24 감각계

감각 수용기

감각 수용기 특징

- 자극
  - 실무율-단일 신경세포
    - all or none : 역치 이상 자극 → 활동전위 크기 일정, 빈도, 지속시간 diff
  - 베버의 법칙-신경 다발
    - 처음 자극에 대해 일정 비율 이상의 자극 변화를 느낄 수 있다
    - K= (R2-R1)/R1
    - more 신경 밀집 → **더 예민한 감각 기관 → 베버상수값↓**
- 수용기 특징
  - 수용기 분류
    - **1차 수용기** : 감각신경 말단 직접 자극 수용
    - **2차 수용기** : 특정 세포(분리된 수용기)가 NT방출 → 감각신경 활동전위 발생
  - 적응 속도에 따른 분류
    - **긴장성 수용기** : 자극 지속 → 활동전위 **지속**
    - **위상성 수용기** : 자극의 **변화** 인식 (자극 지속시 활동전위 소멸)

후각 수용기(화학)

- 후각상피
  - 지지세포
    - 후각 수용기 세포 지지
    - 점액 분비
  - 기저세포 : 후각 수용기 세포로 발생 → 기존의 세포 교체
  - 수용기세포
    - 수용체 부분 : 섬모 → 점액속으로 확장
    - **세포마다 1종류 냄새 수용체 → 특이적 냄새 분자 인식**
    - 전두엽 아래 후각구의 승모세포와 시냅스를 이룸
      - 사구체 : 같은 수용체를 발현하는 시냅스가 모인 구조
- 후각 경로
  - 냄새 분자 → 후신경 섬모 수용체 결합 → 활동전위
  - at후각구 : 후신경과 승모세포(2차 감각신경) 시냅스 형성多 = 사구체
  - 승모세포 → 측두엽 후각피질 (시상 거치지 X)
- 후각 수용체 종류
  - GPCR 유전자 (약 1000개)
  - **대립 유전자 배제** → 각 수용기 세포마다 오직 1개의 수용체만 발현
  - **1개 냄새 분자가 여러 수용체에 동시에 결합 가능**
    - 여러 수용기 세포의 활동전위 → 신호 통합(뇌) → 다른 냄새로 구분
  - **1가지 수용체에 (비슷한 구조)냄새 분자 여러개가 결합 가능**
    - 결합력 차이 → 활동전위 패턴 차이 → 다른 냄새로 구분
- 활동전위 발생 과정
  - Golf신호전달 = Gs신호전달
  - cAMP → 리간드 개폐성 Ca2+채널 open → Cl-유출 = 탈분극
  - 감각순응 : 냄새 지속 → Ca2+-칼모듈린 복합체 → 리간드 개폐성 Ca2+채널 close

미각 수용기(화학)

- 미뢰
  - 혀 윗쪽 표면, 구강, 식도에 분포
  - 뜻 : 미각 상피세포들이 모인 구조
    - 각 미뢰는 5가지 맛 모두 반응(짠,신,단,쓴,감칠맛)
    - 미뢰의 세포구성에 따라 특정 맛 more 인식
    - 실제 맛은 후각에 크게 의존
- 미각 경로
  - 미각 상피세포 : 긴 섬모 → 침속으로 확장
  - 맛입자 → 미각 상피세포 섬모 수용체 결합 → 활동전위 → 연수
  - 연수
    - 2차 감각신경과 시냅스를 이룸 → 3차 감각신경이 대뇌 미각 피질로 전달
    - 침 분비 조절 중추

미각 수용체 종류

- 짠맛
  - 아밀로이드 민감성 **Na+채널** : 항상 open
  - 탈분극 : 음식(Na+) 섭취 → 세포 외액의 Na+증가 (투과도는 일정)
  - 전압개폐성 Ca2+채널 open → 세로토닌 분비
- 신맛
  - 섭취한 H+ → 아밀로이드 민감성 Na+채널 유입
  - **H+민감성 K+채널** close → K+투과도 감소 → 탈분극
  - 전압개폐성 Ca2+ 채널 open → 세로토닌
- 단맛, 쓴맛, 감칠맛
  - **GPCR**
  - Ggust신호전달 = Gq
    - PLC → PIP2 → IP3 → Ca2+ 신호전달
    - ATP분비(NT)
- 세포들끼리 서로 연결 → 신호 통합
- **1세포는 1가지 맛 수용체만 발현**
  - 1가지 수용체만 파괴 → 해당세포는 더이상 아무 반응도 X
  - 만약 여러 수용체 발현 → 한 수용체 파괴시 다른 종류 수용체 맛 인식했을 것
  - 단맛 인식 세포에 쓴맛 수용체 발현 → 쓴 물질을 단맛으로 착각
  - 만약 여러 수용체를 발현 → 단맛 신호전달 경로 ≠ 쓴맛 신호전달 경로 따로 존재 → 쓴 물질을 쓴맛으로 인식

