

# Ljudski feromoni – mit ili realnost?

---

**Glavan, Ana-Marija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:998379>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-22**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Ana-Marija Glavan

# **Ljudski feromoni – mit ili realnost?**

Završni rad

Zagreb, 2024.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Ana-Marija Glavan

**Human pheromones – myth or reality?**

Bachelor thesis

Zagreb, 2024.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu studijskog programa Biologije na Zavodu za animalnu fiziologiju biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Dubravke Hranilović.

---

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Završni rad

## Ljudski feromoni – mit ili realnost?

Ana-Marija Glavan

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Feromoni su molekule koje služe za primarnu komunikaciju između jedinki iste vrste. Ovaj način komunikacije može se pronaći kod velikog broja skupina organizama u živom svijetu. Najčešće se detektiraju uz pomoć vomeronazalnog organa i njegovih receptora, no ponekad aktiviraju i glavni mirisni (olfaktorni) sustav. Iako feromoni pokazuju učinke kod velikog broja sisavaca, postavlja se pitanje djeluju li oni i na ljude. Kako bi se ova pretpostavka istražila, provedenisu brojni eksperimenti kojima su se pokušale pronaći molekule koje pokazuju feromonski učinak na ljude, kao i mehanizam njihove detekcije u ljudskom tijelu. Izolirano je nekoliko vrsta steroidnih molekula kao što su androstenon, androstenol, androsteron, androstadienon, kopulini i estratetraenol, koje su pokazivale učinke na ljudsko ponašanje i hormonalnu aktivnost, ali zbog metodoloških nedostataka u istraživanjima, njihova feromonska aktivnost još nije znanstveno potvrđena. Stoga, ostaje istražiti postoje li zaista ljudski feromoni i na koji način ih način ljudski organizam prepoznaje.

Ključne riječi: signalne molekule, vomeronazalni organ, olfaktorni sustav, androstenon  
(19 stranica, 6 slika, 0 tablica, 70 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: prof. dr. sc. Dubravka Hranilović

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Bachelor thesis

### Human pheromones – myth or reality?

Ana-Marija Glavan

Rooseveltovtrg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Pheromones are molecules that serve as primary means of communication between individuals of the same species. This mode of communication is found across a wide range of organisms in the living world. Pheromones are most commonly detected by the vomeronasal organ and its receptors, though they sometimes also activate the main olfactory system. Although pheromones have been shown to have effects in many mammals, the question remains whether they have similar effects in humans. To investigate this hypothesis, numerous experiments have been conducted to identify molecules that exhibit pheromonal effects in humans, as well as the mechanisms by which they are detected in the human body. Several types of steroid molecules, such as androstenone, androstenol, androsterone, androstadienone, copulins, and estratetraenol, have been isolated and shown to influence human behavior and hormonal activity. However, due to methodological limitations in these studies, their pheromonal activity has not yet been scientifically confirmed. Thus, further research is needed to determine whether human pheromones truly exist and how they are recognized by the human body.

Keywords: signal molecules, vomeronasal organ, olfactory system, androstenone  
(19 pages, 6 figures, 0 tables, 70 references, original in: croatian)  
Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: prof. Dubravka Hranilović, Ph.D.

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. FEROMONI</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Što su feromoni?</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2. Detekcija feromona</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2.1. Vomeronazalni organ</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2.2. Glavni mirisni (olfaktorni) sustav</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3. Uloge feromona u živom svijetu</b> .....	<b>7</b>
<b>3. LJUDSKI FEROMONI</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1. Potencijalni ljudski feromoni i njihove uloge</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1.1. 5-<math>\alpha</math>-Androstenon</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1.2. 3-<math>\beta</math>-Androstenol</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1.3. Androsteron</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1.4. Androstadienon</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1.5. Kopulini</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1.6. Estratetraenol</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2. Mogući mehanizmi detekcije ljudskih feromona</b> .....	<b>13</b>
<b>3.3. Kontroverze povezane uz postojanje ljudskih feromona</b> .....	<b>14</b>
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>16</b>
<b>5. LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
<b>6. ŽIVOTOPIS</b> .....	<b>19</b>

## 1. UVOD

Tijekom povijesti puno je pažnje posvećeno istraživanju komunikacije pomoću kemijskih signala. Poznato je da se brojni organizmi koriste signalnim molekulama kako bi izazvali reakcije kod drugih jedinki. Te signalne molekule nazivaju se feromoni. Važni su jer djeluju na jedinke iste vrste i kod njih izazivaju promjene u ponašanju ili izraženu hormonalnu aktivnost (Mostafa i sur., 2012.). Još se nazivaju i ektohormoni jer se izlučuju izvan organizma (Semwal i sur., 2013.). Organizmi feromone detektiraju pomoću posebne vrste receptora koji se nazivaju vomeronazalni receptori i specijaliziranog organa, vomeronazalnog organa (Silva i Antunes, 2017.). Feromoni se mogu pronaći u gotovo svim skupinama živih bića, a za ovaj rad posebno je zanimljivo njihovo postojanje unutar razreda sisavaca. Naime, ljudi kao vrsta također spadaju u sisavce pa bi se zbog toga dalo pretpostaviti da imaju feromone (Wyatt, 2015.). No, takvi zaključci ne mogu se donositi bez valjanih rezultata istraživanja koji potvrđuju postojanje takvih molekula. U ovom radu osvrnut ću se na dosadašnja istraživanja i radove koji se bave temom ljudskih feromona i njihovim postojanjem, potencijalnim ulogama i mogućim mehanizmima detekcije, ali i neodgovorenim pitanjima zbog kojih se njihovo postojanje i dalje stavlja pod upitnik.



## 2. FEROMONI

Riječ feromon dolazi od grčkih riječi „pherein“-prenositi i „hormon“-uzbuditi što se na kraju može prevesti kao prijenos uzbuđenja (Mostafa i sur., 2012.). Smatraju se primarnim načinom komunikacije između jedinki iste vrste te također pokreću razne fiziološke događaje važne za opstanak vrste. Prvo spominjanje feromona potječe iz 1930-ih godina kada su entomolozi primijetili promjene u ponašanju mužjaka moljaca. Naime, mužjaci su bili seksualno uzbuđeni, iako ženki nije bilo u blizini. Tada su shvatili da mužjaci moraju primiti određene signale koje ženke ispuštaju. Signali, koje su entomolzi tada nazvali mirisi, 1950-ih godina nazvani su feromoni. Definirani su kao tvari koje izlučuje jedinka, a prepoznaju ih druge jedinke iste vrste kod kojih uzrokuju bihevioralne i fiziološke promjene (Karlson i Luscher 1959.). Te promjene uključuju način prepoznavanja spola i početak razmnožavanja te razne neuroendokrine odgovore koji rezultiraju izlučivanjem hormona i pokretanjem različitih fizioloških procesa. Prvi definirani feromon koji su ispuštale ženke moljaca nazvan je *bombykol*, a utvrđeno je da su mužjaci moljaca pratili koncentracijski gradijent ovog feromona kako bi došli do ženke i započeli parenje (Semwal i sur., 2013.).

