

# 인간의 사랑과 성 - 사랑 호르몬

2018년 9월 7일

연세대학교 의료법윤리학연구원 인간학 세미나  
번역가 권예리



뇌과학, 신경과학, 사회심리학을 아우르는  
인간관계와 성, 사랑에 대한 깊이 있는 탐구

케미스토리

“Provocative and entertaining. Popular science writing at its best!”  
—DAN RODRICKS, *Baltimore Sun* columnist

# THE CHEMISTRY BETWEEN US



## Love, Sex, and the Science of Attraction

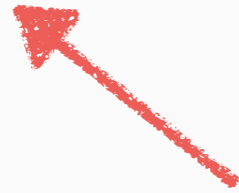
Larry Young, PhD, and Brian Alexander

# 사회신경과학

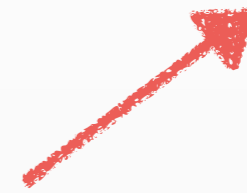
## Social Neuroscience

- 타인과의 관계 속에서의 인간 행동을 신경과학적 방법론으로 탐구하는 학문
- 사회학, 사회심리학에 신경과학을 접목함

감정



뇌 속의 화학물질이  
신경회로에 작용한다



행동

# 성과 사랑을 관장하는 것

- 뇌의 변연계 limbic system
- 화학물질 = 호르몬과 신경전달물질
  - 호르몬: 테스토스테론, 에스트로겐, 옥시토신, 바소프레신
  - 신경전달물질: 도파민
- 신경회로 = 뉴런의 개수와 연결 구조

“호르몬과 신경전달물질이  
신경회로에 작용하여 구조를 변화시켜서  
결국 뇌 구조가 달라진다.”

# 1. 테스토스테론

1) 무엇이 개체의 성을 결정하는가? 생식기? 호르몬? 양육 환경? 염색체

- 도미니카 공화국에서 여자아이들이 사춘기에 남자로 변하는 현상

(Imperato-McGinley, 1974)

: 테스토스테론을 더 강력한 남성호르몬인 DHT(다이하이드로테스토스테론)으로 바꾸는 5-alpha-reductase의 결핍으로 원래부터 남자인데 잠복고환증이였다.

- 존 머니의 성 정체성 실험: 쌍둥이 존/조앤 사례 (Money, 1975)

: 머니는 성 정체성이 온전히 후천적으로 결정된다고 믿었다.

# 1. 테스토스테론

## 2) 조직 가설 organizational hypothesis

“태내 호르몬이 뇌에 작용하여 신경회로를 조직하고 결정한다.”

“태내 발달 중에는 암컷이 기본 형태다. 인간의 경우 임신 8주 무렵에 고환 세포가 콜레스테롤을 테스토스테론으로 바꾸기 시작한다. 이때 일반적인 (46, XY) 태아에서는 정소가 형성되고 정소에서 테스토스테론이 더 많이 분비된다. (...) 안드로겐은 남성 생식기 형성을 촉발한다. 테스토스테론은 보통 DHT, 에스트로겐 등 다른 호르몬의 형태로 뇌에 작용하여 남성 특유의 신경회로들을 생성하고 뇌의 화학적 성질을 영구적으로 바꿔놓는다. 나중에 사춘기를 맞아 안드로겐이 다량 분비되면 이 신경회로들이 활성화되어 남자답게 행동하기 시작한다.”

# 1. 테스토스테론

## 2) 조직 가설 organizational hypothesis (계속)

- 소의 암수 쌍둥이 중 암컷(프리마틴)은 태어날 때부터 불임인 현상 (Lillie, 1917)
- 기니피그 출생 전 테스토스테론 투여 실험 (Phoenix, 1959)
- 랫의 시상하부에서 성별에 따라 크기가 달라지는 성이형핵(sexually dimorphous nucleus) 발견 (Gorski, 1978)
- 인간의 시상하부에서 성별에 따라 크기가 달라지는 성이형핵(sexually dimorphous nucleus) 발견 (Swaab, 1985)
- 붉은털원숭이 실험 (Goy)

=> 발달 과정에서 안드로겐에 영향을 받는 구간이 두 개 있다. 임신 초기에 안드로겐을 투여하면 수컷의 성기가 형성된다. 임신 후기에 안드로겐을 투여하면 수컷의 특징이 강조되고 암컷의 특징이 줄어들거나 없어지는 방향으로 뇌 구조가 변화한다.

