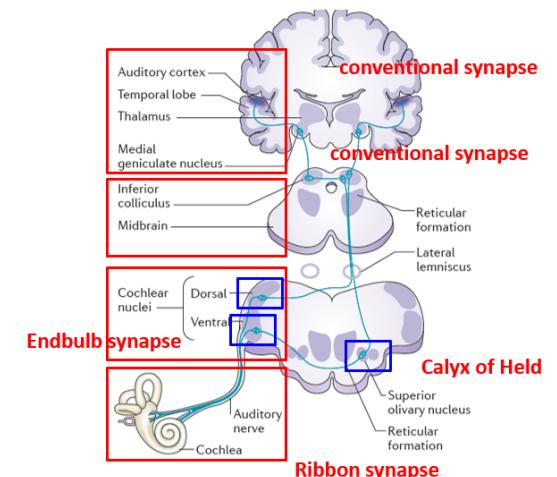


I. Olfactory	후각(Sensation of smell)
II. Optic	시각(Sensation of vision)
III. Oculomotor	눈과 눈꺼풀의 움직임(Movements of the eye and eyelid), 동공 크기의 부교감 조절(Parasympathetic control of pupil size)
IV. Trochlear	눈의 움직임(Movements of the eye)
V. Trigeminal	얼굴의 감각(Sensation of touch to the face), 저작근(muscles of mastication) 운동
VI. Abducens	눈의 움직임(Movements of the eye)
VII. Facial	안면근육(muscles of facial expression) 운동, 혀 앞쪽 2/3의 미각(Sensation of taste in anterior two-thirds of the tongue)
VIII. Auditory-vestibular	청각 및 평형감각(Sensation of hearing and balance)
IX. Glossopharyngeal	인두(oropharynx) 근육 운동, 침샘(salivary glands)의 부교감 조절, 혀 뒤쪽 1/3의 미각, 대동맥(aorta)의 혈압 변화 감지
X. Vagus	심장, 폐, 복부 장기(abdominal organs)의 부교감 조절, 내장(viscera) 통증 감각, 인두(oropharynx) 근육 운동
XI. Spinal accessory	인두와 목 근육(throat and neck muscles) 운동
XII. Hypoglossal	혀 운동(Movement of the tongue)

Amino acids	Glutamate, Aspartate	흥분성 신경전달 (Excitatory)
	GABA, Glycine	억제성 신경전달 (Inhibitory)
Neuropeptides	Endorphins	진통, 행복감 (endogenous morphine-like)
	Oxytocin	자궁 수축, 사회적 유대, 호르몬적 기능
Acetylcholine (ACh)	NMJ(Neuromuscular Junction), Brain	근육 수축, 학습·기억
Monoamines (Biogenic amines)	Dopamine	운동 조절(Parkinson's disease), reward, addiction
	Norepinephrine / Epinephrine	Stress, arousal, fight-or-flight 반응
	Serotonin (5-HT)	기분, 수면, 식욕 조절
ATP & Purines	ATP	Purinergic signaling, 신경전달 물질 역할
Gaseous transmitters	Nitric Oxide (NO)	혈관 확장, 혈압 저하, 학습·기억
	Carbon Monoxide (CO)	cGMP 조절자, 신경전달 기능

## Auditory Pathway (청각 경로)

1. **Cochlea** (달팽이관); Hair cell에서 **Auditory nerve**로 신호 전달 (시작점) → **Spiral ganglion**
2. **Cochlear nuclei**; Auditory nerve와 연결 → 이곳에서 첫 번째 synapse 형성 (**Endbulb synapse**)
3. **Superior olivary nucleus**; 방향성 처리 (소리의 좌우 판별) [**Calyx of Held**]
4. **Midbrain (Inferior colliculus)**; 소리 정보의 중계 및 통합
5. **Thalamus (Medial geniculate nucleus)**; 최종 청각 피질로 신호 전달
6. **Auditory cortex** (청각 피질); 소리의 인지, 언어 해석, 음악 처리 [**브로드만 41, 42**]



Synapse 종류	위치	크기	특징
Ribbon Synapse	Cochlea hair cell ↔ Auditory nerve	특수 구조	리본(ribbon) 구조 → 지속적 신호 전달에 특화
Endbulb Synapse	Auditory nerve ↔ Cochlear nuclei	~5 μm	일반 시냅스(1 μm)보다 크며, 빠른 신호 전달 가능
Calyx of Held	Superior olivary nucleus	~10 μm (세포 크기와 유사)	거대한 시냅스
Conventional Synapse	Midbrain, Thalamus, Auditory cortex	~1 μm	일반적인 축삭말단-수상돌기 구조

## Synapse의 구조적 분류

종류	특징	예시/위치
Ribbon Synapse	리본(Ribbon, r) 단백질 덩어리 구조. 지속적이고 빠른 신호전달.	귀(inner hair cell), 눈(광수용체)
Conventional Synapse	가장 전형적 형태. 신경전달물질 소포들이 Active Zone에 모여 있고, 시냅스 후 치밀질(PSD) 발달.	일반적인 neuron-neuron 연결
Neuromuscular Junction (NMJ)	Neuron과 Muscle 사이 연결. 엄밀히는 junction 이지만 구조적 연결 관점에서 synapse로 분류.	Skeletal muscle과 motor neuron 연결

## Synapse 기능적 분류

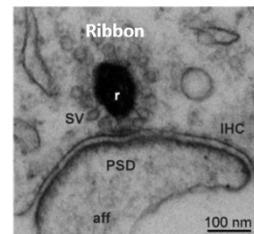
Chemical Synapse	Glutamate, GABA, Dopamine, Serotonin 등 신경전달물질이 receptor에 binding하여 신호 전달.	대부분의 CNS/PNS synapse
Electrical Synapse	Gap junction을 통해 $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ 이온 흐름 직접 전달. 빠르고 양방향 신호 가능.	특정 억제성 interneuron 회로 등

- Ribbon Synapse는 청각·시각 자극에 지속적으로 반응하기 위해 vesicle을 대량으로 보유.

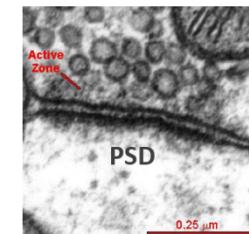
→ 반복적 강한 소음에 노출되면 vesicle 고갈 → **Noise-induced hearing impairment** 발생.

- 고주파 청각세포부터 점차 소실 → Aging-related hearing loss (노인성 난청)으로 이어짐.

Ribbon Synapse



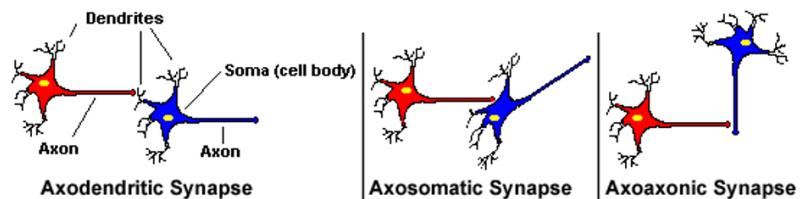
Conventional Synapse



Electrical synapse



Synapse 종류	형태적 특징 (EM)	위치 / 기능적 의미
Ribbon Synapse	<ul style="list-style-type: none"> <li>검은 리본(r) 구조: 단백질 덩어리</li> <li>수많은 vesicle 이 리본 주위에 촘촘히 부착</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>귀(Cochlea, IHC)와 눈(Photoreceptor)에 존재</li> <li>지속적이고 빠른 신호전달 필요 (청각·시각)</li> <li>Vesicle 이 고갈되면 소리/빛 정보 전달 불가</li> </ul> <p>→ Noise-induced hearing loss, Tinnitus, Age-related hearing loss 와 관련</p>
Conventional Synapse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presynaptic axon terminal</li> <li>Vesicle 이 Active Zone 에 모임</li> <li>Postsynaptic density(PSD) 발달</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>뇌 대부분의 신경세포</li> <li>일반적 신호전달 구조</li> </ul>
Electrical Synapse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gap junction 관찰됨</li> <li>Vesicle 구조 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>빠르고 양방향 전달</li> <li>Ion(<math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{Ca}^{2+}</math>) 직접 이동</li> </ul>



### Conventional synapse의 종류

- Axon이 어디에 도착하느냐에 따라, 이름이 결정됨

→ **Axodendritic / Axosomatic / Axoaxonic synapse**