

03. Neuroplasticity

- 변화하는 뇌

Dumi Pyo

dumipyo@hanmail.net

차례

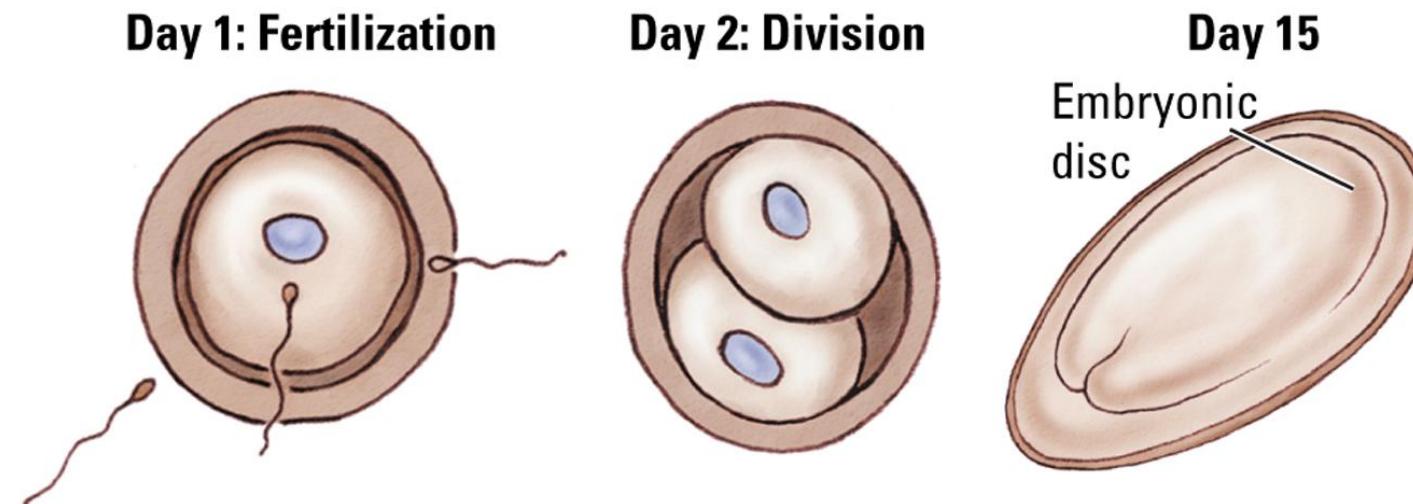
- 신경계의 발달
- 신경가소성
- 신경가소성과 환경
- 손상된 뇌의 가소성

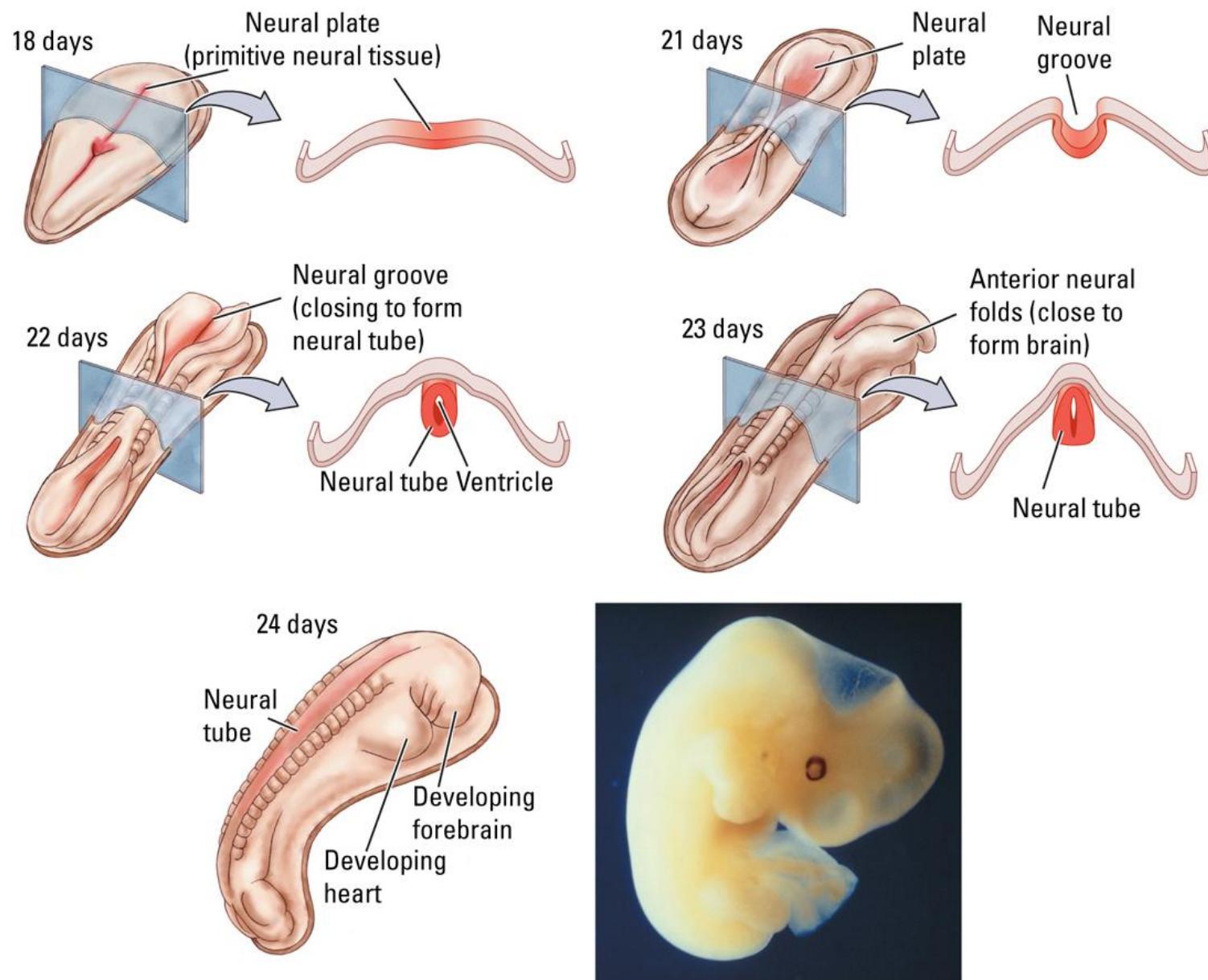
신경계의 발달

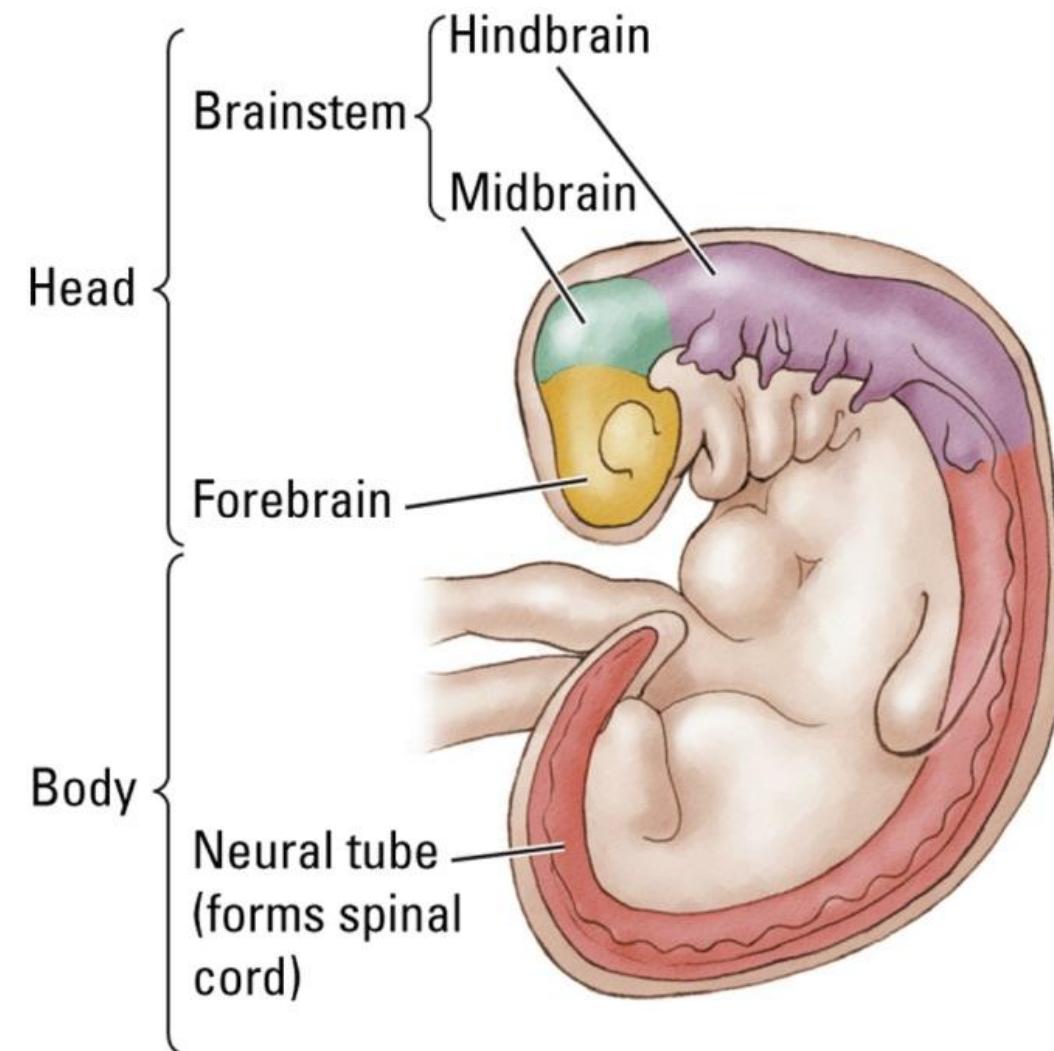
신경계의 구조적 발달

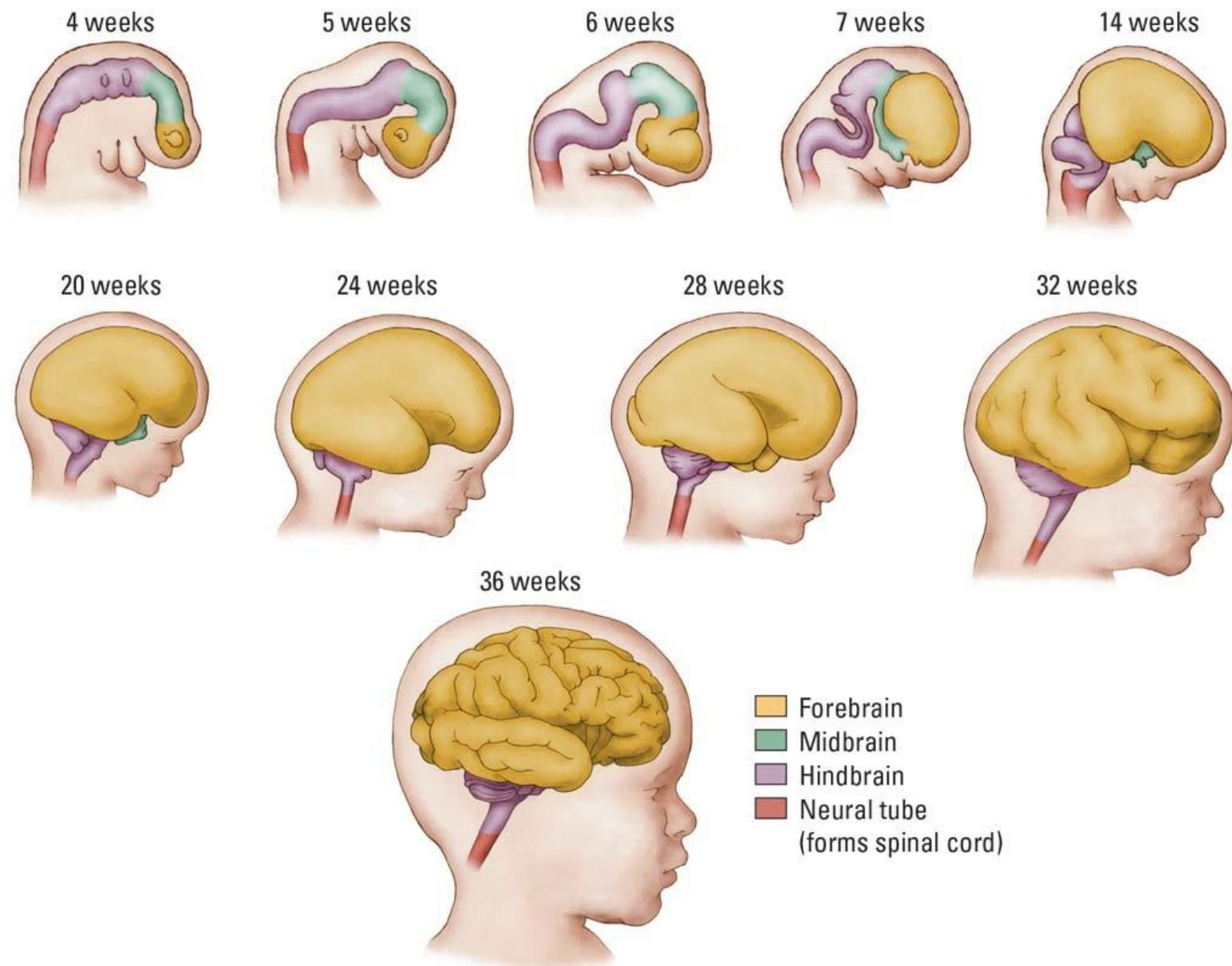
- 인간 신경계의 발달

- 수정 → 분열 → 배아 디스크 → 신경판(원시적 신경조직) → 신경홈 → 뇌실 → 뇌 발달
 * 배아(2주에서 8주까지) / 태아(9주에서 출생까지)





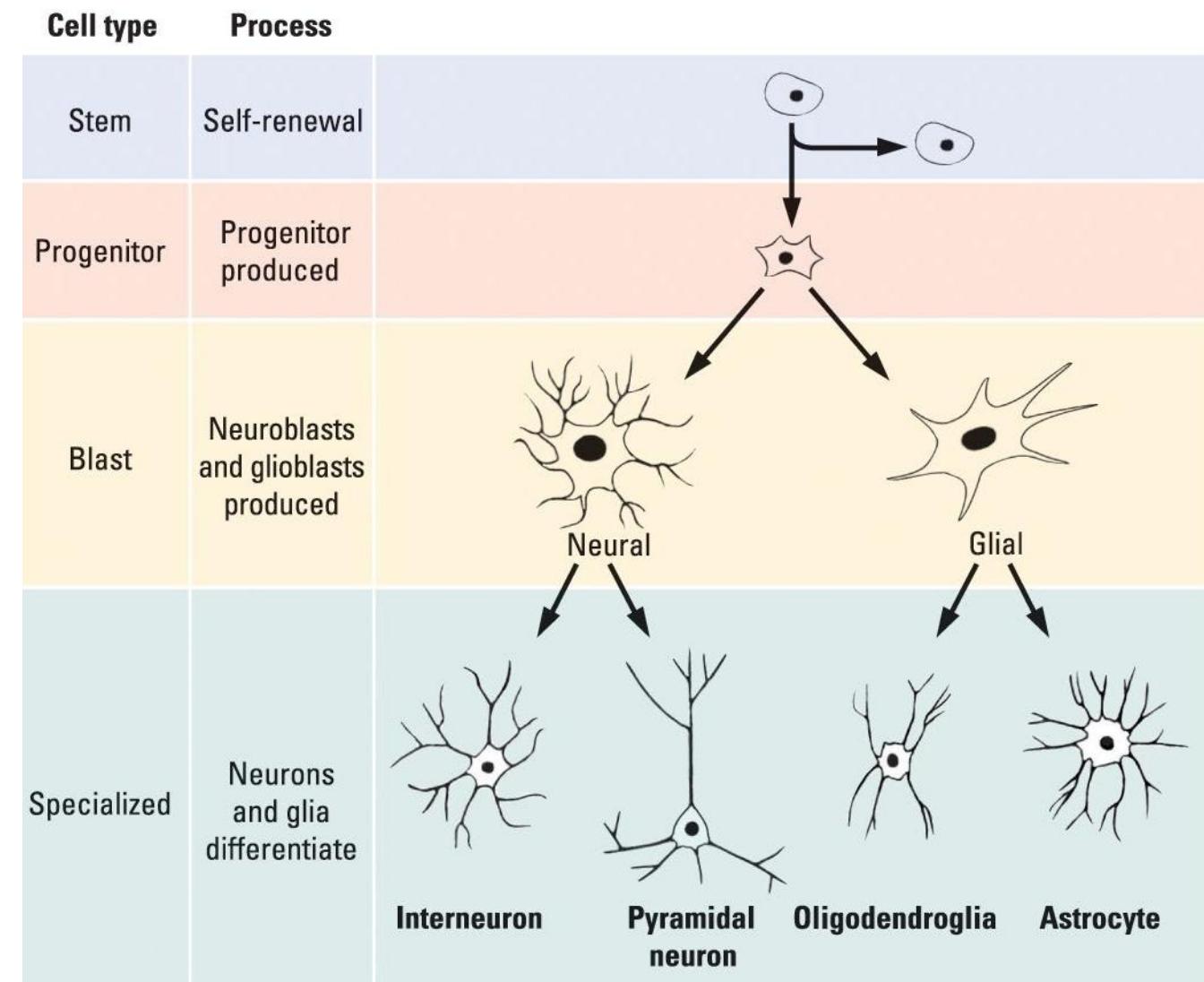




신경계의 구조적 발달

• 신경줄기세포(neural stem cells)

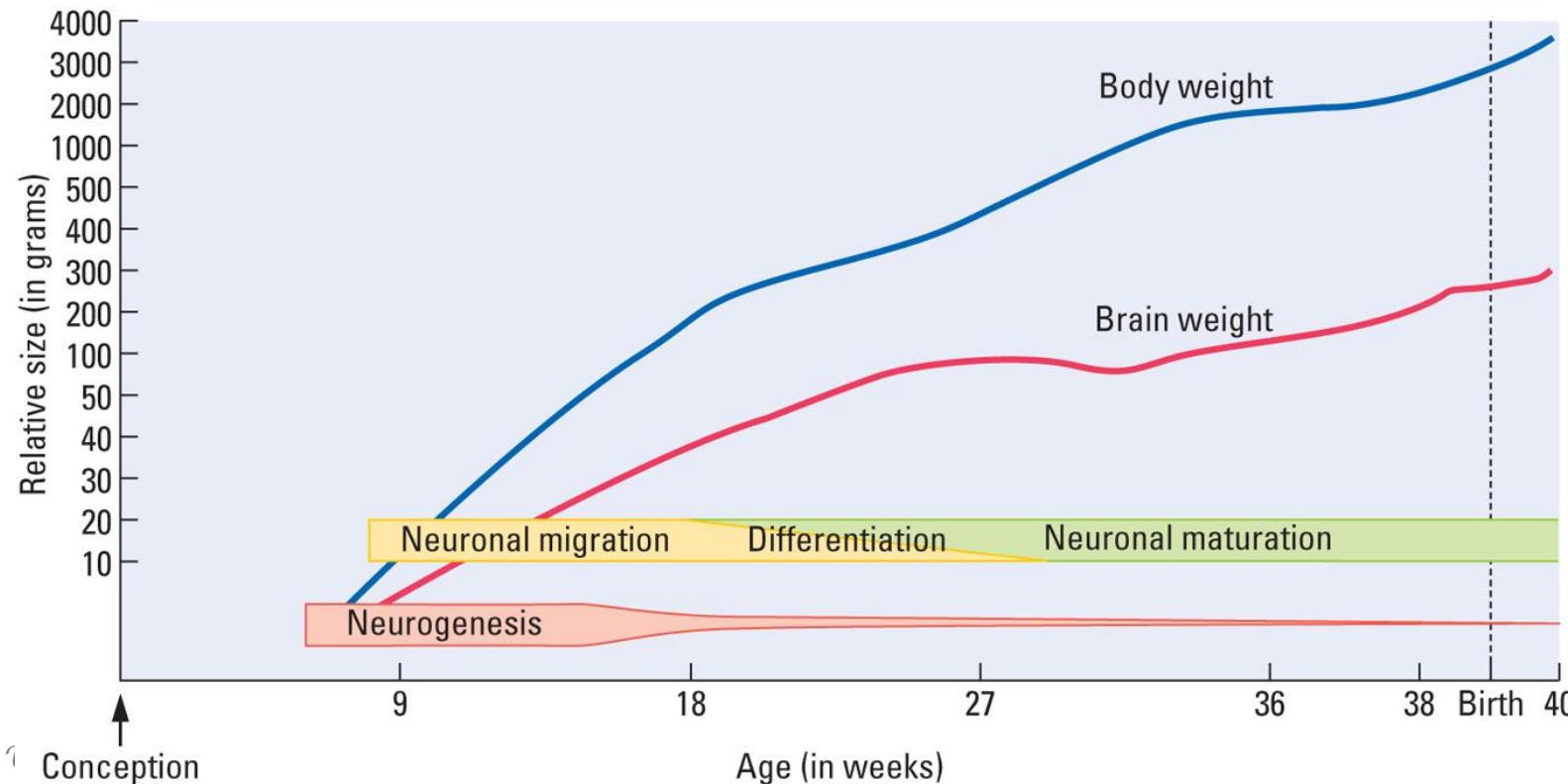
- 자가재생능력이 있는 다잠재적 세포
- 뇌실을 따라 정렬되어 뇌실하 영역 형성
- 전구세포(선조세포, progenitor cells) 생성
→ 신경아세포(neuroblast)와 교아세포(glioblast)로 분화 → 뉴런과 교세포
- 노화된 뇌에서도 뉴런과 교세포 생산 가능



신경계의 구조적 발달

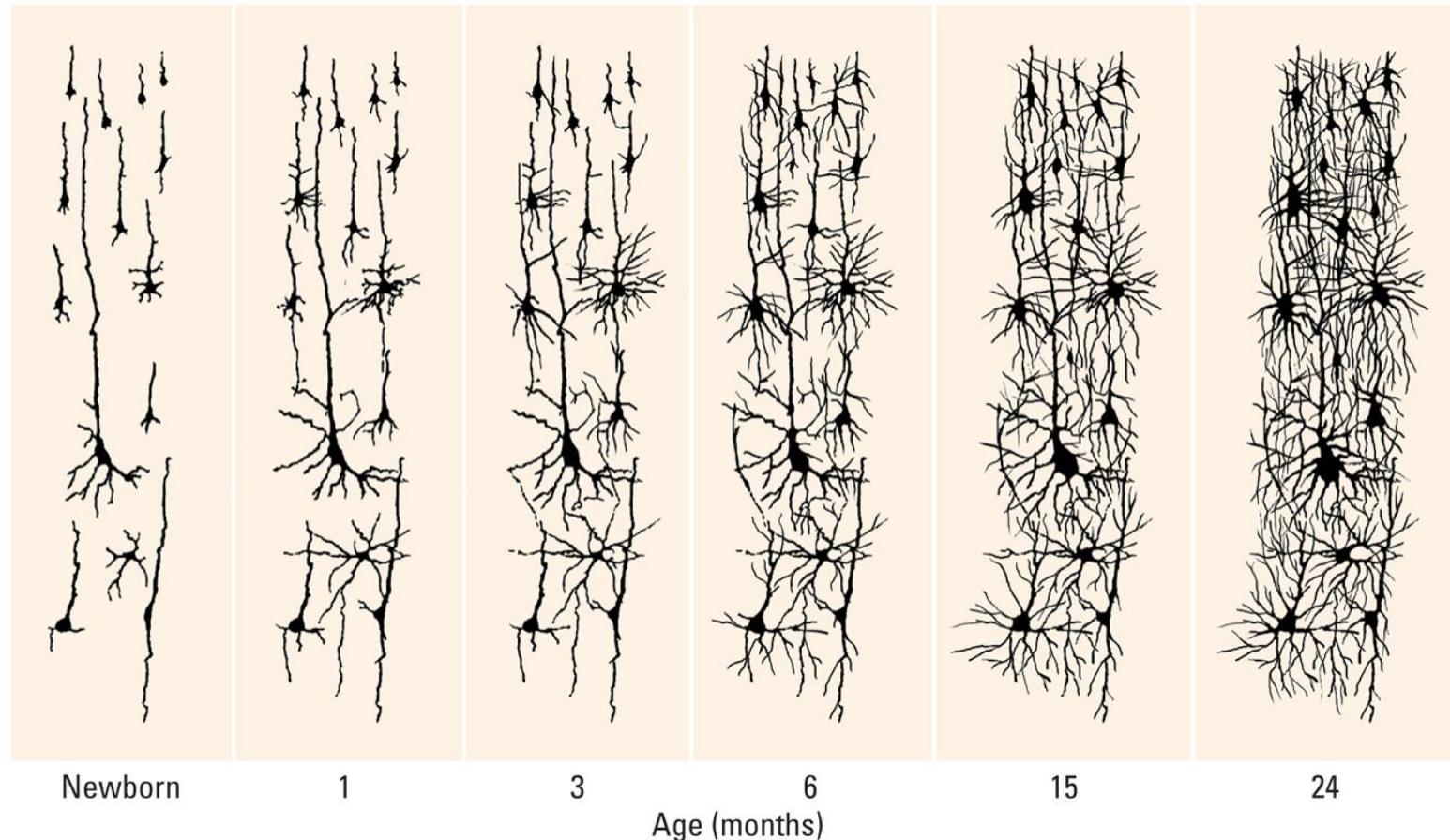
- 뇌발달의 단계

- 세포 발생 → 세포 이동(migration) → 세포 분화 → 세포 성숙(수상돌기, 축색 성장) → 시냅스 생성 → 세포 죽음과 시냅스 제거 → 수초 형성



신경계의 구조적 발달

- 겉질 언어영역(브로카 영역)에서의 뉴런 성숙



뇌의 기능적 발달과 행동

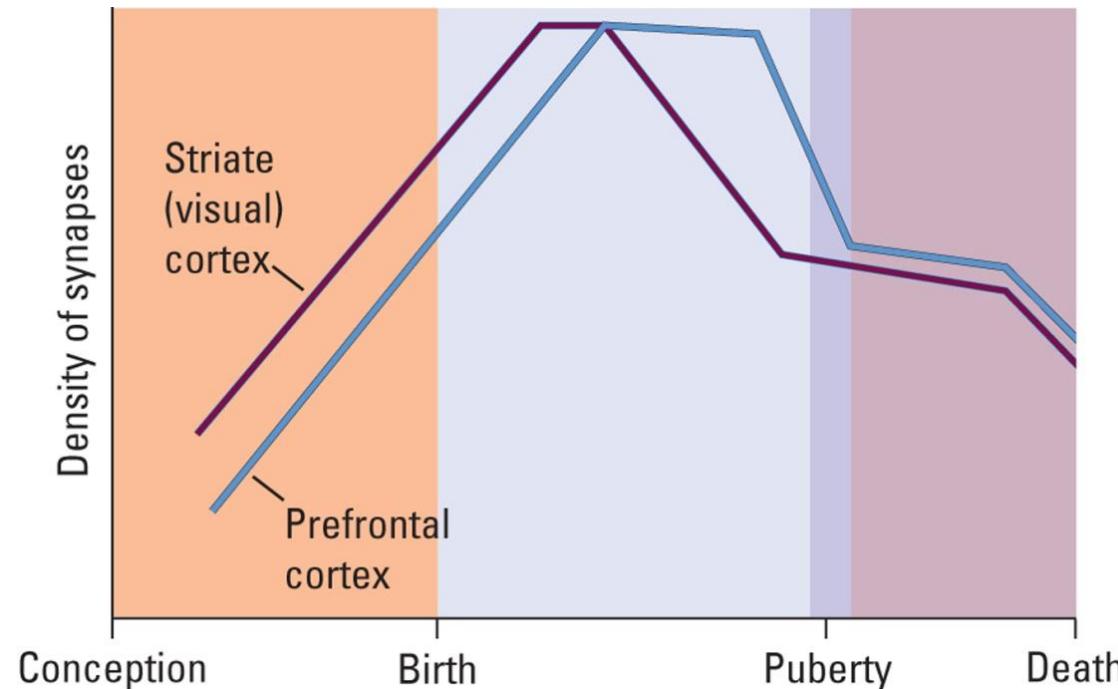
- 유아의 집기 행동(grasping)은 점차 세련된 방식으로 정교화
→ 신경계의 구조적/기능적 발달이 행동으로 나타남 + 행동 훈련이 뇌발달에 영향

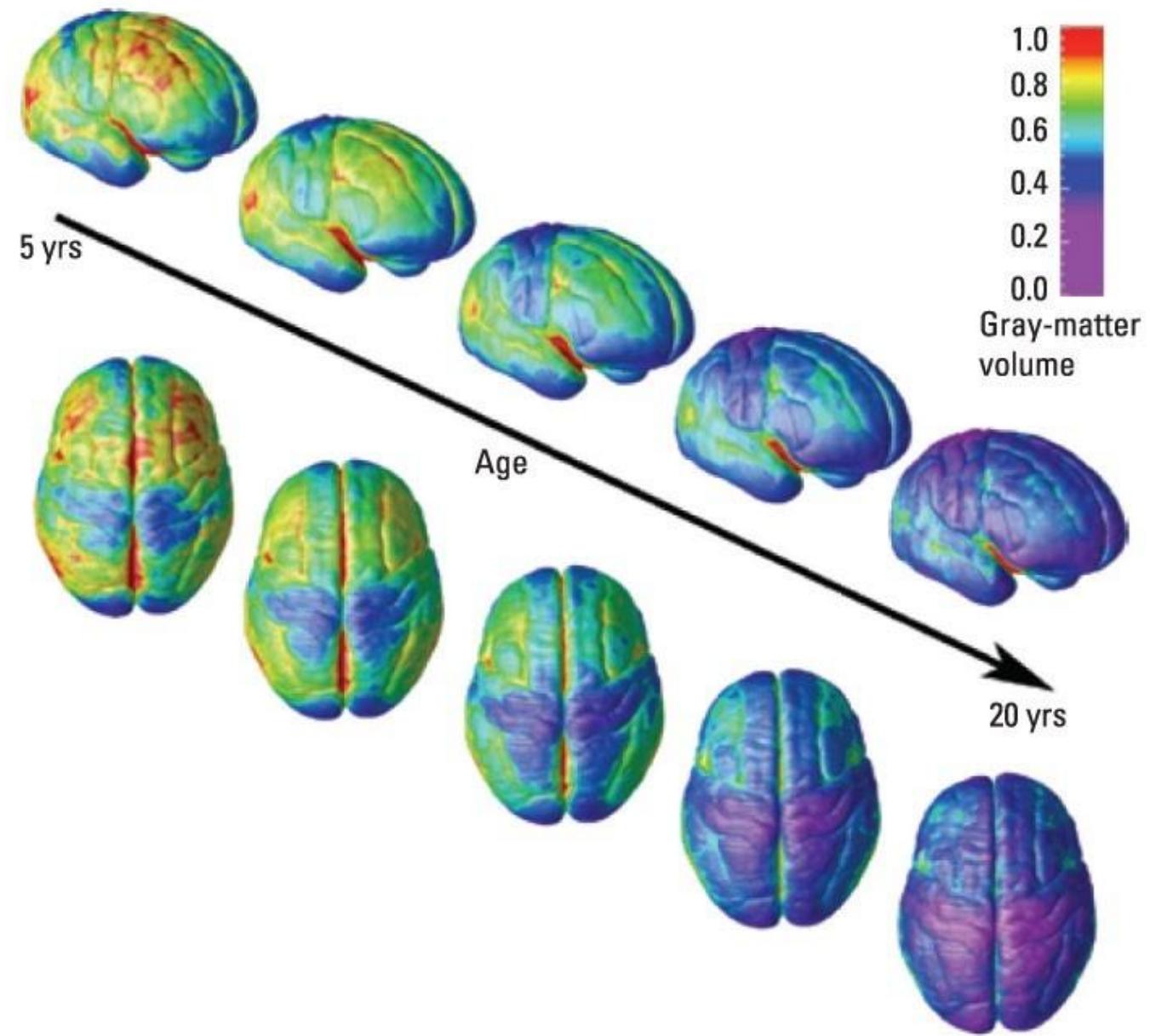


신경계의 구조적 발달

- 시냅스 발달과 시냅스 제거

- 출생시 시냅스 수는 급속히 증가
- 시냅스 가지치기(synaptic pruning): 시간이 지나면서 겉질 두께가 얇아짐





Courtesy Paul M Thompson/Laboratory of Neuro Imaging, Keck School of Medicine of USC

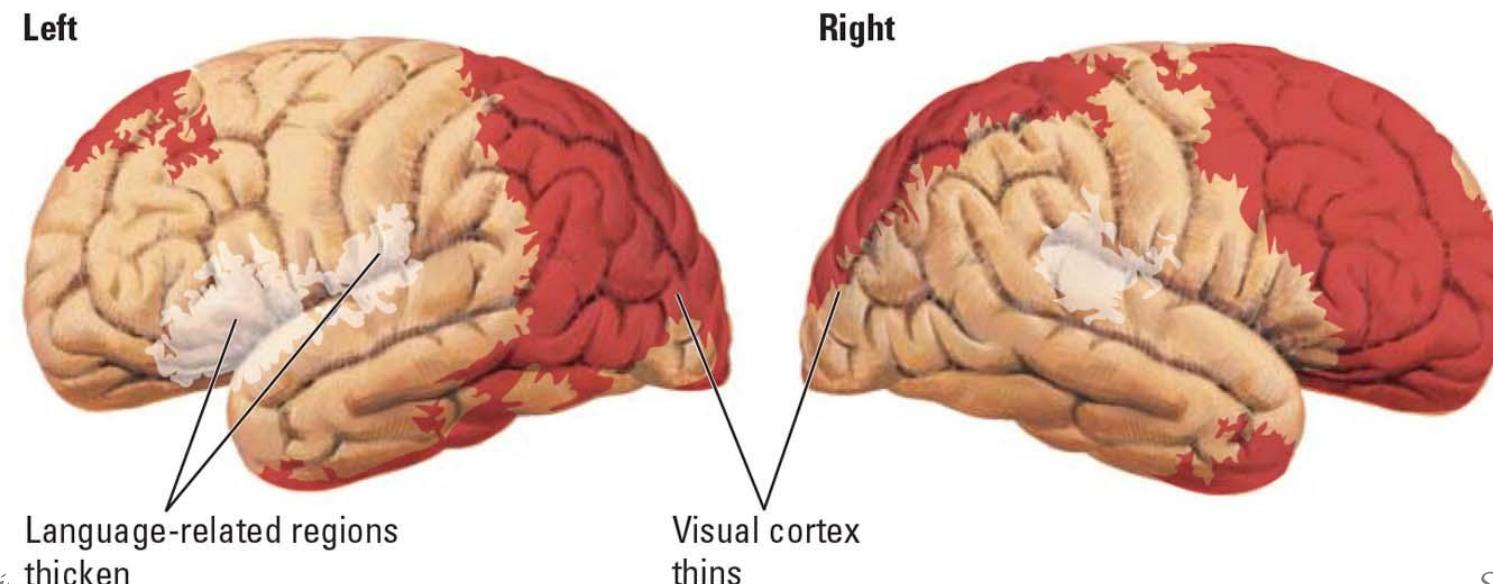
신경계의 구조적 발달

- 시냅스 제거에서의 흥미로운 발견들

- 유아가 영어, 힌두어, 북아메리카 인디언어를 구분할 수 있는가?