## 2. 에스트로겐

1) 배란기 또는 발정기에 에스트로겐 분비가 늘어나면 성욕 회로가 자극되어 구애 행동이 유발된다.

- 여성 피험자와 쌍둥이 형제 실험

2) 성욕을 완전히 없애는 유일한 방법은 에스트로겐 제거하기

- 암고양이 실험

=> 교미 행동의 유일한 변수는 에스트로겐이다.

## 2. 에스트로겐

3) 에스트로겐을 뇌에 직접 투여하면 발정기에 흔히 나타나는 신체 변화 없이 성욕만 증가한다.

- 난소를 적출한 암고양이의 뇌에 에스트로겐 분비 장치를 삽입한 실험  
=> 태아 시절에 형성된 뇌의 성욕 회로에 에스트로겐이 작용한 것.

- 에스트로겐이 뇌의 수용체에 결합하면 프로그스테론 수용체가 더 많이 생성되어 프로그스테론에 민감해진다.

4) 불안함과 스트레스 반응을 줄여서 충동적이고 위험한 행동에 대한 저항감이 줄어든다.

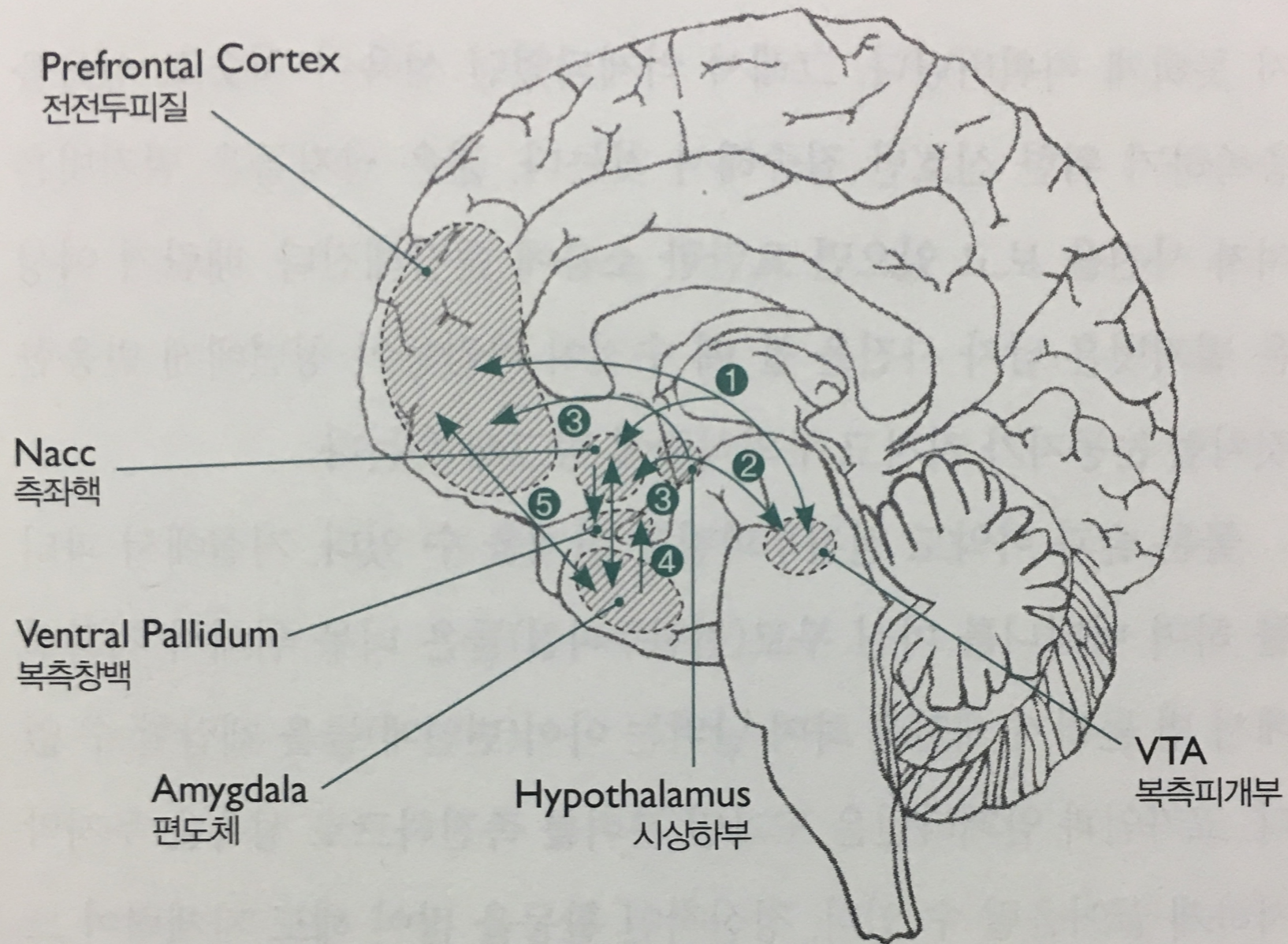
- 성적 충동

- 셋집을 고를 때에도 fMRI 영상에서 뇌의 같은 영역이 활성화됨

- 쇼핑 등 다른 측면에서도 자제력이 줄어듦

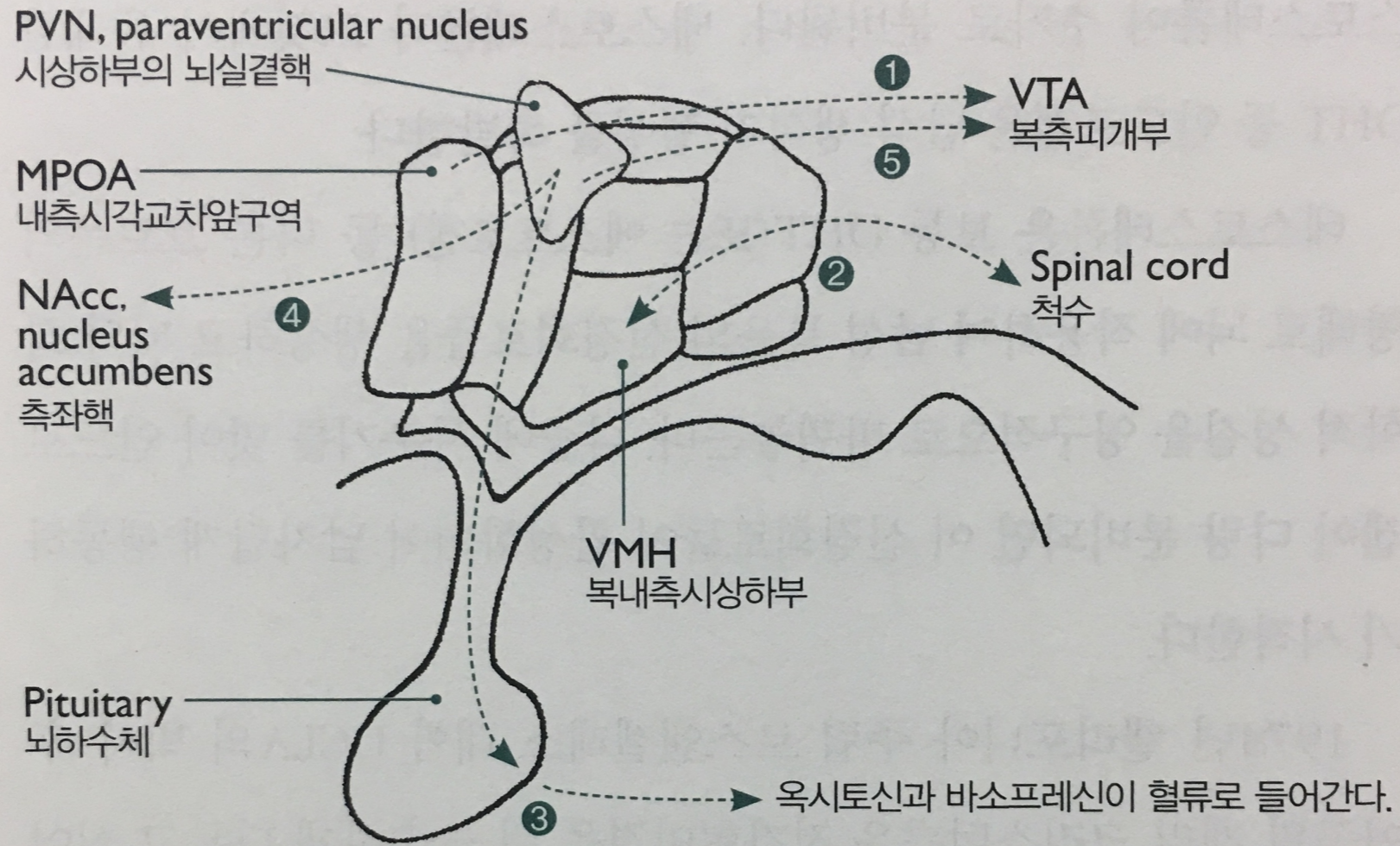
\*에스트로겐 관련 사실들은 테스토스테론에도 적용된다.