감각수용기2

피부 감각 수용기(기계, 화학)

- 피부 구조
  - 표피 : 중층 편평 상피 → 빠른 분열로 층 형성
    - 각질층 : 케라틴만 남은 중층편평구조
  - 진피(결합조직) → ECM(섬유 아세포, 섬유 단백질), 혈관, 신경, 면역세포등
  - 피하조직(지방세포) : 뼈, 근육 부착
- cf) 신경 섬유의 분류
  - 수초O (A)
    - 직경 : α>β>γ>δ
      - **∴ 전도속도 : Aα > Aβ > Aγ > Aδ > C**
  - 수초X (C)
- 수용기 종류
  - **기계적 수용기(Aβ섬유)**
    - 감각 신경이 촉각 직접 인식 (1차 수용기)
    - 연수 교차 → 시상 → 체성감각피질
    - 종류 : **메루치와 마파 진동**
      - 촉각
        - 메르켈 소체(겉)
        - 루피니 소체(속)
      - 진동
        - 마이스너 소체(겉)
        - 파치니 소체(속)
          - 신경 말단 = 결합조직
          - 고주파 진동자극 → 기계적 개폐성 이온채널 open
          - 위상성 수용기 → 빠르게 순응(자극 변화 순간 인식)
      - 털의 움직임 : 모낭 수용체
  - **온도 수용기(Aδ섬유, C섬유)**
    - 특정 온도에서 온도개폐성 이온채널 open
    - 척수 교차 → 시상 → 체성 감각피질
    - 종류
      - 온각 수용기
      - 냉각 수용기
  - **통각 수용기(통증수용체)**
    - **기계적 통각 수용기(Aδ섬유)**
      - 기계적 자극 → 빠르고 강한 통증
    - **다형 통각 수용기 (C섬유)**
      - 다양한 자극 → 느리고 묵직한 통증
    - 조직 손상 → **PG방출 → 통각 수용기 역치↓** → 민감도↑
      - 아스피린 → PG생성↓→ 진통제
    - 자극에 따른 NT
      - 기계적 손상자극 → **글루탐산** → Aδ섬유 자극 → 첫 통증 (윽!)
      - 화학물질, 열 자극 → **Substance P** → C섬유 자극 →두번째 통증 (욱신욱신)
  - 통증 완화
    - **억제성 뉴런**→ 통각 수용기에 **엔돌핀** 방출 → 통각 수용기의 아편수용체 결합
    - 모르핀
      - 엔돌핀 유사체
      - 통각 수용기 아편 수용체에 결합 가능 → 강력한 진통제
- 2점 접촉 역치
  - 두 자극 구별해서 인식가능한 최소거리
    - 수용범위 : 각 수용기가 인식하는 피부 범위
    - 2차 수용범위 : 2차 감각 신경이 인식하는 피부 범위
  - 수용기 밀도 ↑수용범위↓
    - 2차 수용범위↓ → 2점접촉역치↓ → 예민도(구별능력)↑
    - 체성감각피질에서 차지 영역大
- 측부억제
  - 가장 크게 활성화된 신호경로 → 주변부의 약간 활성화된 신호경로 억제
  - 신경 경로 국소화 → 감각의 예민도↑

신장 수용기(기계)