→ 구분 가능하나 생후 1년 무렵이면 능력 감소(Werker, & Tees, 1992)

- 겉질 언어영역의 회백질은 증가

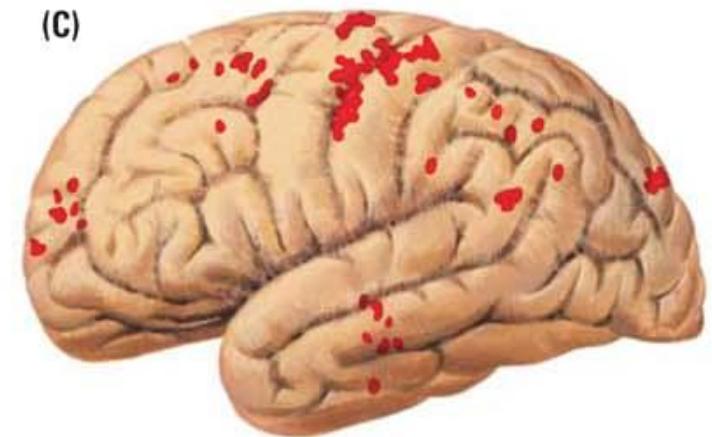
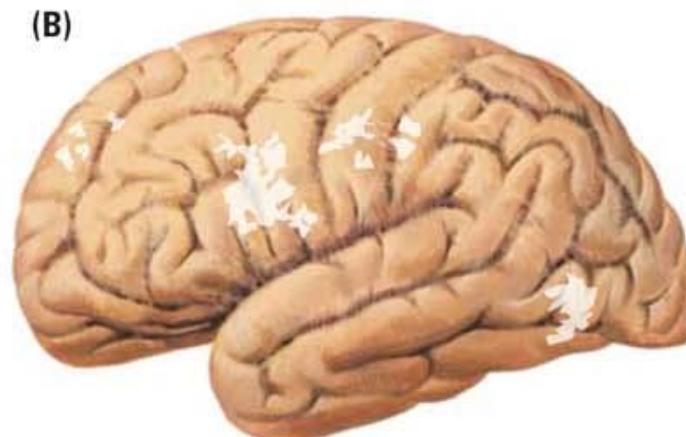
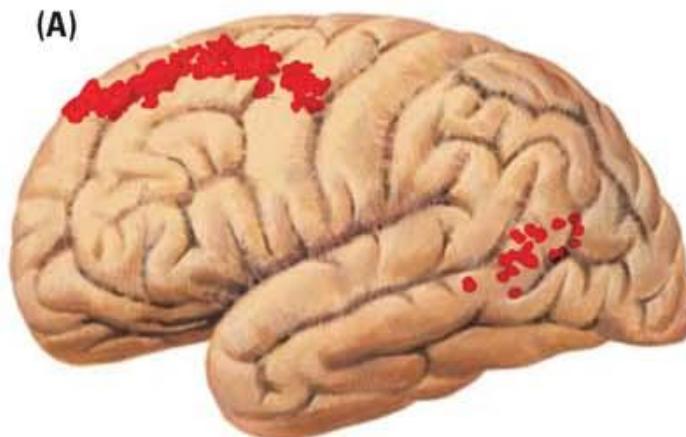


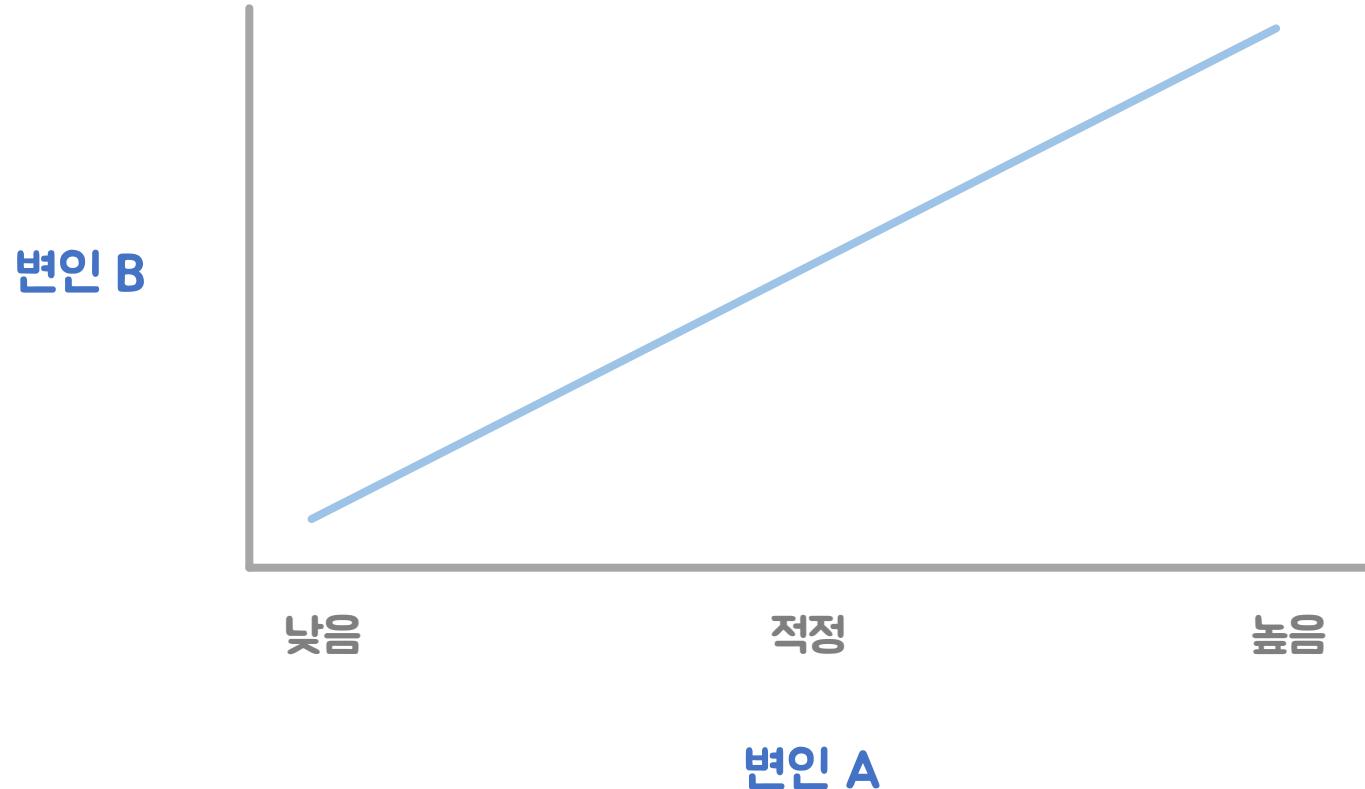
뇌의 구조적 발달과 기능적 발달

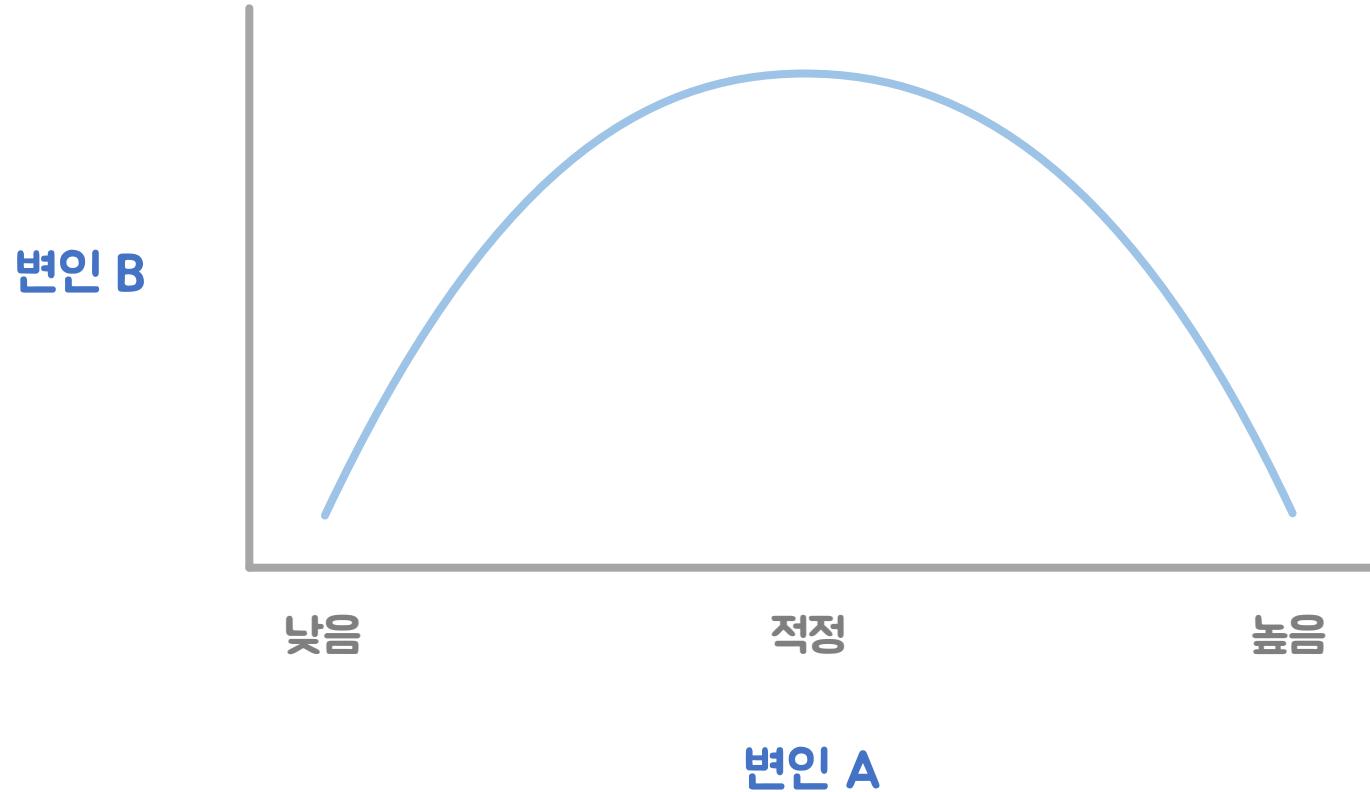
- 뇌 기능 발달은 겉질의 두께에 비례/반비례?

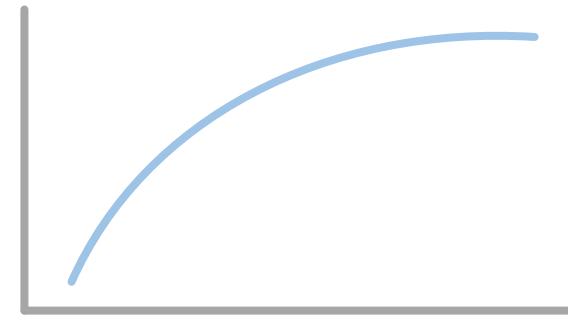
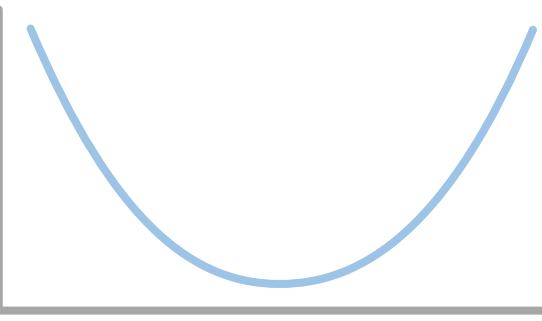
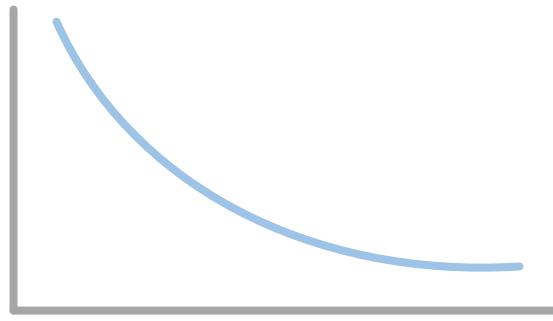
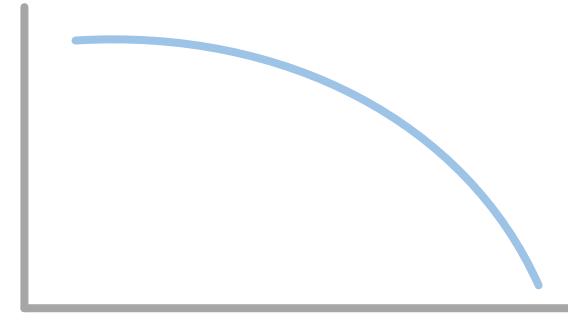
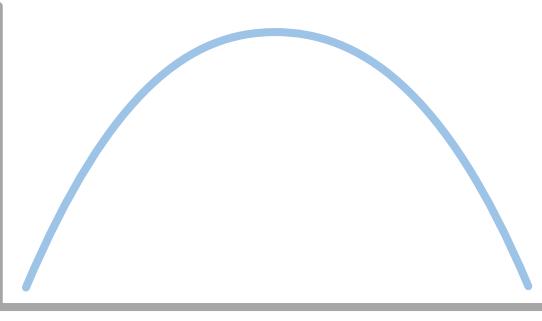
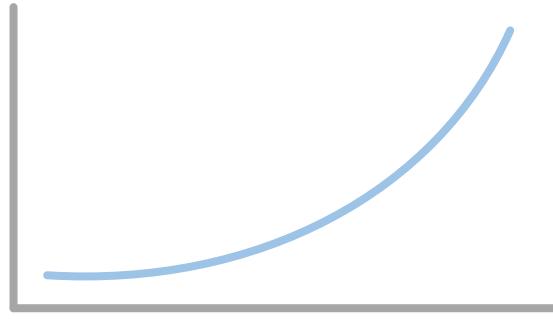
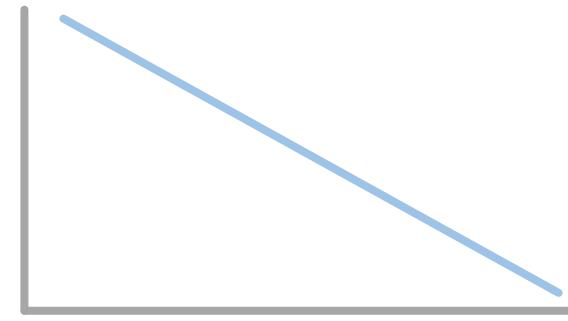
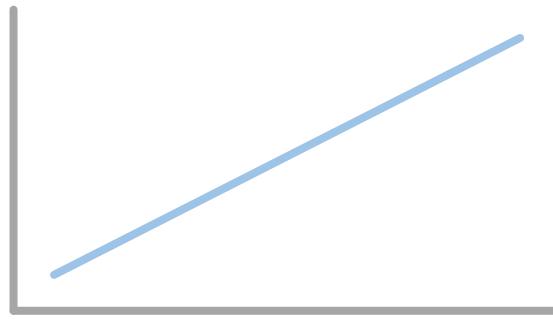
- 운동겉질 두께 감소 → 기민한 움직임 증가 (A)
- 브로카 영역 두께 증가 → 언어기술 향상 (B)
- 어휘 증가 → 광범위한 겉질영역의 두께가 얇아짐 (C)

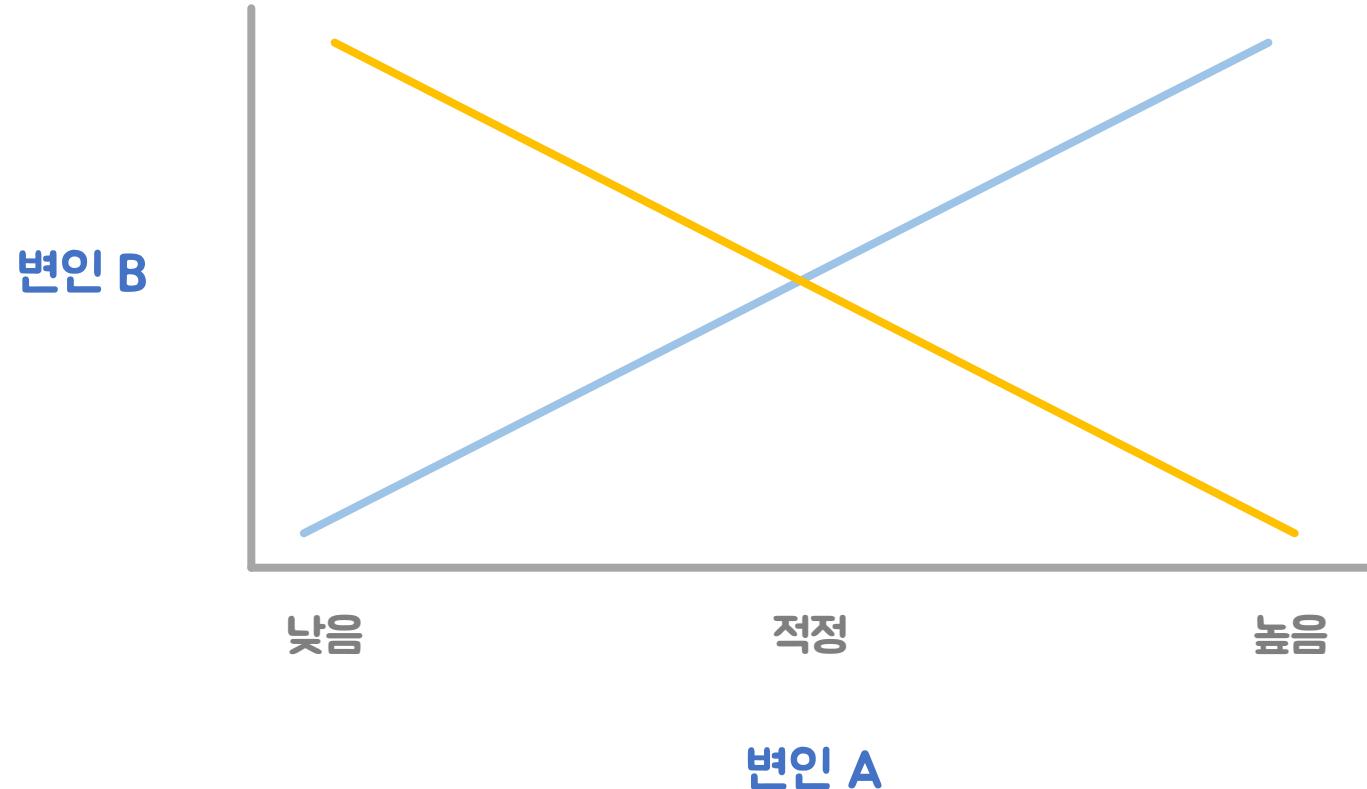
→ 기능적 발달과 전뇌 겉질(피질)의 두께가 단순한 상관관계를 가지지는 않음









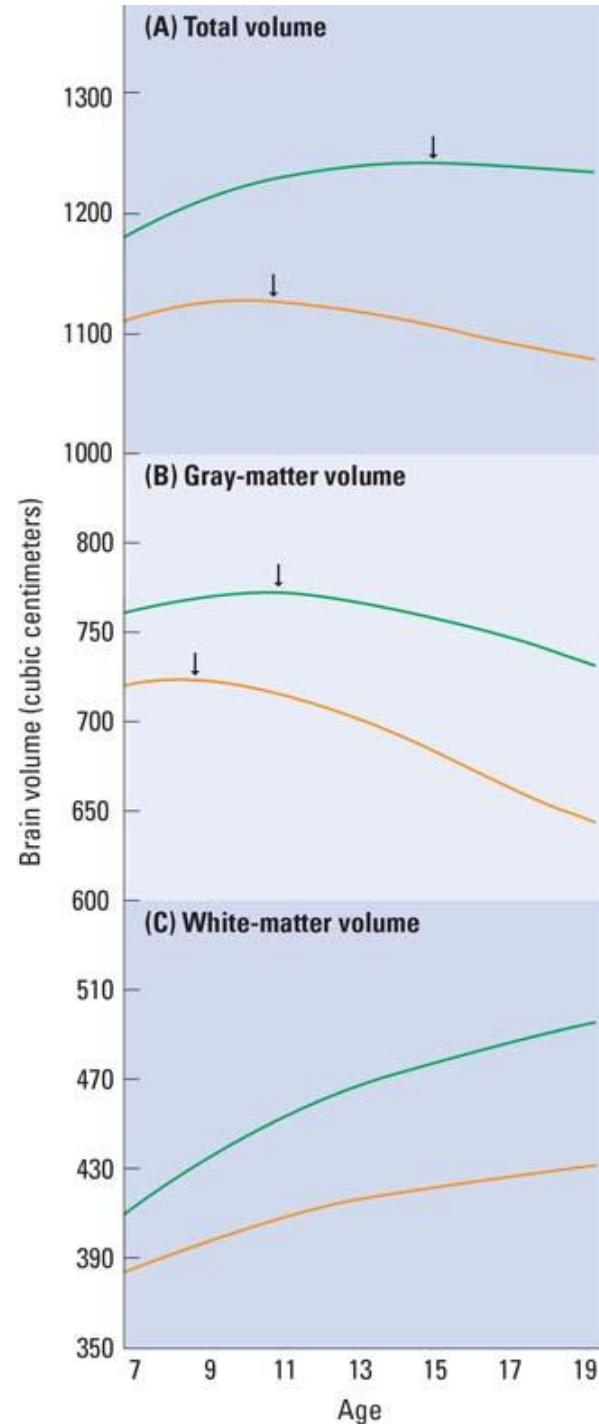
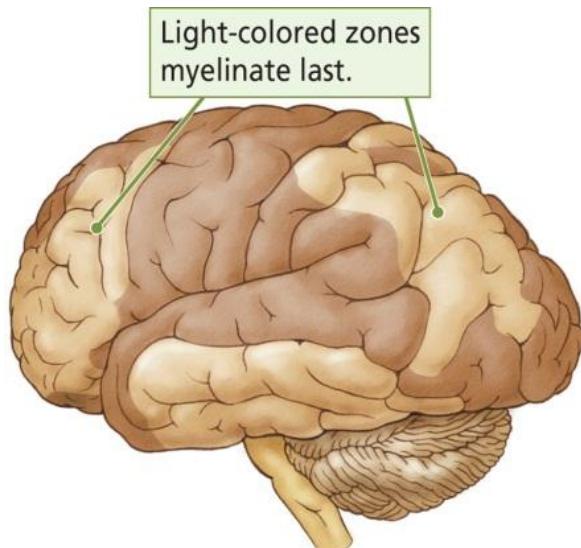


신경계의 구조적 발달

- 뉴런의 성숙

- 대부분의 신경세포 생성이 완료된 후 축색이 말이집(수초)으로 감싸짐
- 이 생성 과정은 일생동안 지속(적어도 20세까지)
- 정상적인 축색의 기능은 수초화 완료된 후에 가능

→ 수초화(백질 부피)는 대뇌 성숙의 유용한 지표



가장 늦게 수초화되는 영역들은 가장 상위의 정신기능 통제?