- 사춘기 때부터 성욕 회로가 자극된다. 여성과 달리 주기성 없이 거의 항상.
- 거세한 수탉의 뇌에 테스토스테론 분비 장치를 삽입한 실험
- 혈중 테스토스테론 양이 늘어나면 충동적이고 위험한 행동에 대한 저항감이 줄어든다.
- 여성의 배란기를 감지한 남성의 테스토스테론 분비가 증가한다
- 성적 자극의 쌍방향성, 남녀 사이의 호감



**그림 2** 성, 사랑, 끌림과 관련된 뉴런의 연결 양상

① 도파민은 보상체계를 활성화시킨다. ② 옥시토신은 (산모의) 도파민 분비를 촉진한다. ③ 옥시토신이 보상체계로 분비된다. ④ 편도체에서 분비한 바소프레신은 보상체계를 자극한다. ⑤ 전전두피질은 피질 아래쪽에 있는 기관에서 발생하는 욕구들을 저지한다. 본문에서 각각의 회로를 성, 사랑, 불륜과 관련지어 설명할 것이다.



**그림 1** 시상하부(그림 왼쪽이 정면)

- ① 내측시각교차앞구역은 복측피개부를 자극하여 도파민을 보상 중추 쪽으로 분비하게 한다.
- ② 수컷의 구애로 발생한 감각 정보가 로도시스를 촉진하는 복내측시상하부의 활성을 조절한다.
- ③ 시상하부의 뇌실결핵에서 생성된 옥시토신과 바소프레신이 뇌하수체에서 분비되고,
- ④ 측좌핵 등의 보상체계로 전달되어 화학결합을 촉진한다.
- ⑤ 시상하부의 뇌실결핵에 있는 옥시토신 뉴런도 복측피개부와 연결되어 도파민 분비를 조절한다.

# 3. 도파민

1) 하고 싶은 것(욕구) vs 해야 하는 것(이성)

-변연계 vs 전전두피질

-MPOA(medial preoptic area): 체온 조절, 혈류 유도, 호르몬 분비 조절, 욕구를 채워주는 신호를 포착하는 기능

뇌의 보상체계

- 복측피개부VTA(ventral tegmental area), 내측전뇌다발, 중격, 시상하부, 편도체 등 서로 연결된 영역들의 집합

- 랫의 뇌에 전극을 꽂아 전기 자극을 준 실험 (Olds, 1954)

- 인간의 뇌에 전극을 꽂았을 때에도 비슷한 결과를 얻음 (Heath, 1961, 1972(?))

# 3. 도파민

## 2) 욕구 보상

- 욕구를 완전히 채우지 못하지만 욕구를 연상시키는 행동을 하면 보상 체계가 작동한다.
- 스테로이드 호르몬이 멜라닌세포자극호르몬을 분비시킨다. 이는 도파민을 분비시켜 MPOA로 보낸다. MPOA는 VTA에 신호를 보내 측좌핵 NAcc 등 변연계 전체를 활성화시킨다. 편도체amygdala에서 생성된 glutamate는 시상하부의 도파민성 뉴런을 자극해 도파민을 더 많이 분비시킨다. 도파민이 여러 종류의 도파민 수용체 중에서 D1 수용체(단기 욕망 수용체)에 결합하면 신호에 민감해지는 각성 상태가 된다. 오피오이드도 소량 분비되어 기분이 좋아진다.