### 2.1. Što su feromoni?

Feromoni su signalne molekule koje se izlučuju na površinu tijela i utječu na rad endokrinih žlijezda te potiču razne neuroendokrine odgovore. To su organske molekule koje primarno služe za komunikaciju između jedinki iste vrste (Semwal i sur., 2013.). Najčešće su to proteini, peptidi ili steroidi, a njihova kemijska struktura, veličina i polarnost molekula utječu na hlapljivost i topljivost feromona (Menini, 2009.).

Ove signalne molekule nastaju u posebnim žlijezdama koje se mogu pronaći u koži duž tijela, ali mogu biti skupljene na određenim dijelovima tijela kao što su usni otvor, analni otvor, prepone te bradavice i vaginalni dio tijela ženki i prepucij kod mužjaka. Feromoni koje ove žlijezde proizvode mogu se izlučivati pomoću tjelesnih izlučevina kao što su slina, znoj, urin, izmet te vaginalni sekret i sjemena tekućina ili kao samostalne molekule koje se prenose zrakom. Zbog toga feromoni mogu djelovati na različitim udaljenostima i tako utjecati na točno određene jedinke ili označavati određeni prostor. Oni koji se prenose zrakom namijenjeni su za djelovanje na velikim udaljenostima i najčešće su to signali koji se izlučuju u slučaju opasnosti te spolni feromoni za

privlačenje partnera tijekom sezone parenja. Te molekule su male i hlapljive pa se lako i brzo prenose zrakom na velike udaljenosti. Ostali feromoni prenose se otopljeni u tjelesnim sekretima ili su potpuno netopljivi i izlučuju se na površinu kože otkud se dalje prenose direktnim kontaktom, odnosno na nos jedinke. Zbog svoje nehlapljivosti i u nekim slučajevima, netopljivosti, djelovanje ovih signala je vremenski duže od onih koji se prenose zrakom. Zbog toga često služe za označavanje teritorija ili koridora kojim se kreće populacija (McClintock, 1999.; Menini, 2009.; Wyatt, 2015.).

Iako ih se može naći kod svih jedinki unutar vrste, oni nikako nisu rezervirani za određenu jedinku. To znači da ju nije moguće izdvojiti kao pojedinca s obzirom na feromone koje izlučuje. Feromoni su signali koji su zajednički svim jedinkama unutar vrste i uzrokuju iste ili slične promjene unutar jedinki za koje su namijenjene (Wyatt, 2015.).

## **2.2. Detekcija feromona**

Kemijski osjeti su podražaji osjetilnog sustava koji nastaju kao posljedica akcijskog potencijala uzrokovanog vezanjem kemijskih molekula na kemoreceptore. U kemijske osjete ubrajaju se njušni, okusni i vomeronazalni sustav.

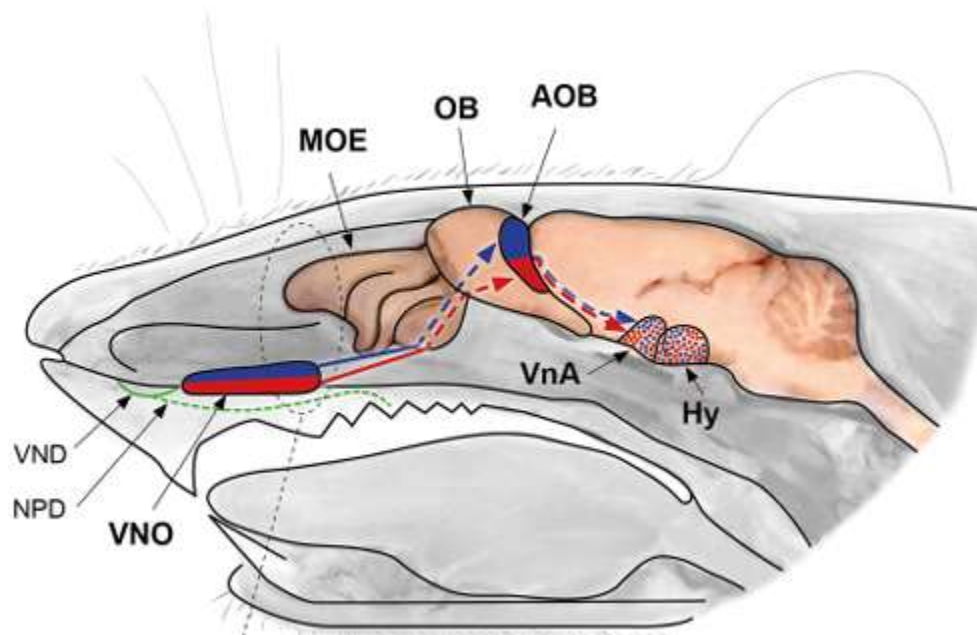
Dugi niz godina smatralo se da je vomeronazalni sustav jedini sustav zaslužan za prepoznavanje feromona. No, zahvaljujući brojnim istraživanjima, otkriveno je da feromoni mogu imati različite mehanizme detekcije koji uključuju i druge organske sustave (Menini, 2009.; Semwal i sur., 2013.).

### **2.2.1. Vomeronazalni sustav**

Vomeronazalni organ (Slika 1.) je specijalizirani organ za prepoznavanje feromona. To je nakupina kemoreceptora koji vežu molekule feromona i stvaraju podražaj koji dovodi do fiziološke ili bihevioralne promjene jedinke. U većine životinja nalazi se u prednjem dijelu nosnog septuma, blizu nosnih otvora. Njegov položaj vrlo je važan jer neke molekule feromona zbog svoje veličine i nehlapljivosti teško prolaze kroz nosnu šupljinu. Stoga, detekcija tih feromona bila bi teška ili nemoguća kada bi se nalazio u stražnjem dijelu nosne šupljine gdje se nalazi mirisni epitel (McClintock, 1999.).

