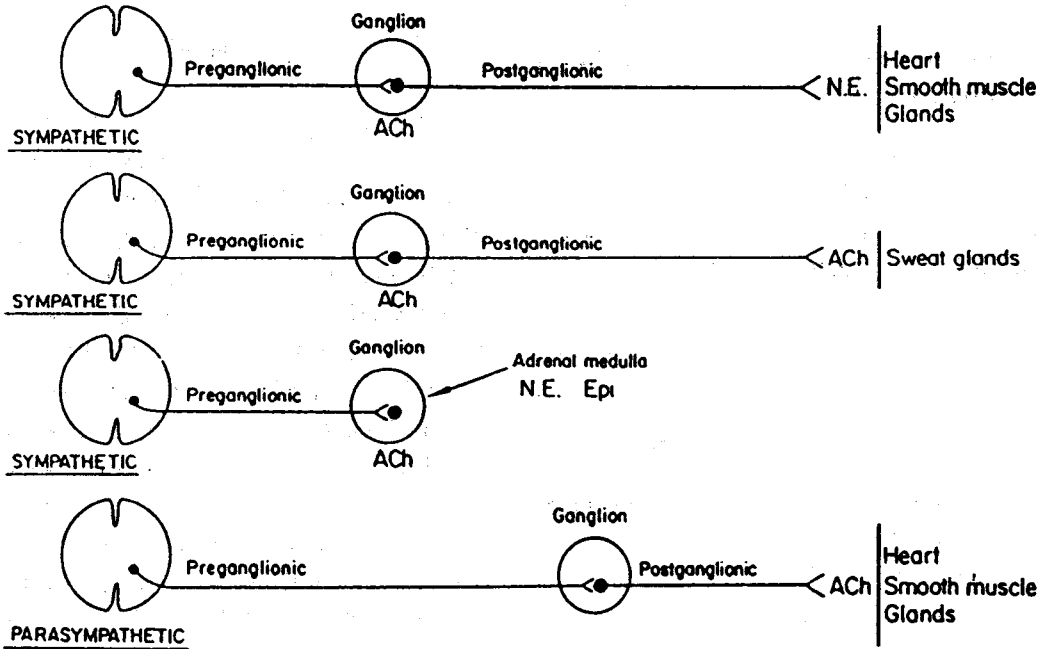


Fig. 3. Autonomic nervous system neurotransmission. Ach; acetylcholine, NE; norepinephrine, E; epinephrine.

lation을 일으킨다(Fig. 2).

교감신경계와 마찬가지로 부교감신경계도 신경절전 및 신경절후 신경원들을 모두 갖고 있다. 그러나 몇개의 뇌의 부교감신경을 제외하고는 신경절전 섬유들은 장기에 도달하여 신경절후 신경원들이 위치하는 장기의 벽에서 synapse를 하고 여기서 짧은 신경절후 섬유들은 신경원을 떠나서 장기의 substance를 통하여 퍼지게 된다.

교감신경과 부교감신경의 특성

교감신경과 부교감신경은 Ach이나 Norepinephrine(NE)중에 하나를 분비하는데 Ach을 분비하는 것을 cholinergic이라고 부르고 NE를 분비하는 것을 adrenergic이라고 한다. 모든 신경절전 신경원들은 교감신경 및 부교감신경에서 cholinergic이다. 부교감신경계의 신경절후 신경원들도 역시 모두 cholinergic이다. 반면에 비록 한선, 입모근(piloerector muscle)과 일부 혈관으로 가는 교감신경절후 섬유들은 cholinergic이지만 대부분의 교감신경절후 신경원

들은 adrenergic이다(Fig. 3)⁴.

Ach은 두개의 다른 형태의 receptor들, 즉 muscarinic receptor와 nicotinic receptor 모두를 활성화시킨다.

Muscarinic receptors는 부교감신경계의 신경절후 신경원에 의해서 자극되어지는 모든 effector cells과 교감신경계의 신경절후 cholinergic 신경원들에 의해서 자극되어지는 effector cells에서 발견되어진다.

Nicotinic receptors는 교감신경계와 부교감신경계의 신경절전과 신경절후 신경원들 사이의 synapses에서 발견되어지며 또한 신경근육 접합부에서 골격근 섬유들의 막에서도 발견되어진다.

Adrenergic receptors는 α 와 β receptors로 나뉘어지며 이들 각각은 α 는 α_1 과 α_2 receptors로, β 는 β_1 과 β_2 receptors로 나뉘어진다.

부신수질에 의해 분비되는 NE과 epinephrine(E)는 α 와 β receptors를 흥분시키는데 다소 다른 효과를 가지고 있다. NE은 주로 α receptors를 흥분시키지만 β receptors도 약간의 흥분시킨다. 반면에 E은

Table 2. Adrenergic Receptors and Function

Alpha receptor	Beta receptor
Vasoconstriction	Vasodilation(β_2)
Iris dilation	Cardioacceleration(β_1)
Intestinal relaxation	Increased myocardial strength(β_1)
Intestinal sphincter contraction	Intestinal relaxation(β_2)
Pilomotor contraction	Uterus relaxation(β_2)
Bladder sphincter contraction	Bronchodilation(β_2)
	Calorigenesis(β_3)
	Glycogenolysis(β_2)
	Lipolysis(β_3)
	Bladder wall relaxation(β_2)

α 와 β 두 형태의 receptors를 모두 흥분시킨다. Table 2는 sympathetics에 의해서 조절되어지는 장기와 기관계 일부에의 α 와 β receptors의 분포이다. 주목할 것은 어떤 α 기능들은 excitatory인데 반하여 다른것은 inhibitory이다. 마찬가지로 어떤 β 기능들은 excitatory이고 다른것은 inhibitory이다. 그러므로 α 와 β receptors는 반드시 excitation이나 inhibition과 관계되는 것이 아니고, 단순히 주어진 effector organ에서 receptor에 대한 hormone의 친화성과 관계가 있다. Table 3에서 볼 수 있는 것처럼 교감신경을 자극하면 어떤 장기에서는 흥분을 시키지만 어떤 장기에서는 억제력을 시킨다. 마찬가지로 부교감신경을 자극하면 어떤 장기에서는 흥분을 시키고 어떤 장기에서는 억제력을 시킨다. 또한 교감신경자극으로 특정한 장기를 흥분시켰을때, 부교감신경자극은 때로는 이것을 억제한다. 즉, 두 system중의 하나에 의해서 지배적으로 조절되어진다. 그래서 교감신경자극이나 부교감신경자극중에서 어느것이 장기에 흥분과 억제력을 시키는 지를 설명할 일반원칙이 없다.

특정한 장기에서 교감신경계의 부교감신경계의 효과

1) 눈

눈의 2개의 기능, 즉 pupillary opening과 lens의 focus는 자율신경계에 의해 조절되어진다. 교감신경을 자극하면 홍체의 meridional fibers를 수축하여

Table 3. Autonomic Effects on Various Organs of the Body

Organ function	SNS	PNS
Heart		
Rate	+++	---
Contractility	+++	-
Conduction	+++	--
Smooth muscle		
Vascular	+++,-	-
Bronchial	---	+++
Gastrointestinal motility	--	++
sphincter	++	--
Biliary	--	++
Uterus	++,-	+,-
Iris	--	++
Genitourinary motility	-	++
sphincter	++	--
Glands		
Respiratory	--	+++
Sweat	++	0
Salivary	\pm	++
Gastric	-	++

Symbols used: +++; marked increase, ++; moderate increase, +; slight increase, 0; no effect, \pm slight increase or decrease, ---; marked decrease, --; moderate decrease, and -; slight decrease.

동공을 확장시키는 반면에 부교감신경을 자극하면 홍체의 circular m.(sphincter m.)을 수축하여 동공을 수축시킨다.

Lens의 focusing은 거의 전적으로 부교감신경에 의해서 조절되어진다. lens는 정상적으로 radial ligaments의 intrinsic elastic tension에 의해서 평평한 상태를 유지한다. 부교감 신경을 흥분시키면 ciliary m.을 수축시키는데 이것으로 인해 이 장력을 풀어줘서 lens가 더 볼록하게 된다. 이로 인해 lens가 사물을 더 가까운 곳에서 focus하게 된다.

2) 선(gland)

비점액선, 누선, 타액선 그리고 많은 위장관선들은 부교감신경계에 의해서 모두 강하게 자극되어지며 이로 인해 많은량의 분비물을 초래하게 된다. 이런 대표적인 alimentary tract의 선들은 upper tract 특히

입과 위장의 선들이다. 장관, 소장과 대장의 선들은 자율신경에 의해서가 아니고 장 자체에 있는 local factors에 의해서 조절 되어진다.

한신은 교감신경이 자극되어질때 많은량의 땀을 분비한다. 그러나 부교감신경이 자극되어질때는 효과가 없다.

3) 위장관계

위장관계는 intramural plexus를 갖고 있지만 자율신경계에 영향을 받는다. 일반적으로 부교감신경을 자극하면 peristalsis의 증진과 괄약근을 이완시킴으로서 위장관의 활동을 증진시킨다. 그래서 위장관을 따라 내용물이 빨리 지나가게 한다. 추진력있는 이 propulsive effect는 많은 위장관의 선들에서의 분비되는 속도가 증가하는 것과 연관된다. 위장관의 정상기능은 교감신경자극에 많이 의존되는 것은 아니지만 강한 교감신경자극은 peristalsis를 억제하고 괄약근의 tone을 증가 시켜서 위장관을 따라 음식물이 천천히 통과하게 하고 때로는 분비물도 감소시킨다.

4) 심장

일반적으로 교감신경을 자극하면 맥박과 심장의 수축력을 증가시키고 부교감신경을 자극하면 반대작용이 일어난다.

5) 혈관계

대부분의 혈관 특히 복부내장과 사지의 피부에 있는 혈관들은 교감신경 자극에 의해서 수축되어진다. 부교감신경의 자극은 일반적으로 혈관에 거의 영향을 미치지 않지만 안면의 blush 부위와 같은 일부제한된 부위에서는 혈관을 확장시킨다.

6) 동맥압에 대한 교감신경과 부교감신경 자극의 효과

동맥압은 두가지 요인, 즉 심장에의한 혈액의 propulsion과 혈관을 통한 혈류에 대한 저항에 의해서 결정되어진다. 교감신경 자극은 심장에 의한 추진력과 flow에 대한 저항을 모두 증가시켜서 상당한 혈압 상승을 초래한다. 반면에 부교감신경자극은 심장에 의한 pumping은 감소시키지만 total peripheral resistance에는 실제로 영향을 미치지 않는다. 그래서 혈

압을 약간만 떨어뜨린다. 그러나 아주 강한 부교감신경자극은 때때로 심장을 완전히 멈출 수가 있으며 모든 동맥압의 소실을 가져올 수 있다.

7) 신체의 다른 기능들에 대한 교감신경과 부교감신경 자극의 효과

일반적으로 담낭, 뇨관, 방광 및 간의 ducts와 기관지는 교감신경자극에 의해서는 억제되지만 부교감신경자극에 의해서 흥분되어진다. 또한 교감신경 자극은 metabolic effects를 갖으며 간으로부터 포도당을 분비시키고, 혈당량을 증가시키고, 간과 근육에서 당원 분해를 증가시키고, muscle strength와 기초대사율 그리고 정신적 활동을 증가시킨다. 그리고 sexual acts에도 관여된다.

부신수질(adrenal medullae)의 기능

교감신경이 부신수질을 자극하면 많은량의 E과 NE이 순환혈액으로 방출된다. 비록 여러 심리적인 조건에 따라 상당한 차이는 있지만 분비물의 약 80%는 E이고 20%는 NE이다. Circulating NE은 체내의 모든 혈관들을 수축시킨다. 그리고 심장의 활동을 증가시키고, 소화기 장관을 억제하고 동공을 확장시키는 등 여러가지 효과를 나타낸다. E은 NE과 거의 같은 효과를 나타내지만 다음 3가지면에서 다르다. ① E은 β receptors를 자극하는 효과가 NE보다 더 크기 때문에 NE보다 심장을 자극시키는 효과가 더 크다. ② E은 근육에 있는 혈관을 약간만 수축시키는 반면에 NE은 근육에 있는 혈관을 훨씬더 강하게 수축시킨다. ③ E은 NE보다 5~10배 정도의 metabolic effect를 갖고 있다.

자율신경반사 (autonomic reflexes)

체내의 많은 내장기능은 자율신경반사에 의해서 조절되어진다.

1) 심혈관계 자율신경반사

심혈관계에 있는 여러 반사들은 특히 동맥압과 맥박수를 조절하는데 도움을 준다. baroreceptor reflex

가 여기에 속한다.

2) 위장관계 자율신경반사

위장관의 upper most part와 직장은 주로 자율신경반사에 의해서 조절되어진다. 예를들면 식욕을 돋우는 냄새나 입속에 음식물이 있으면 코와 입으로 부터 뇌간의 vagal, glossopharyngeal 그리고 salivary nuclei로 signals이 시작되어진다. 이 signals은 부교감신경을 통하여 입과 위장의 분비선으로 signals을 전파하여 음식이 입에 들어가기도 전에 digestive juice를 분비하게 된다.

3) 다른 자율신경 반사들

방광을 emptying시키는 것은 직장에서와 마찬가지로이다. 즉 방광이 팽창하면 impulses을 sacral cord로 보내고 이것은 방광 수축과 urinary sphincter의 이완을 일으켜서 배뇨를 촉진시킨다. 또 중요한 것은 sexual reflex인데 이것은 뇌로 부터의 정신적 자극과 sexual organs으로 부터의 자극에 의해서 시작되어진다. 이들로 부터의 impulses는 sacral cord에 모여져서 male에서 우선 부교감신경계에 의한 erection, 그리고 나서 교감신경에 의한 ejaculation이 일어난다. 그밖의 다른 자율신경반사로는 췌장분비의 조절, 담낭의 emptying, 소변의 신장배설, 발한, 혈당농도조절 등이 있다.

자율신경계의 약리학

1) Adrenergic effector organs에 작용하는 약물들(sympathomimetic drugs)

NE, E, methoxamine이 여기에 속한다. 다른 receptors를 자극하지 않고 specific adrenergic receptors만을 자극시키는 약물로는 phenylephrine (α receptors), isoproterenol(β receptors), albuterol(only β_2 receptors)등이 있다.

2) 신경말단으로부터 NE을 분비시키는 약물들

Ephedrine, tyramine, amphetamine과 같은 약물들은 교감신경말단에서 vesicle로 부터 NE을 분비시켜서 분비된 NE이 교감신경 효과를 나타낸다.

3) Adrenergic activity를 차단시키는 약물들

Adrenergic activity는 아래와 같이 stimulatory process의 여러부분에서 차단되어질 수 있다.

- ① 교감신경 말단에서 NE의 합성과 저장을 막을 수 있다: reserpine
- ② 교감신경 말단에서 NE의 분비를 막을 수 있다: guanethidine
- ③ α receptors가 차단되어 질 수 있다: phenoxybenzamine과 phentolamine:
- ④ β receptors가 차단되어 질 수 있다:

[propranolol; 모든 β receptors차단
metoprolol; β_1 receptors만을 차단

- ⑤ Autonomic ganglia를 통하여 교감신경과 부교감신경의 transmission을 모두 차단할 수 있다: hexamethonium

Cholinergic effector organs에 작용하는 약물들

4) Parasympathomimetic drugs(Muscarinic drugs)

muscarinic type의 cholinergic receptors에 직접적으로 작용하는 약물로는 pilocarpine과 metacholine이 있다.

5) Parasympathetic potentiating effects를 갖는 약물들(anticholinesterase drugs)

Neostigmine, pyridostigmine, ambenonium과 같은 약물들은 acetylcholinesterase을 억제하여 부교감신경 말단에서 유리되는 Ach의 파괴를 막아줌으로써 Ach의 량을 점진적으로 증가시키고 작용도 증폭시킨다.

6) Effector organs에서 cholinergic activity를 차단하는 약물들(antimuscarinic drugs)

Atropine, homatropine, scopolamine과 같은 약물들은 muscarinic type의 cholinergic effector organs에서 Ach의 작용을 차단한다.

교감 및 부교감 신경절후 신경원을
자극하거나 억제시키는 약물들

1) Autonomic ganglia를 자극하는 약물들

Ach자체와 methacholine과 같은 일부 약물들은 nicotinic과 muscarinic actions을 모두 갖는 반면에 pilocarpine은 단지 muscarinic actions만 갖는다.

2) Ganglionic blocking drugs

Tetraethyl ammonium ion, hexamethonium, pentolinium과 같은 약물들은 신경절전 신경원으로

부터 신경절후 신경원으로의 impulse transmission을 차단하며 이 약물들은 교감신경과 부교감신경 모두에서 impulse transmission을 동시에 억제한다.

참 고 문 헌

- 1) Guyton AC. *Textbook of medical physiology*. 8th ed, Philadelphia: WB Saunders. 1991; 667-678.
- 2) 강두희. 생리학 2판, 서울: 신광출판사. 1983; 17-1~17-16.
- 3) Wall PD, Melzack R. *Textbook of Pain*. 2nd ed, Edinburgh: Churchill Livingstone. 1989; 773.
- 4) Miller RD. *Anesthesia*. 2nd ed, New York: Churchill Livingstone. 1986; 945-982.