# 3. 도파민

## 3) 완료 보상

- 욕구를 완전히 채워서 사라지게 하는 '완료 행동'으로 얻는 보상. 욕구 보상보다 훨씬 강력하다.
- 도파민, 옥시토신이 급증하고 내인성 카나비노이드가 분비되어 졸음이 유발된다. 세로토닌성 뉴런에서 세로토닌이 많이 분비되어 마음이 진정되고 포만감과 만족을 느낀다. 그러다가 엔돌핀 등 아편성 물질이 다량으로 변연계와 시상하부로 밀려든다. 기분이 좋아지고, 동시에 전전두피질로 가는 도파민을 차단하여 뇌의 의사결정 기능을 되살린다.

# 4. 옥시토신

## 1) 마리아 마셜의 사례

- 낯선 환경을 무서워하고 불안해하고 당황한다. 분노를 통제하지 못한다. 스트레스에 민감하다.
- 공감 능력의 부재: 타인의 감정을 포착하지 못하고 해석하지 못한다
- 농담을 이해하지 못한다

## 2) 엄마와 아기 사이에 형성되는 유대

- 인간이 경험하는 최초의 사랑이자 가장 근본적인 사랑
- 인간관계와 사회생활의 바탕

# 4. 옥시토신

## 3) 모성 회로

- 임신 이후 호르몬의 변화
- 프로그스테론, 에스트로겐, 프로락틴, 옥시토신, 락토겐이 신체 변화와 뇌(특히 MPOA)의 변화를 유발한다. 뇌의 모성 회로를 활성화한다.
- 양이 자기 새끼를 알아보는 법: 체취
- 엄마가 아기와 살을 맞대고 보살필 때 보상체계가 작동한다. 엄마는 아기에 대한 정보를 토대로 애착을 형성하고, 아기도 엄마에 대한 정보를 모으고 주변 환경에서 무엇을 기대해도 되는지 가능한다. 이를 바탕으로 어머니나 돌봐주는 사람과 유대를 형성하거나 형성하지 않는다.

# 4. 옥시토신

## 3) 모성 회로

- 랫이 새끼를 돌보는 방식의 개체 차이가 모계로 유전되는 현상  
(Champagne, 2001): 편도체에 옥시토신 수용체가 많을수록 새끼를 자주 핥고 품어주었다. 그렇게 기른 새끼 또한 옥시토신 수용체가 많았다.

=> 새끼가 태어난 직후에 받는 보살핌의 양상에 따라 에스트로겐 수용체를 합성하는 유전자의 methylation 정도가 달라진다(epigenetics). 에스트로겐 수용체가 많으면 옥시토신 수용체도 많다. 그리고 새끼를 핥을 때, 심지어 핥기 전부터 어미 쥐의 뇌에 도파민이 급증한다. 핥아주고 싶은 욕구 때문에 보상체계가 작동하는 것입니다.

# 4. 옥시토신

## 4) 초원들쥐(prairie vole)의 일부일처 습성

- prairie vole과 meadow vole은 거의 똑같이 생겼고 유전자도 거의 같은데, 행동과 사회 구조가 매우 다르다.
- prairie vole 암컷에 옥시토신을 투여했더니 짝짓기 없이도 유대감이 형성되었다.
- prairie vole은 옥시토신 수용체가 측좌핵, 전전두피질에 많이 분포한다.
- prairie vole 암컷의 사랑이 시작되려면 옥시토신, 도파민, 오피오이드가 모두 필요하다. 옥시토신은 수컷이 다가오기 쉽게 만든다. 오피오이드가 수용체에 작용하면 '좋다'는 감각이 생긴다. 도파민은 자극(특정 수컷)과 보상을 연결 짓고 그것을 뇌에 새김으로써 정확히 무엇이 좋다는 반응을 유발하는지 뇌에 똑똑히 알려준다.

# 4. 옥시토신

\*\*\* “생쥐, 쥐(rat), prairie vole, 인간은 모두 옥시토신, 도파민, 오피오이드가 분비된다. 하지만 도파민과 오피오이드가 급증한 암쥐와 prairie vole 암컷의 행동에는 큰 차이가 있다. 암쥐는 짝짓기의 황홀감을 사내다운 숫쥐가 풍기는 냄새와 결부시킨다. 숫쥐는 그것을 발정기 암컷의 냄새와 결부시킨다. 쥐는 냄새의 출처가 되는 개별 상대에 신경 쓰지 않는다. 비슷한 냄새가 나면 누구든 괜찮다. 그런데 prairie vole은 보상체계에 유난히 많이 있는 옥시토신 수용체가 활성화된다. 래리 영과 그의 동료들이 발견했듯이 옥시토신은 모성 행동만 유발하는 물질도 아니고, 암수가 서로 다가가기 쉽게 해주는 물질인 것만도 아니다. 옥시토신은 유대 형성과 일부일처 습성을 가능하게 하는 사회적 기억에 아주 중요한 물질이다.” (p188)