Vomeronazalni sustav, osim vomeronazalnog organa, čine vomeronazalni receptori. Poznate su dvije velike skupine ovih receptora, a to su vomeronazalni receptor tip-1 (V1R) i vomeronazalni

receptor tip-2 (V2R) (Silva i Antunes, 2017.). Pripadaju porodici receptora na koje su vezani G-proteini. Nazivaju se i transmembranski receptori jer su građeni od 7 transmembranskih uzvojnica. Podražaj nastaje vezanjem liganda na mjesto na uzvojnici. Dolazi do stvaranja akcijskog potencijala koji se prenosi do stanica senzoričkog epitela i aktivira mehanizam koji rezultira staničnim odgovorom. Navedene dvije skupine receptora, prikazane na Slici 2., razlikuju se na strukturoj genskoj razini. V1R imaju kratku N-terminalnu izvanstaničnu domenu i kodiraju ih geni sa jednim egzonom, dok V2R imaju dugu N-terminalnu izvanstaničnu domenu na koju mogu biti vezane H2-Mv (eng. *Histocompatibilty 2-malformed vertebrae*) molekule koje djeluju kao katalizatori za vezanje peptida na glavni kompleks histokompatibilnosti (eng. *Major Histocompatibility Complex*, MHC). MHC je kompleks gena koji u viših kralježnjaka kodira za proteine važne u imunološkom prepoznavanju i odgovoru na strana tijela (Menini, 2009.; Silva i Antunes, 2017.).



Slika 1. Prikaz smještaja vomeronazalnog organa (VNO), olfaktornog reznja (OB), pomoćnog olfaktornog reznja (AOB) i glavnog olfaktornog epitela (MOE) u lubanji glodavca (Tirandelli, 2020.).

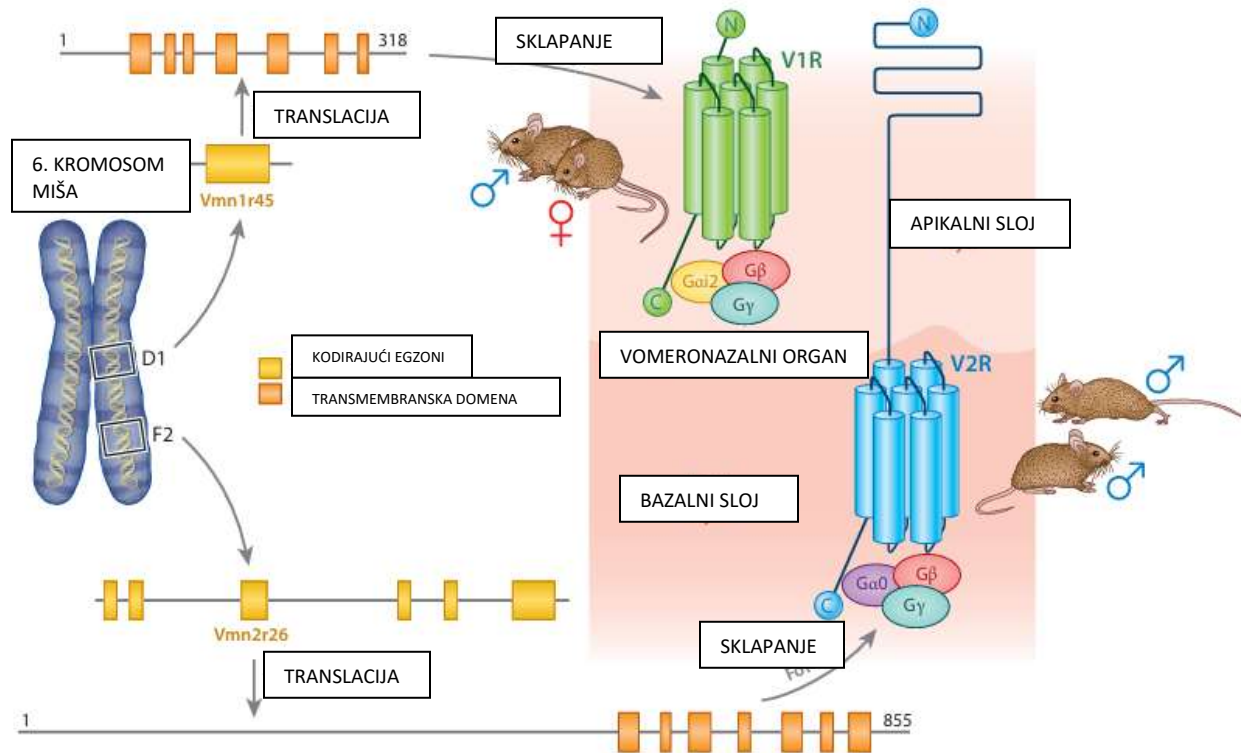
S obzirom na strukturne različitosti feromonskih receptora, oni imaju i različite funkcije. V1R vežu male, lako hlapljive molekule i služe za prepoznavanje spola te utječu na seksualno ponašanje jedinki. V2R prepoznaju u vodi-topljive peptide te utječu na agresivno ponašanje mužjaka tijekom sezone parenja koje je uzrokovano feromonima (Silva i Antunes, 2017.).

Mehanizam vezanja, prepoznavanja i obrađivanja informacija koje donose feromoni proces je u koji su uključeni dijelovi mirisnog sustava. Prilikom podraživanja senzoričkog epitela dolazi do pumpanja kemijskih signala u lumen vomeronazalnog organa. Pumpanje signala naziva se vaskularno pumpanje. Do njega dolazi zbog promjene protoka krvi u bočno položenoj krvnoj žili što uzrokuje promjenu tlaka u vomeronazalnom organu koji uvlači kemijske signalne molekule (Menini, 2009.). Ovaj proces je pod kontrolom simpatičkog živčanog sustava što znači da se aktivira kada dolazi do uzbuđenja jedinke (Meredith 1994.). Nakon ulaska u organ, signali putuju kroz kanale s tranzicijskim receptorskim potencijalom (eng. *Transient Receptor Potential Cation Channels*, TRPC) koji su ključni za usmjeravanje signala prema primarnim senzoričkim neuronima te sekundarnim senzoričkim neuronima, odnosno aksonima mitralnih stanica. Oni prenose signale u pomoćni njušni režanj, zaslužan za obradu kemijskih signala, koji je povezan s limbičkim dijelom mozga koji posreduje emocije i motivaciju (Silva i Antunes, 2017.).