근방추 : 근육의 과도한 신장 인식 → **신전반사**
골지건 : 근육의 과도한 수축 인식 → **이완반사**

- **근방추 (신전반사)**
  - 근방추
    - 근섬유 다발 사이에 박혀있는 기관
    - 끝부분 : 수축성O
    - 가운데 : 수축성X, 감각신경O
  - 근육 휴식시
    - 근방추 가운데부분이 약간 신장 상태
    - 감각신경 압박 → 활동전위 규칙적 발생
  - 근육 신장시
    - 지나친 신장 → 감각신경 세게 눌러 활동전위 빈도↑
    - 신전 반사
      - 감각신경 → α-운동 뉴런과 시냅스 → 골격근 수축
      - 근육 파열 방지
  - **α-γ공동 자극**
    - 필요성
      - 의도적으로 근수축 상태 : 근방추 신장X → 감각신경 활동전위 빈도↓
      - 갑자기 근육 신장시 활동전위 빈도가 커져도 신전 반사일으킬만큼 감각신경 활동전위 빈도 커지지 X
    - 해결
      - **의도적 근수축할때도 근방추 긴장을 일정하게 유지시키자**
        - ∴ α-γ공동 자극!
      - α-운동뉴런 : 근방추 주변 골격근 수축
      - γ-운동뉴런 : 근방추 끝 근원섬유 수축
      - 골격근 수축시 근방추 함께 수축 → 근방추 긴장 유지 → 활동전위 빈도 일정
- **골지건 (이완반사)**
  - 골지건
    - 힘줄과 근섬유 연결부분
    - 콜라겐 섬유 사이사이 감각신경 O
    - **when 근수축 → 힘줄 신장** → 힘줄내부 감각신경 압박 → 활동전위 빈도↑
  - 건반사 ⊂ 척수반사
    - 건의 지나친 신장 방지(파열 방지)
    - 감각신경 → 척수의 억제성 뉴런과 시냅스 형성 → α-운동뉴런 신호전달 억제 → 근육 이완(건 수축)
  - 쥐(=과도한 근수축) → 일부러 건을 신장 → 건반사 유도 → 근육 이완

청각 수용기(기계)

구조

- 외이 : 귓바퀴 ~ 고막
- 중이
  - **청소골 : 망치뼈, 모루뼈, 등자뼈**
    - 고막의 진동 → 등자뼈와 부착된 난원창 진동
  - **유스타키오관**
    - 중이와 목구멍(인두) 연결 관
    - 고막 안팎의 기압조절
- 내이
  - 전정기관(뒤에 나옴)
  - 와우(달팽이관)
    - 전정계 (위) → **외림프(혈액)**
    - 전정막
    - 중간계 = 달팽이관 (가운데) → **내림프(K+ ↑)**
    - 기저막
    - 고실계 (아래) → **외림프(혈액)**

소리 성립 과정

- **코르티 기관**
  - 기저막 위에 놓인 구조 → 소리 성립 관여
  - 유모세포 발달
    - 섬모 : 미세융모(미세소관X 미세섬유O) → 덮개막에 닿아있음
    - 내유모세포 : 청각수용기
    - 외유모세포 : 기저막 움직임 보조
- **기저막 구조**
  - 난원창(좁고 딱딱) ~ 와우공(넓고 유연)
  - 음정
    - 각 소리 파장 → 기저막 특정 부위 공명진동
      - **측부억제** : 가장 큰 진폭의 정보만 뇌에 도달
    - **난원창 근처 진동 → 고주파수(고음)**
    - **와우공 근처 진동 → 저주파수(저음)**
  - 음량 : 각 지점 진폭↑ → 큰소리
  - 음색 : 기저막 여러지점 동시 진동 → 통합 → 음파의 다양한 모양
  - **유모세포**
    - 구조
      - 코르티 기관은 달팽이관에 포함 → 내림프액 → [K+]↑
      - 긴 섬모 - 짧은 섬모 단백질 다리로 연결
      - **긴 섬모 : 기계적 개폐성 K+채널 → 잡아당겨지면 잘 열림 → K+유입(탈분극)**
    - 작용
      - 긴 섬모 쪽으로 구부러짐 → 탈분극
      - 짧은 섬모 쪽으로 구부러짐 → 과분극
- 과정
  - 외이도(귓바퀴)→ 고막 진동 → 청소골 전달
  - 난원창 진동 → 전정계 외림프 압박 → 달팽이관의 기저막 진동 → 코르티기관 진동
  - 유모세포 앞뒤로 구부러짐 → NT 방출 → 내이신경(VII)자극 → 시상 → 청각피질(측두엽)
- 정보
  - 소리가 들리는 위치
    - 대뇌 : 양쪽 귀로 들어온 정보 통합
  - 소리의 방향
    - 한쪽 귀로 들어온 소리는 양쪽 뇌로 모두 전달
    - 시간차 분석 → 소리의 방향 결정

청각장애

- 전음성 난청
  - **외이, 중이** 차단 → 소리 전도X
  - 골전도는 OK
- 감각 난청
  - 코르티 기관, 청신경, 청각피질 문제 → 손상된 부위에 해당하는 파장 소리 X
  - '골전도'도 NO
  - 노인성 난청
    - 나이↑→ 유모세포 닳아 없어짐
    - 높은 주파수 부분 잘 손상됨
  - 소음성 난청
    - 소음 → **내이 감각신경 말단** 손상