# 4. 옥시토신

- prairie vole의 일부일처 습성의 두 가지 조건
  - 쾌락을 안겨주는 보상
  - 보상이 발생한 순간 곁에 있던 개체와의 강렬하고 감정적으로 중요한 기억

# 4. 옥시토신

5) 인간을 대상으로 옥시토신 비강 투여 실험 (1996, 2002)

- 긍정적인 사회적 소통 증가
- 사회적 신호와 타인의 감정 인지 능력 향상, 공감 능력 강화
- 사람마다 뇌의 옥시토신 수용체 분포와 신경회로가 다르므로 유발된 효과가 균일하지 않았다.

# 5. 바소프레신

1) 의료용 거머리에 청자고둥이 먹이를 사냥할 때 사용하는 독(신경독소)을 투여한 실험 (French)

아네토신 Annetocin

**Cys-Phe-Val-Arg-Asn-Cys-Pro-Thr-Gly**

코노프레신 Connopressin

**Cys-Phe/Ile-Ile-Arg-Asn-Cys-Pro-Lys/Arg-Gly**

인간 옥시토신 Oxytocin

**Cys-Tyr-Ile-Gln-Asn-Cys-Pro-Leu-Gly**

인간 바소프레신 Vasopressin

**Cys-Tyr-Phe-Gln-Asn-Cys-Pro-Arg-Gly**

# 5. 바소프레신

인간 옥시토신 Oxytocin

Cys-Tyr-Ile-Gln-Asn-Cys-Pro-Leu-Gly

인간 바소프레신 Vasopressin

Cys-Tyr-Phe-Gln-Asn-Cys-Pro-Arg-Gly

# 5. 바소프레신

2) 옥시토신이 암컷에 주는 영향과 비슷하게 수컷에 작용한다.

- 뇌의 바소프레신 합성 뉴런은 테스토스테론의 영향을 받는다.
- 수컷은 편도체에 바소프레신 합성 뉴런이 매우 많다.
- prairie vole 수컷의 바소프레신 분비를 차단하면 짝짓기한 암컷을 선호하지 않았다. 바소프레신 양이 적은 prairie vole 수컷은 사회적 기억력이 나빴다.
- prairie vole과 meadow vole의 바소프레신 수용체 유전자인 avpr1a 유전자는 99% 일치한다. 그런데 avpr1a 유전자의 프로모터의 일부 정크 DNA(microsatellite DNA) 반복 구간에 차이가 발견되었다.

# 5. 바소프레신

- meadow vole에 prairie vole의 avpr1a 유전자를 삽입하자 복측창백에 바소프레신 수용체가 증가했고 일부일처 습성이 생겼다.

(그러나 실험실에서는 성공했지만 야생 환경에서는 모순되는 결과가 나온 적도 있다.)

- 침팬지, 보노보, 인간의 바소프레신 수용체 유전자도 분석했더니 행동과 연관지을 수 있었다.

# 5. 바소프레신

3) 남자가 여자와 유대를 맺는 신경회로는 원래 영역 관련 행동을 조절하기 위해 진화했다. 남자의 영역 욕구는 유대 형성에 중요한 역할을 한다. 남자는 자기 여자나 영역을 침범하면 공격성을 드러낸다.

4) AVPR1A 유전자의 차이는 바소프레신 수용체의 분포와 편도체 활성과 관계가 있고, 사회적 상황에 대한 뇌의 반응에 영향을 미친다.

# 맺음말

- 인간의 성과 사랑에는 생화학적 바탕이 분명히 존재한다.
- 성과 사랑을 과학적으로 연구하는 일은 결국 인간을 이해하는 하나의 방법일 뿐이다.

“인간의 낭만적 사랑도 중요하지만, 이 책의 의미는 낭만에만 머무르지 않고 인간 사회의 본질까지 뻗어나간다. 사회신경과학이 사랑에 관해 말해주는 것들은 우리가 앞으로 어떻게 살아갈지, 어떤 세상에 살게 될 것인지에 적용된다.” (p11 저자 서문)