

# Artificial Vision



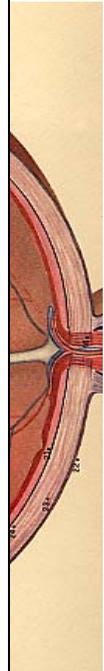
# 성인의 실명원인

- 최대의 실명원인
  - 나이관련황반변성  
(Age-related Macular Degeneration, AMD)
  - 당뇨망막병증 Diabetic Retinopathy
- 가장 심각한 실명원인
  - 망막색소변성



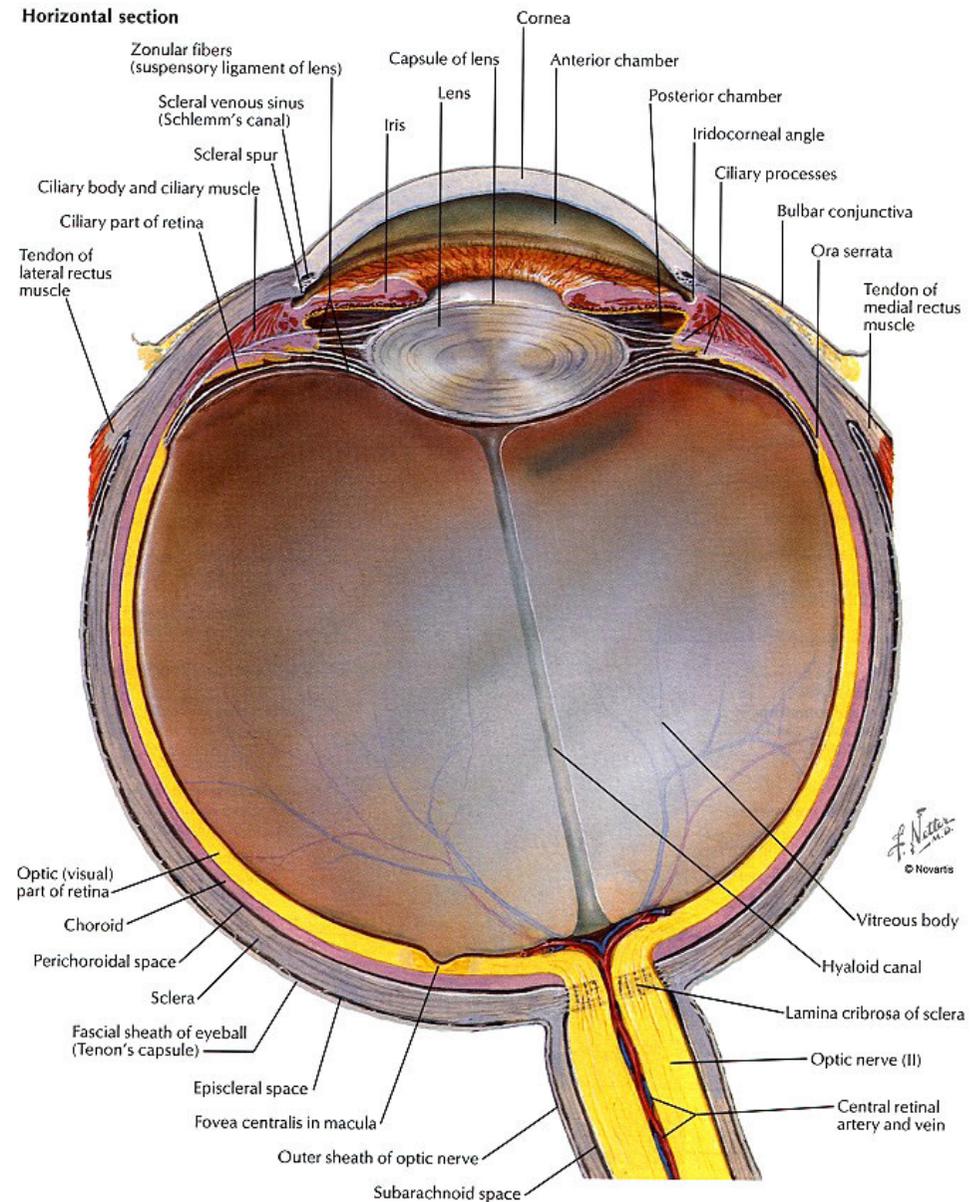
# 시력 상실과 치료

- 시력 장애:
  - 24%(단안), 100%(양안)의 전신기능 상실
- 성인 시력 상실의 30%
  - 망막색소변성; 1/4000(정상인)
  - 나이관련황반변성; 1/20(>65세)
- 눈에서의 인공장기:
  - 각막 혼탁 → 인공각막
  - 수정체 혼탁 → 인공수정체
  - 망막 손상 → 인공망막?



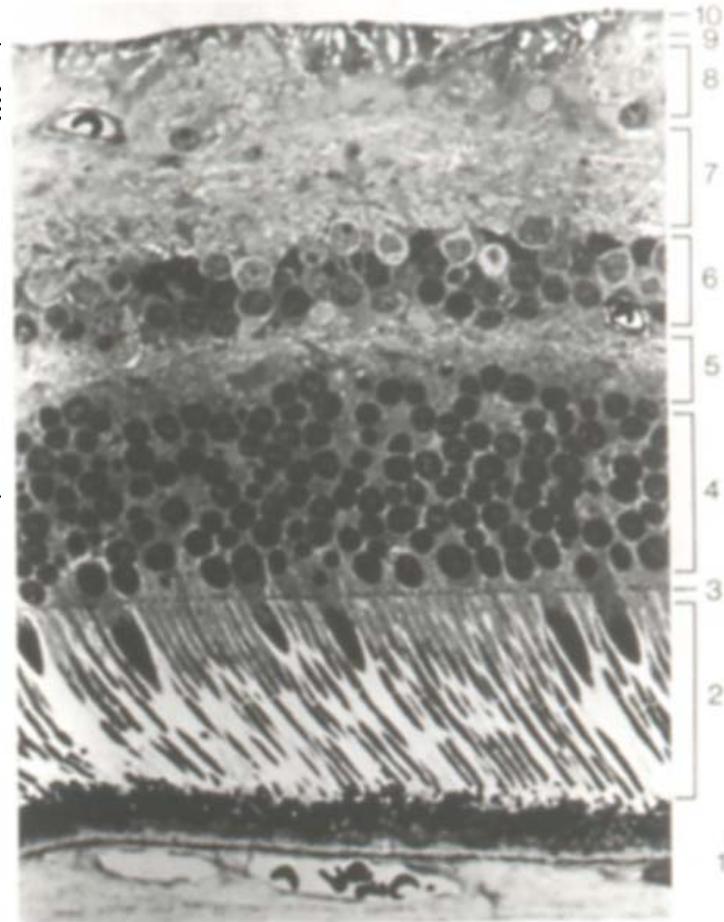
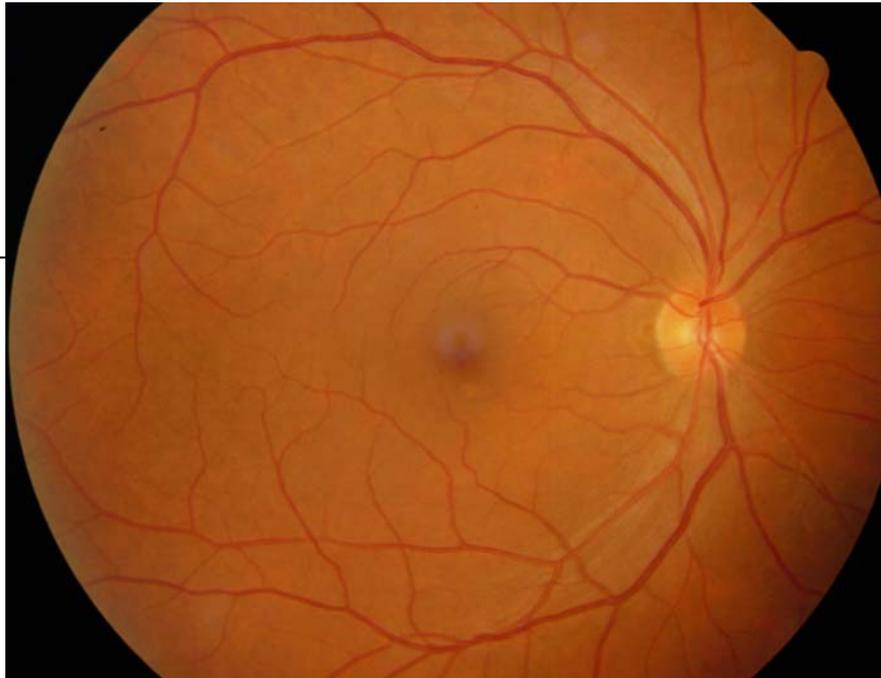
# 눈의 구조

- 망막(**retina**): 신경조직
- 맥락막 (**choroid**): 혈관조직
- 공막 (**sclera**): 결합조직
- 시신경 (**optic nerve**)