전정기관(평형감각)

- 신호전달 : 유모세포 → 전정신경(VIII) → **소뇌**
- 이석기관 : 난형낭, 구형낭
  - **젤라틴 층(내림프)**이 유모세포 섬모를 감쌈
  - 젤라틴 층 위에 **이석**
    - 몸의 움직임 → 이석이 치우쳐 젤라틴층 속 섬모를 휘게함
    - 섬모의 기계적 개폐성 K+채널 탈/과 분극
  - **난형낭** : 몸의 기울임, **수평 가속력** 인식
  - **구형낭** : 몸의 기울임, **수직 가속력** 인식
- 반고리관
  - 3개의 반고리관이 서로 직각 배열
  - 반고리관 속 **내림프** 존재 : 멈춰있으려고 함
  - 회전운동
    - 회전 시작 : 섬모는 반대방향으로 휨 → 탈분극 : 활동전위 빈도 ↑
    - 회전 유지 : 섬모 제자리 → 활동전위 빈도 정상
    - 정지 : 섬모는 회전하던 방향으로 휨 → 과분극 : 활동전위 빈도 ↓
- 질환
  - 이석증
    - 이석이 반고리관으로 유입
    - 림프액의 흐름을 일으켜 어지럼증 유발
  - 메니에르병
    - 전정기관에 내림프액 증가
    - 압력↑→ 내이 속 기관 파괴

광 수용기(빛)

눈의 구조

- 공막 : 겉을 감싼 흰자 → 눈을 지지, 보호
- 맥락막 : 멜라닌 색소 공급
- 망막
  - 맹점 : 광수용기 세포 X
  - 와, 황반 : 원추세포↑(밀집), 상 또렷
  - 나머지 : 간상세포, 원추세포 등 광수용기 세포 분포
- 각막 : 공막이 눈 앞으로 연장된 부분 → 간극연접으로 양분교환
- 수정체
  - 진대(걸이 인대)에 매달림
  - 빛 굴절시켜 초점 맞춤
  - **백내장** : 수정체 혼탁 발생
- 모양체 : 수정체 지지, 두께 조절
- 홍채 : 동공 크기 조절 → 빛의 양 조절
- 안구방수
  - 모양체 모세혈관 체액 → 각막, 수정체 양분 공급
  - **녹내장** : 안구방수 순환 문제 → 안압 상승
- 유리체 방수 : 투명한 젤라틴성 물질 → 구형 눈모양 유지
- 눈물샘
  - 교감 신경 : 짠 눈물 (분노)
  - 부교감 신경 : 묽은 눈물 (슬픔)

눈의 조절

- 빛의 양조절
  - 부교감 신경 : 홍채 원형근 수축 → 동공 축소 → 빛의 양↓
  - 교감 신경 : 홍채 방사근 수축 → 동공 확장 → 빛의 양↑
- 원근 조절
  - 가까운 물체 : 부교감 신경 → 모양체근 수축 → 걸이인대 느슨 → 수정체 볼록
  - 먼 물체 : 교감신경 → 모양체근 이완 → 걸이인대 잡아 당겨짐(긴장) → 수정체 납작
- 근시 vs 원시
  - 근시 : 수정체 두꺼워져서 상이 망막 앞에 생김 → 오목렌즈 교정
  - 원시 : 수정체가 납작해져 상이 망막 뒤에 생김 → 볼록렌즈 교정

망막의 구조

- **배열(빛의 진행방향)** = 신경절 세포 → 쌍극세포 → 광수용기 세포
- **신호전달** : 광 수용기세포 → 쌍극세포 → 신경절 세포 순서
- 망막 내 위치별 광수용기 세포 분포
  - 와(황반)
    - ① 쌍극세포와 신경절세포가 옆으로 밀려난 구조 → 빛이 직접 광수용기 세포 도달
    - ② 주로 원추세포↑
    - → '와'에 상이 잘맺히는 이유 3가지 (①②③)
  - 맹점 : 광수용기 세포 X
  - 주변부 : 주로 간상세포↑ 원추세포↓