Vomeronazalni sustav razvio se pojavom prvih tetrapoda, odnosno izlaskom života iz vode na kopno. Zbog toga većina skupina tetrapodnih životinja ima ovaj sustav. Ali, postoje iznimke. Ptice su tijekom svog razvoja izgubile gene koji kodiraju za vomeronazalne receptore i vomeronazalni organ. Imaju vrlo dobro razvijen vidni i slušni sustav pa se pretpostavlja da su oni na određeni način nadomjestili vomeronazalni sustav. U prilog tome ide i činjenica kako dosada nisu pronađeni geni koji bi omogućili drugi način detekcije feromona i njihovo korištenje kao način komunikacije (Zhang i sur., 2014.).

Količina gena koji kodiraju za vomeronazalne receptore razlikuje se u različitim skupinama životinja. Razlika u količini pokušala se objasniti kao rezultat izlaska života na kopno. Pretpostavka je da će životinje koje žive na kopnu imati više gena koji kodiraju za V1R kako bi lakše mogli detektirati molekule u zraku, dok će životinje koje žive u vodenom okolišu imati više gena koji kodiraju za V2R kako bi mogle prepoznati molekule otopljene u vodi. No, ova pretpostavka nije potpuno točna. Naime, kod zmija koje su kopneni organizmi prisutno je više V2R gena od V1R gena pa se ova teorija odbacuje (Shi i Zhang, 2007.). Druga pretpostavka je da je zbog selektivnog

pritisaka došlo do promjena u količini i različitosti receptora kod skupina, ali i ova pretpostavka zahtijeva još istraživanja (Silva i Antunes, 2017.).



Slika 2. Shematski prikaz građe vomeronazalnih receptora te gena koji kodiraju za V1R i V2R. (Silva i Antunes, 2017.)

## 2.2.2. Glavni mirisni (olfaktorni) sustav

Dugi niz godina smatralo se da je mirisni sustav isključivo zadužen za primanje informacija putem malih, lako hlapljivih mirisnih molekula koje se nalaze u zraku (McClintock, 1999.). No, ova tvrdnja ispostavila se kao netočna nakon što je otkriveno da ribe koriste isključivo olfaktorni sustav za detekciju feromona. Ribe nisu tetrapodi, stoga nemaju razvijeni vomeronazalni organ ni gene koji bi kodirali za vomeronazalne receptore. Kemijske signalne molekule u riba prepoznaju receptori koje nalazimo u senzoričkom epitelu olfaktornog sustava. Nazivaju se transmembranski receptori tipa A i C (Silva i Antunes, 2017.).

No, olfaktorni sustav mogao bi imati ulogu u detekciji feromona i kod životinja koje imaju razvijeni vomeronazalni sustav. Hudson i Pistel su 1986. godine proveli istraživanje na zečevima koji su

imali oštećenja na vomeronazalnom organu. Zbog toga on nije bio funkcionalan. Unatoč tome, zečevi su mogli detektirati feromone koji ih navode prema bradavicama majke. Tada je pretpostavljeno da bi olfaktorni sustav također mogao sudjelovati u detekciji feromona.

Olfaktorni sustav nije jedinstven sustav već se sastoji od niza podsustava. Ti podsustavi imaju brojne funkcije koje još nisu dobro istražene, ali smatra se da bi neke od njih mogle biti prepoznavanje feromona (McClintock, 1999.; Menini, 2009.).

### 2.3. Uloge feromona u živom svijetu

Zbog svoje složene strukture, feromoni imaju različite funkcije i mogu izazivati niz odgovora unutar jedinki iste vrste. S obzirom na njihovu funkciju dijele se u četiri skupine. To su: *primer*-feromoni, otpuštajući (eng. *releaser*) feromoni, modulatorni (eng. *modulator*) feromoni te signalni (eng. *signalers*) feromoni (McClintock, 1999.; Semwal i sur., 2013.).

*Primer*-feromoni zaslužni su za fiziološke promjene koje nastaju kao rezultat endokrinih i neuroendokrinih odgovora. Promjene koje nastaju vidljive su nakon duljeg vremenskog perioda. Utječu na početak spolnog sazrijevanja, trajanje menstrualnog ciklusa te početak i uspješnost trudnoće. U nekih skupina sisavaca kao što su miševi utvrđeno je da kod trudnih ženki može doći do spontanog pobačaja ukoliko dođu u kontakt s *primer*-feromonima drugog mužjaka (McClintock, 1999.; Semwal i sur., 2013.).

Otpuštajući feromoni izazivaju trenutačne bihevioralne promjene. Najpoznatiji otpuštajući feromoni su oni odgovorni za seksualnu privlačnost (McClintock, 1999.; Semwal i sur., 2013.).

Modulatorni feromoni najčešće se nalaze u znoju, a utječu na emocije i tjelesne funkcije. Povezuju se sa usklađivanjem menstrualnih ciklusa kod žena (McClintock, 1999., Semwal i sur., 2013.).

Signalni feromoni daju informacije o jedinkama, kao što su spol i starost te reproduktivni i hijerarhijski status unutar populacije. Također, koriste se kao kemijski signali pomoću kojih majke prepoznaju svoju mladunčad (McClintock, 1999.; Semwal i sur., 2013.).

## 3. LJUDSKI FEROMONI

Tijekom ljudske povijesti otkriveno je da brojne tvari iz prirode uzrokuju bihevioralne promjene i potiču fiziološke procese. No, te promjene uzrokuju i tvari koje se izlučuju na površinu tijela.

Unutar organizma nalazi se niz žlijezda koje svoje sekrete luče na površinu tijela. Ti sekreti često imaju funkciju u održavanju tjelesne temperature, podmazivanju dlake ili održavanju vlažnih uvjeta. No, unutar ovih sekreta mogu se nalaziti brojne otopljene tvari koje imaju funkciju u signalizaciji ili komunikaciji sa drugim jedinkama. Primijećeno je da neke od njih potiču seksualnu privlačnost u uzbuđenost jedinki. Te tvari nazvane su afrodizijaci po grčkoj božici ljubavi, Afroditi. Prvi poznati afrodizijak bio je tjelesni miris ljudi (Semwal i sur., 2013.).