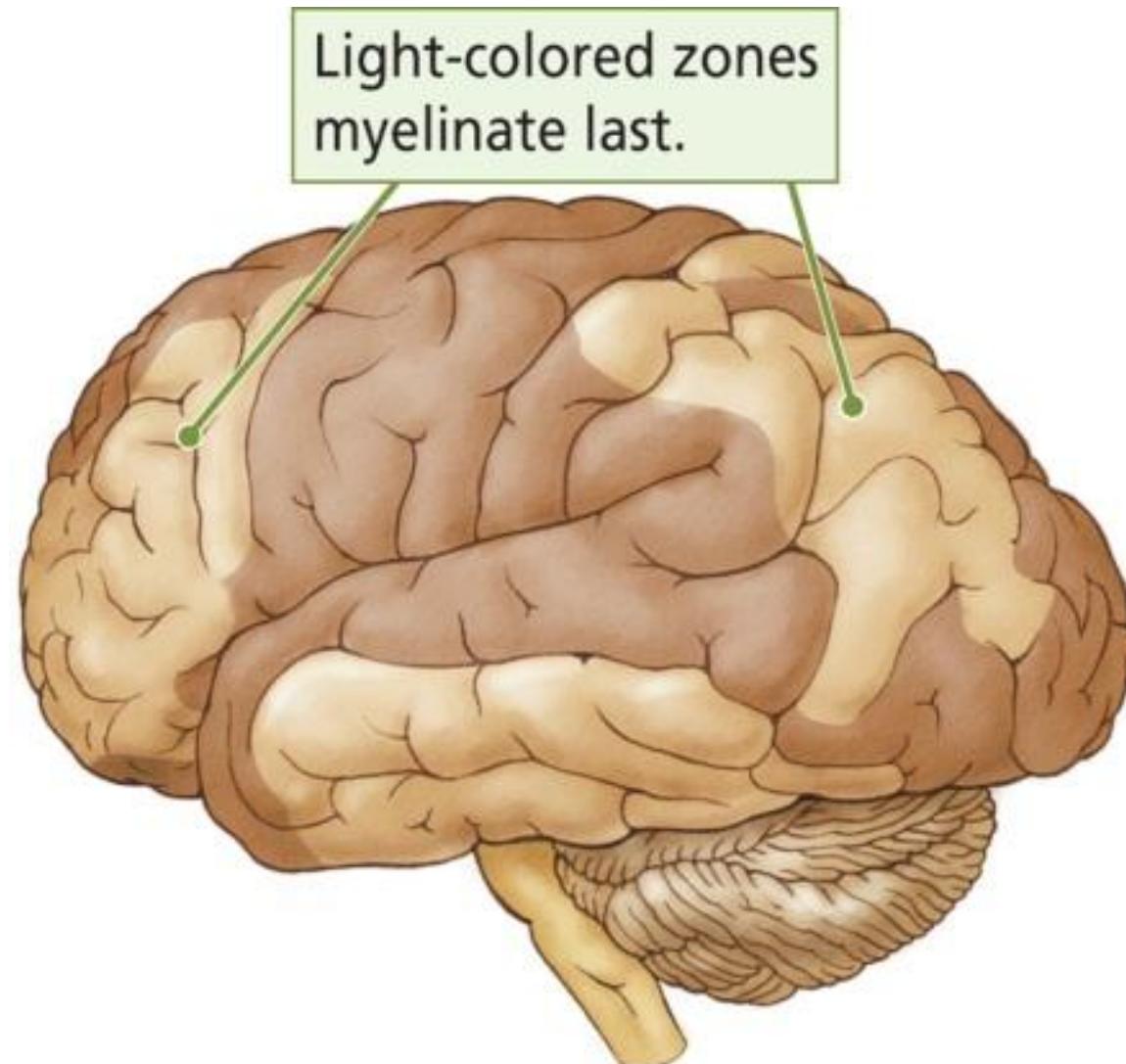


Fig. 8.17

신경가소성

신경가소성 neuroplasticity

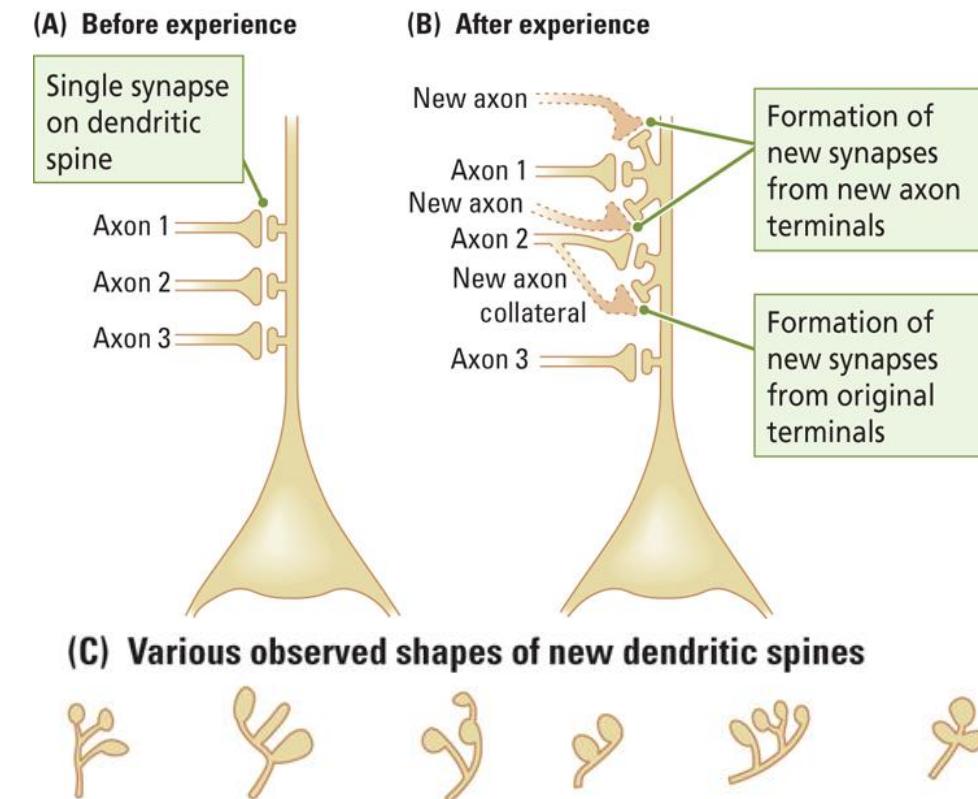
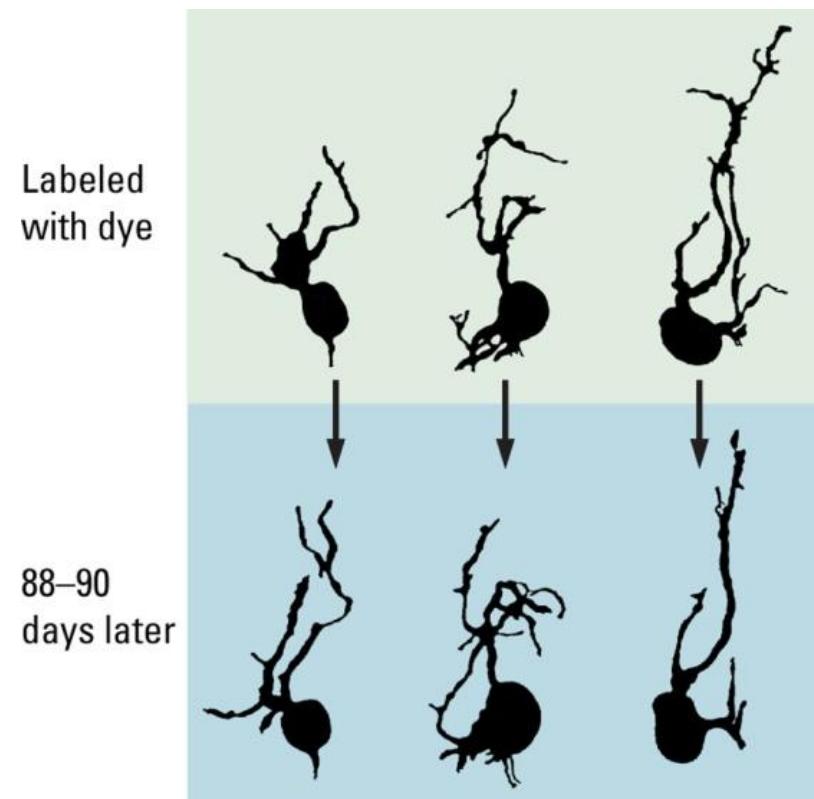
- 신경가소성(neuroplasticity)

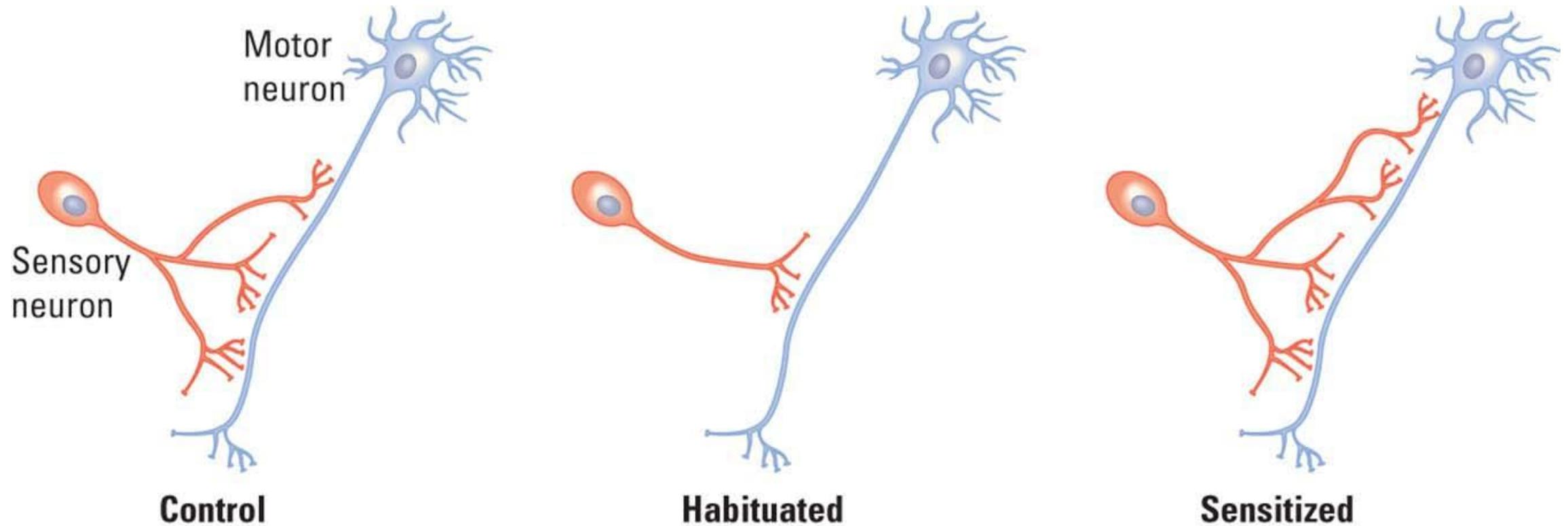
- 환경 변화에 적응하고 노화 관련 변화와 외상 등을 보상하기 위해 신경계 스스로 구조적/화학적 변화를 일으키는 능력

신경가소성의 구조적 기초

- 뉴런 수준 - 시냅스

- 기존 회로 변형 / 새로운 회로 생성

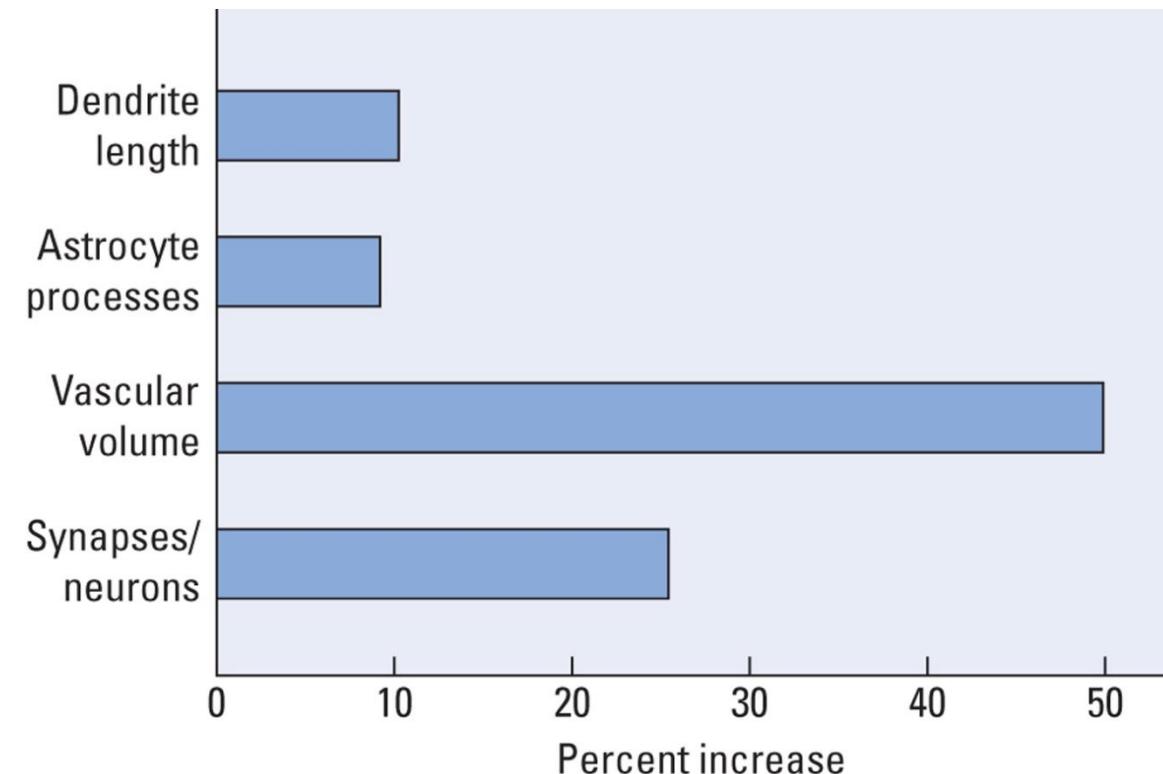




신경가소성의 구조적 기초

- 강화된 경험과 가소성경험

- 수상돌기 길이, 시냅스 수, 뉴런 수, 모세혈관 수 등 변화
- 뇌 무게 증가 관찰



신경가소성

- 경험 기대적 가소성(experience-expectant plasticity)

- 각기 다른 뇌 체계가 발달하기 위해서는 특정 유형의 경험이 필요
- 대부분 발달 과정 중에 발생

(예) 시각 겉질이 발달하기 위해서는 다양한 방위의 선, 색, 움직이는 시각자극 등을 경험해야 함

경험 기대적 가소성

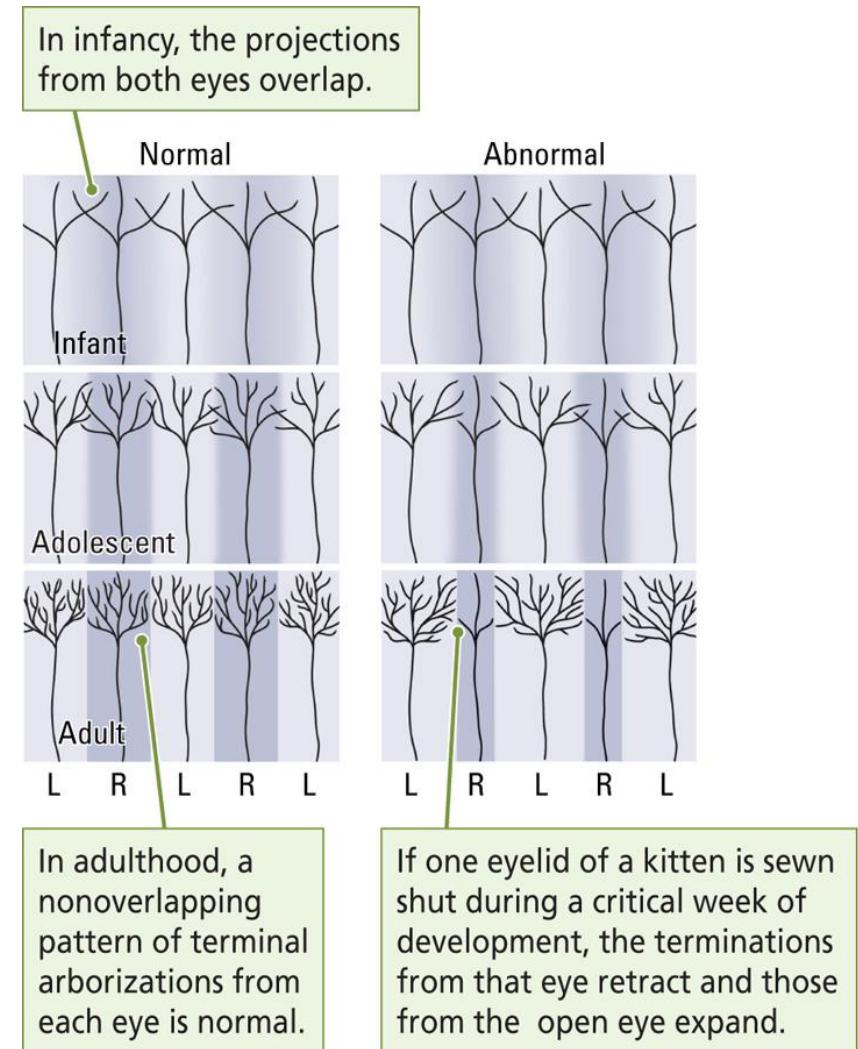
- 결정적 시기(critical period)

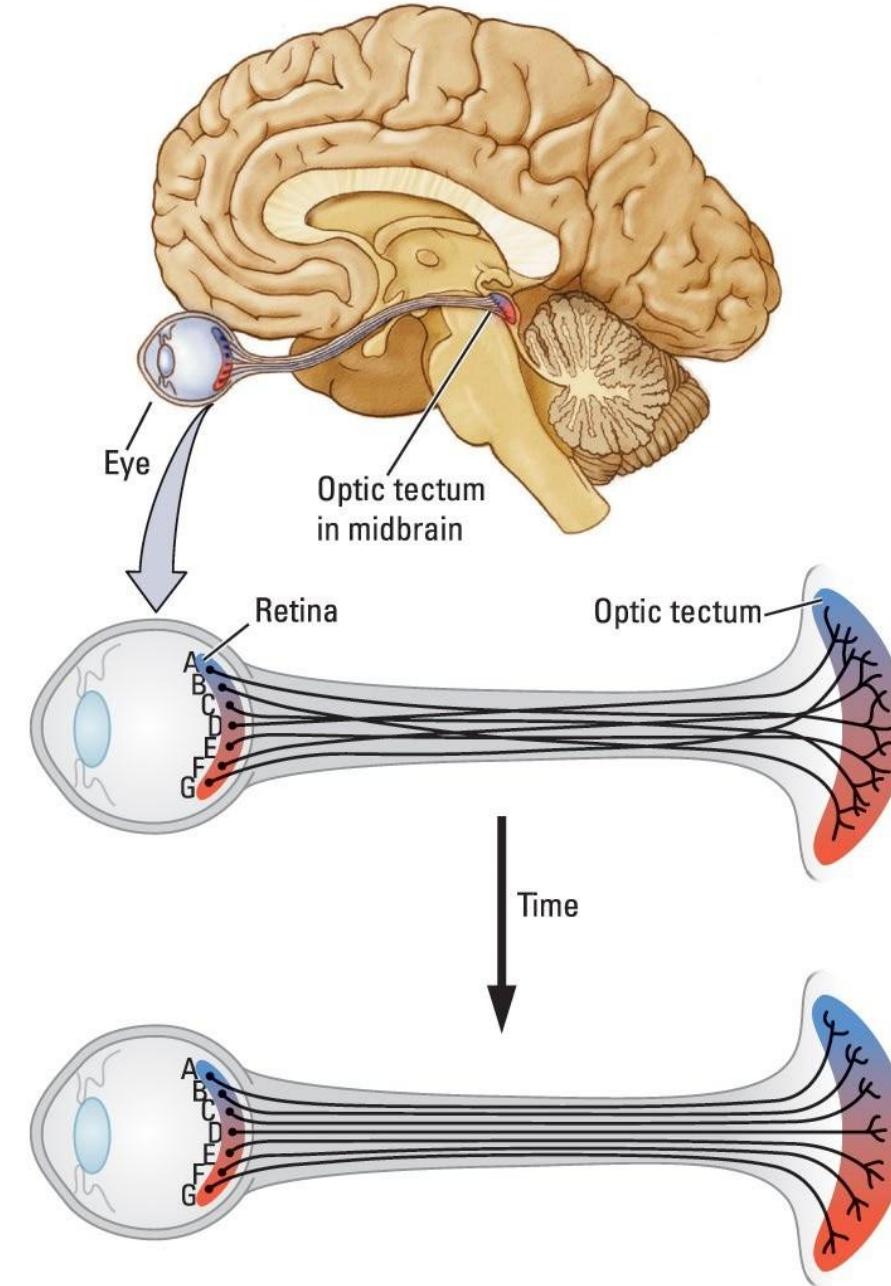
- 뇌발달이 특정 경험의 영향을 가장 민감하게 받는 시기
- 이 시기에 감각박탈은 치명적

(예) 생후 30~60일 된 고양이의 한쪽 눈을 가림 → 가린 눈에서 오는 축색의 종말단추가 수축됨

- 어미와의 접촉 결핍

- 학습장애, 사회성 결여, 호르몬 및 신경학적 이상





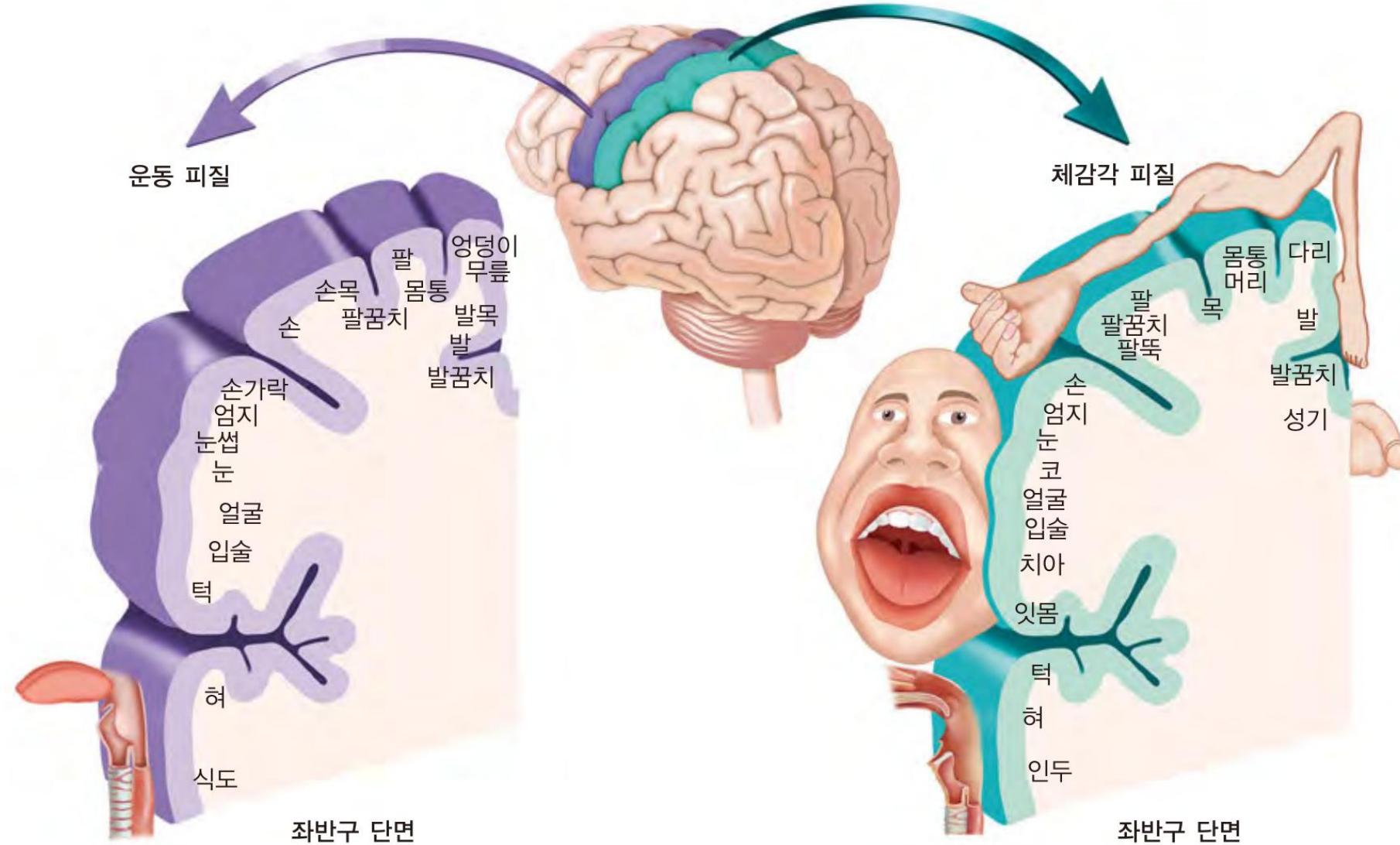
신경가소성

- 경험 의존적 가소성(experience-dependent plasticity)

- 기본 표현형으로 형성된 기존 신경적 조화에 수정을 가하는 변화
- 개인이 경험하는 고유하고 사적인 경험들에 의해 개인별로 독특한 시냅스가 형성
 - (예) 언어 학습, 악기 연주, 운동, 손상 등
 - (예) 현악기 연주자의 왼손 손가락과 연결된 겉질 영역
 - (예) 점자를 읽는 사람의 읽는 손가락 겉질 표상 증가
 - (예) 대졸 사망자의 뇌에서 베르니케 영역 뉴런의 수상돌기 가지가 더 많음



© Michel Garnier/Lebrecht Music & Arts/Corbis



경험 의존적 가소성

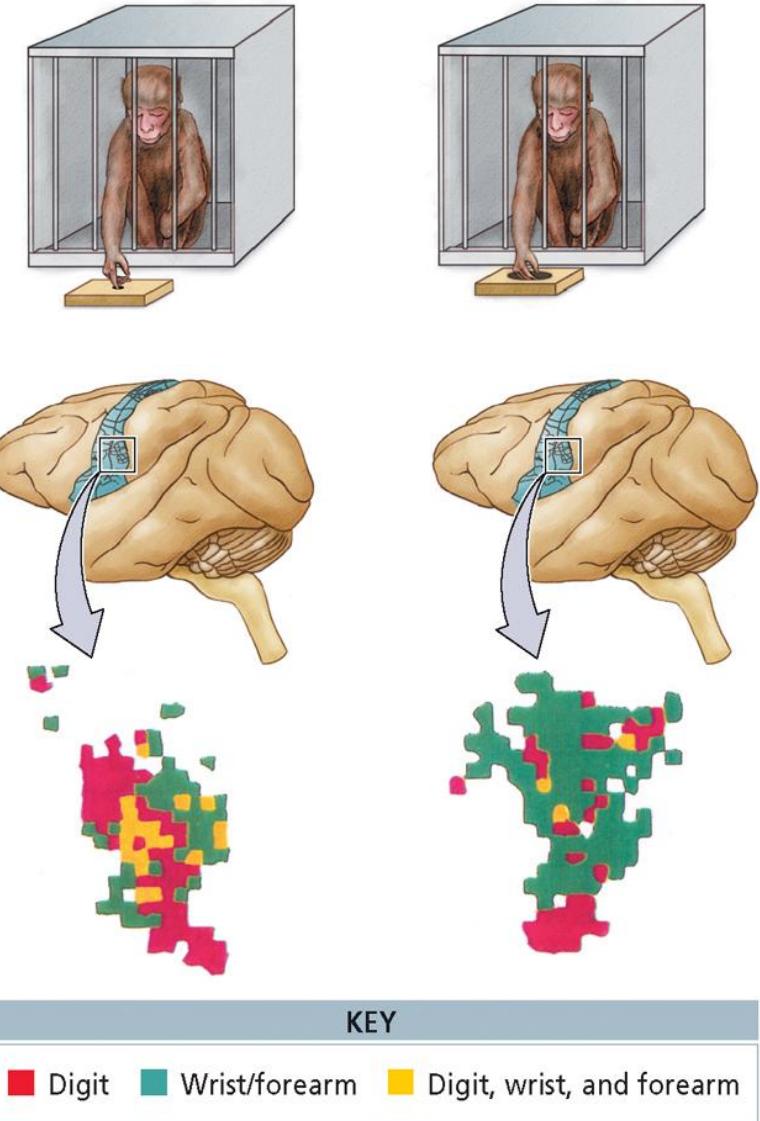
- 감각/운동 훈련과 가소성

- Chang, & Greenough(1982)

- 한쪽 눈 가린 쥐 → 미로에서 훈련 → 훈련된 반구의 시각겉질
뉴런의 수상돌기 발달

- Nudo et al. (1997)

- 작은 구멍에서 먹이 꺼낸 다람쥐원숭이의 팔 운동지도에서 체계적 변화 관찰



경험 의존적 가소성

- 특수 안경을 착용하고 적응하기 (Köhler, 1964)

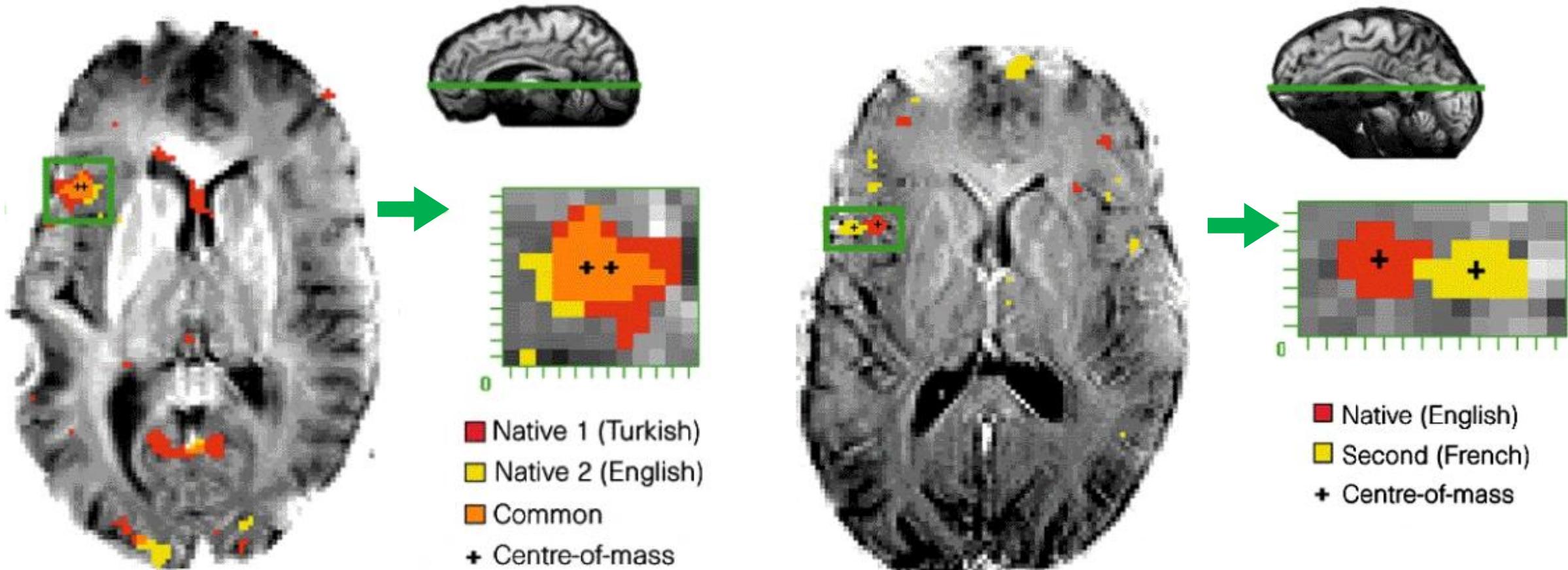
- 상하좌우가 바뀌어 보이는 안경을 착용하기
- 며칠이 지나자 참가자들은 일상적인 활동을 쉽게 수행
- 안경을 벗고 나면 다시 순응하는 시간이 필요
- 원숭이에게 같은 실험을 실시하면 전운동겉질, 후두정겉질의 활성화, 시각겉질의 세포 속성 등에서 가소성 관찰



Fig. 5 – Participant with prismatic goggles (top/bottom) in Innsbruck (Austria).

*“The world is upside down”
The Innsbruck Goggle Experiments of
Theodor Erismann (1883-1961) and Ivo Kohler (1915-1985)*

Early bilingual vs. Late bilingual



경험 의존적 가소성

- 런던의 택시운전사

- 해마 뒷부분이 대조집단보다 훨씬 큼(Maguire et al., 2000)
- 운전 경력이 길수록 해마 크기의 차이가 더 큼

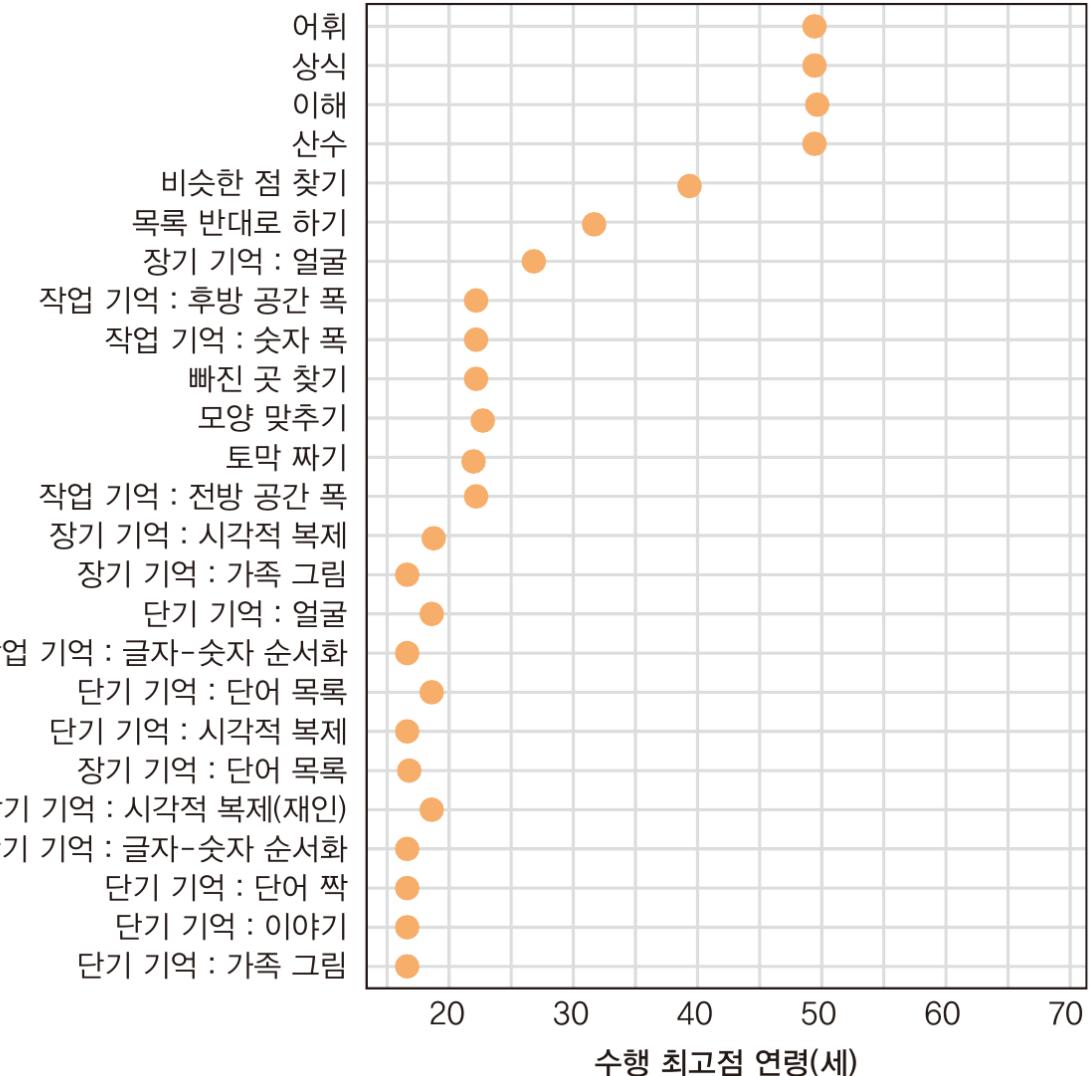
성인기 신경가소성

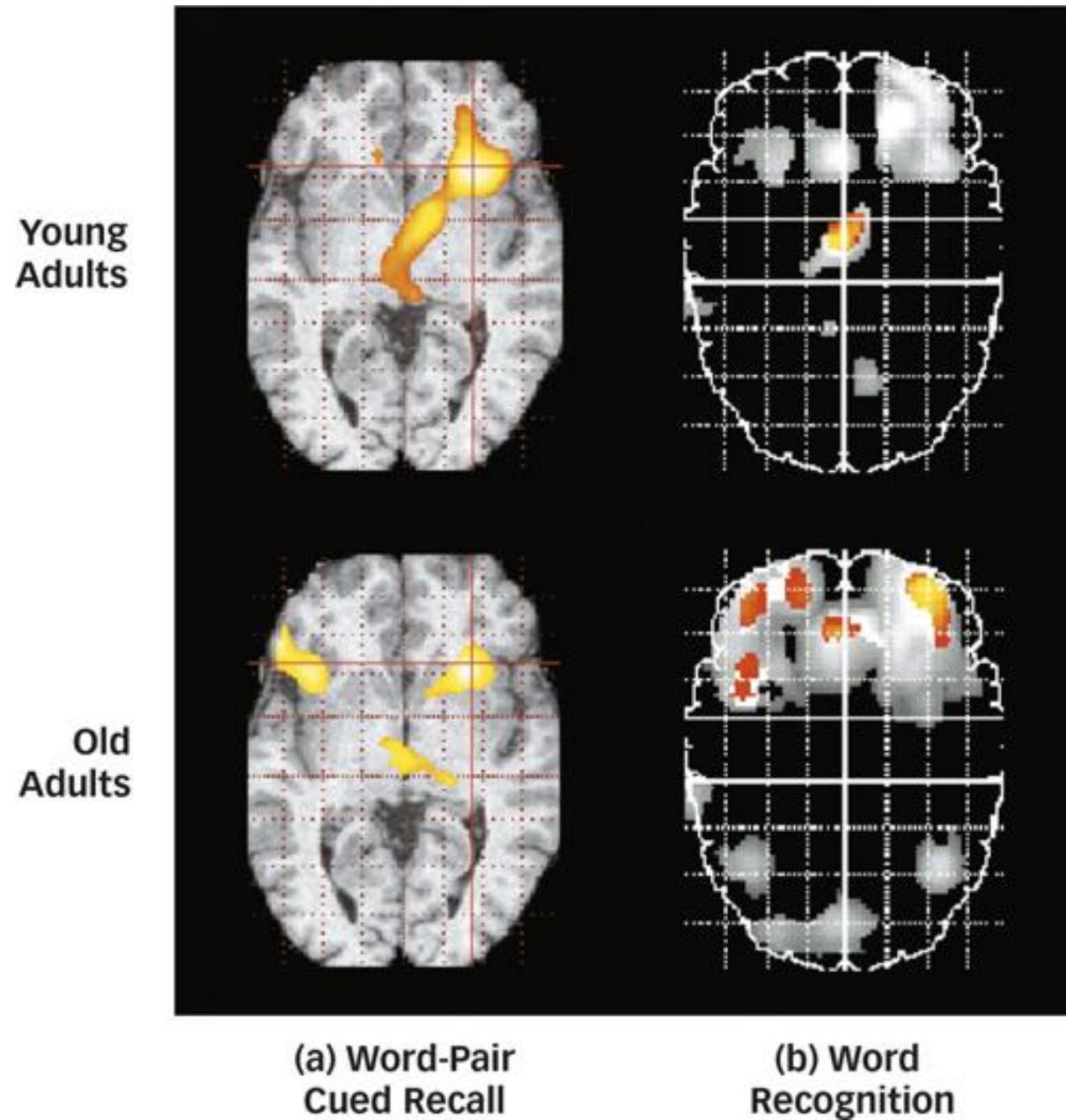
- 신경학적 보완

- 성인기의 신체/인지능력의 퇴화, 그리고 상쇄(보완)
 - 나이 든 체스 선수는 공간기억이 감소하지만 체스판을 효율적으로 탐색
 - 나이 든 타이피스트는 반응이 느려지지만 단어를 더 잘 예상
- 노화에 따라 신경학적 재구조화 발생

그림 10.13 인지 수행의 연령차 이 표는 작업 기억, 단기 기억, 장기 기억과 다른 인지적 능력의 검사 수행에서 최고점을 보이는 연령을 나타낸다.

Data from Hartshorne & Germine (2015)





Roberto Cabeza, 1997 Center for Cognitive Neuroscience,
Duke University; Madsen, Gottlob, et al. (1999)

신경가소성과 환경

뇌발달과 환경

- 뇌발달과 행동에 영향 끼치는 요인들
 - 문화, 호르몬, 손상, 비정상적 유전자 등 다양

- 풍부한 환경 → 발달의 향상
 - 루마니아 고아들(1970년대)
 - 공산 정권 해체 후 입양될 때, 생후 6개월 미만인 경우 빠른 회복

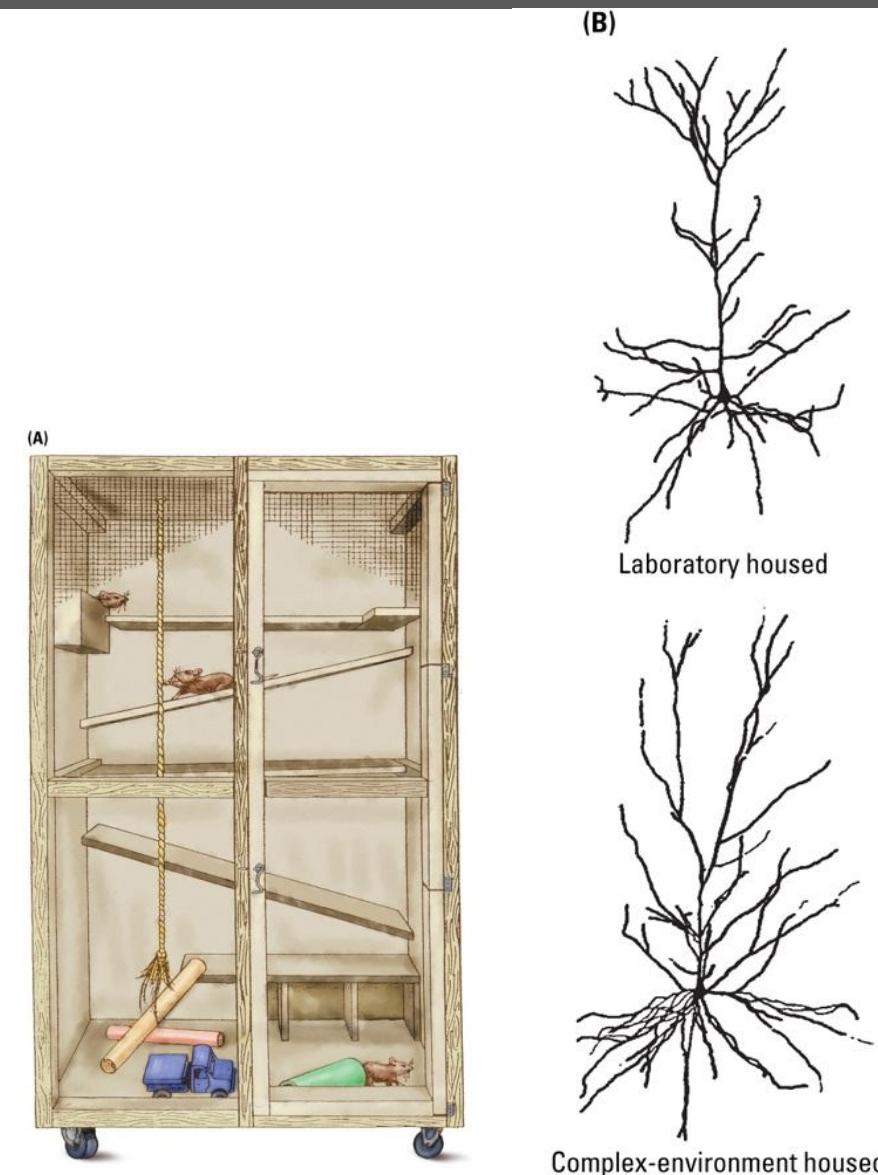


Fig. 14.20

뇌 발달과 환경

- 일반적으로 생애 초기의 손상은 치명적

- But, 예외도 존재

- 생애 첫 2년 내에 손상 입은 아이들 → 동일부위 손상 어른에 비해 심각한 언어장애를 거의 보이지 않음
 - 주의 극적인 기능 회복 - 광범위한 재조직화

- ## • 약물과 뇌발달

- FAS: 태아 알코올 증후군

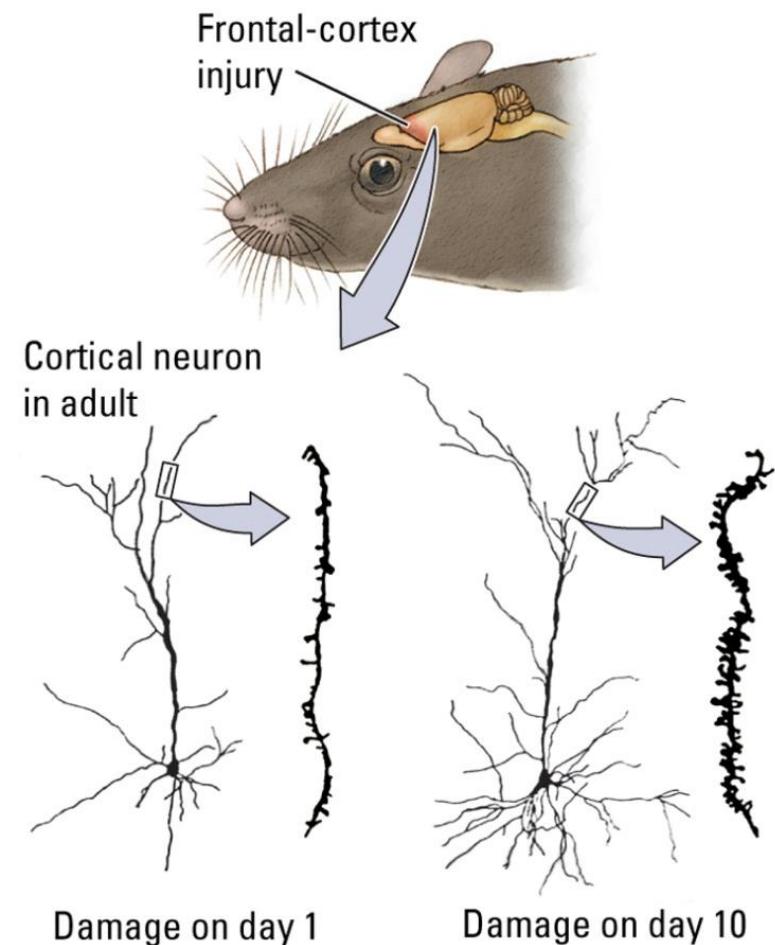
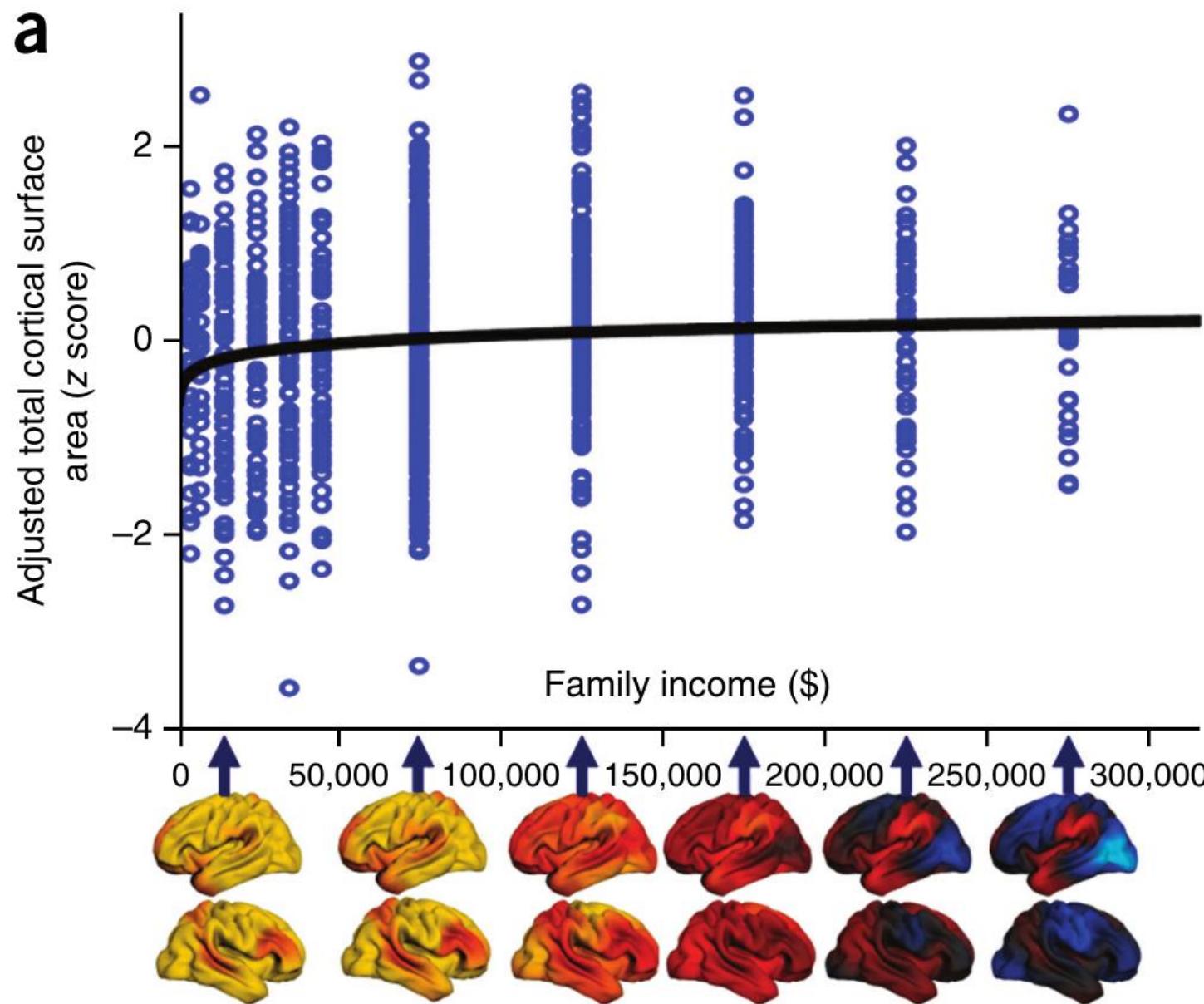
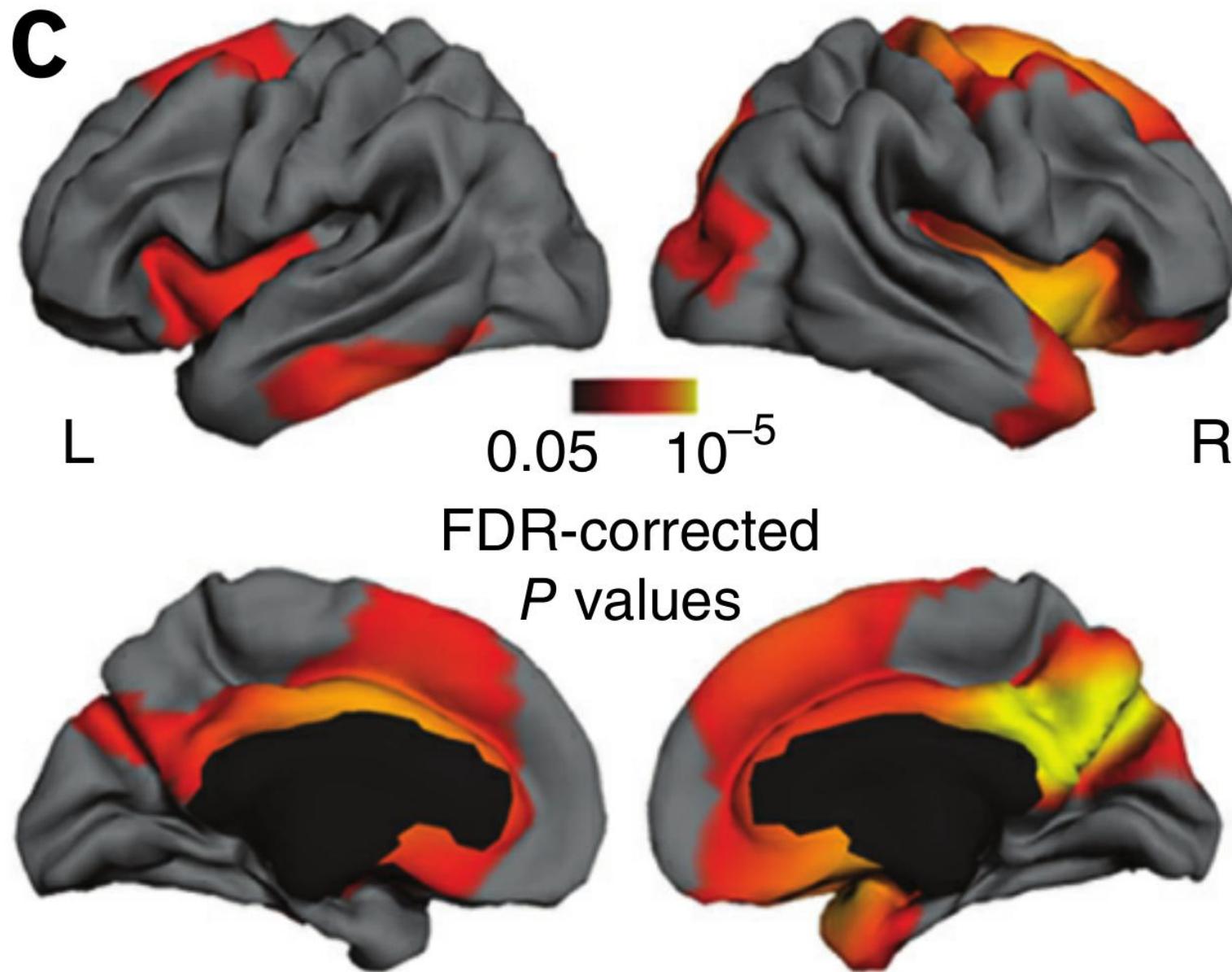
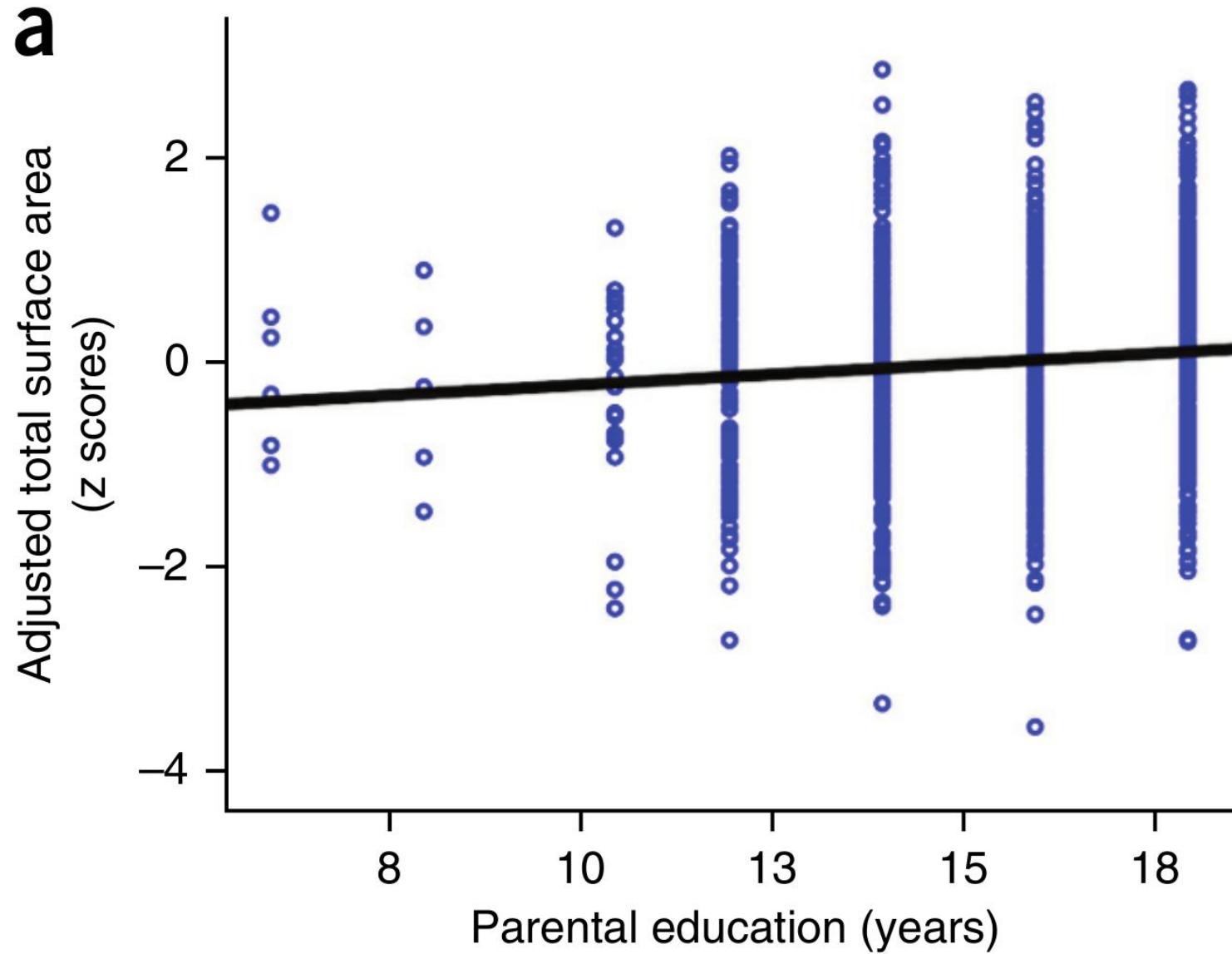


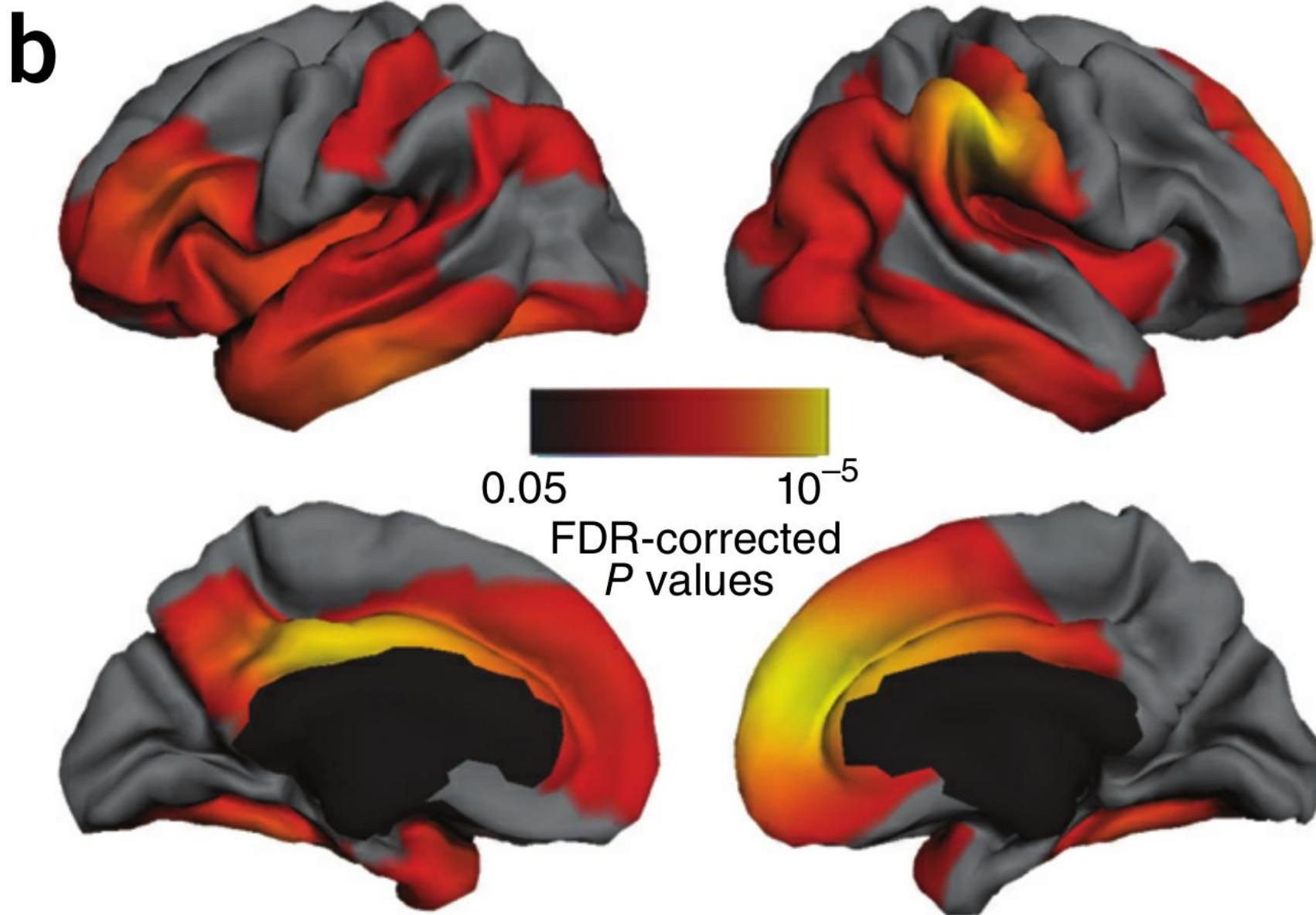
표 8.3 발달장애의 원인

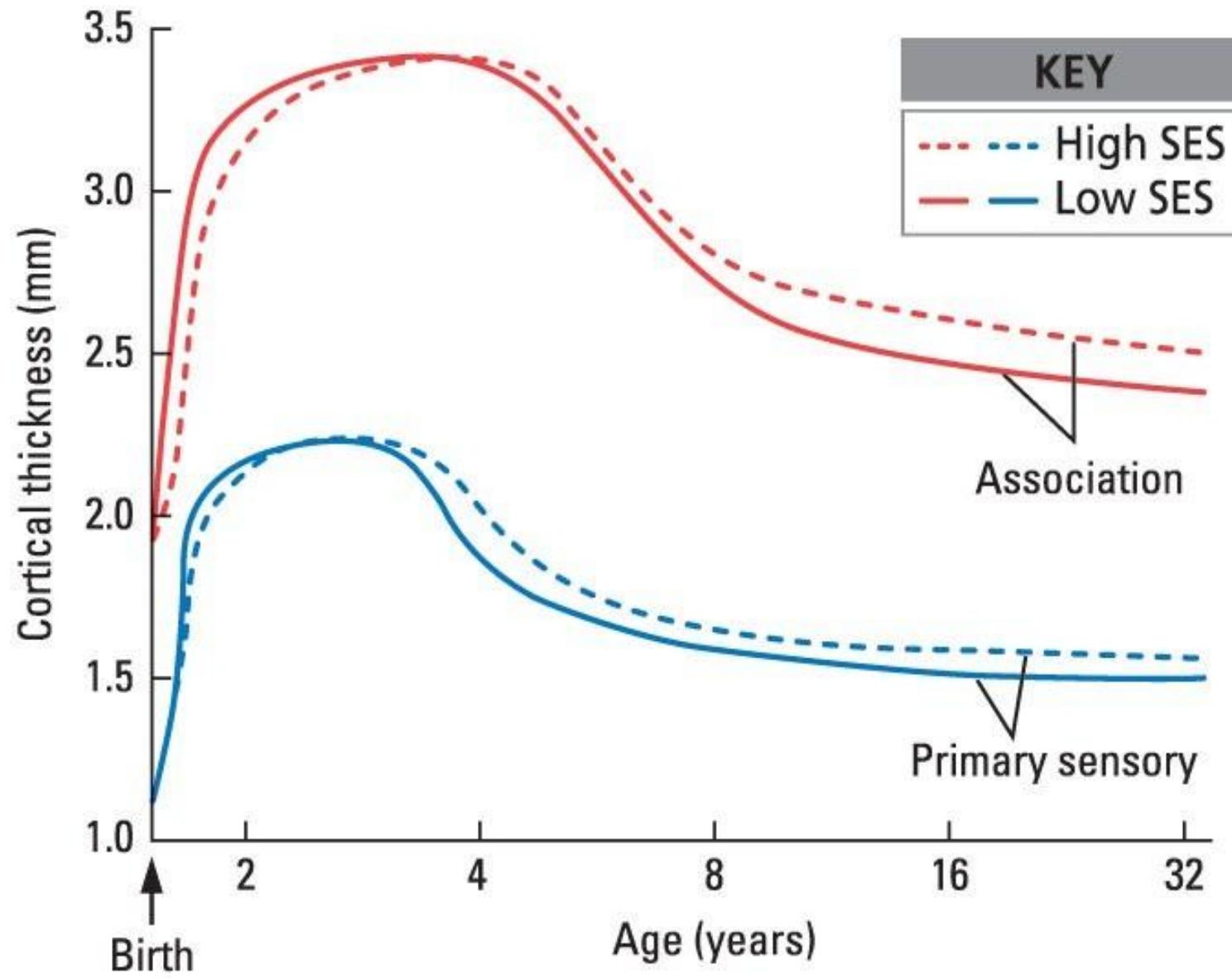
원인	기제의 예	상태의 예
비정상적 배아 발달	독성물질에의 노출	태아알코올스펙트럼장애(FASD)
출생 외상	무산소증(산소 결핍)	뇌성마비
만성 영양결핍	비정상적인 뇌 발달	코시오르코르
약물(예 : 발프로에이트)	신경관 결함	척추피열증 자폐스펙트럼장애(ASD)
비정상적인 환경	감각 결핍	성장 및 발달 결핍
유전적 이상	신진대사 오류	페닐케톤뇨증(PKU) 다운증후군
출생전 질병	감염(예 : 풍진 혹은 독일 홍역)	자폐스펙트럼장애(ASD) 발달 지연





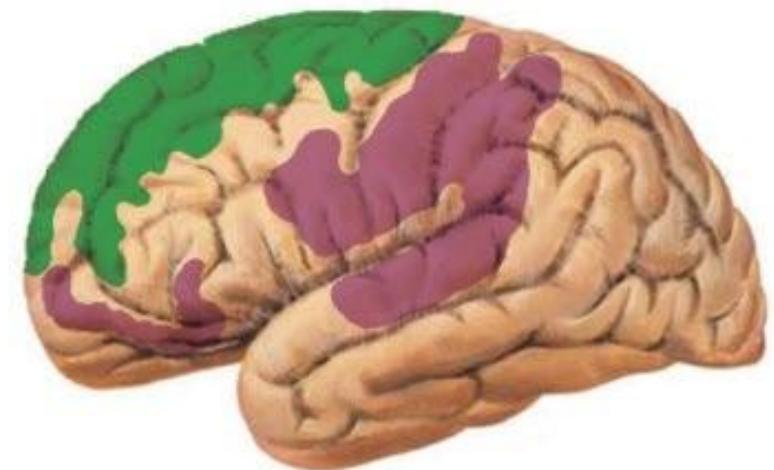






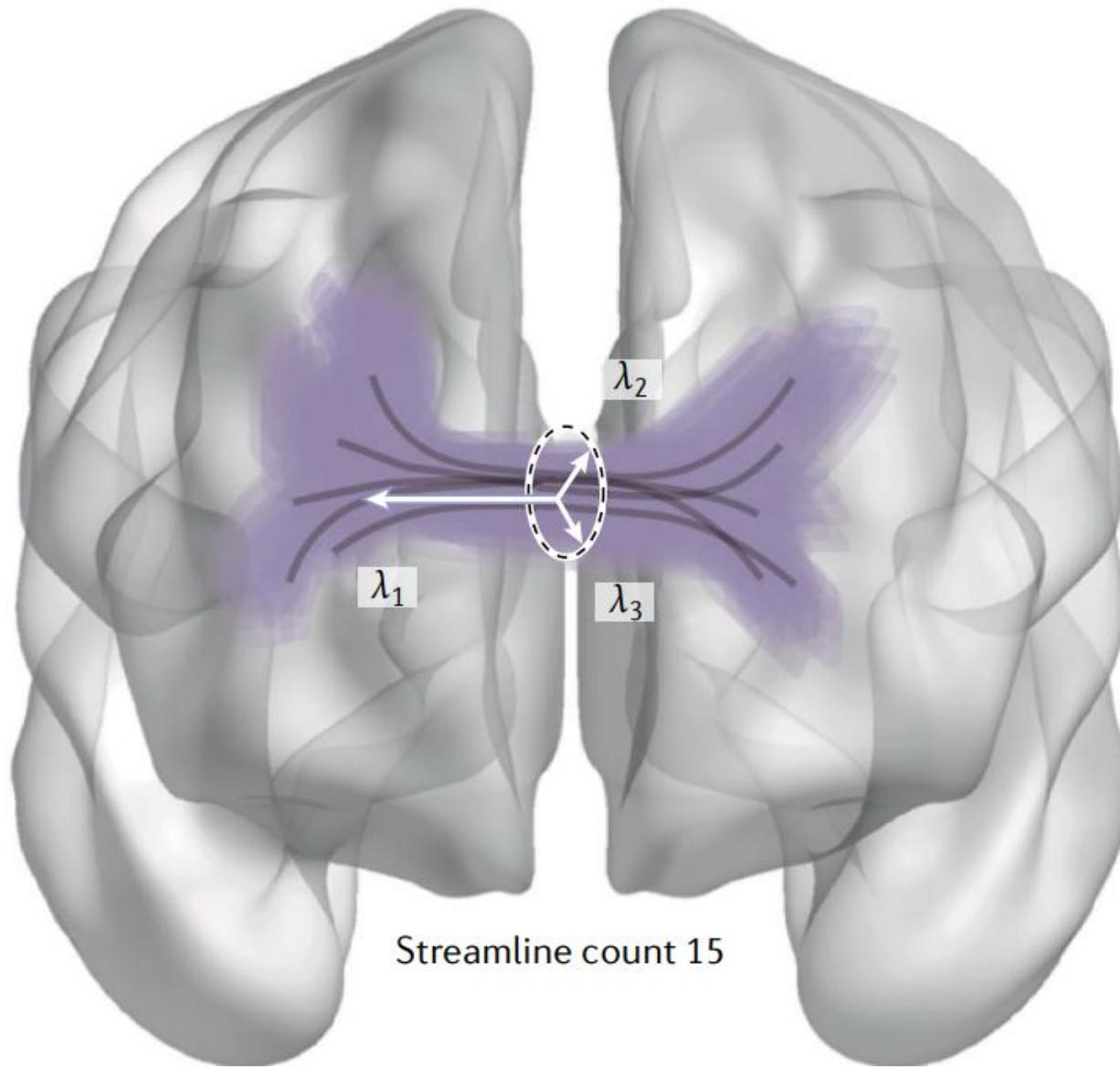
이마엽 연합겉질(초록)
SES낮을수록 빨리 발달

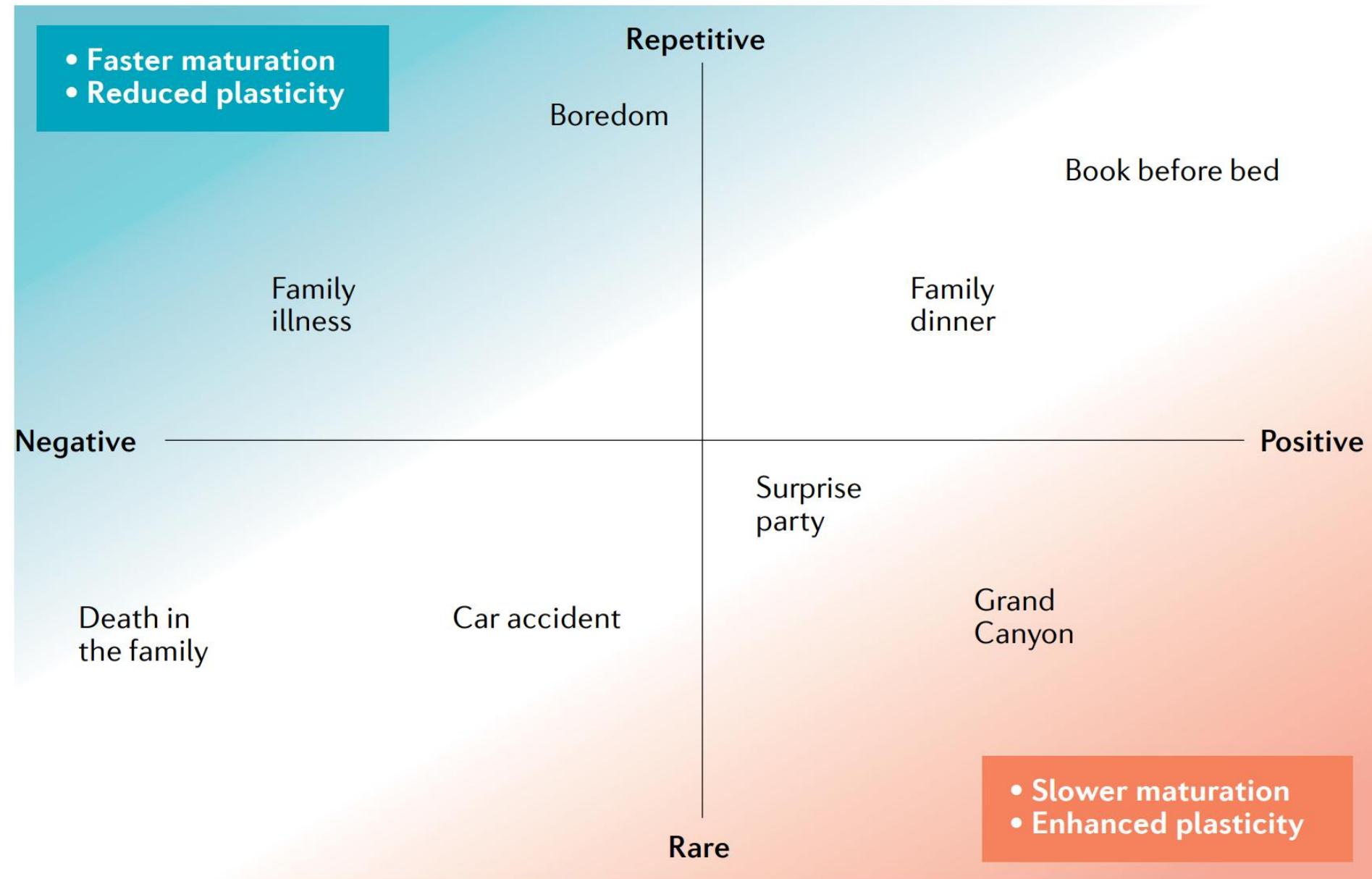
뒤쪽 겉질영역(자주)
SES높을수록 덜 위축



Box 1 | Environmental effects on white matter development

If lower socio-economic status (SES) is associated with accelerated brain maturation, we would expect to see differences in the pace of brain maturation reflected in diffusion-based measures of white matter; however, few studies have examined this topic. Typically, studies examining white matter tend to consider fractional anisotropy (FA): the degree of restricted diffusion in a principal direction (λ_1) compared with orthogonal directions (λ_2 and λ_3 ; see the figure). FA is generally interpreted as a measure of the integrity of a white matter fibre tract. Streamline count is a measure of how many 'fibres'

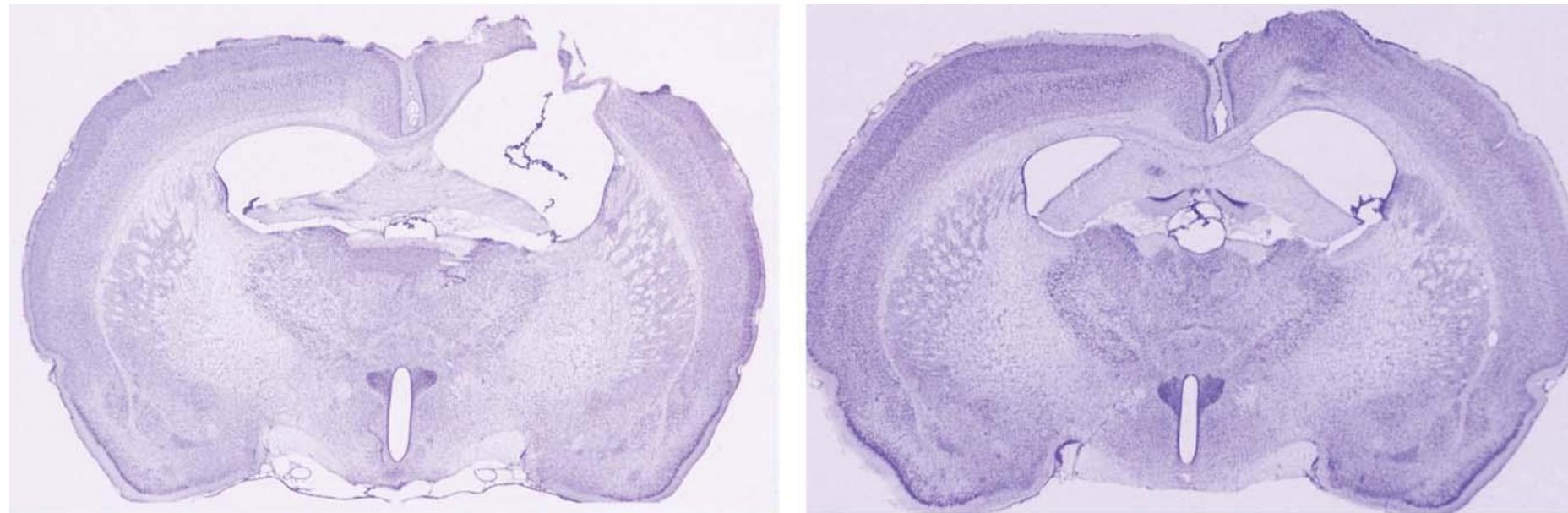




손상된 뇌와 가소성

뇌손상으로부터의 회복

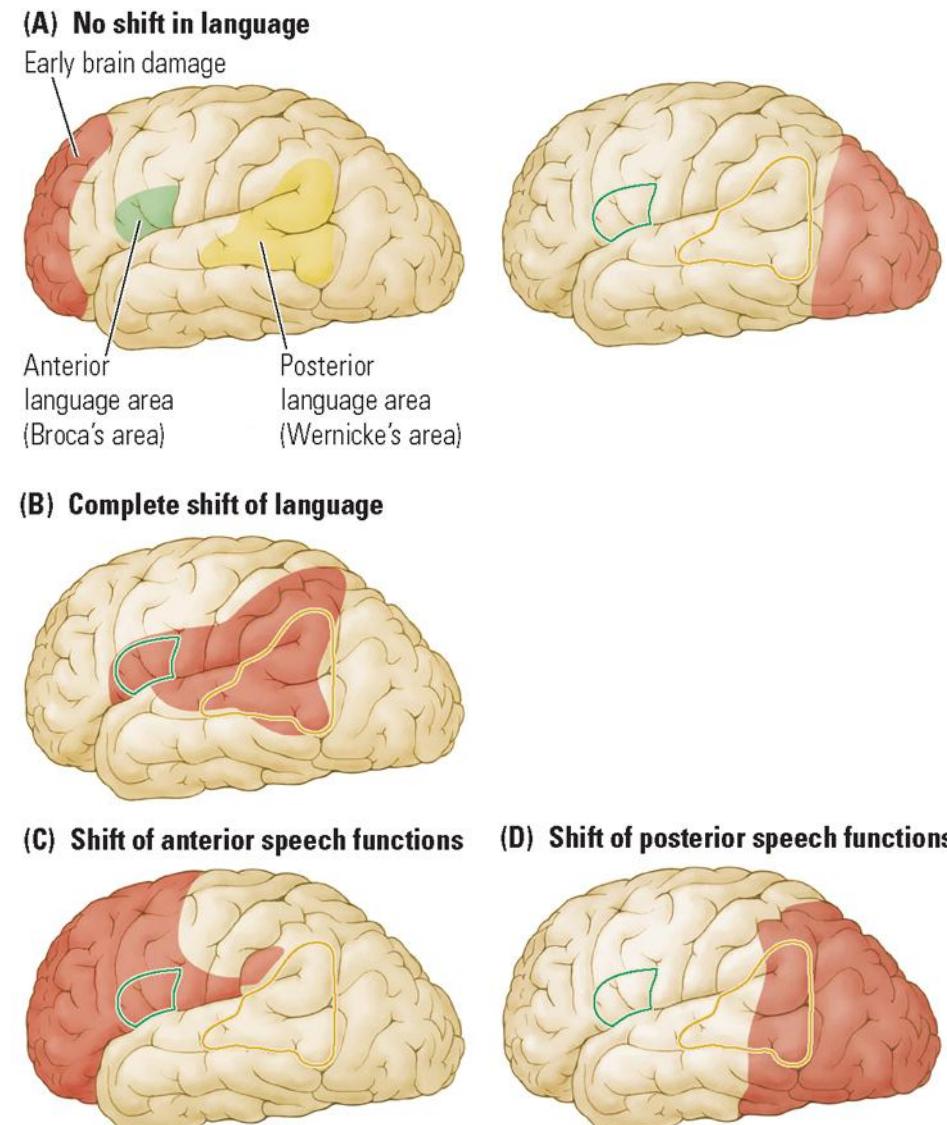
- 문제해결을 위한 새로운 방법 학습
- 적은 것으로 더 많은 것을 하도록 뇌를 재조직화
- 상실된 뉴런을 대체



경험 의존적 가소성

• 언어의 재조직화

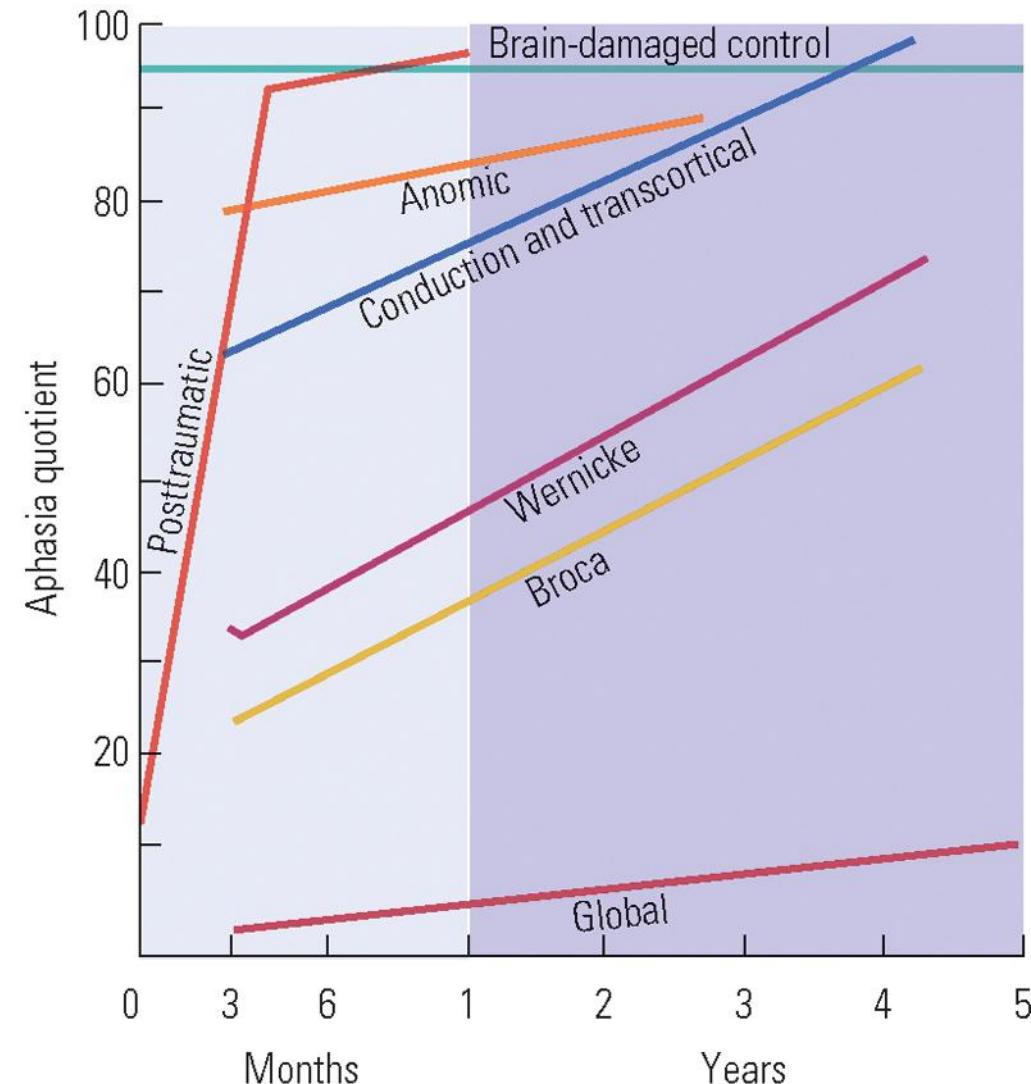
- 기본적으로 언어기능은 좌반구에 편재화
- 전측/후측 언어영역 중 하나 이상에 병변이 발생하면 반대쪽 반구로 재조직화되기도



손상된 뇌의 가소성

- 실어증으로부터의 회복

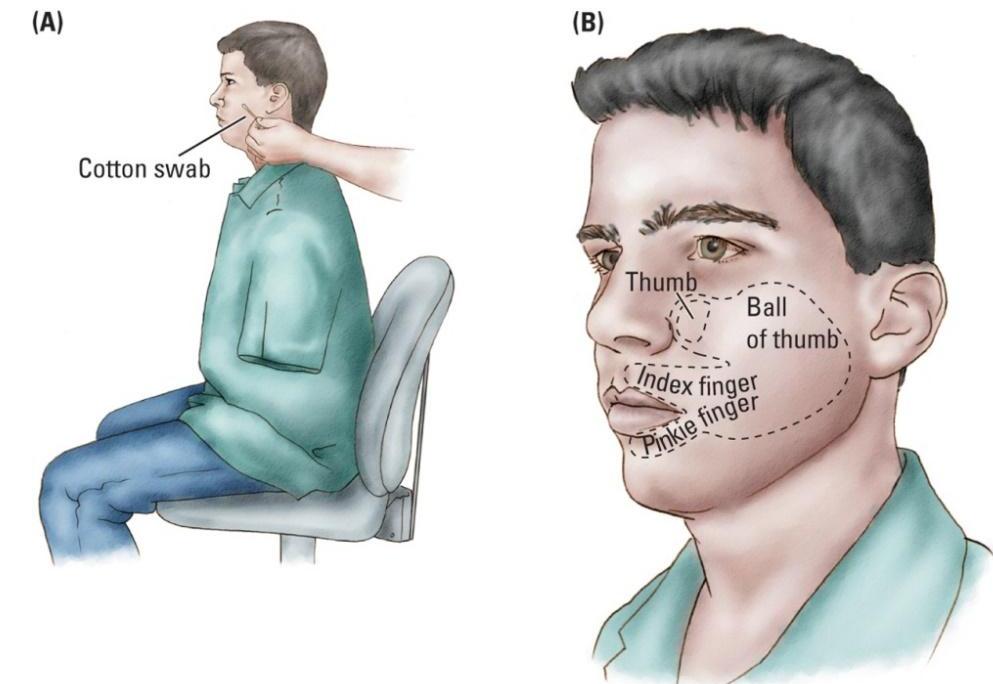
- 외상 환자들의 회복이 빠름
- 첫 3개월 내 회복 속도가 빠름
- 환자가 어릴수록 회복에 유리
- 가소성이 높게 나타나는 언어의 구성 요소들이 있음
- 실어증 종류는 회복 속도에 큰 영향 없음



경험 의존적 가소성

- 인간 뇌의 경험 의존적 변화

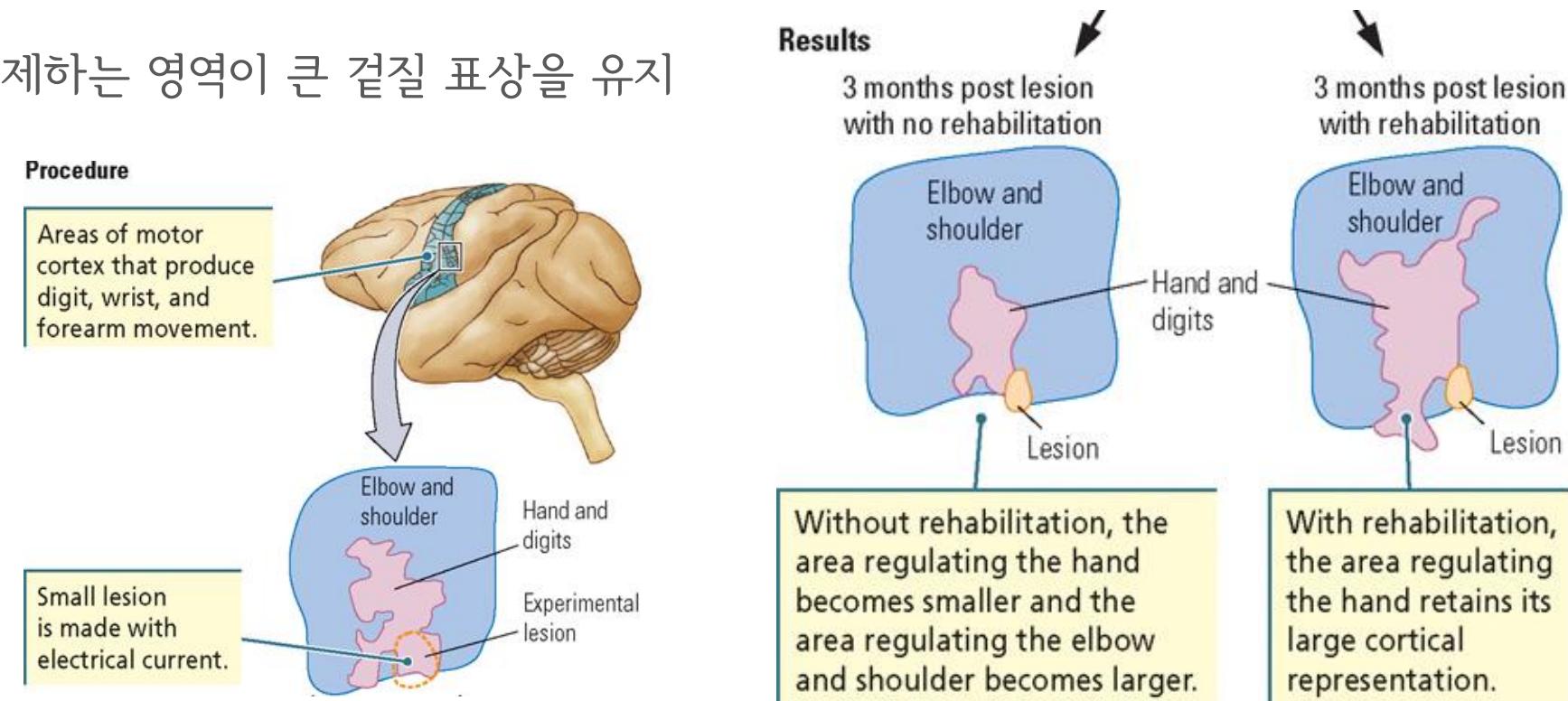
- 사지절단 환자의 대뇌겉질 지도 변화
 - 팔의 감각신경 절단 → 체감각 지도에 대규모 변화 → 기존에 반응하던 자극에 반응이 없어짐 → 새로운 입력에 반응하기 시작



손상된 뇌의 가소성

- 재활의 효과

- 수술로 운동겉질에서 손을 담당하는 영역 일부를 절제한 원숭이
- 재활을 하지 않을 경우 손을 통제하던 영역이 점차 작아짐
- 재활을 할 경우 손을 통제하는 영역이 큰 겉질 표상을 유지



손상된 뇌의 가소성

- 손상 이후 회복에 대한 치료적 접근

- 손상된 팔다리 또는 인지 과정의 반복적인 사용
 - 운동치료 (예: 건측상지제한운동치료)
 - 촉각 자극
 - 인지 재활 (예: 라이프 로그 참고)
 - 기타 행동치료
- 약물 치료: 손상/수술 직후 뇌 가소성을 자극하고 염증 감소
- 전기 자극: 뇌 활동 또는 미주신경 활동 증가
- 뇌 조직 이식과 줄기세포 유도 기법
- 식이요법

Appendix. 뇌 가소성의 기본 규칙

- 모든 신경계는 보편적으로 가소적
- 행동 변화는 뇌 변화를 반영
- 행동 변화가 유사하더라도 각기 다른 가소적 변화와 상관 있을 수 있음
- 가소적 변화는 나이 특이적
- 태아기 사건이 일생의 뇌 가소성에 영향
- 가소적 변화는 뇌 영역에 따라 차이
- 경험 의존적 변화들은 상호작용
- 가소적 사건이 항상 긍정적인 것은 아님