광수용기 세포

- 간상세포
  - 로돕신(광수용체)
    - **옵신 + 레티날 (공유결합)**
    - 가시광선 영역 다양한 파장 흡수 → 색구분 X
    - **명암** 인식
  - 야간 사물 관찰
    - 간상세포가 원추세포보다 bigger → 광수용체 多 → 약한 빛 민감도 大
    - **여러개 간상세포가 1개의 신경절 세포에 연결**
      - **공간합O → 민감도 大**
      - 수용범위 大 → 흐릿한 상
- 원추세포
  - **요돕신**(광수용체)
    - **포톱신** + 레티날(공유결합)
    - 옵신 단백질 (포톱신의 3종류)
      - 녹원추세포 (성ch 연관)
      - 적원추세포 (성ch 연관)
      - 청원추세포 (상ch 연관)
      - → 로돕신의 옵신은 별개임 ∴옵신 ptn 최소 4종류 존재
    - 각 원추세포 활성 통합 → **색 구분**
  - 주간에 사물 관찰
    - ③ **1개의 원추세포가 1개의 신경절 세포 연결**
      - **공간합X → 민감도 小**
      - 수용범위 小 → 또렷한 상

→ **크기 : 원추 < 간상**
민감도 : 원추 < 간상

시각의 성립

- 광수용기 세포 활성화
  - 암조건
    - 탈분극 상태
    - 글루탐산 방출
  - 명조건
    - **빛 흡수** : cis-레티날 → trans-레티날
    - **로돕신 분해** : 로돕신에서 trans-레티날 방출 → 옵신 단백질이 Gt활성화 (옵신 = 리간드가 빛인 GPCR)
    - α-GTP → PDE → cGMP분해 → cGMP 개폐성 Na+채널 close → **과분극**
    - **글루탐산 방출↓** — 빛의 세기, 양 증가할수록 NT분비량 감소
- 신호 통합 과정
  - 2차 수용기
    - 빛 : 광수용기 세포 → 쌍극세포 → 신경절 세포
    - 수평세포 : 간상세포 수평 연결
    - 무축삭세포 : 쌍극세포 수평연결
    - → 신호통합
  - **쌍극세포의 통합**
    - 쌍극세포 종류
      - **on**-쌍극세포
        - 글루탐산 = 억제성 NT
        - 빛 → 광수용기 세포 **과분극** → 글루탐산 방출↓ → 쌍극세포 **탈분극** → 신경절세포 탈분극
      - **off**-쌍극세포
        - 글루탐산 = 흥분성 NT
        - 빛 → 광수용기 세포 **과분극** → 글루탐산 방출↓ → 쌍극세포 **과분극** → 신경절세포 과분극
    - 신호 통합
      - 간상세포多 → 1개의 쌍극세포(on/off) 연결
        쌍극세포多 (간극세포多多) → 1개의 신경절 세포로 연결
        (∴신경절세포가 신호통합)
        cf) 1개 원추세포 → 1개의 쌍극세포 → 1개의 신경절로 연결
      - 수용범위 : 1개의 쌍극세포가 수용하는 수십개의 광수용기세포 영역
      - ex) on-쌍극세포 — 중심부 : 빛 → 광수용기세포(과) : 글루탐산 ↓ → on-쌍극세포(탈)

결론 : 광자 → 로돕신 → 옵신과 레티날 분리 → Gt활성화 → PDE → cGMP분해 → Na+,Ca2+채널 닫힘 → 과분극

명순응 & 암순응

- 명순응
  - 어두운 곳 → 갑자기 밝은곳
  - 로돕신 지나치게 분해 → 명암 구분X
  - 뇌는 원추세포 시스템으로 전환 후 빛을 받아들임
- 암순응
  - 밝은 곳 → 갑자기 어두운 곳
  - 분해된 로돕신 다시 합성 (cis-레티날+옵신) → 간상세포 역치 ↓→ 서서히 상 인식
  - 적색 선글라스
    - 로돕신은 붉은 빛 흡수↓
    - 밝은 곳 → 적색 선글 착용 → 붉은 빛만 도달 → 로돕신 분해↓
    - 어두운곳 → 로돕신 남아있으므로 암순응 시간 단축

시각 경로

- 경로 : 신경세포(망막) → 시신경 → 시신경 교차 → 시각로 → 시상 → 시각중추
  - 일부 신경세포 → 중뇌 → 눈운동 조절, 균형잡기
  - 대부분 축삭 → 후두엽 시각 피질
- 안쪽 신경절 세포 → 교차 → 반대쪽 뇌
- 바깥쪽 신경절 세포 → 같은쪽 뇌
  - → 신경절 세포 합쳐진 것이 시신경!
- 양안 구역
  - 두 눈의 시야가 같은 뇌로 통합
  - 사물의 입체적 파악 O
- 단안 구역
  - 한쪽 눈의 시야만 뇌로 들어옴
  - 입체적 파악 X