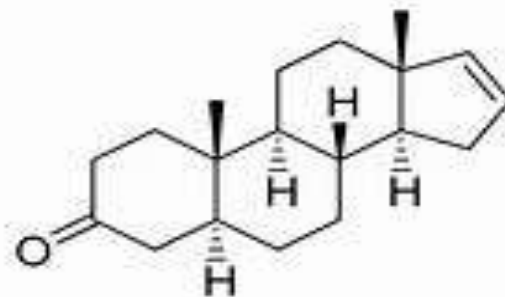
Brojni ljudski sekreti zbog otopljenih tvari imaju snažne mirise koji mogu biti ugodni ili manje ugodni. Poznato je da feromoni mogu imati ugodan ili neugodan miris ukoliko se izlučuju u velikoj količini ili ako imaju veliku koncentraciju (McClintock, 1999.). Stoga, moguće je pretpostaviti da su afrodizijaci zapravo potencijalni ljudski feromoni koji u ljudi uzrokuju niz reakcija koje su zainteresirale brojne znanstvenike.

### **3.1. Potencijalni ljudski feromoni i njihove uloge**

U ljudi su primijećene bihevioralne i hormonalne promjene koje su uzrokovane nizom molekula. Za neke od tih molekula smatra se da bi mogle biti mogući ljudski feromoni (Semwal i sur., 2013.). U nastavku su navedene neke od tih potencijalnih signalnih molekula i njihova uloga na ljudsko ponašanje i fiziološke procese.

#### **3.1.1. 5- $\alpha$ -Androstenon**

Androstenon (Slika 3.) je prvi identificirani feromon sisavaca. Nalazi se u slini vepra, a može se naći i u biljaka, u citoplazmi celera. Češći je u mužjaka i uloga mu je signalizacija dominacije i agresivnosti koju pokazuje alfa-mužjak. Također, njegovim izlučivanjem dolazi do pobuđivanja seksualnog uzbuđenja ženki. U ljudi se može naći u znoju i urinu. To je steroidna molekula neugodnog mirisa koji podsjeća na mokraću. Žene ga povećano izlučuju za vrijeme ovulacije pa na taj način mogu signalizirati muškarcima kada su u tijeku plodni dani. Tijekom tog vremena, muškarci taj miris percipiraju kao ugodni, cvjetni miris. Također, ovaj steroid utječe na provodljivost kožnog epitela za signalne podražaje. Iako je poznati feromon u sisavaca, nije utvrđeno ima li feromonski učinak u ljudi (Semwal i sur., 2013.).



Slika 3. Građa molekule androstenona (<https://www.pheromonetreasures.com/single-molecules/attachment/androstenone-2/>)

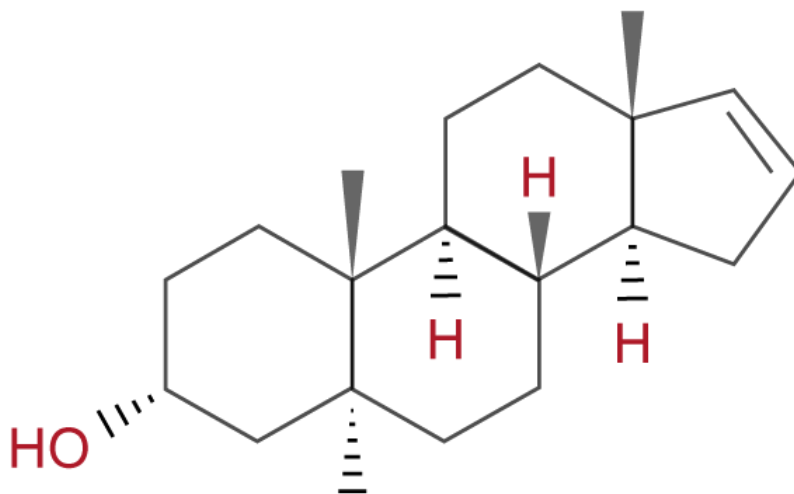
### 3.1.2. 3- $\beta$ -Androstenol

Smatra se da je androstenol (Slika 4.) spolni feromon koji u ljudi izlučuje nadbubrežna žlijezda, a u manjim količinama može se naći u žlijezdama znojnicama. Iako je analogan spolnim hormonima, ne postoji funkcija koja bi ih karakterizirala kao spolne hormone. Dokazano je da služe kao modulator GABA-receptora ( $\gamma$ -aminomaslačna kiselina). GABA-receptori imaju funkciju neurotransmitera odgovornih za postsinaptičku inhibiciju. Vezanjem androstenola dolazi do produljenja postsinaptičke inhibicije. (Rafal M. Kaminski i sur. 2006.). pretpostavlja se da bi androstenol mogao biti ženski feromon, ali još nije poznato koji bi bio krajnji cilj njegovog djelovanja. Istraživanje koje su 1978. proveli Kirk-Smith i suradnici pokazuje kako androstenol ima utjecaj na ljudsku percepciju. Izabrane su dvije skupine ljudi i zamoljene da slike ispred sebe ocijene prema privlačnosti. Slike su prikazivale portrete raznih muškaraca i žena. Jedna skupina nosila je kirurške maske tretirane androstenolom, dok je druga skupina nosila netretirane maske. Ljudi koji su nosili maske tretirane androstenolom ocijenili su osobe sa svojih slika kao ljepše i privlačnije.

Jedno od najpoznatijih istraživanja povezanih za potencijalno postojanje i djelovanje ljudskih feromona je ono iz 1971. znanstvenice MartheMcClintock. Tema istraživanja bila je sinkronizacija menstrualnih ciklusa žena. Žene su bile izložene znoju drugih žena koji je prikupljen u različitim



fazama menstrualnog ciklusa. Utvrđeno je da nakon izlaganja znoju dolazi do promjene u trajanju menstrualnih ciklusa ispitanica. Ciklus se usporio ili ubrzao ovisno o znoju kojem su bile izložene. Ovaj fenomen je po njoj dobio ime McClintockov efekt. No, zbog novijih istraživanja koja su provedena na ovu temu te metoda koje su korištene u istraživanju, upitna je valjanost dobivenih rezultata (Semwal i sur., 2013.).