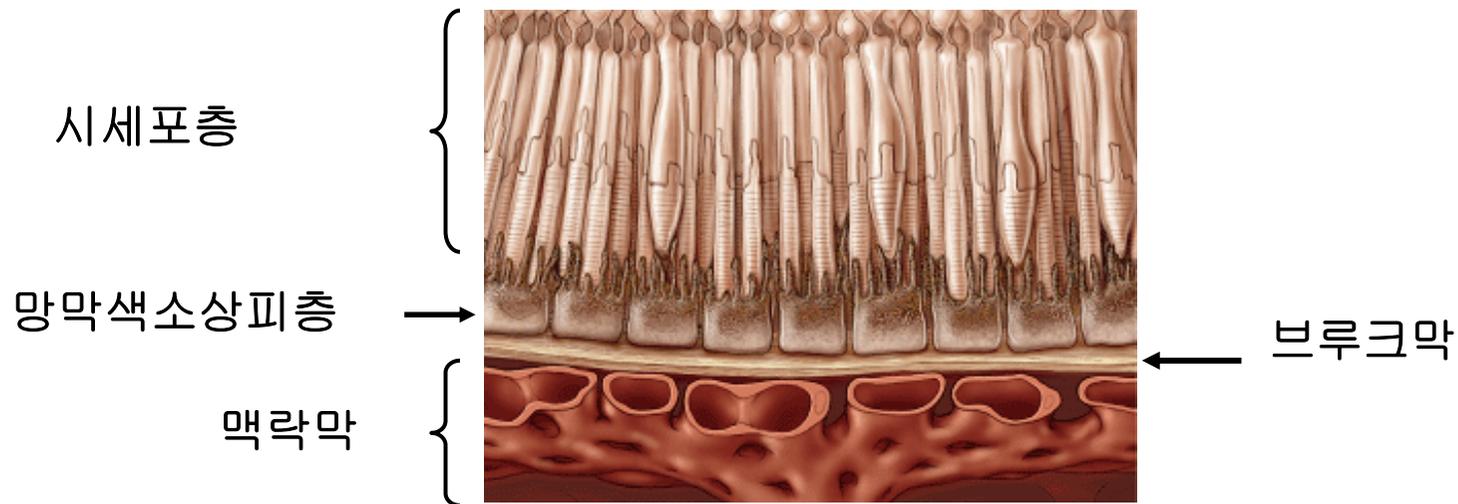
# 망막

- 망막영상을 인지하고 뇌로 전달
- 사진기의 필름에 해당함



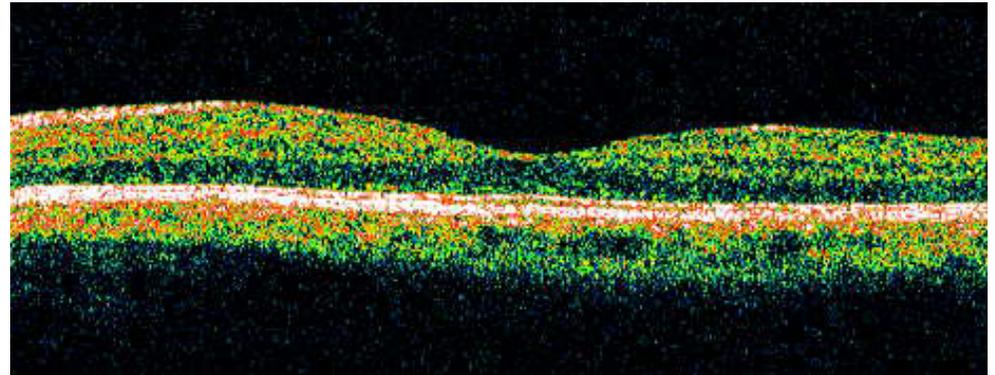
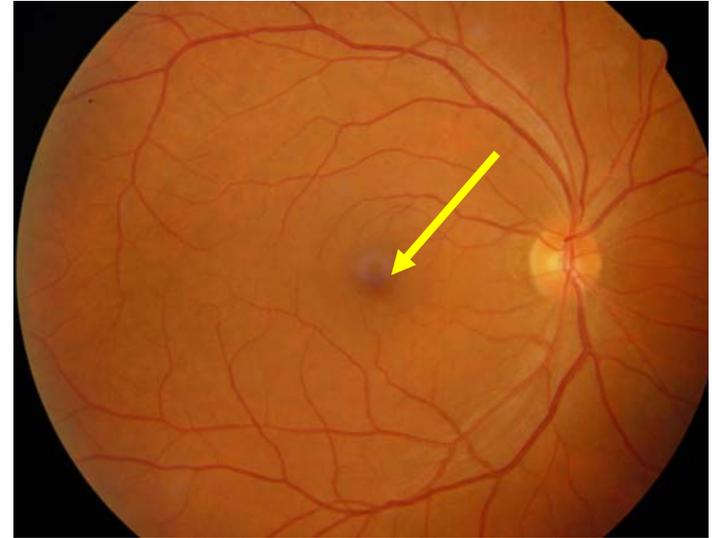
# 망막의 구조

- 시세포층 (photoreceptors): 빛 신호 -> 전기신호
- 망막색소상피 층(RPE): 빛 흡수, 영양공급, 장벽 기능
- 브루크막 (Bruch's Membrane) – 망막과 맥락막의 경계조직

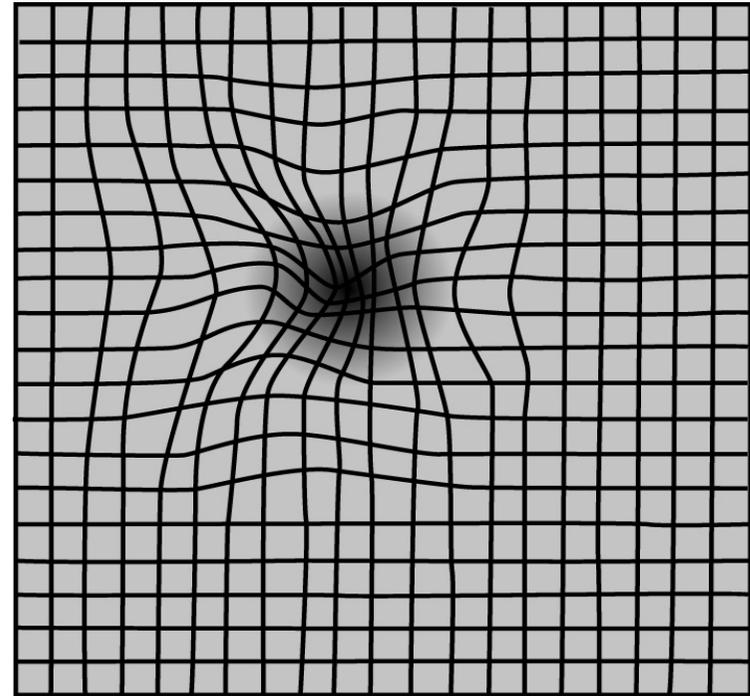


# 황반 (黃斑, Macula)

- 황반(macula): 직경 5mm의 망막중심, 중심시력을 담당함
- 엽황소(Xantophyll)가 많아 짙은 황색을 띰

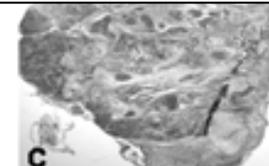
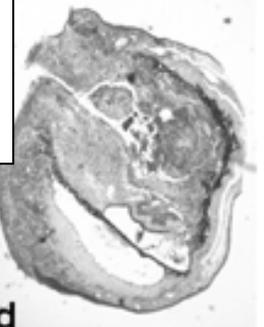
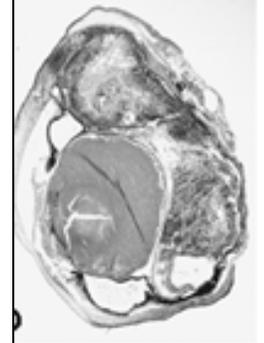
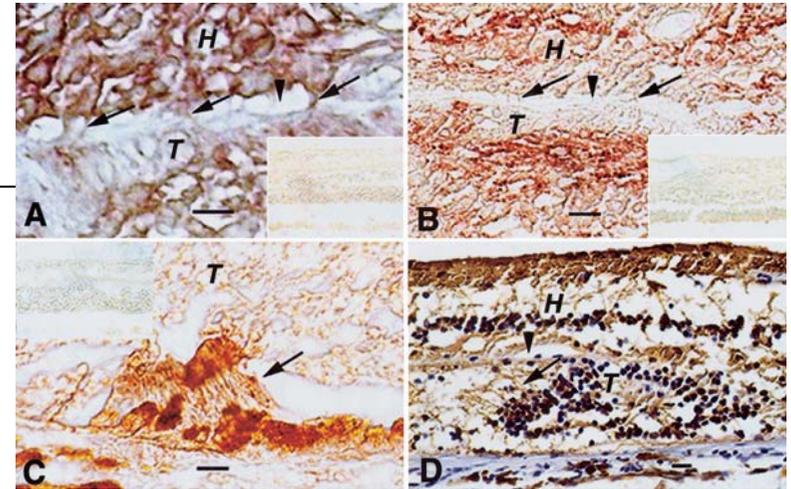


# 황반변성 환자들이 보는 세상



# 망막이 손상되었을 때의 시력회복 연구

- 약물 치료 > 치료대상세포?
- 줄기세포 > 분화문제
- 시세포 이식 > 정착문제
- 전기 자극으로 시각 자극을 모방



d



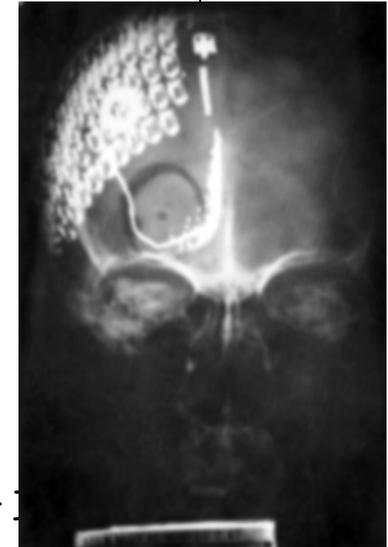
# 왜 인공 망막인가?

- 지난 20년 사이의 발전
  - 망막색소변성환자에서  
망막 내층은 비교적 잘 유지됨이 밝혀짐
  - 인공와우의 성공
  - 반도체 기술의 발전 → 고집적 소형 회로 제작 가능
- 1980년대 후반부터 본격적인 연구 시작



# 망막에 전기 자극을 주면?

- Foerster (1929): 시피질을 전기 자극 하였을 때 작은 불빛이 느껴짐을 관찰 - '인광(phosphene)'
- Brindley & Lewin(1968)
  - 52세의 환자에게 내장형 시피질 자극기를 삽입
  - 지속적인 영상 자극을 위한 적절한 자극 회수를 정할 수 없었음
- Dawson & Radtke (1977): 망막을 전기적으로 자극 → 인광이 느껴짐을 받



# 인공시력전달장치

- 기본 개념:  
시세포의 기능을 전자기기로 대신한다.
- 가설:  
전기자극으로 시각을 일으킬 수 있다.
- 목표:  
마이크로칩을 이식하여 시각을 보전한다.

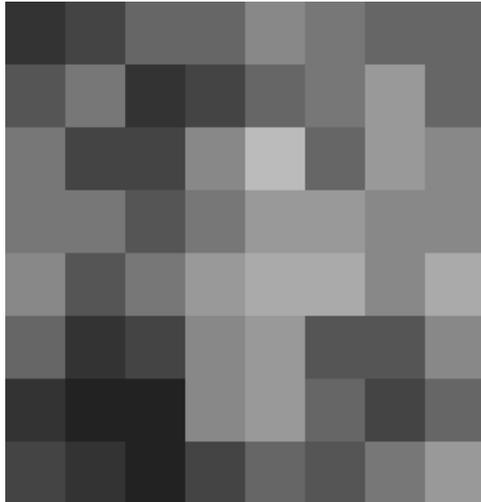


# 필요한 전극의 수

- 인공와우
  - 6 개의 전극 << 30,000 개의 청신경절세포
  - 어마어마한 대뇌의 적응능력 →  
훈련에 의해 새로운 감각정보를 해석할 수 있음
- 축소된 감각정보에 따른 시력 정도:  
물체의 상을 화소로 나누어 망막에 투사해  
봄
  - **25 x 25** →움직임이 가능한 시력
  - **32 x 32** → 보조구를 쓰면 책 읽기 가능



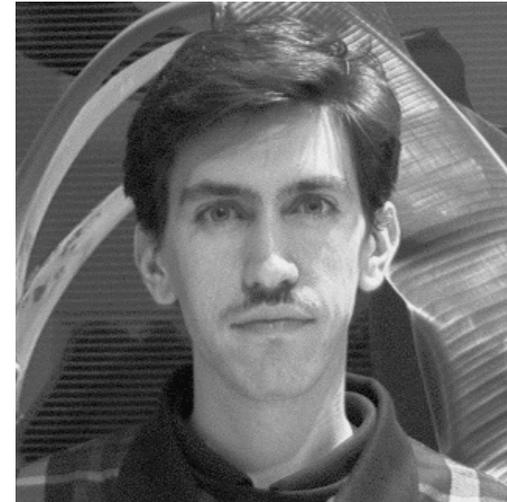
# 필요한 화소의 수



8 x 8



32 x 32

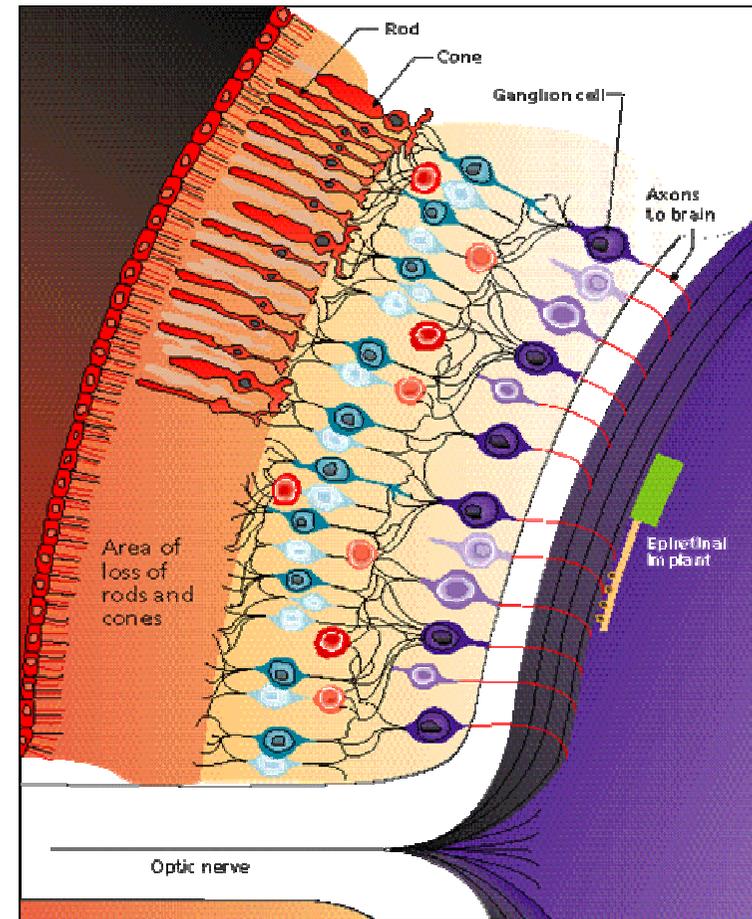
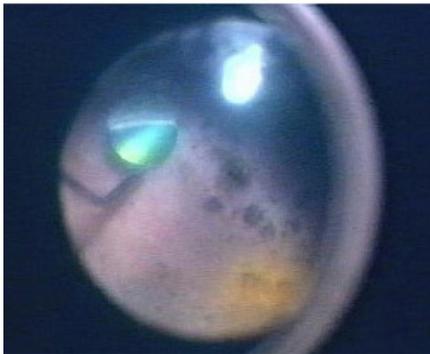
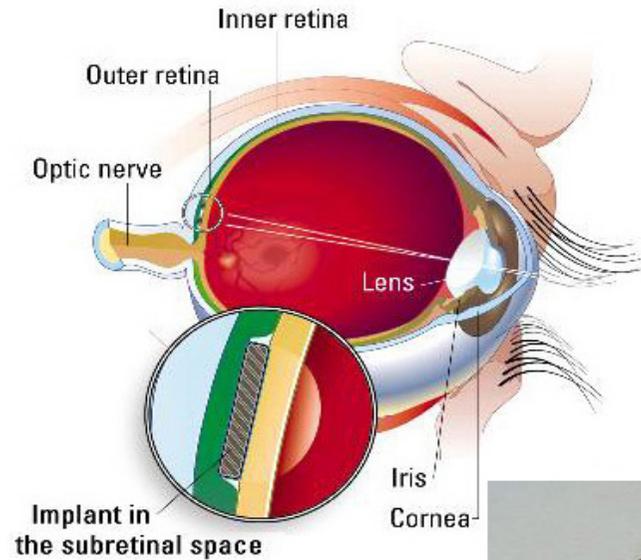


320 x 320

- 100 pixel image (10 x 10)
- 625 pixel image (25 x 25) : enable mobility
- **1024 pixel image (32 x 32) : partially useful vision**
- 10,000 electrodes (100 x 100) : ambitious goal



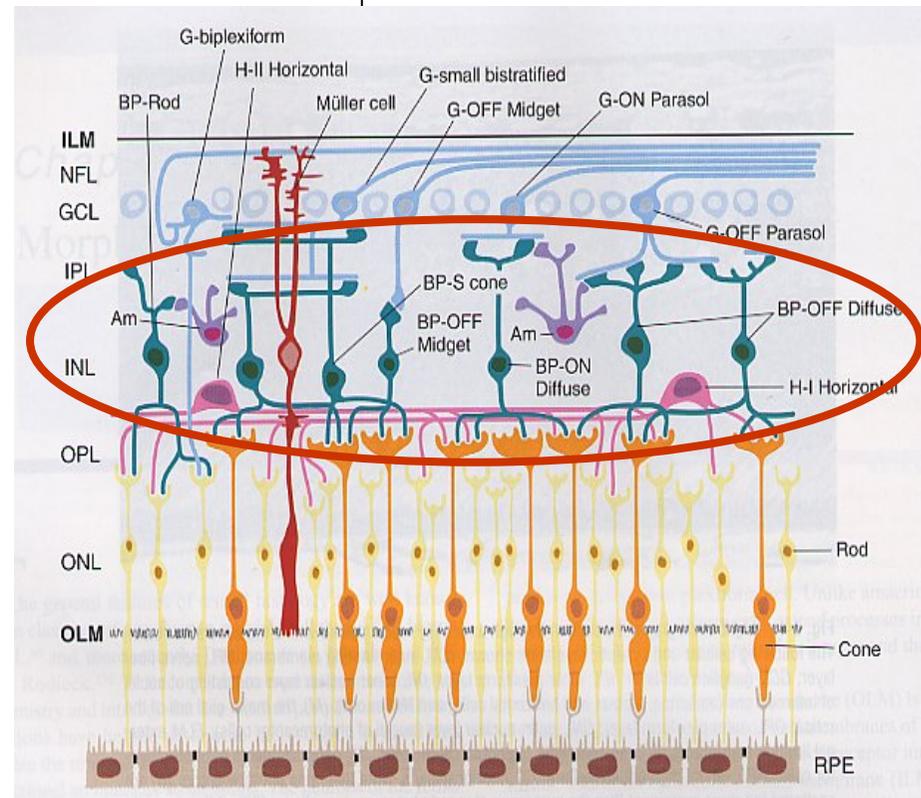
# Subretinal vs. Epiretinal



# 망막하 자극기

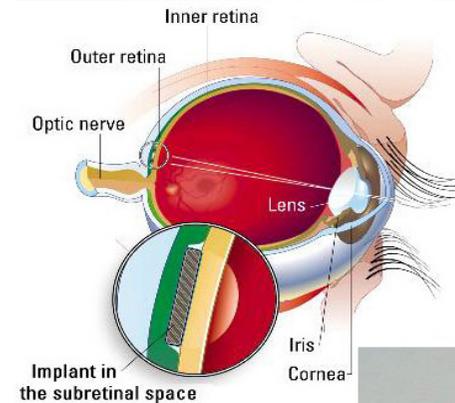
- 장점

- 망막내의 신경망 이용
- 자극 단계: 양극세포



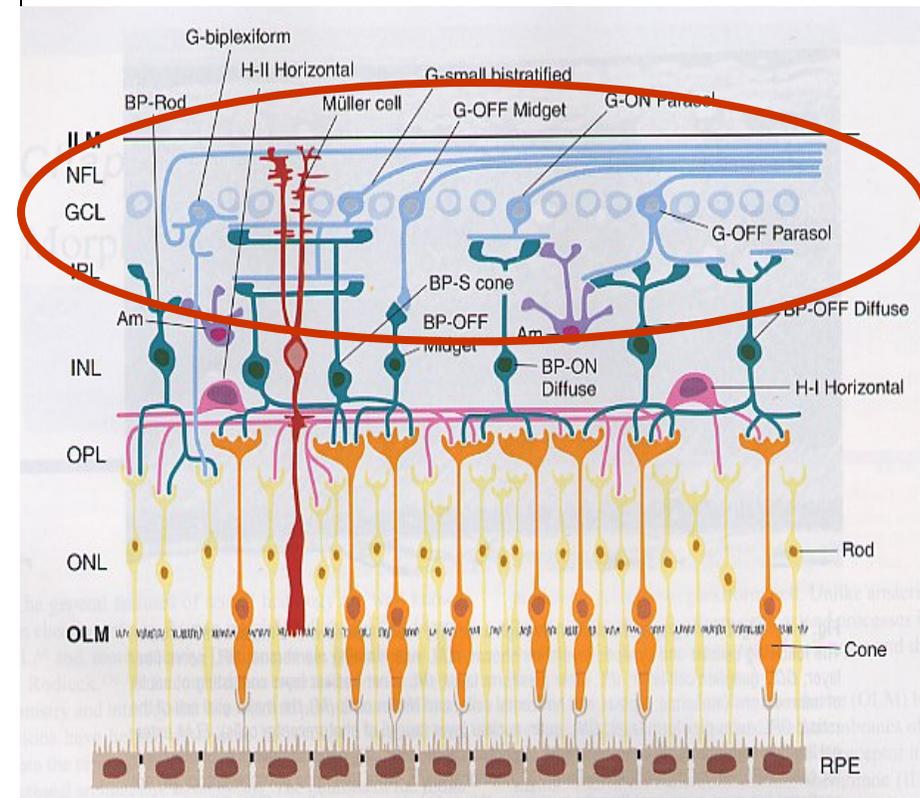
# Optobionics

- **Photodiode** 이용, 간단한 구조:  
빛 감지와 신경자극을 하나의 칩으로
- 단점
  - 현단계로는 자연광으로 충분한 전기발생 불가능
- 이 식약청으로부터 ‘생체적합성 검증’으로 인체시술 허가를 받음
- 2000년 45~76세 사이의 RP 자원자 12명에게 시술
- 자연광으로는 ASR™에 의한 망막전위도가 기록 안됨, 적외선레이저 자극으로 기록됨



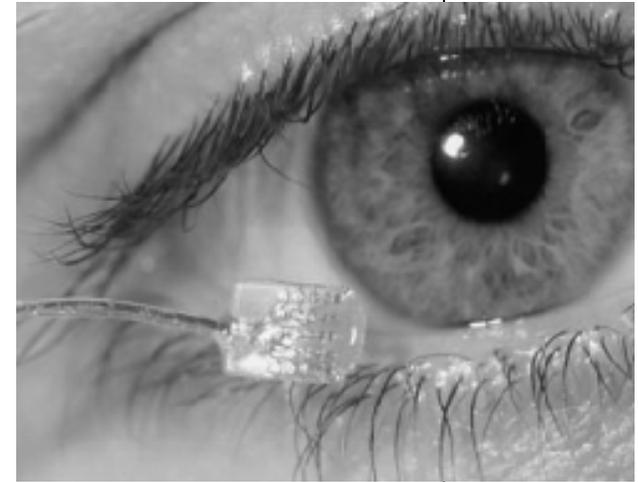
# 망막앞 자극기

- 자극 단계: 망막 신경절 세포
- Doheny / NCSU / SecondSight



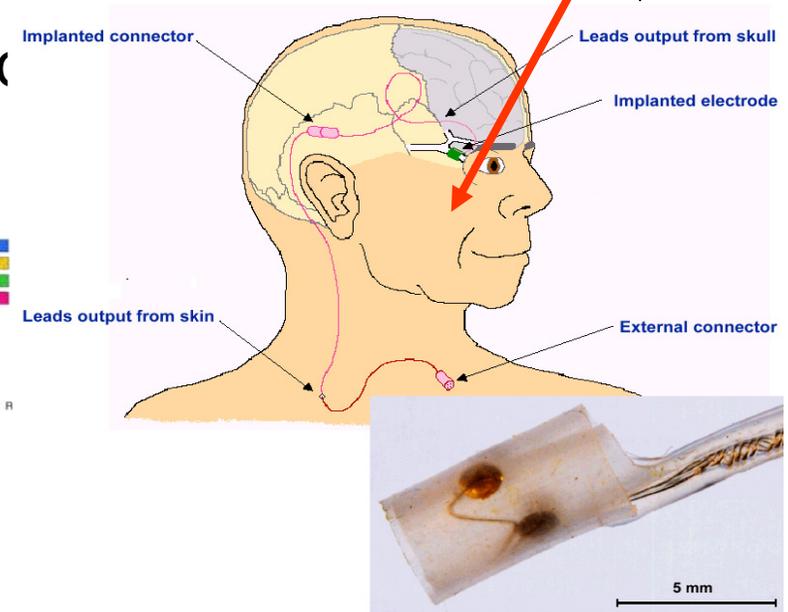
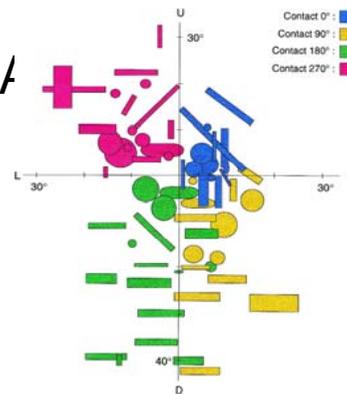
# Doheny / Second Sight

- 4 x 4 백금 전극
- Clarion® 인공와우 자극기로 구동
- 2001년 12월 이후 3명의 자원자에게 실험 결과
  - 불빛의 방향 판정: 90-100%
  - “L” 형태의 방향성 판정 : 75%
  - 검은 배경 위의 흰 물체 위치 지적: 80%



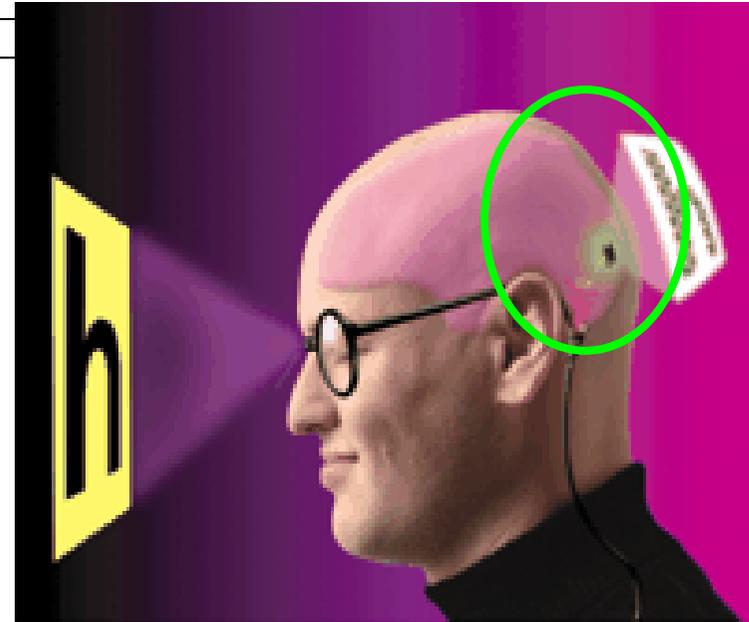
# 시신경 자극기

- 자극 단계: 시신경
- 단점
  - 신경이 밀집해 있고 뇌경막이 두껍다.
  - 망막위치에 대한 신경섬유의 상대적 위치가 불확실하다
- UCL (Universite Catholique de L)
- 1998년 4월 인체 시술
  - 4개의 전극이 있는 spiral cuff electrode (4)
- 2003년 하반기에 두 번째 시술
  - 8개의 전극



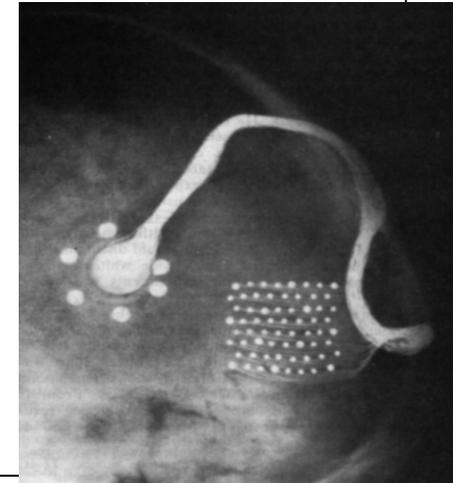
# 시피질 자극기

- 자극 단계: 시피질
- 장점
  - 적용범위가 넓다.
- 단점
  - 뇌신경의 구조는 매우 복잡함.
  - 피질에 광범위한 전기 자극  
→ 간질 발생가능성
- Utah, Doherty Inst., Kresge



# 시피질 자극기

- Dobbelle (1976):
  - **64 Pt electrode**, 8 x 8 array on 3 mm centers in Teflon ribbon cable matrix
  - 이 중 6개의 전극만 활동
  - penrose drainage 로 외부와 연결
- Dobbelle (2002):
  - 시술받은 사람이 운전을 하고 색깔을 느낀다고 주장



# 인공망막: 해결해야 할 과제

- 어디에 자극기를 이식할 것인가?
- 이식한 자극기에 시각정보를 어떻게 전달할 것인가?
- 이식한 자극기에 어떻게 에너지를 공급할 것인가?
- 이식한 자극기에서 최선의 자극형태는 무엇인가?
- 절대 변하지 않는 최선의 자극기를 어떻게 만들 수 있

나?