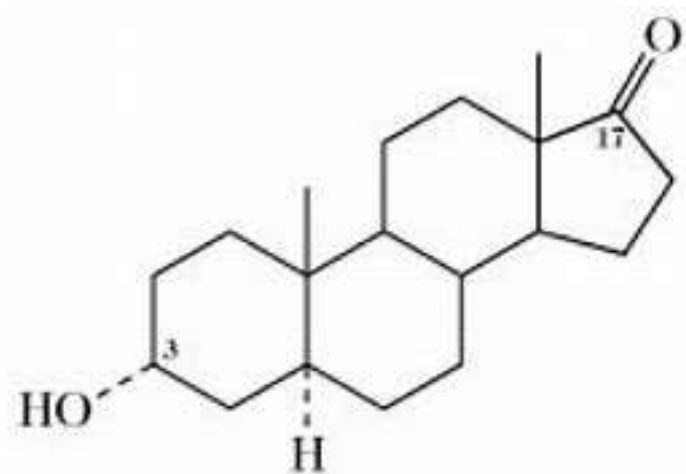


Slika4.Građa molekule androstenola

([https://www.feromona.com.es/contents/es/d6\\_Preguntas\\_sobre\\_feromonas\\_humanas.html](https://www.feromona.com.es/contents/es/d6_Preguntas_sobre_feromonas_humanas.html))

### 3.1.3. Androsteron

Androsteron (Slika 5.) je endogeni steroidni hormon koji ima funkciju slabog spolnog hormona. Nastaje kao metabolit testosterona. Njegova kemijska formula slična je formuli estrona, slabog spolnog hormona kod žena. Njegova formula i funkcija utvrđene su 1931. izolacijom iz muškog urina. Izolaciju su izveli Adolf Friedrich, Johann Butenandt i KurtTscherning (Semwal i sur., 2013.).

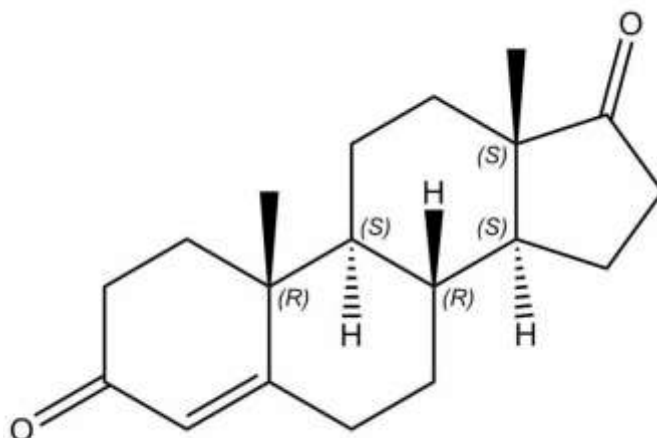


Slika 5. Građa molekule androsterona

(<https://www.spektrum.de/lexikon/biochemie/androsteron/384>)

### 3.1.4. Androstadienon

Androstadienon (Slika 6.) je još jedan potencijalni ljudski feromon. Poput androsterona, nastaje kao metabolit muškog spolnog hormona testosterona. Smatra se da ima poseban utjecaj na žene. Utječe na raspoloženje i pažnju, ubrzava rad srca, usporava disanje te mijenja percepciju na bol pa na taj način olakšava tegobe predmenstrualnog ciklusa. Poboljšava raspoloženje jer djeluje na limbički dio živčanog sustava koji je odgovoran za obrađivanje kemijskih signala. No, nisu kod svih ove reakcije pozitivne. Kod muškaraca ovi steroidi izazivaju negativne reakcije. U istraživanju iz 2009. kojeg su proveli Hummer i McClintock testiran je utjecaj androstadienona na ljudsku percepciju i pažnju. Na gornju usnu pedeset muškaraca i žena postavljen je androstadienon ili neutralni miris koji je predstavljao kontrolnu skupinu. Ispitanici koji su bili tretirani androstadienonom više su pažnje usmjeravali na izraze i situacije u kojima su prikazane emocije nego na one koji su bili neutralni. Zaključeno je da ovaj potencijalni feromon ne utječe direktno na promjenu raspoloženja već na način na koji mozak prima i obrađuje informacije (Semwal i sur., 2013.).



Slika 6. Građa molekule androstadienona (<https://www.alsachim.com/en/reference-standards/826-189795-4-Androstene-3-17-dione.html>)

### 3.1.5. Kopulini

Kopulini su tvari koje se nalaze u sekretu rodnice sisavaca. To su hlapljive C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub> alifatske kiseline. Utječu na muško ponašanje tako što povećavaju razinu testosterona za 150% te na taj način povećavaju seksualnu uzbuđenost i privlačnost prema ženki. Iako su u vaginalnom sekretu rodnice ljudi pronađene slične alifatske kiseline (C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub>), još nije potvrđeno sadrži li taj sekret kopuline. Jedna od sličnih kiselina je octena kiselina koju se povezuje sa fluktacijama ženskih hormona tijekom menstrualnog ciklusa. Također, primijećeno je da postoje razlike u sekretu prije i nakon spolnog odnosa. Sekret prije spolnog odnosa imao je „kiseliji“ miris nego onaj nakon odnosa pa se može zaključiti da sekret prije odnosa sadržava veću količinu hlapljivih alifatskih kiselina, a moguće i kopulina (Semwal i sur., 2013.).

### 3.1.6. Estratetraenol

Estratetraenol je kemijski spoj koji izlučuju žene. Derivat je estrogena, ženskog spolnog hormona. Unatoč tome, ne pokazuje učinke spolnih hormona. Ovaj spoj u mužjaka izaziva privlačnost prema ženki koja ovulira. No, izaziva i osjećaj empatije i suosjećajnosti za trudnu ženku. Smatra se da ovaj spoj ima feromonski učinak u primata, a potencijalno i u ljudi (Semwal i sur., 2013.).

### 3.2. **Mogući mehanizmi detekcije ljudskih feromona**

Ako ljudi zaista koriste feromone kao jedan od načina komunikacije, tada mora postojati mehanizam pomoću kojeg detektiraju i obrađuju informacije koje dolaze putem feromona (Wyatt, 2015.).

Odrasli ljudi nemaju vomeronazalni sustav. Prisutan je u ranom razvoju ljudskog fetusa. Razvija se u prvom mjesecu nakon začeća. Ali smatra se da cijeli sustav degenerira prije rođenja, a ostali mogući dijelovi sustava nisu više funkcionalni. U tim strukturama nije pronađen senzorički epitel koji bi služio za prepoznavanje feromona. Također, izostaju i senzorni neuroni koji bi nastale podražaje provodili do mozga (McClintock, 1999.; Menini, 2009.). Izostanak vomeronazalnog živca potvrdili su 1993. godine znanstvenici Boehm i Gasser. Koristili su se LHRH (eng. *Luteinizing Hormone Releasing Hormone*)-bojenjem kako bi potvrdili postojanje živca koji bi spajao vomeronazalni organ s mozgom. Istraživanje je provedeno na fetusu starom 36 tjedana. Nisu uspjeli pronaći dokaze za postojanje živca. Stoga je zaključeno da do degeneracije živca dolazi prije rođenja što rezultira degeneracijom cijelog sustava.

Ustanovljeno je da su unutar ljudskog genoma svi geni koji kodiraju za vomeronazalne receptore i receptorske kanale za transdukciju, pseudogeni. Pseudogeni su nefunkcionalni geni koji se ne mogu transkribirati. Zbog toga, pretpostavlja se postojanje drugih vrsta receptora koji bi mogli imati funkciju u detekciji feromona. Jedna od skupina takvih receptora su receptori povezani s tragovima amina (eng. *Trace Amino-Associated Receptors*, TAAR) (Liberles i Buck 2006.). To su receptori povezani s aminima u tragovima koji imaju sposobnost vezanja endogenih amina. Također, pronađena su i četiri gena slična genima koji kodiraju za V1R. Jedan od njih je hV1RL1 koji se eksprimira u glavni olfaktorni režanj. Stoga, moguće je da se detekcija potencijalnih ljudskih feromona može odvijati pomoću olfaktornog sustava (Menini, 2009.). Kao moguće mjesto detekcije feromona spominje se i Gruenebergov ganglij, novootkriveni olfaktorni podsustav s receptorskim neuronima smještenim unutar nosne šupljine koje aksoni povezuju s domenom građenom od mnoštva glomerula, a ona se nalazi unutar olfaktornih bulbosa (Liu i sur., 2009.). No, o njegovoj prisutnosti u ljudi zna se malo (McClintock, 1999.).

Svi navedeni mehanizmi nagađanja su kojima se pokušava objasniti način na koji bi se potencijalni ljudski feromoni mogli detektirati. Sve ove pretpostavke iziskuju daljnja istraživanja.

### 3.3. Kontroverze povezane uz postojanje ljudskih feromona

Iako je postojanje ljudskih feromona tema niza istraživanja koja su započela u prošlom stoljeću, još nije dokazano postoje li oni zapravo i na koji ih način ljudsko tijelo prepoznaje i obrađuje. Brojne su kontroverze i otvorena pitanja koja prate radove koji se bave ovom temom.

Za početak, upitan je sam izbor molekula koje su nazvane potencijalnim ljudskim feromonima. Od 70-ih do 90-ih godina prošlog stoljeća androstenol i androstenon su bili molekule koje imaju najizgledniji feromonski učinak na ljude. Ove molekule djeluju kao feromoni u svinja. Izazivaju seksualno uzbuđenje i koriste se u svinjogojstvu za poticanje rasploda. Razlog zašto su povezane s ljudima je taj što su pronađene u žlijezdama ljudskih pazuha. Znanstvenici su tada zaključili da ako imaju feromonski učinak u svinja, mogu imati isti učinak i na ljude. No, to ne mora biti točno. Molekule koje imaju feromonski učinak na jednu vrstu, mogu imati mali ili nikakav utjecaj na drugu. Zbog korištenja u svinjogojstvu, ovi feromoni bili su komercijalno dostupni što im je donijelo popularnost i zanimanje znanstvene zajednice. Izvedeni su eksperimenti gdje su znanstvenici ovim feromonima prskali stolce u čekaonici i promatrali hoće li muškarci ili žene biti „privučeni“ ovim feromonima. Ovi eksperimenti kasnije su ocijenjeni kao loše izvedeni zbog loših metoda i velikih statističkih pogrešaka. Iako ove dvije molekule nisu nužno pokazale feromonski učinak na ljude, ne znači da on ne postoji. U ljudskom znoju nalazi se niz molekula koje bi mogle imati ulogu ovih signalnih molekula te su potrebna daljnja istraživanja kako bi se otkrilo njihovo moguće djelovanje (Wyatt, 2015.).

Od 90-ih godina prošlog stoljeća, kandidati za moguće ljudske feromone postali su androstadienon i estratetraenol. Stekli su svoju popularnost kada ih je 1991. godine predstavila EROX korporacija kao „navodne ljudske feromone“ (Monti-Bloch i Grosser, 1991.). Iako su predstavljeni kao ljudski feromoni, nisu postojali radovi i zapisi o tome kako su molekule odabrane, izolirane i istražene. Kasnije su te molekule korištene u nekim parfemima, a otkriće ovih molekula kao potencijalnih feromona pripalo je EROX korporaciji. No, i dalje nisu postojali nikakvi dokazi koji bi objasnili način na koji su izabrani i koji ih čine feromonima koji djeluju na ljude. Kasnije su ove dvije molekule dodatno istražene te je otkriveno da imaju utjecaj na ljudsko ponašanje, ali nisu nazvani ljudskim feromonima jer je rečeno da su potrebna dodatna istraživanja koja bi to potvrdila. No, zbog publiciteta koji su ove molekule stekle, i danas se u nizu radova nazivaju navodnim ljudskim feromonima (Wyatt, 2015.).

Razlozi zašto su ove molekule i dalje prisutne u znanstvenom svijetu kao mogući feromoni koji utječu na čovjeka su ti što se radovi u kojima se spominju učinci ovih molekula citirani u svim radovima koji se bave ovom temom. No, podaci koji su dobiveni u tim radovima nisu nužno valjani zbog neadekvatnih metoda ili nedostataka u pojašnjenjima samih eksperimenata (Wyatt, 2015.). Još jedan od problema koji se vežu uz ovu temu leži u činjenici da ljudi mogu detektirati i druge molekule koje nisu nužno feromoni, a potiču razne hormonalne ili bihevioralne promjene. Smatra se da ljudi mogu birati partnera po mirisu (Lenochova i Havlicek, 2008.) te da razlikuju članove obitelji prema mirisu. U ovome veliku ulogu ima MHC koji je spomenut već ranije u radu (Davis, 2013.; Kwak i sur. 2010.). Također, u ljudi nije pronađen mehanizam kojim bi se detektirali feromoni. Postoje pretpostavke gdje bi se on mogao nalaziti, ali još ne postoje dokazi koji bi to potvrdili. Stoga, teško je odrediti koje molekule zapravo imaju feromonski učinak, a koje su druge vrste molekula koje izazivaju slične učinke, a nisu feromoni (Wyatt, 2015.).