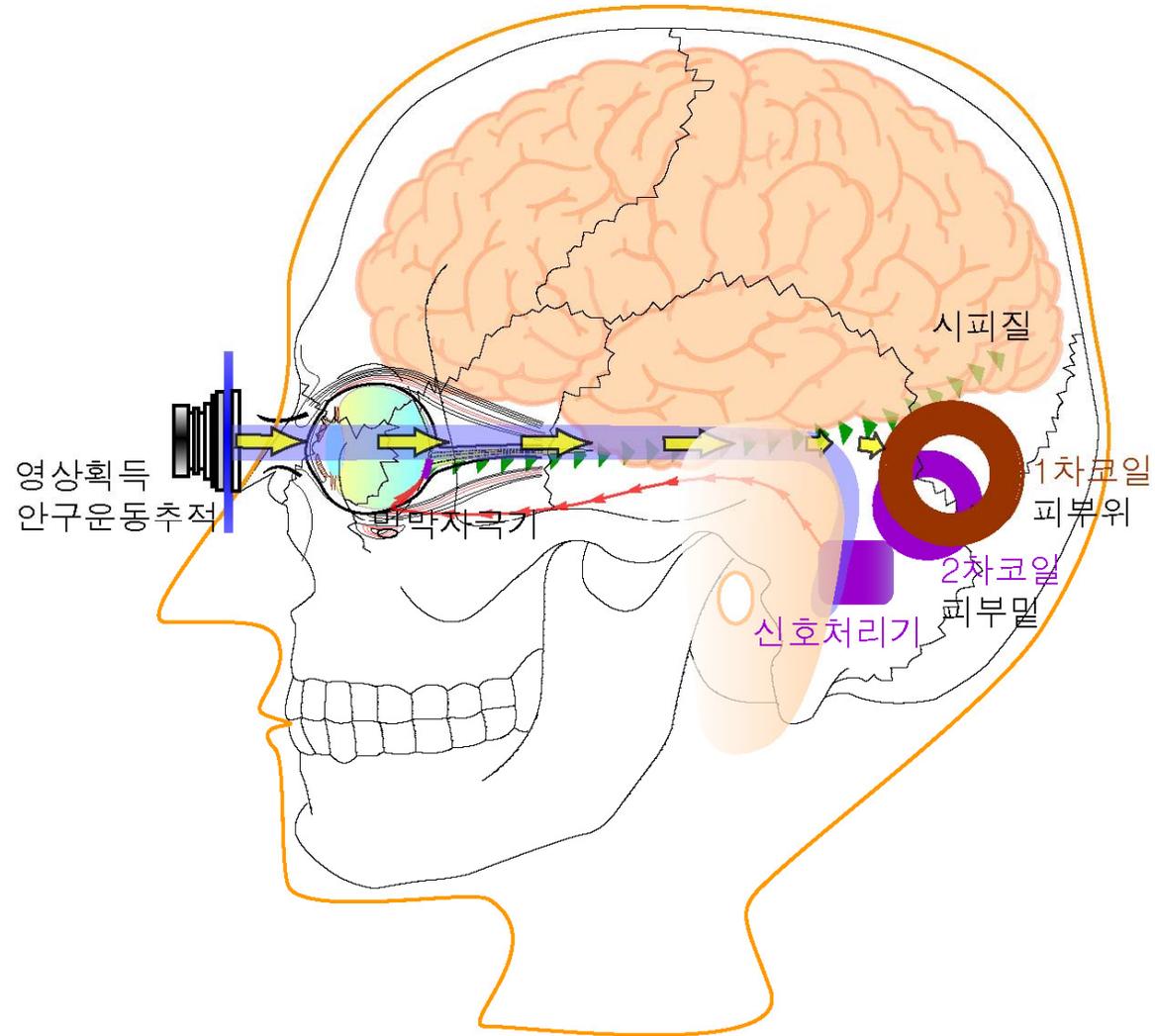


# 서울형 인공 망막

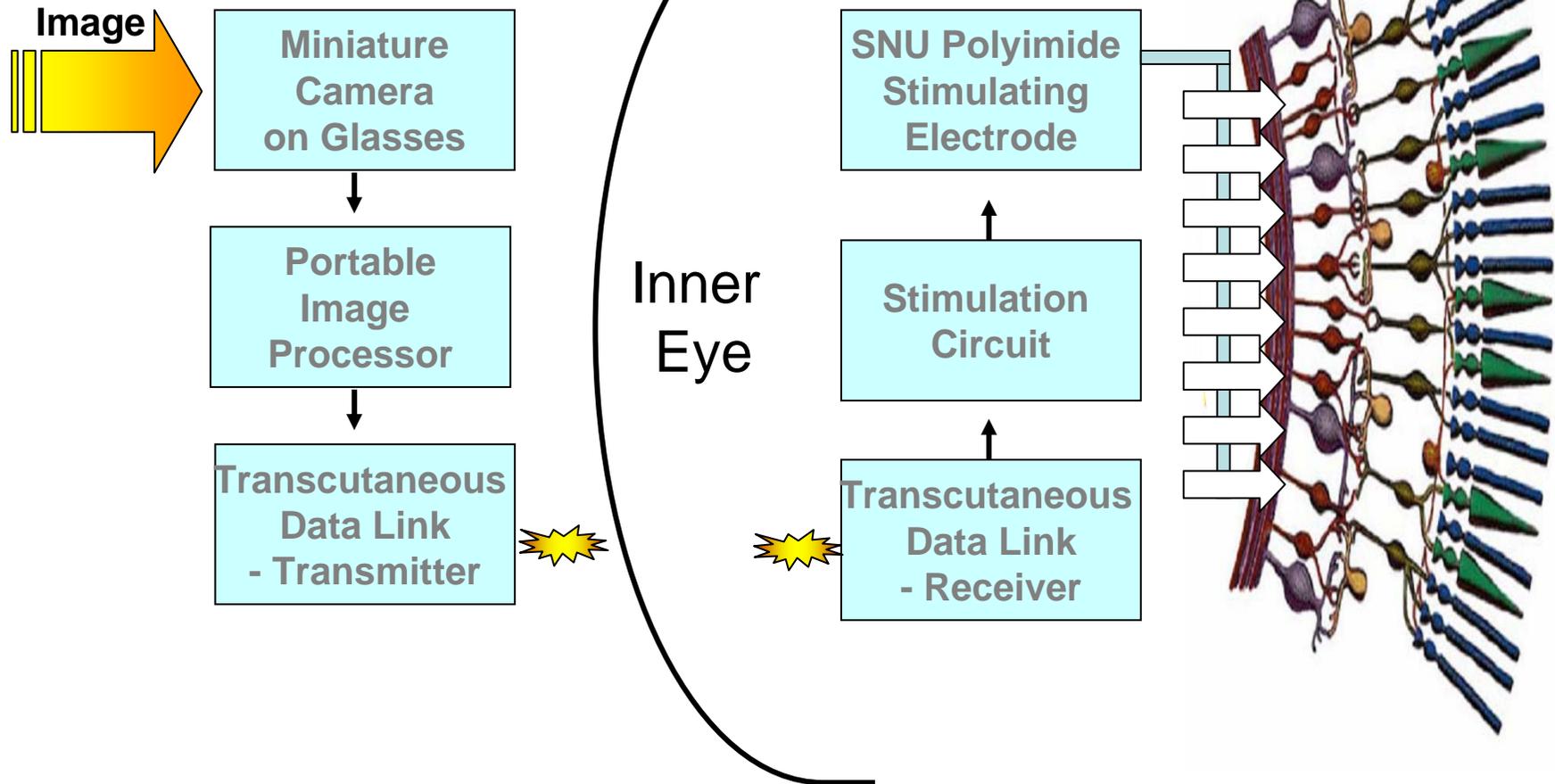
- 나노바이오시스템 연구센터 (9년 과제, 3개의 대주제)
  - 한국과학재단 지원
  - Neural chip/MEMS 의 한 과제로서 망막자극용 전극 개발
- 나노인공시각센터 (6년과제)
  - 보건복지부 지원
  - 서울형 인공망막 시스템 개발과 생체 적용
- 구성
  - 안과학
  - 생리학
  - 전기컴퓨터공학
  - 의공학



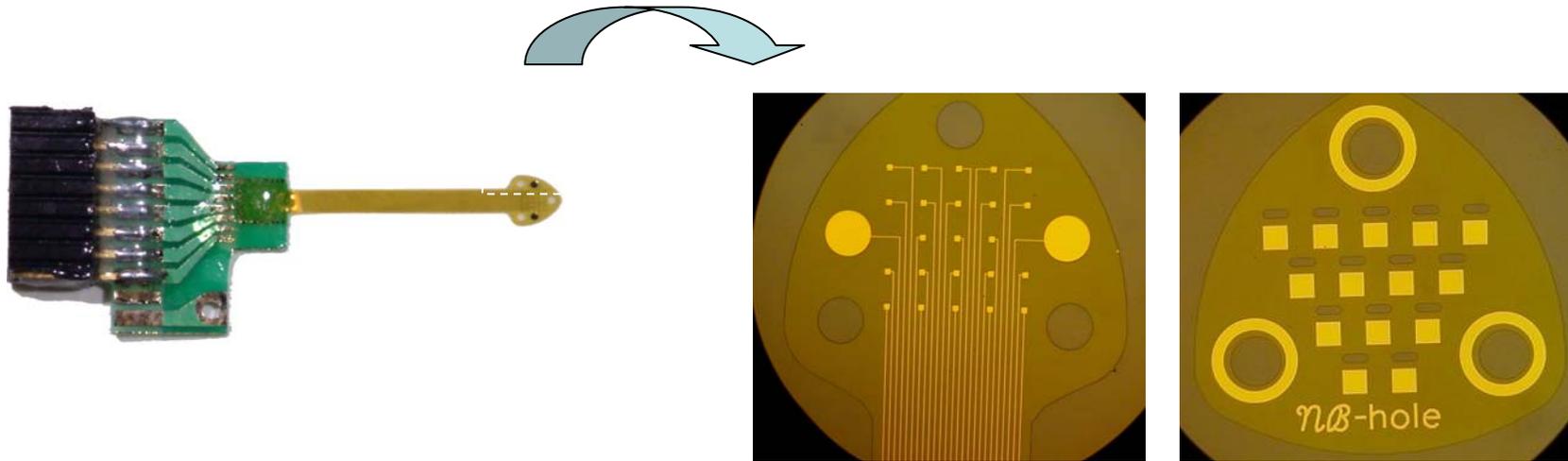
# 서울형 인공 망막



# 人工網膜(視覺) Retina Implant



# Polyimide-based Retinal Prosthesis



## Electrode spec.

Whole structure size : 3mm x 17.8mm x 16um

Size of each site : 50um x 50um

Number of sites : 25

Site spacing : 300 um

Insulation layer : Polyimide (PI2525)

Shape of head : Rectangular, Triangular

Head size: 3mm x 3mm

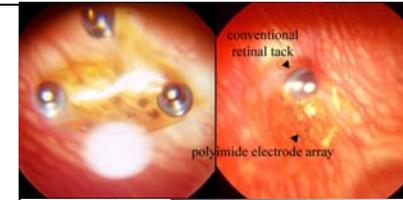
Acute stimulation

Experiment ( rabbit )

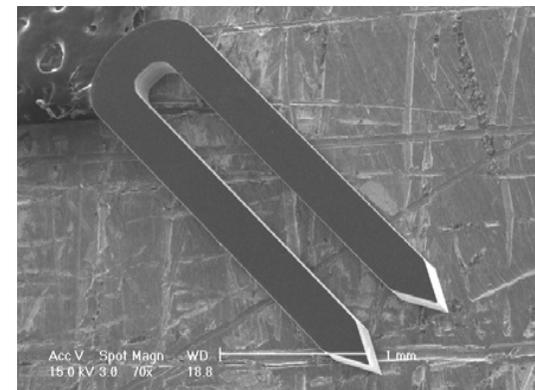
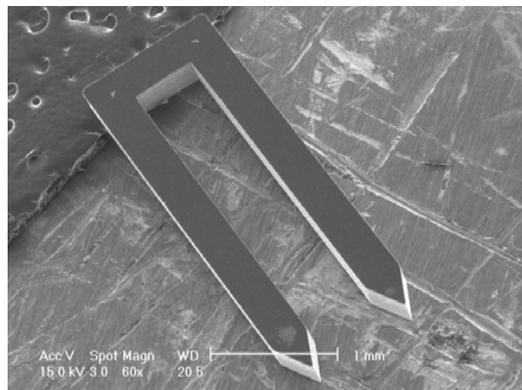
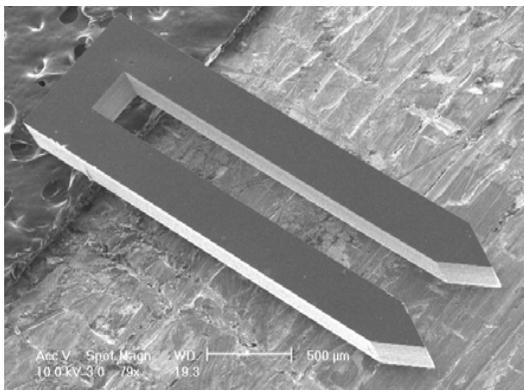
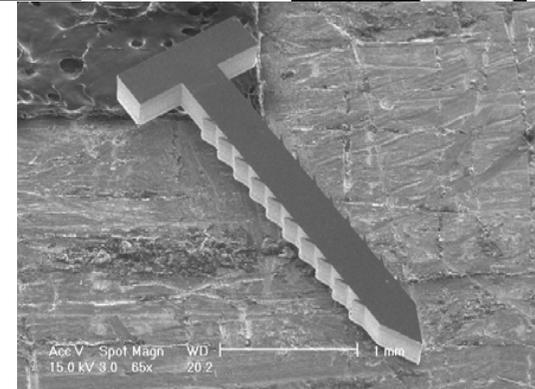
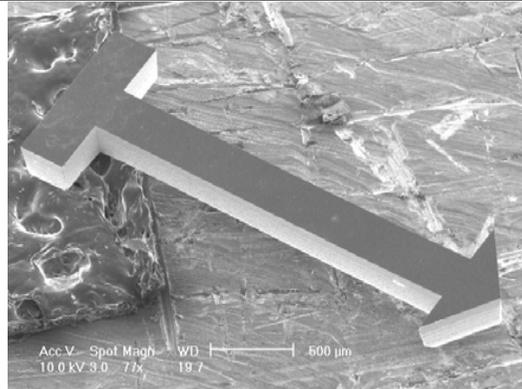
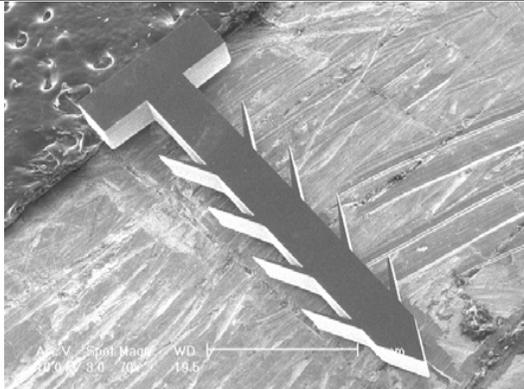


Neural Prosthesis

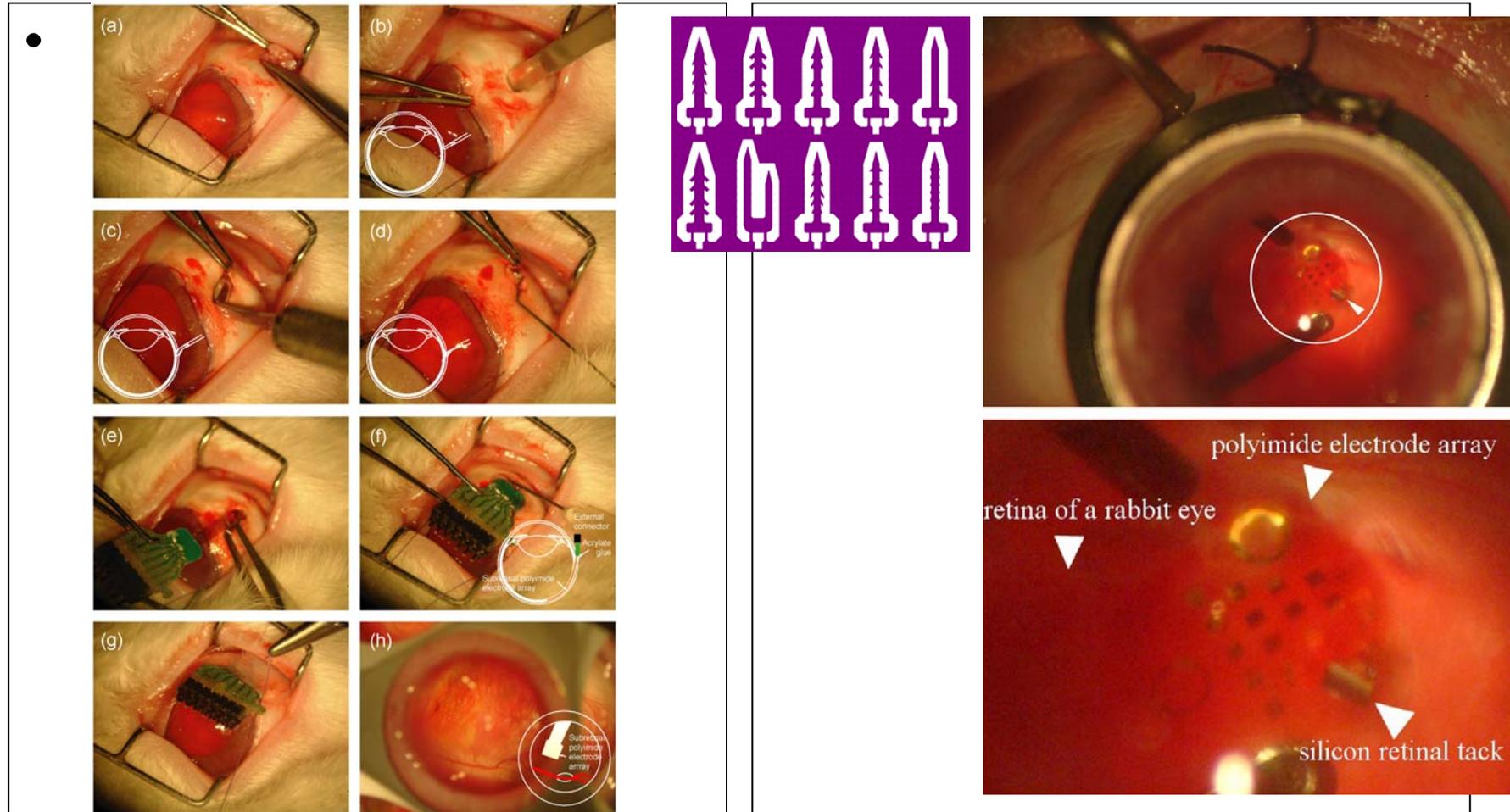
# Micromachined Silicon Tacks

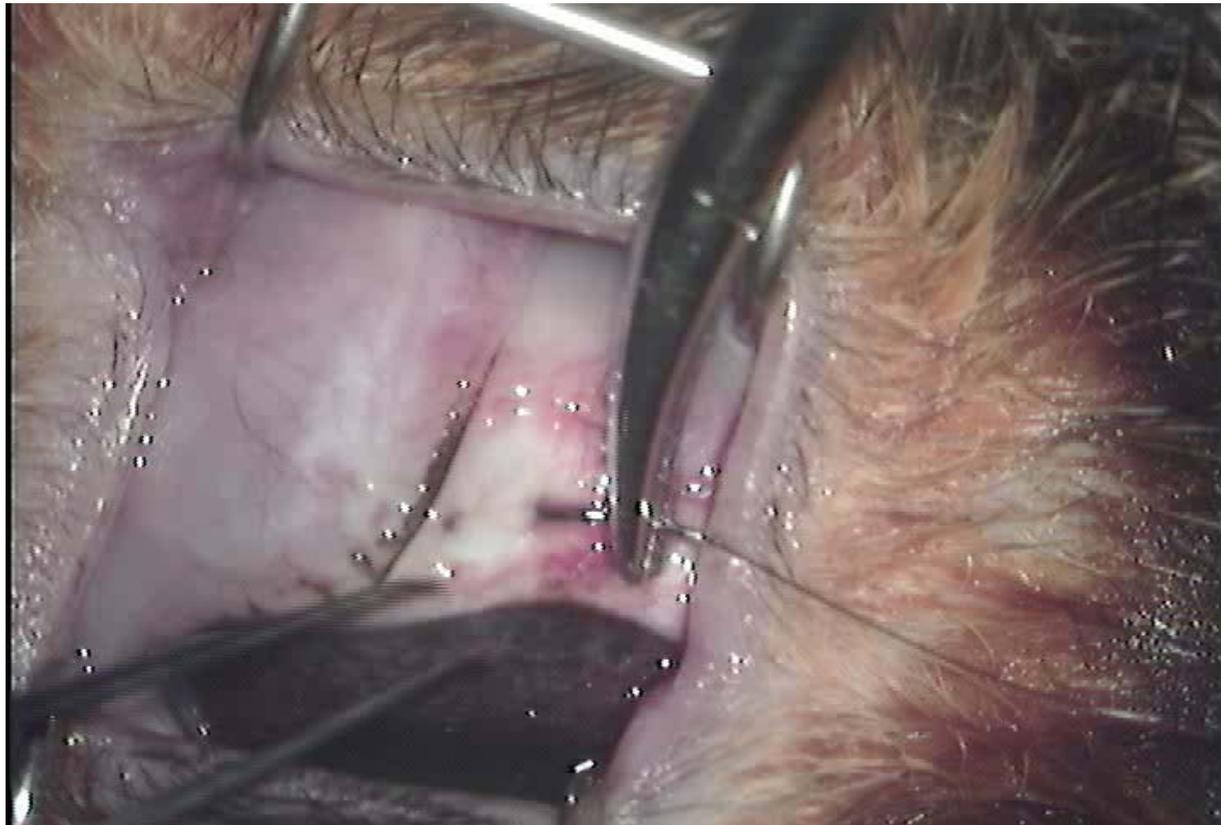
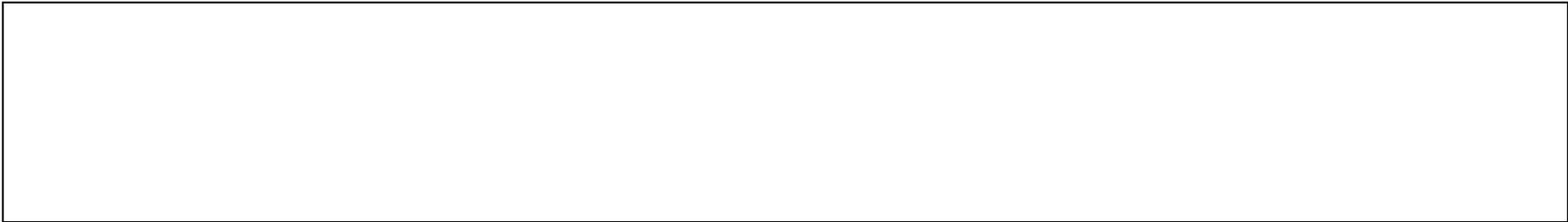


- Fabrication
  - material: silicon, oxide on silicon, parylene on silicon
  - full scale dimensions: length 3 mm, width 300  $\mu\text{m}$ , height 300  $\mu\text{m}$
  - half scale dimensions: length 1.5 mm, width 150  $\mu\text{m}$ , height 150  $\mu\text{m}$

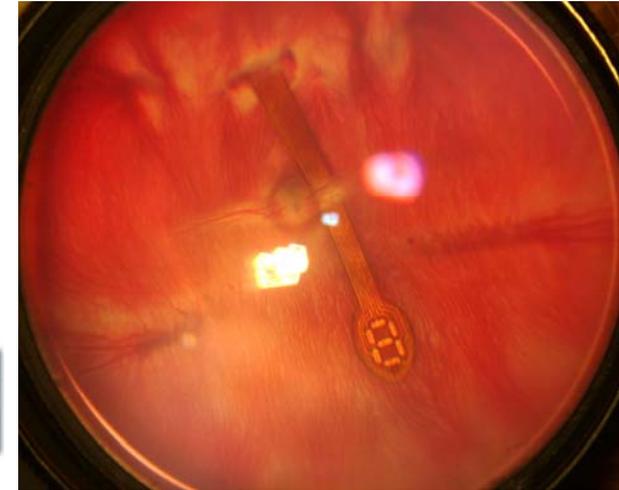
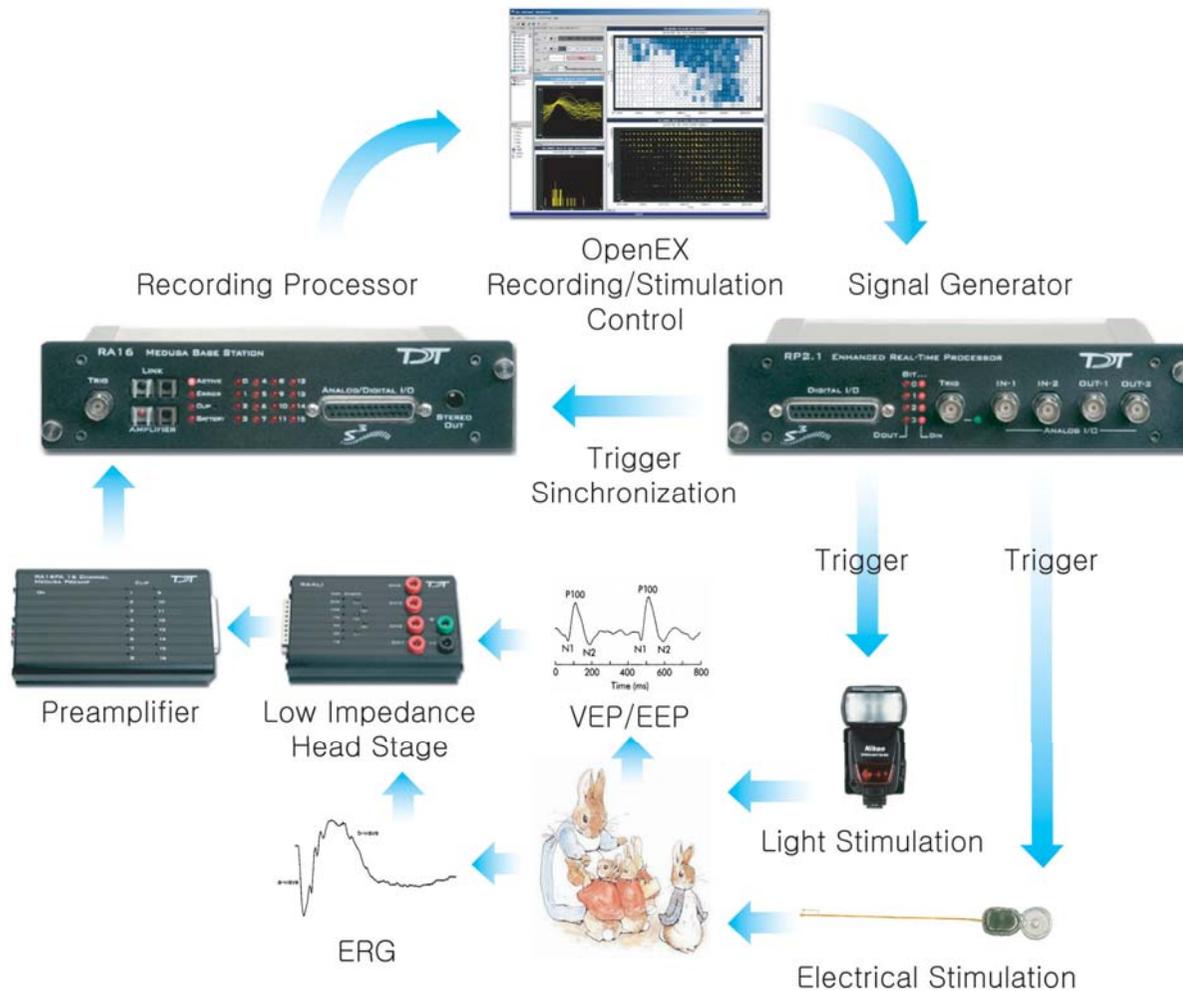


# 망막자극용 전극 수술법 연구

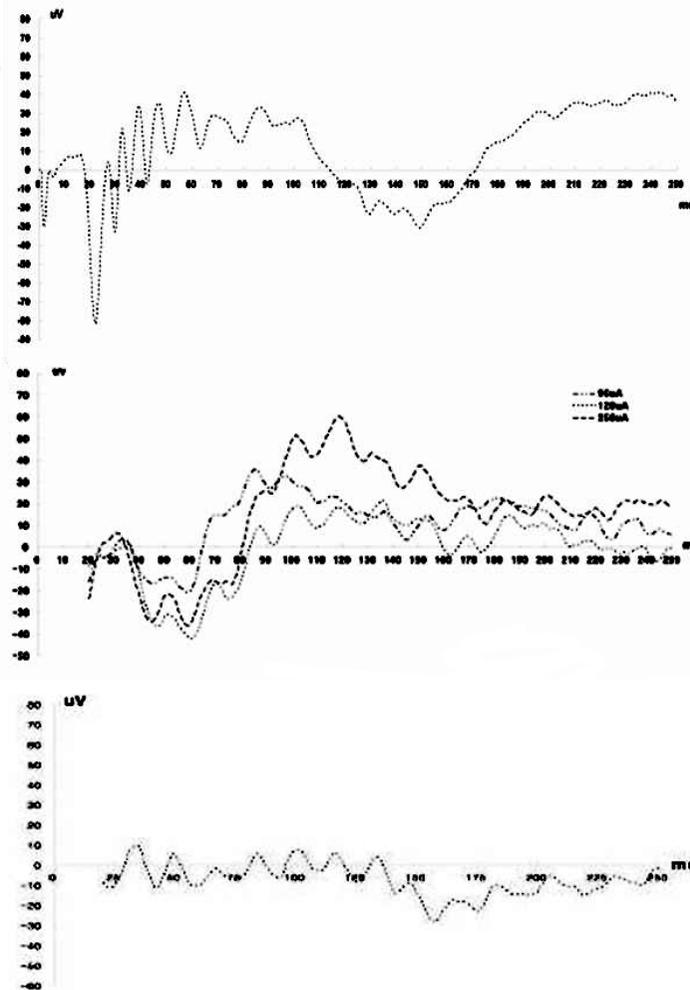




# 삽입전극/시스템을 이용한 자극 실험 세팅



# 망막자극기 삽입 후 전기생리학적 기록



**Visual evoked Cortical potential (VECP)**

**Electrically evoked cortical potential (EECP)**

**After optic nerve cutting**



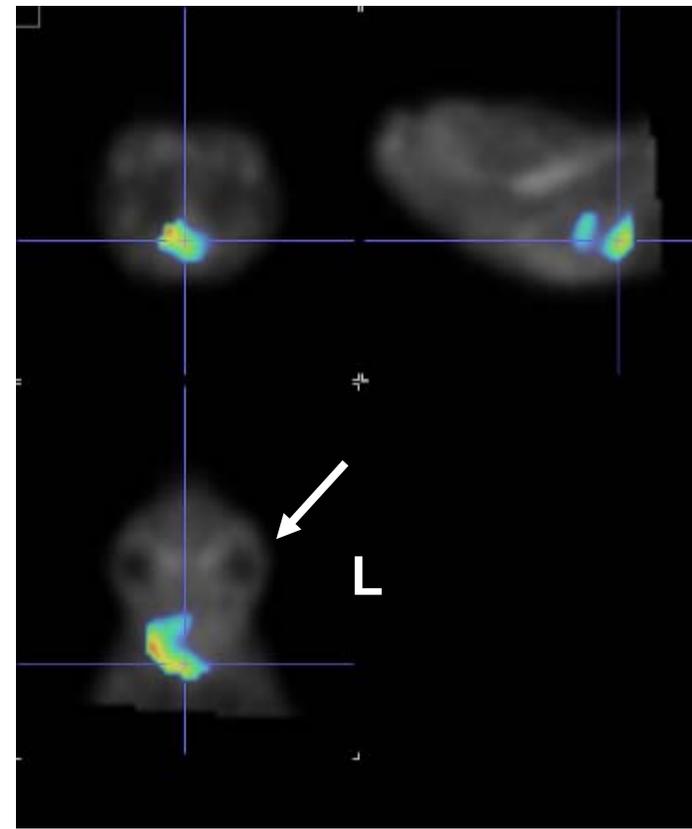
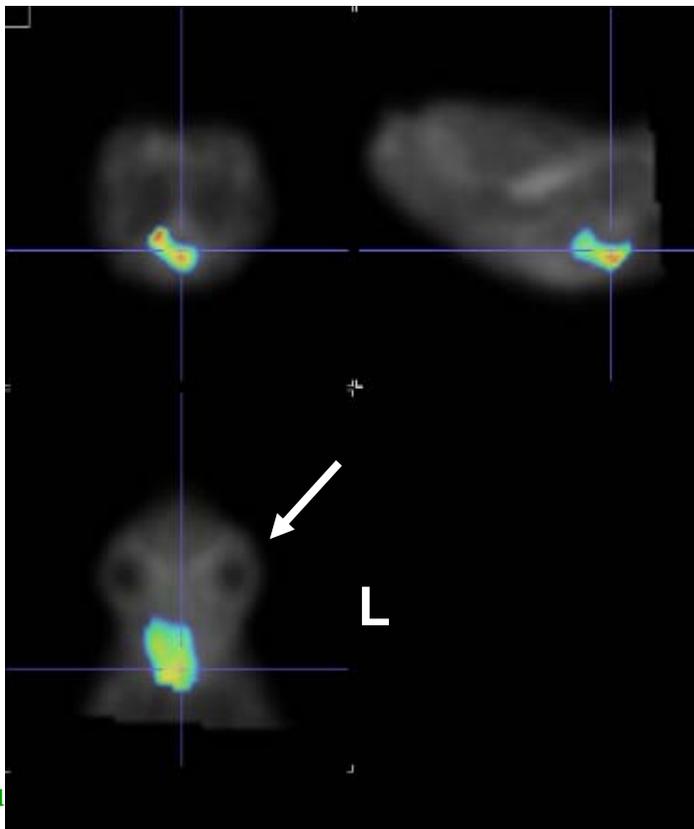
# 시피질의 당대사 증가 범위 (PET 촬영)

Light or electrical stimulation



빛 자극 (좌안)

전기 자극 (좌안)

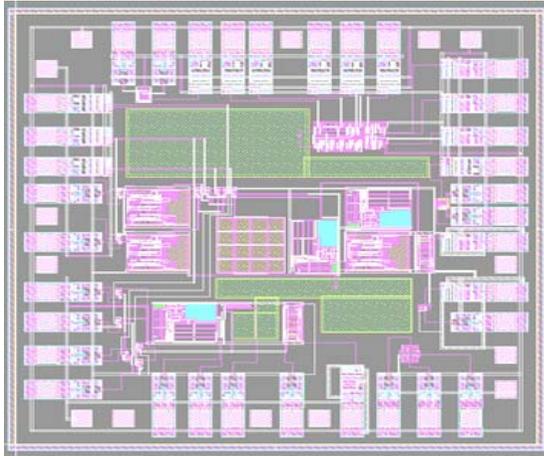


# 동물실험용 망막지극시스템

- 자극용 데이터와 전원을 동시에 전송 (Class-E amplifier)

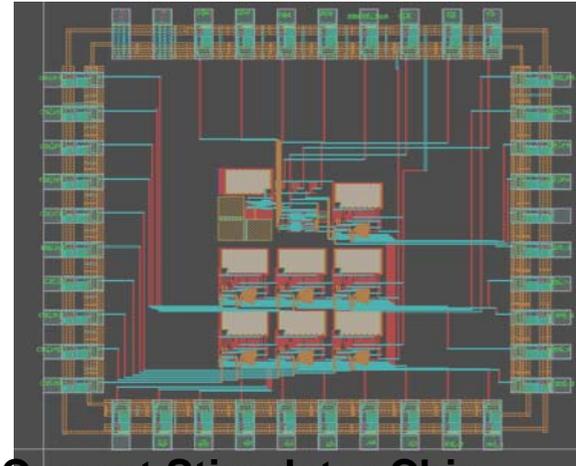


# 제작된 ICs



**Data/Power Receiver Chip**

- Rectifier/Amplifier
- Data Decoder (125Kbps)
- Voltage Regulator (5V)
- Internal Clock Generator(125KHz)



**Current Stimulator Chip**

- Current Source (7 channel)
- Biphasic Wave Form Generator



# 제작된 동물실험용 인공망막자극 시스템