## 4. ZAKLJUČAK

Feromoni su signalne molekule koje izlučuje jedinka, a utječu na hormonalne i bihevioralne promjene drugih jedinka iste vrste. Iako su poznati u brojnim skupinama životinja, još nije poznato djeluju li na ljude. U brojnim istraživanjima navedene su molekule koje bi potencijalno imale feromonski učinak na ljude, ali zbog nedovoljno znanstvenih podataka i nemogućnosti dobivanja istih ili sličnih rezultata iz ponovljenih eksperimenata, te se molekule ne mogu uzeti kao valjane. Također, u odraslih ljudi nije otkriveno postojanje vomeronazalnog sustava koji je jedan od glavnih mehanizama za detekciju feromona u životinjskom svijetu. Stoga su potrebna dodatna istraživanja kako bi se potvrdilo postojanje ovih signalnih molekula kod ljudi. Važno je da buduća istraživanja uzmu u obzir i druge vrste molekula koje bi se mogle nalaziti u ljudskom sekretu. Također, potrebno je provesti molekularna istraživanja kojima bi se identificirali geni koji kodiraju za receptore za potencijalno vezanje i detektiranje feromona. Dakle, iako se postojanje ljudskih feromona opisuje u brojnim radovima, bez valjanih znanstvenih dokaza nije moguće s potpunom sigurnošću reći da takve molekule postoje.

## 5. LITERATURA

1. Benton, D. (1982). The influence of androstenol — a putative human pheromone — on mood throughout the menstrual cycle. *Biological Psychology*, 15(3-4), 249–256
2. Cohn, B. A. (1994). In search of human skin pheromones. *Archives of Dermatology*, 130(8), 1048. <https://doi.org/10.1001/archderm.1994.01690080114018>
3. Davis, D. (2013). *The compatibility gene: How our bodies fight disease, attract others, and define ourselves*. Oxford University Press, New York City, New York.
4. Doty RL. 2014 Human pheromones: do they exist? In *Neurobiology of chemical communication* (ed. C Mucignat-Caretta), pp. 535– 560. Boca Raton, FL: CRC Press.
5. Grosser, B. I., Monti-Bloch, L., Jennings-White, C., & Berliner, D. L. (2000). Behavioral and electrophysiological effects of androstadienone, a human pheromone. *Psychoneuroendocrinology*, 25(3), 289–299. [https://doi.org/10.1016/s0306-4530\(99\)00056-6](https://doi.org/10.1016/s0306-4530(99)00056-6)
6. Jacob S, Hayreh DJ, McClintock MK (2001). Context-dependent effects of steroid chemosignals on human physiology and mood. *Physiology & Behavior*. 74 (1–2): 15–27
7. Karlson, P., & Lüscher, M. (1959). ‘Pheromones’: A new term for a class of biologically active substances. *Nature*, 183(4653), 55–56. <https://doi.org/10.1038/183055a0>
8. Kwak, J., Willse, A., Preti, G., Yamazaki, K., & Beauchamp, G. K. (2010). In search of the chemical basis for MHC odour types. *Proceedings. Biological Sciences*, 277(1693), 2417–2425. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0162>
9. Lenochova P, Havlicek J. 2008 Human body odour individuality. In *Chemical signals in vertebrates 11* (eds JL Hurst, RJ Beynon, SC Roberts, TD Wyatt), pp. 189 – 198. New York, NY: Springer
10. Liberles, S. D., & Buck, L. B. (2006). A second class of chemosensory receptors in the olfactory epithelium. *Nature*, 442(7103), 645–650. <https://doi.org/10.1038/nature05066>
11. McClintock, M. K. (1998). On the nature of mammalian and human pheromones. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 855(1), 390–392. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb10596.x>
12. McClintock, M. K., *Human Pheromones: Primers, Releasers, Signalers, or Modulators?*. U: McClintock, M.K. *Reproduction in Context: Social and Environmental Influences on Reproduction* (1999.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts. <https://doi.org/10.7551/mitpress/5903.001.0001>
13. Menini, A. (2009). *The neurobiology of olfaction*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
14. Monti-Bloch L, Grosser BI. Effect of putative pheromones on the electrical activity of the human vomeronasal organ and olfactory epithelium. *J Steroid Biochem Mol Biol* 1991;39:573–83



15. Mostafa, T., Khouly, G. E., & Hassan, A. (2012). Pheromones in sex and reproduction: Do they have a role in humans? *Journal of Advanced Research*, 3(1), 1–9.  
<https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.03.003>
16. Mucignat Caretta, C. (2014). *Neurobiology of chemical communication*. CRC Press, Boca Raton, Florida, United States of America
17. Semwal, A., Kumar, R., Teotia, U. V. S., & Singh, R. (2013). Pheromones and their role as aphrodisiacs: A review. *Journal of Acute Disease*, 2(4), 253–261. [https://doi.org/10.1016/s2221-6189\(13\)60140-7](https://doi.org/10.1016/s2221-6189(13)60140-7)
18. Shi P, Zhang J. 2007. Comparative genomic analysis identifies an evolutionary shift of vomeronasal receptor gene repertoires in the vertebrate transition from water to land. *Genome Res*. 17:166–74
19. Silva, L., & Antunes, A. (2017). Vomeronasal receptors in vertebrates and the evolution of pheromone detection. *Annual Review of Animal Biosciences*, 5(1), 353–370.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022516-022801>
20. Tirindelli, R. (2021) Coding of pheromones by vomeronasal receptors. *Cell Tissue Res* 383, 367–386.
21. Wyatt, T. D. (2015). The search for human pheromones: the lost decades and the necessity of returning to first principles. *Proceedings. Biological Sciences*, 282(1804), 20142994.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2994>
22. Wysocki, C. J., & Preti, G. (2004). Facts, fallacies, fears, and frustrations with human pheromones. *The Anatomical Record. Part A, Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology*, 281A(1), 1201–1211. <https://doi.org/10.1002/ar.a.20125>
23. Zhang G, Li C, Li Q, Li B, Larkin DM, et al. 2014. Comparative genomics reveals insights into avian genome evolution and adaptation. *Science* 346:1311–20.

## **6. ŽIVOTOPIS**

Rođena sam u Zagrebu 27.02.2002. godine, gdje sam završila Osnovnu školu Antuna Branka Šimića (2009.-2017.), a zatim i III. gimnaziju u Zagrebu (2017.-2021.). Tijekom osnovne i srednje škole, razvila se ljubav prema biologiji, pa sam 2021. upisala Prijediplomski studij Biologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Zbog velikog interesa za područje fiziologije, planiram upisati diplomski studij Eksperimentalne biologije, modul Fiziologija i imunobiologija na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu.