



**TURUN
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

Prenataalisen testosteronin vaikutukset talitiaisten (*Parus major*) uropygiaalirauhaseen ja höyhenpunkkiin

Pinja-Eveliina Vepsä

Biologia
LuK-tutkielma
Laajuus: 8 op

16.5.2025
Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

LuK-tutkielma

Pääaine: Biologia

Tekijä: Pinja-Eveliina Vepsä

Otsikko: Prenataalisen testosteronin vaikutukset talitiaisten (*Parus major*) uropygiaalirauhaseen ja höyhenpunkkiuormaan

Ohjaajat: Jaime Muriel, Sami Merilaita

Sivumäärä: 21 sivua

Päivämäärä: 16.5.2025

Uropygiaalirauhanen on öljymäistä eritettä tuottava rauhanen lintujen, kuten talitiaisen (*Parus major*), pyrstön tyvessä. Uropygiaalirauhasella on esitetty olevan useita tarkoituksia linnun hyvinvoinnille, joista yksi on sen erittämä erite. Eritteen on esitetty toimivan muun muassa niin lämmöneristyksessä, vedenpitävyydessä ja höyhenten eheyden ylläpidossa kuin mahdollisesti mutualististen höyhenpunkkien ravintona. Lintujen munien tiedetään sisältävän suuria määriä emon tuottamia prenataalisia hormoneja, joista tärkeimpiä ovat androgeenit, kuten testosteroni. Tässä kandidaatintutkielmassa selvitetään vaikuttaako prenataalisen testosteronin manipulointi talitiaisen uropygiaalirauhaseen ja höyhenpunkkiuormaan. Testosteronilla on tiedettävästi anabolisia vaikutuksia, joten voitaisiin olettaa sen vaikuttavan uropygiaalirauhasen kokoon sekä välillisesti höyhenpunkkiuormaan. Tutkielman aineistona käytin Turun Ruissalon alueella linnunpöntöissä pesiviä talitiaisia. Linnunpöntöt jaettiin koeryhmiin (testosteroni ja kontrolli), joiden mukaan munat injektoidiin joko testosteroniliuksella tai kontrolliliuksella. Poikasten biometrisiä ominaisuuksia mitattiin 14 päivän iässä sekä myöhemmin syksyllä uudelleenpyynnissä saaduilta nuorilta yksilöiltä. Tulokset osoittivat uropygiaalirauhasen sekä sen päällä sijaitsevan papillan koon olevan riippumattomia androgeenimanipuloinnista. Ainoastaan 14 päivän ikäisillä poikasilla nähtiin tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä poikasen kunnan ja uropygiaalirauhasen tilavuuden välillä sekä munan tilavuuden ja papillan välillä, mutta androgeenimanipulaatiolla ei ollut näihin vaikutusta. Androgeenimanipulaatiolla ei ollut vaikutusta myöskään höyhenpunkkiuormaan. Höyhenpunkkiuorma oli kuitenkin positiivisesti yhteydessä linnun rasvaindeksin kanssa, mutta suoraan linnun kunnan ja höyhenpunkkiuorman välillä ei nähty merkitsevää yhteyttä. Tämä voisi viitata epäsuoraan vaikutukseen parempi kuntoisten lintujen ja höyhenpunkkiuorman välillä. Androgeenimanipulaation vaikutuksien puuttuminen voi viitata ympäristön tai muiden hormonien vaikuttavan näihin ominaisuuksiin androgeenipitoisuuksia todennäköisemmin. Tutkimuksia tulisi tehdä lisää, jotta voitaisiin selvittää tarkemmin androgeenien vaikutuksia näihin tässä tutkielmassa käsiteltyihin muuttujiin sekä höyhenpunkkien suhdetta lintuihin.

Avainsanat: talitiainen, *Parus major*, uropygiaalirauhanen, höyhenpunkki, testosteroni

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto.....	1
1.1	Uropygiaalirauhanen.....	1
1.2	Höyhenpunkit (Acariformes).....	3
1.3	Testosteroni.....	4
1.4	Tutkielman tavoite ja hypoteesit.....	6
2	Aineisto ja menetelmät.....	6
2.1	Talitiainen (Parus major)	6
2.2	Aineiston kerääminen	7
2.2.1	Munien manipulointi injektoimalla	7
2.2.2	Poikasten mittaukset	8
2.2.3	Höyhenten kerääminen ja höyhenpunkkien laskeminen	8
2.3	Aineiston tilastollinen analysointi.....	9
3	Tulokset.....	9
3.1	Jälkeläisten selviytyminen	9
3.2	Uropygiaalirauhanen.....	10
3.3	Höyhenpunkit.....	12
4	Pohdinta.....	13
5	Kiitokset	15
6	Lähteet.....	15

1 JOHDANTO

1.1 Uropygiaalirauhanen

Uropygiaalirauhanen (engl. uropygial gland) on lähes kaikilla lintulajeilla oleva ulkoinen rauhanen, joka sijaitsee pyrstön tyvessä dorsaaliosalla puolella höyhenten alla. Uropygiaalirauhanen puuttuu muun muassa strutseilta ja emuilta (Salibian & Montalti, 2009). Uropygiaalirauhanen tuottaa öljymäistä eritettä (engl. preen oil), joka sisältää lipidejä, erityisesti estereitä, sekä vaha- ja haihtuvia yhdisteitä (Bodawatta ym., 2020; Soler ym., 2012). Nämä yhdisteet ovat hyvinkin pysyviä ja voivat säilyä höyhenissä pitkään (Galván ym., 2012). Öljymäinen erite vapautuu uropygiaalirauhasen papillasta. Kaikki höyhenpeitteen lipidit eivät kuitenkaan ole peräisin ainoastaan uropygiaalirauhasesta vaan myös epidermisen eli uloimman ihon kerroksen talirauhasista (Salibian & Montalti, 2009). Uropygiaalirauhasen eritteen ominaisuuksien ja kemiallisen koostumuksen on huomattu olevan erilainen lajista riippuen (Alt ym., 2020). Erot voivat johtua muun muassa ympäristöolosuhteista, linnun elämänvaiheesta tai ympäristön loisten läsnäolosta. Uropygiaalirauhasen sanotaan olevan androgeeniriippuvainen (engl. androgen dependent), koska siinä on paljon androgeenireseptoreita (Whittaker ym., 2011). Nämä reseptorit reagoivat testosteronin määrään ja siten säätelevät proteiinisynteesiä. Rauhasessa on myös muita reseptoreita, jotka reagoivat muiden steroidihormonien, kuten estradiolin pitoisuuteen (Whittaker ym., 2011).

On havaittu, että uropygiaalirauhasen eritteellä on monia vaikutuksia. Se edistää muun muassa höyhenten eheyttä ja hygienian ylläpitoa sekä vedenpitävyyttä. Ylläpitääkseen näitä edellä mainittuja linnut sukivat höyheniään ja samalla levittävät uropygiaalirauhasen eritettä niihin (Bodawatta ym., 2020; Jacob ym., 2014; Whittaker ym., 2011). Lintujen höyhenet ja niiden eheys liittyvät tiiviisti höyhenten lämmöneristävyyskykyyn. Höyhenissä kuitenkin elää mikro-organismeja, kuten bakteereja ja sienikasvustoja, jotka voivat mahdollisesti vahingoittaa höyheniä ja aiheuttaa tulehduksia (Alt ym., 2020; Jacob ym., 2014). Uropygiaalirauhasen tuottamalla eritteellä on antimikrobisia ominaisuuksia (Soler ym., 2012), mikä voi estää mikro-organismien kasvun höyhenten pinnalla ja edistää mutualististen bakteerien kasvua (Alt ym., 2020). Tämä puolestaan ehkäisee höyhenten ja lämpöeristyksen vaurioitumista. Erite myös mahdollisesti tuottaa suojaavan kalvomaisen pinnan höyheniin (Bodawatta ym., 2020), mikä vaikeuttaa mikro-organismien pääsyn niihin. Eritteellä on ehdotettu lisäksi olevan mahdollinen tarkoitus kommunikoinnissa hajun avulla (Bodawatta ym., 2020; Whittaker ym., 2011). Tutkimustulokset osoittavat myös uropygiaalirauhasen eritteen toimivan hajusignaalina, joka houkuttelee koiraslintuja (Whittaker ym., 2011). Uropygiaalirauhasen yksi

päätoiminnoista on Jacobin ym. (2014) tutkimuksen mukaan höyhenten mikro-organismien säätely. Tämä täsmää myös aikaisemmin saatuihin tuloksiin.

Muutamassa tutkimuksessa on havaittu uropygiaalirauhasen ja sen eritteen olevan yhteydessä myös poikasten kuoriutumismenestykseen ja elinkelpoisuuteen (Møller, ym., 2010; Soler ym., 2012; Vincze ym., 2013). Lisäksi on laajaa näyttöä, että munien mikro-organismit, kuten bakteerit, aiheuttavat negatiivisia vaikutuksia poikasten kuoriutumisessa sekä elinkelpoisuudessa (Møller, ym., 2010). Soler ym. (2012) havaitsivat, että lintujen munien kuorissa oli suurempi bakteeritiheys, mikäli emolinnun uropygiaalirauhanen oli kooltaan isompi. Bakteeritiheys sekä uropygiaalirauhasen koko siis korreloivat positiivisesti keskenään. Toinenkin seikka kuitenkin vaikutti bakteeritiheysiin: höyhenpunkit (*Acariformes*) (Soler ym., 2012). Yksilön munankuorissa oli matalampi patogeenisten (tai mahdollisesti patogeenisten) bakteerien tiheys, jos yksilöllä oli enemmän höyhenpukkeja ja jos höyhenpukkipopulaatio oli monimuotoisempi (Soler ym., 2012).

Isommat uropygiaalirauhaset tuottavat enemmän eritettä kuin pienet (Galván ym., 2008; Møller ym., 2009), ja näin voidaan perustellusti käyttää uropygiaalirauhasen kokoa eritteen määrän arvioimiseen (Soler ym., 2012). Eritteen määrä korreloi positiivisesti höyhenpukkien määrän kanssa, kun taas höyhenpukkien määrä korreloi negatiivisesti munien patogeenisten bakteerien määrän kanssa (Soler ym., 2012). Uropygiaalirauhasen koon ja kuoriutumismenestyksen yhteyden vuoksi Møllerin ym. (2010) ja Vinczen ym. (2013) tutkimuksien oletus uropygiaalirauhasen tärkeästä osuudesta mikro-organismien ehkäisyssä vaikuttaa perustellulta. Kuitenkin uropygiaalirauhasen eritteen tarkasta toiminnasta ei ole vielä täyttä varmuutta kokeellisen näytön vähäisyyden vuoksi (Alt ym., 2020).

Uropygiaalirauhasen kokoon vaikuttavia tekijöitä on löydetty erilaisissa yhteyksissä. Muun muassa vuodenaajat vaikuttivat sen kokoon ja talvella uropygiaalirauhanen on tutkimusten mukaan pienempi (Jacob ym., 2014; Møller & Laursen, 2019; Vincze ym., 2013). Jacob ym. (2014) havaitsivat uropygiaalirauhasen kokoon myös vaikuttavan hormonitasot, mikä voisi myös johtua vuodenaikaisvaihtelusta tai parittelukaudesta (Vincze ym., 2013). Vincze ym. (2013) havaitsivat uropygiaalirauhasen kasvavan parittelukautena verrattuna muuhun aikaan. Havaittiin myös, että akvaattisten ympäristöjen lajeilla on suurempi uropygiaalirauhanen kuin terrestristen ympäristön lajeilla, mahdollisesti höyhenten vedenpitävyyden parantamiseksi (Møller, ym., 2010; Møller & Laursen, 2019; Vincze ym., 2013). Vincze ym. (2013) myös ehdottavat uropygiaalirauhasen koon ja erityksen määrän lisääntyvän akvaattisissa ympäristöissä, jotta höyheniä suojellaan vaurioitumista vastaan kosteissa olosuhteissa. Møller ja Laursen (2019) taas havaitsivat tutkimuksessaan, että uropygiaalirauhasen koko vaihteli sukupuolen mukaan, ja haahkakoirailla oli suurempi uropygiaalirauhanen kuin naarailla. Tämä voi johtua siitä, että koiraat viettävät enemmän aikaa vedessä kuin naaraat. Møller ja Laursen (2019) havaitsi myös iän vaikuttavan uropygiaalirauhasen kokoon siten,

mitä vanhempi yksilö sitä suurempi uropygiaalirauhanen. Uropygiaalirauhasen kokoon on havaittu vaikuttavan lisäksi kehon massa sekä bakteerimäärille altistaminen, jotka suurensivat uropygiaalirauhasen kasvua mikäli kyseisten tekijöiden suuruus kasvoi (Jacob ym., 2014; Møller & Laursen, 2019). Yleisesti naarailta oli suurempi bakteerikuormitus (Jacob ym., 2014; Møller ym., 2009), mikä mahdollisesti johtuu siitä, että ne viettävät enemmän aikaa pesässä kuin koiraat. Jacobin ym. (2014) tutkimuksessa talitiaisilla havaittiin vain koiraiden muuttavan uropygiaalirauhasensa kokoa, kun taas naaraiden ei. Toisaalta naarat muuttivat uropygiaalirauhasen eritteen koostumusta (Jacob ym., 2014). Lopuksi Galvánin ja Sanzin (2006) tutkimuksessa saatiin todisteita höyhenpukkien määrän ja talitiaisen uropygiaalirauhasen koon positiivisesta korrelaatiosta.

1.2 Höyhenpunkit (*Acariformes*)

Höyhenpunkit ovat linnuilla eläviä symbionttisia niveljalkaisia, jotka kuuluvat *Arachnida* (hämähäkkieläimet) -luokkaan, *Acari* (punkit) -alaluokkaan ja *Acariformes*-yläluokkaan. Yleisimmät höyhenpunkit kuuluvat *Astigmata*-lahkoon sekä *Analgidae*, *Proctophyllodidae* ja *Pterolichidae* -heimoihin (Mullen & O'Connor, 2002). Tutkielmassani höyhenpukkeja ei ole tunnistettu tai eritelty yläluokkaa tarkemmin.

Höyhenpunkit ovat monimuotoinen ryhmä, mikä siten mahdollistaa muun muassa erilaisten mikroympäristöjen sekä monipuolisen ravinnon hyödyntämisen (Mullen & O'Connor, 2002). Höyhenpukkien tiedetään erikoistuvan erilaisiin höyhentyyppeihin, joista pääasialliset mikroympäristöt ovat: untuvahöyhenet, peitinhöyhenet, lento- ja pyrstösulkien ruotien sisäosat sekä ihon pinta (Dabert & Mironov, 1999). Untuva on höyhenpeitteen sisin ja eristävä kerros. Peitinhöyhenillä tarkoitetaan ulommaisista sulkia, joilla on merkitys muun muassa vedeneristyksessä. Lento- ja pyrstösulilla on merkitys erityisesti lentämisessä. Ruoti on sulan kynärakenteen (tyven) jatke, ja höytyliistake on ruodista sivulle päin jatkuva rakenne. Höytyliistake on osa höytyä, joka muodostaa sulalle tyypillisen muodon. Höyhenpunkit käyttävät pääasiassa ravintonaan uropygiaalirauhasen tuottamaa öljymäistä eritettä ja sen sisältämiä vahayhdisteitä, joita linnut levittävät höyheniinsä sukimisen aikana (Galván ym., 2008, 2012; Mullen & O'Connor, 2002). Ravintonaan höyhenpunkit voivat myös hyödyntää höyhenissä olevaa siitepölyä ja mikrobeja (Galván & Sanz, 2006; Mullen & O'Connor, 2002).

Osa tutkimuksista ehdottaa punkkien olevan lintujen kanssa kommensalistisessa suhteessa (Galván ym., 2012) ja osa mutualistisessa suhteessa (Galván ym., 2008; Soler ym., 2012). Kommensalismi eli pöytävierassuhde on vuorovaikutussuhde, jossa toinen laji hyötyy suhteesta ja toiselle se on merkityksetön – yksilö ei hyödy suhteesta mutta ei myöskään koe siitä haittaa toisin kuin loissuhteessa. Mutualistinen suhde taas tarkoittaa vuorovaikutussuhdetta, jossa molemmat osapuolet hyötyvät.

Esimerkiksi on ehdotettu, että höyhenpunkit hyödyntävät ravintonaan linnun uropygiaalirauhasen tuottamaa eritettä ja höyhenten sisältämiä bakteereita, samalla poistavat linnun höyhenistä muun muassa mikro-organismeja (Galván ym., 2008) sekä parantaen mahdollisesti linnunpoikasten kuoriutumismenestystä ja elinkelpoisuutta (Møller, ym., 2010). Höyhenpunkit hyödyntävät ravintonaan myös uropygiaalirauhasen eritteen vahayhdisteitä. Kuten aikaisemmin mainittu, nämä vahayhdisteet ovat varsin pysyviä ja voivat kerääntyä höyheniin ajan kuluessa, minkä on osoitettu alentavan höyhenpeitteen lämmöneristyskykyä (Galván ym., 2012). Linnut siten hyötyvät höyhenpunkeista, koska ne poistavat ylimääräistä vaha ja parantavat höyhenpeitteen lämmöneristyskykyä. Edellä esitettyjen positiivisten vaikutusten tueksi amerikanpääskyillä (*Petrochelidon pyrrhonota*) tehdyn tutkimuksen tulokset osoittivat, että höyhenpunkkien esiintyminen oli yhteydessä päivittäiseen elossasäilymistodennäköisyyteen (Brown ym., 1995). Tämä viittaa siihen, että höyhenpunkit voivat tietyissä ekologisissa olosuhteissa olla neutraaleja tai jopa hyödyllisiä. Toisaalta useissa tutkimuksissa on havaittu negatiivinen yhteys höyhenpunkkien määrän sekä isäntäeläimen kunnan välillä. Huonommassa kunnossa (pienempi rasvavarasto) olevilla yksilöillä oli suurempi höyhenpunkkiuorma (Bridge, 2003; Galván ym., 2012). Tämä viittaa siihen, että linnuilla, joilla on vähemmän rasvaa, on yleensä suurempi höyhenpunkkiuorma, mikä osoittaa punkkien suosivan isäntää, joka on huonommassa kunnossa.

Solerin ym. (2012) tutkimuksessa löydettiin negatiivinen korrelaatio uropygiaalirauhasen koon ja kuoriutumismenestyksen välillä, mikä viittaa siihen, että luonnonvalinta voi suosia isompaa uropygiaalirauhasen kokoa. Tutkimus esitti myös, että patogeeniset mikro-organismit saattavat toimia valintapaineena uropygiaalirauhasen koon evoluutiossa. Tämä hypoteesi on johdonmukainen, sillä suurempi bakteerimäärä voi lisätä uropygiaalirauhasen eritteen tuotantoa ja siten myös rauhasen kokoa. Suuremmalla rauhasen koolla ja höyhenpunkkien määrän välillä on positiivinen korrelaatio. Rauhasen koon suurentuessa höyhenpunkkien määrä kasvaa, mikä vähentää bakteerien määrää munissa, ja parantaa muun muassa poikasten kuoriutumismenestystä sekä elinkelpoisuutta. Tätä havaintoa tukevat myös Møllerin ym. (2010) ja Vinczen ym. (2013) tutkimusten tulokset.

1.3 Testosteroni

Testosteroni on kolesterolista syntetisoitu rasvaliukoinen steroidihormoni, joka kuuluu sukupuolihormonien ja tarkemmin androgeenihormonien ryhmään. Prenataalinen testosteroni tarkoittaa ennen poikasen syntymää eritettyä testosteronia, eli lintujen tapauksessa muniin eritettyä testosteronia.

Lintujen munissa on huomattava määrä emon tuottamia hormoneja, varsinkin sukupuolihormoneja. Androgeenipitoisuus voidaan havaita munissa jo ennen alkion omaa hormonituotantoa sekä hedelmöitymättömissä munissa. Näin ollen voidaan päätellä hormonien olevan emon tuottamia

(Groothuis ym., 2005). Naaraslintu erittää androgeeneja munan keltuaiseen ovulaation aikana (Groothuis ym., 2005; Muriel ym., 2017). Alkiot altistuvat keltaisen androgeeneille, mikä aiheuttaa fysiologisia muutoksia kehittyvissä alkioissa sekä poikasissa. Tällaista emon fenotyypin, kuten vaikka emon tuottamien hormonien ja niiden pitoisuuksien vaikutusta jälkeläisen fenotyypin kehitykseen kutsutaan maternaaliseksi vaikutukseksi (engl. maternal effect) (Ruuskanen ym., 2012). Munimisen jälkeen emolla ei ole suoraa vaikutusta jälkeläisen prenataaliseen kehittymiseen (Groothuis ym., 2005). Emo kuitenkin hautoo munia, mikä ylläpitää alkion ja poikasen kehittymistä munassa. Androgeenit vaikuttavat merkittävästi jälkeläiseen jo ennen syntymää (Groothuis ym., 2005), mikä saa aikaan lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia fenotyypissä, kuten käyttäytymisessä (Groothuis ym., 2005; Ruuskanen ym., 2012).

Androgeenihormoneilla on tiedettävästi anabolisia vaikutuksia, ja niiden on todettu edistävän kasvua monilla lajeilla (Groothuis ym., 2005). Näiden prenataalisten hormonien anaboliset vaikutukset näkyvät muun muassa lisääntyneenä painon kasvuna ja parempana kilpailukyynä poikasilla (Cucco ym., 2008). Myös Tschirrenin ym. (2004, 2005) tutkimuksissa havaittiin androgeenien vaikuttavan positiivisesti kanarianhemppojen (*Serinus canaria*) postnataaliseen kasvuun ja kilpailukykyyn sekä yksilön sosiaaliseen statukseen. Parempi kilpailukyky luultavimmin johtuu korkean testosteronipitoisuuden aiheuttamasta rohkeammasta ja aggressiivisemmasta käytöksestä. Rohkeampi ja aggressiivisempi käytös ei välttämättä aina ole täysin hyödyllinen, ja voi aiheuttaa linnulle suuremman riskin joutua saalistuksen kohteeksi (Ruuskanen ym., 2012). Testosteroni ei siis ainoastaan tuota positiivisia vaikutuksia, etenkin korkeilla ja normaalia fysiologista tasoa korkeammilla testosteronipitoisuuksilla (Cucco ym., 2008; Muriel ym., 2017). Siten testosteronin pitoisuuden myötä sen hyötyjen lisäksi myös sen haitalliset vaikutukset kasvavat, minkä vuoksi sitä ei siirretä muniin mahdollisimman suurta määrää.

Cuccon ym. (2008) tutkimuksessa peltopyyllä (*Perdix perdix*) suuren testosteroniannoksen muniin injektointiin 20 µg testosteronia, joka on tässä tutkielmassa käytetyn testosteronipitoisuuden 1000-kertainen määrä. Samassa tutkimuksessa pienen annoksen testosteronimäärä oli 20 ng. Cuccon ym. (2008) tutkimuksessa todistettiin korkealla testosteronipitoisuudella olevan immuunitoimintaa heikentävä vaikutus (Foo ym., 2017; Ruuskanen ym., 2012). Tschirrenin ym. (2004) tutkimuksessa on myös todistettu normaalia fysiologista tasoa korkeamman testosteronipitoisuuden aiheuttavan alttiutta loisille, ja Cuccon ym. (2008) tutkimuksessa kasvattavan oksidatiivista stressiä. Naaraat, jotka altistuivat loisille ennen munimista, tuottivat vähemmän testosteronia muniin (Tschirren ym., 2004). Androgeenien vähentäminen voi johtaa jälkeläisten parempaan immuunijärjestelmään (Tschirren ym., 2004).

Testosteronin on löydetty aiheuttavan saman lajin sisällä sukupuolten välisiä vastakkaisia vaikutuksia (Cucco ym., 2008). Koirailta positiivisia vaikutuksia nähdään lisääntymismenestyksessä, johtuen muun

muassa lisääntyneestä viehätysvoimasta ja parittelumenestyksestä (Ruuskanen ym., 2012). Naarailla taas negatiivisia vaikutuksia voi esiintyä lisääntymisfysiologiassa ja -suorituksessa, muun muassa vähentyneestä parittelusta tai munittujen munien määrästä (Ruuskanen ym., 2012).

Testosteronipitoisuus on yleisesti korkeampi koirilla kuin naarailla (Whittaker ym., 2011). Naarailla testosteronipitoisuudet nousevat lisääntymiskauden alussa ennen munimista, kun munia varten tuotetaan hormoneja (Whittaker ym., 2011). Munimisen jälkeen testosteronipitoisuudet laskevat – naarailla jyrkemmin kuin koirilla (Whittaker ym., 2011). Whittakerin ym. (2011) mukaan testosteronipitoisuudet pysyvät matalana molemmilla vanhemmilla jälkeläisten hoidon ajan. Monet fysiologiset ja käyttäytymisen muutokset lisääntymiskautena tulevat esille, kun yksilö siirtyy lisääntymisvalmiuteen (engl. breeding condition) steroidihormonitasojen muuttuessa (Whittaker ym., 2011). Kuten testosteronitasojen, myös uropygiaalirauhasen tuottaman eritteen määrän huomattiin nousevan lisääntymiskauden alussa, kuten myös testosteronitasojen kausittainen muuttuminen (Whittaker ym., 2011). Tämä viittaa siihen, että steroidihormoneilla ja uropygiaalirauhasen eritteen määrissä on positiivinen yhteys (Whittaker ym., 2011).

1.4 Tutkielman tavoite ja hypoteesit

Tutkielman tavoitteena on selvittää vaikuttaako prenataalinen testosteroni talitiaisten fysiologisiin ominaisuuksiin. Hypoteesini tutkielmassani ovat: prenataalinen testosteroni vaikuttaa uropygiaalirauhasen kokoon, ja prenataalinen testosteroni vaikuttaa höyhenpunkkiin eli höyhenpunkkien määrään höyhenissä. Prenataalisen testosteronin vaikutuksista ei vielä tiedetä paljon, jonka vuoksi tämä tutkielma mahdollisesti antaa mielenkiintoista lisätietoa sen vaikutuksista.

Tutkielmassani käytetty testosteronipitoisuus on pidetty normaalien fysiologisten rajojen sisällä, jotta saataisiin mahdollisimman luonnollisten vaikutusten kaltaisia tuloksia, kuitenkin riittävän korkealla, jotta nähtäisiin sen aiheuttamia mahdollisia vaikutuksia.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Talitiainen (Parus major)

Talitiainen (*Parus major*) on varpuslintujen lahkoon (Passeriformes) kuuluva tiaislaji. Talitiaisit ovat yksi yleisimmistä tiaislajeista koko Euroopassa. Talitiaisien tunnusmerkkejä ovat muun muassa musta

pää, jossa vaalea poski, kellertävässä mahassa esiintyvä musta juova, selän vihertävä ja siniharmaa väritys sekä varpuslinnuille ominainen pieni koko. Talitiaiset munivat huhti-toukokuun aikana noin 6–12 munaa. Ainoastaan naaras hautoo ja hautominen kestää noin 12–15 vuorokautta. Poikaset ovat pesässä noin 16–21 vuorokautta (LuontoPortti, 2025). Talitiaisen ensisijainen elinympäristö on kangasmetsät, mutta talitiaisista esiintyy myös muun muassa lehdoissa, puistoissa ja pihamailla (Laji.fi, 2025). Talitiainen pesii Suomessa koko maassa. Talitiaiset pesivät puun kolossa tai linnunpöntössä, ja käyttävät pesämateriaaleina sammalta, karvaa ja joskus myös höyheniä.

2.2 Aineiston kerääminen

Aineiston kerääminen toteutettiin Turun Ruissalossa (60° 44' N, 22° 20' E) 2024 touko-kesäkuun ja loka-marraskuun aikana. Tutkimusorganismina toimivat talitiaiset, jotka pesivät Ruissalon alueella linnunpönttöihin. Ruissalossa on laajalle alueelle asennettu yhteensä noin 580 merkittyä linnunpönttöä, joihin useat lintulajit, kuten talitiainen, sinitiaainen sekä kirjosiippo pesivät vuosittain. Linnunpöntöillä kierrettiin 2024 huhtikuun aikana samalla seuraten mihin linnunpönttöihin talitiaiset pesivät. Tutkimukseen valikoitui yhteensä 47 linnunpönttöä ympäri Ruissaloa yksinkertaisesti sen mukaan, kuinka moneen pesi talitiainen. Poikasia kuoriutui yhteensä 218. Lopulta pesiä jäi jäljelle 39, ja poikasia alkuperäisestä määrästä jäi jäljelle 172, koska osa poikasista hävisi tai kuoli. Poikasia jouduttiin myös siirtämään pesästä toiseen, jos alkuperäisessä pesässä poikasia oli vain yksi tai kaksi. Tämä tehtiin yksittäisen poikasen edun tai parin poikasen aiheuttaman suuremman kilpailun välttämiseksi. Tutkimuksella oli Aluehallintoviraston sekä Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen myöntämät luvat talitiaisten pyydystämiseen, munien hormonitason manipulointiin ja näytteenottoon.

2.2.1 Munien manipulointi injektoimalla

Munien injektioinnit suoritettiin huhti-toukokuun aikana 2024. Linnunpöntöillä kierrettiin neljän päivän välein, jotta saatiin selvitettyä munimispäivä. Injektioinnit aloitettiin, kun linnunpönttöön oli munittu viisi munaa ja ennen kuin alkionkehitys alkaa emon hautomisen seurauksena. Munimisen edetessä jokainen uusi muna injektioitiin. Injektoidut munat merkittiin tussilla, jotta pystyttiin erottamaan ne myöhemmin munituista munista. Poikkeamien välttämiseksi sama henkilö, Jaime Muriel, suoritti kaikki injektioinnit. Munien määrä, koko sekä munimispäivä kirjattiin ylös Excel-tiedostoon.

Linnunpönttöjen jako eri koeryhmiin tehtiin satunnaisesti. Linnunpöntöt jaettiin testosteroni- ja kontrolliryhmiin. Testosteroniryhmän muniin injektioitiin testosteronia 25,6 ng, joka oli liuotettu 5 µl:n seesamiöljy (ref. 85067, Sigma-Aldrich®). Testosteronin määrä vastaa lajin keskiarvon 4-kertaista keskihajontaa (engl. standard deviation, SD) ja pysyy luonnollisella fysiologisella vaihteluvälillä (Ruuskanen ym., 2009; Tschirren ym., 2004). Kontrolliryhmän muniin injektioitiin pelkästään

seesamiöljyä 5 µl. Seesamiöljyä käytetään, koska testosteroni on rasvaliukoinen hormoni, ja liukenee siihen hyvin (ks. luku 1.3) Muna valaistiin alapuolelta, jotta keltuainen oli helpommin nähtävissä ja injektoidavissa. Munaan tehtiin reikä 26 G neulalla, testosteroni tai seesamiöljy injektoidiin Hamilton ruiskulla (702RN) munan keltuaiseen ja lopuksi reikä suljettiin pisaralla kudoksiimaa (3M® Vetbond TM, n°. 1469SB). Injektoinnin jälkeen munat siirrettiin välittömästi takaisin pesään.

2.2.2 Poikasten mittaukset

Uropygiaalirauhasesta otettiin mitat, kun poikaset olivat 14 päivän ikäisiä sekä uudelleenpyynnin aikana nuorilta yksilöiltä. Rauhasen päällä oleviin höyheniin suihkutettiin 70 %:sta alkoholia, jolla saatiin höyhenet pois tieltä mittauksen ajaksi. Rauhasesta mitattiin sen leveys, pituus ja korkeus työntömitan (tarkkuus 0,01 mm) avulla sekä papillan korkeus. Saadut mitat sekä yksilön rengasnumero merkittiin ylös ja kirjattiin Excel-tiedostoon. Rauhasen mittojen avulla laskettiin sen tilavuus.

14 päivän ikäisiltä poikasilta mitattiin myös paino digitaalisella vaa'alla (tarkkuus: 0,01 g) sekä säären pituus työntömitan avulla. Säären pituus toimii mittana lintujen ruumiinkoon ja kunnan arvioimisessa. Sukupuoli määritettiin vasta uudelleenpyynnin aikana nuorilta yksilöiltä.

2.2.3 Höyhenten kerääminen ja höyhenpukkien laskeminen

Nuoria yksilöitä kiinnitettiin Ruissalossa ruokintapaikkojen ympärillä lokakuussa 2024. Ruokintapaikkojen ympärille pystytettiin lintuverkot, ja laitettiin talitiaisten laulua sisältävä nauhoite soimaan taustalle. Linnut lensivät verkkoihin matkalla ruokinta-automaatille tai poistuessaan sieltä. Verkkoja tarkastettiin noin 30 minuutin välein, ja linnut irrotettiin verkoista. Verkkoihin kiinnijääneiden talitiaisten renkaat tarkastettiin ja valittiin yksilöt, jotka oli rengastettu heinäkuun 2024 aikana. Suurin osa datasta sekä näytteet on saatu Jaime Murielilta, joka oli mukana nuorien lintujen kiinniotossa.

Koeryhmien linnuilta irrotettiin kunkin siiven toiseksi sisin tertiäärisulka, jotka laitettiin pieniin suljettaviin Minigrip-pusseihin. Sulat annettiin olla Minigrip-pusseissa muutaman kuukauden ajan, missä sulissa kiinni olevat höyhenpunkin kuolevat ja irrottautuvat höyhenestä. Näin höyhenpunkit olivat helpommin laskettavissa. Höyhennäytteet saatiin yhteensä 52 nuorelta rengastetulta yksilöltä. Höyhenpukkien laskeminen toteutettiin stereomikroskoopin avulla. Jokainen höyhenessä vielä kiinni oleva sekä irronnut höyhenpunkki laskettiin ja kirjattiin ylös. Myös sulat mitattiin työntömitan avulla ja niiden keskiarvot laskettiin.

Lisäksi uropygiaalirauhasen papillan korkeus eli koko mitattiin. Papillan koolla voi olla riippumaton vaikutus eritteen määrään, jonka vuoksi se mitattiin erikseen. Papillasta kerättiin eritettä ohuisiin 50 µl kapilaariputkiin kevyesti painamalla, kunnes papilla oli tyhjä. Tämän jälkeen eritteen määrä arvioitiin

mittaamalla työntömitan avulla. Koska tutkimusten mukaan isommat uropygiaalirauhaset erittävät enemmän eritettä (Galván ym., 2008; Møller ym., 2009) ja höyhenpunkit hyödyntävät eritettä ravintonaan (Galván ym., 2012; Soler ym., 2012), uropygiaalirauhasen koolla ja eritteen määrällä voi olla vaikutusta höyhenpunkkuormaan, ja siksi myös eritteen määrä mitattiin. Linnuilta määritettiin myös rasvan määrä eli rasvaindeksi sekä mitattiin säären pituus työntömitan avulla. Näiden muuttujien avulla voidaan arvioida linnun kuntoa, ravitsemustilaa ja kokoa.

2.3 Aineiston tilastollinen analysointi

Aineistoa analysoitiin R-ohjelmointikielellä versiolla 4.4.5 (R Core Team, 2024) RStudio-ohjelmistossa versiolla 2024.12.1.563 (Posit Team, 2024). Analysointi tehtiin seuraavien muuttujien avulla: koeryhmä, sukupuoli, uropygiaalirauhasen tilavuus ja sen papillan koko, paino, säären pituus, eritteen määrä, rasvaindeksi, munan tilavuus, munien määrä, munimispäivä ja linnun kunto. Lisäksi analysoitiin koeryhmän ja sukupuolen välistä yhdysvaikutusta uropygiaalirauhasen papillan kokoon. Linnun kunto laskettiin jäännösvaihtelusta eli yksilön poikkeamasta painon ja säären pituuden välisestä regressiosta. Analysointi on suoritettu vain niiltä 52 yksilöltä, joiden sukupuoli tiedetään.

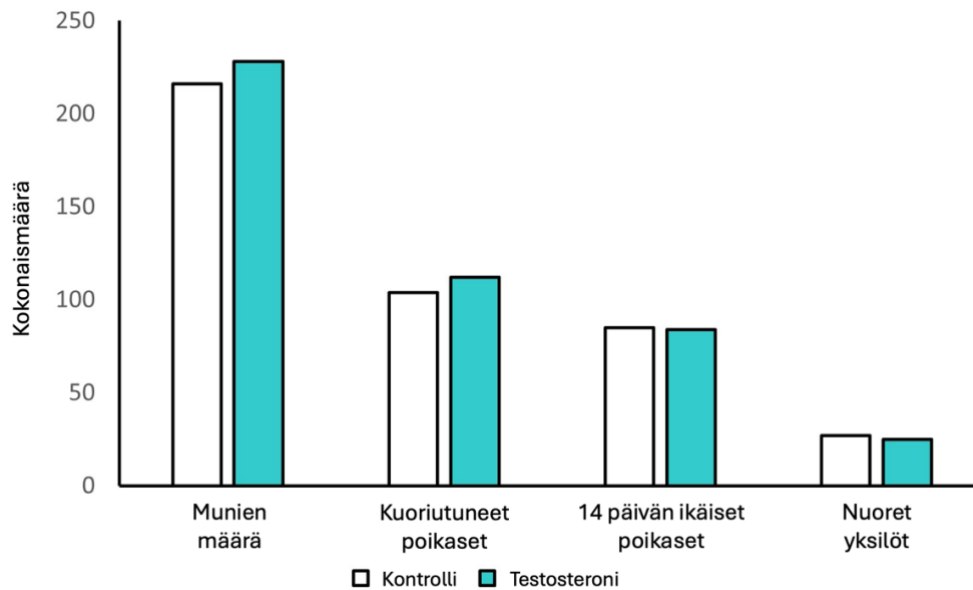
Aineistoa analysoitiin khiin neliö -testillä, lineaarisella mallilla ja sekamallilla sekä Anovalla. Khiin neliö -testillä arvioitiin koeryhmän vaikutusta jälkeläisten selviytymiseen eri kehitysvaiheissa sekä vaikuttivatko koeryhmä ja sukupuoli yhdessä uropygiaalirauhasen papillan kokoon. Lineaarilla mallilla, lineaarisella sekamallilla sekä anovalla analysoitiin muiden muuttujien välistä keskiarvojen tilastollista eroa sekä muuttujien välisiä vaikutuksia toisiinsa.

3 TULOKSET

3.1 Jälkeläisten selviytyminen

Testosteronin vaikutusta jälkeläisten selviytymiseen eri kehitysvaiheissa analysoitiin lineaarisella mallilla ja arvioitiin khiin neliö -testillä vertailemalla koeryhmien (testosteroni T ja kontrolli C) yksilöiden määrää eri vaiheissa. Munien määrä oli melko sama molemmissa koeryhmissä (C: 216, T: 228). Kuoriutuneiden poikasten osuus ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi (C: 104/216, T: 112/228; $\chi^2 = 0,13$, $df = 1$, $p = 0,72$), kuten ei 14 päivän ikäisen poikasten (C: 85/216, T: 84/228; $\chi^2 = 0,45$, $df = 1$, $p = 0,50$) tai syksyllä uudelleenpyydyttyjen nuorten yksilöiden osuus (C: 27/216, T: 25/228; $\chi^2 = 0,08$, $df = 1$, $p = 0,78$) (Kuva 1). 14 päivän ikäisten poikasten kuntoon – laskettuna kehon massan ja säären

pituuden välisestä regressiosta saadun jäännösarvon perusteella – ei myöskään vaikuttanut testosteronikäsittely ($F_{1,50} = 0,214$, $p = 0,646$).

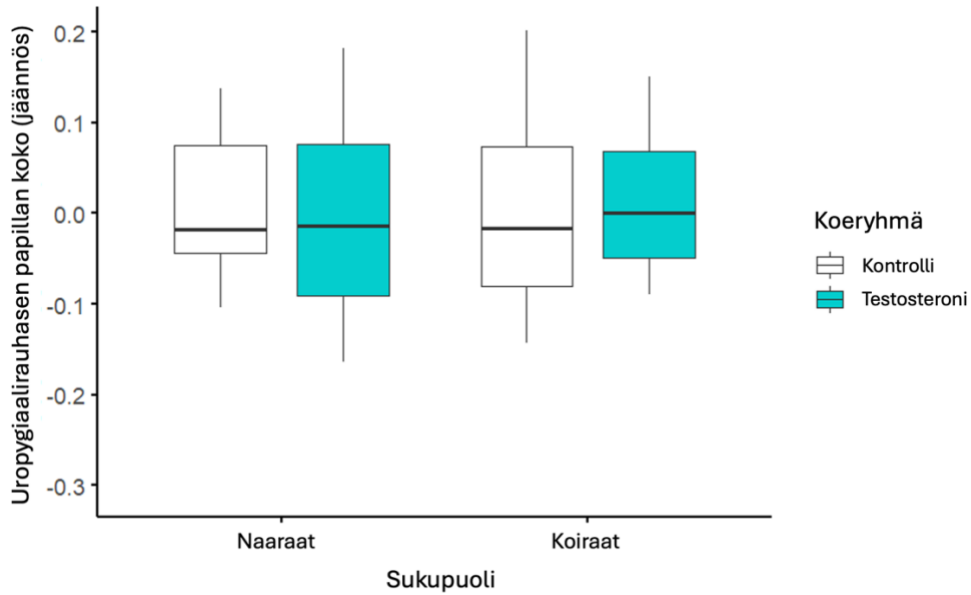


Kuva 1. Munien, kuoriutuneiden poikasten, 14 päivän ikäisten poikasten ja nuorten yksilöiden määrät kontrolli- ja testosteroniryhmissä. Valkoiset pylväät vastaavat kontrolliryhmää ja sinivihreät pylväät testosteroniryhmää.

3.2 Uropygiaalirauhanen

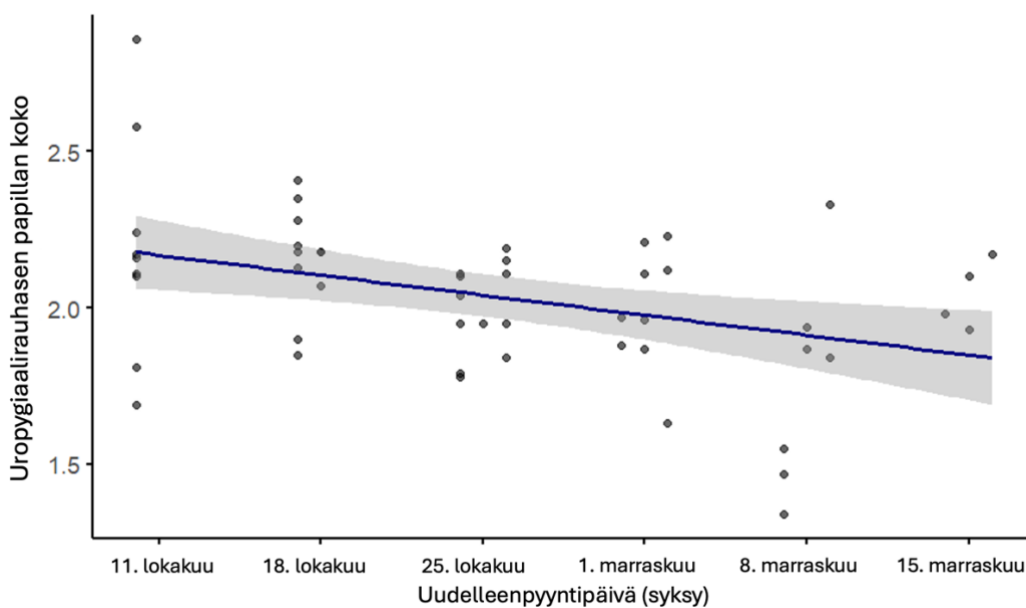
14 päivän ikäisten poikasten uropygiaalirauhasen tilavuus ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi koeryhmien välillä (lineaarinen malli: $F_{6,45} = 0,020$, $p = 0,89$) tai sukupuolten välillä (lineaarinen malli: $F_{5,46} = 0,155$, $p = 0,69$). Tilavuuteen ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi myöskään pesän poikasten määrä, munan tilavuus tai munimispäivä (lineaarinen malli: kaikki p -arvot $> 0,51$). Uropygiaalirauhasen tilavuus korreloi positiivisesti poikasen kunnan kanssa 14 päivän ikäisenä (lineaarinen malli: $F_{1,50} = 9,267$, $p = 0,0037$).

Uropygiaalirauhasen papillaan 14 päivän ikäisillä poikasilla vaikutti lähes merkitsevästi koeryhmän ja sukupuolen välinen vuorovaikutus (sekamalli: $\chi^2 = 3,55$, $df = 1$, $p = 0,059$): papillan koko oli hieman suurempi koirilla, jotka kuoriutuivat testosteroni-injektoiduista munista (kuva 2). Munan tilavuus ennusti merkitsevästi papillan kokoa (sekamalli: estimaatti = $-0,771$, $SE = 0,350$, $t_1 = -2,203$, $p = 0,038$). Poikasen kunto, munimispäivä tai pesän poikasten määrä ei kuitenkaan vaikuttanut tähän ominaisuuteen (sekamalli: kaikki p -arvot $> 0,16$).



Kuva 2. Uropygiaalirauhasen papillan koko jäännösinä 14 päivän ikäisillä poikasilla koeryhmän ja sukupuolen mukaan. Mediaanit esitetty lihavoiduilla vaakaviivoilla, kvartiilivälit laatikoilla sekä vaihteluväli ilman poikkeavia arvoja pystyviivoilla.

Yksikään muuttujista, mukaan lukien linnun kunto, ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi uropygiaalirauhasen tilavuuteen nuorilla yksilöillä (lineaarinen malli: kaikki p-arvot $> 0,22$). Samoin uropygiaalirauhasen papillan kokoon yksikään muuttujista ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi, paitsi uudelleenpyyntipäivä. Uudelleenpyyntipäivällä oli huomattava negatiivinen vaikutus (lineaarinen malli: estimaatti = $-0,009$, SE = $0,003$, $t_1 = -2,974$, $p = 0,005$; kuva 3).

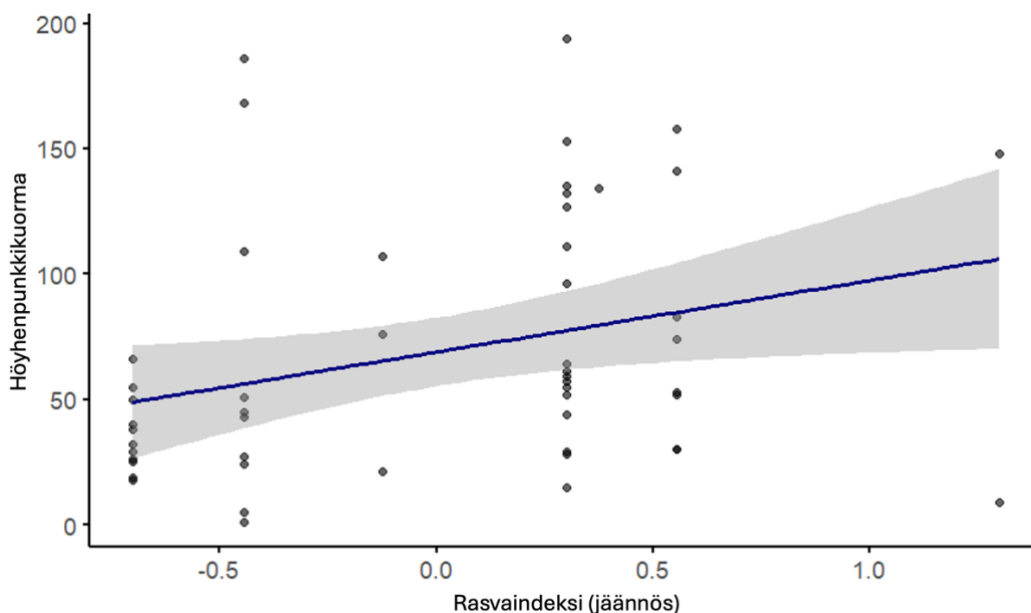


Kuva 3. Uropygiaalirauhasen papillan koon ja uudelleenpyyntipäivän yhteys syksyllä nuorilla yksilöillä. Harmaa vyöhyke esittää 95 %:n luottamusvälin lineaariselle mallille.

Uropygiaalirauhasen eritteen määrään ei merkittävästi vaikuttanut koeryhmä, sukupuoli tai linnun kunto (lineaarinen malli: kaikki p-arvot > 0,26). Eritteen määrään kuitenkin huomattavasti vaikutti sekä uudelleenpyyntipäivä sekä uropygiaalirauhasen tilavuus. Eritteen määrä väheni, mitä myöhempi uudelleenpyyntipäivä oli (lineaarinen malli: estimaatti = -0,110, SE = 0,036, $t_1 = -3,058$, $p = 0,004$) sekä kasvoi, mitä isompi uropygiaalirauhasen tilavuus oli (lineaarinen malli: estimaatti = 0,021, SE = 0,008, $t_1 = 2,624$, $p = 0,012$).

3.3 Höyhenpungit

Prenataalin testosteroni ei vaikuttanut höyhenpungkikuormaan (yleistetty sekamalli: $\chi^2 = 0,348$, $df = 1$, $p = 0,554$). Myöskään eroja sukupuolten välillä ei löydetty (yleistetty sekamalli: $\chi^2 = 2,504$, $df = 1$, $p = 0,113$). Muilla muuttujilla, kuten uropygiaalirauhasen tilavuus, eritteen määrä, uudelleenpyyntipäivä, linnun kunto tai sulkien pituus, ei ollut tilastollisesti merkittävää vaikutusta höyhenpungkikuormaan (yleistetty sekamalli: kaikki p-arvot > 0,18). Kuitenkin höyhenpungkikuorma oli positiivisesti yhteydessä rasvaindeksiin (yleistetty sekamalli: estimaatti = 0,481, SE = 0,190, $t_1 = 2,527$, $p = 0,0115$; kuva 4).



Kuva 4. Höyhenpungkikuorman ja rasvaindeksin välinen yhteys jäännöksinä syksyllä. Harmaa vyöhyke esittää 95 %:n luottamusvälin lineaariselle mallille.

4 POHDINTA

Tutkielman tavoitteena oli selvittää, onko androgeenipitoisuuksien manipuloinnilla vaikutusta uropygiaalirauhasen kokoon tai höyhenpunkkiuormaan. Tarkastelin myös testosteronikäsittelyn vaikutusta jälkeläisten selviytymiseen selvittääksemme, liittyykö androgeenitason manipulointiin mahdollisia negatiivisia vaikutuksia eloonjäämisen kannalta. Tässä tutkimuksessa testosteronikäsittelyllä ei ollut havaittavaa vaikutusta poikasten eloonjäämiseen kuoriutumisesta myöhäiseen poikasvaiheeseen asti. Tämä mahdollisesti kertoo injektoidun testosteronipitoisuuden olleen normaalien fysiologisen rajojen sisällä sekä sen, että se ei ole aiheuttanut suuria negatiivisia haittoja.

Uropygiaalirauhasta on verrattu nisäkkäiden talirauhasiin ja on esitetty, että uropygiaalirauhasen ominaisuuksiin voi vaikuttaa androgeenit (Abalain ym., 1986; Whittaker ym., 2011). Koska androgeeneilla on anabolisia vaikutuksia (Groothuis ym., 2005), uropygiaalirauhasen tilavuuden odotettiin kasvavan testosteronikäsittelyllä, mutta saadut tulokset osoittivat toista. Testosteronin lisäys munavaiheessa ei vaikuttanut uropygiaalirauhasen tilavuuteen 14 päivän ikäisillä poikasilla, kuten ei nuorilla yksilöilläkään. Tilavuus oli kuitenkin positiivisesti yhteydessä poikasen kunnan kanssa, joka viittaa siihen, että parempi kuntoiset yksilöt kehittivät suuremman uropygiaalirauhasen. Tulokset osoittivat myös poikasen kunnan olevan riippumaton testosteronikäsittelystä, joten uropygiaalirauhasen tilavuus ei voinut myöskään välillisesti olla yhteydessä testosteronikäsittelyyn. Myös nuorilla yksilöillä mikään tutkituista muuttujista ei vaikuttanut merkitsevästi uropygiaalirauhasen tilavuuteen. Tämä viittaa siihen, että uropygiaalirauhasen kehitys näyttää olevan pääosin riippumaton sekä prenataalisesta androgeenialtistuksesta että postnataalisesta kunnosta. Koska uropygiaalirauhasen tilavuus korreloi positiivisesti poikasen kunnan kanssa vain 14 päivän ikäisillä poikasilla mutta ei nuorilla yksilöillä, tämä viittaa siihen, että uropygiaalirauhasen kehitys ja siihen vaikuttavat tekijät voisivat olla iästä riippuvaisia. Tulokset voivat myös heijastaa resurssien allokoinnin muutosta yksilön kehityksen edetessä. Myöskään poikasen paino ei vaikuttanut tilavuuteen, toisin kuin Møllerin ja Laursenin (2019) tutkimuksessa havaittiin.

Uropygiaalirauhasen erite vapautuu sen papillasta, joten papillan mahdollinen suurentuminen testosteronikäsittelyn seurauksena voisi lisätä vapautuvan eritteen määrää. Uropygiaalirauhasen papillan kokoon nähtiin marginaalinen yhdysvaikutus 14 päivän ikäisillä poikasilla, mutta ei nuorilla yksilöillä. Papillan suurempi koko testosteronikäsittelyjen munien 14 päivän ikäisillä koiraspuolisilla poikasilla osoittaa mahdollisen sukupuolisidonnaisen morfologisen vaikutuksen testosteronille. Tämä voisi johtua testosteronin lyhytaikaisista vaikutuksista, koska kuitenkin nuorilla yksilöillä vaikutusta ei nähty. 14 päivän ikäisillä poikasilla nähtiin myös munan koon ja papillan koon välinen negatiivinen

yhteys. Tämä voisi viitata eroihin resurssien allokoinnissa. Nuorilla yksilöillä mikään muuttujista, paitsi uudelleenpyyntipäivä, ei vaikuttanut merkittävästi papillan kokoon, mikä voisi viitata rakenteen kehityksen kausittaiseen laskuun (Jacob ym., 2014; Møller & Laursen, 2019; Vincze ym., 2013). Toisin kuin uropygiaalirauhasen tilavuuteen, papillaan ei vaikuttanut poikasen kunto.

Uropygiaalirauhasen eritteen tarkasta toiminnasta ei ole vielä varmuutta (Alt ym., 2020), mutta sen on arvioitu liittyvän useisiin toimintoihin, kuten lämmöneristykseen, kommunikointiin sekä höyhenten eheyteen sen antimikrobisten ominaisuuksien avulla (Bodawatta ym., 2020; Soler ym., 2012; Vincze ym., 2013). Eritteen määrä siten voisi toimia biomarkerina muun muassa yksilön höyhenpeitteen kunnosta ja kyvystä ylläpitää sitä sekä sosiaalisesta käyttäytymisestä. Uropygiaalirauhasen eritteen määrään ei vaikuttanut koeryhmä, sukupuoli tai linnun kunto, mikä viittaa siihen, että eritteen määrä on riippumaton kyseisistä muuttujista. Eritteen määrään kuitenkin vaikuttivat uudelleenpyyntipäivä sekä uropygiaalirauhasen tilavuus. Myöhempi uudelleenpyyntipäivä korreloi pienemmän eritteen määrän kanssa, kun taas suurempi uropygiaalirauhasen suuremman eritteen määrän kanssa. Tämä vastaa aikaisempia tutkimustuloksia (Galván ym., 2008; Møller ym., 2009; Soler ym., 2012).

Tulokset osoittivat positiivisen yhteyden linnun rasvaindeksiin eli rasvan määrän sekä höyhenpukkien määrän välillä. Kuitenkaan suoraan linnun kunnan ja höyhenpukkien määrän välillä ei löydetty yhteyttä. Rasvaindeksillä voidaan arvioida muun muassa linnun fysiologista tilaa ja energiavarastojen määrää. Siten rasvaindeksiin ja höyhenpukkien määrän positiivinen yhteys voisi viitata siihen, että paremmassa fysiologisessa tilassa olevilla ja suuremmat energiavarastot omaavilla yksilöillä on enemmän höyhenpukkeja. Tämä vahvistaa Brownin ym. (1995) tutkimuksen tuloksia, mutta ovat päinvastaisia Bridgen ym. (2003) ja Galvánin ym. (2012) tutkimuksien kanssa, joissa havaittiin huonommassa kunnossa (pienempi rasvavarasto) olevilla yksilöillä suurempaa höyhenpukkikuormaa. Muilla muuttujilla ei ollut vaikutusta höyhenpukkikuormaan, mikä eroaa muun muassa Solerin ym. (2012) tutkimustulosten kanssa, jossa eritteen määrä positiivisesti korreloi höyhenpukkien määrän kanssa sekä Galvánin & Sanzin (2006) tutkimustulosten kanssa, jossa höyhenpukkien määrä korreloisi positiivisesti rauhasen koon kanssa. Tämä voi viitata siihen, että ehkä uropygiaalirauhasen erite ei olekaan niin tärkeä resurssi höyhenpukkeille. Nämä erot voivat johtua lajieroista tai, koska höyhenpukkeja ei tunnustettu tai eritelty yläluokkaa tarkemmin, emme voi olla varmoja ovatko ne mutualistisia tai loislajeja.

Testosteronilla ei anabolisista vaikutuksista huolimatta näytä olevan vaikutusta uropygiaalirauhasen tai höyhenpukkikuormaan. Useat muuttujat olivat yhteydessä poikasen kunnan kanssa, mutta koska testosteronikäsittelyllä ei ollut vaikutusta poikasten kuntoon, ei sillä myöskään ole välillistä vaikutusta näihin muuttujiin. Tämä saattaa viitata ympäristön tai muiden hormonien vaikuttavan näihin ominaisuuksiin androgeenipitoisuuksia todennäköisemmin. Emon tuottamien hormonien vaikutuksia

tulisi tutkia lisää, ja ottaa huomioon erilaisia, suurempia testosteronipitoisuuksia, jotta saataisiin laajemmin analysoitua mahdollisia vaikutuksia jälkeläisiin.

5 KIITOKSET

Kiitos Jaime Murielille tilaisuudesta työskennellä osana tutkimustaan sekä aineiston keräämisestä ja auttamisesta sen analysoinnissa. Kiitos myös Sami Merilaidalle ohjauksesta tutkielmaa tehdessäni.

6 LÄHTEET

- Abalain, J. H., Amet, Y., Floch, H. H., Daniel, J. Y., Lecaque, D., & Secchi, J. (1986). Ultrastructural changes in the uropygial gland of the male Japanese quail, *Coturnix coturnix*, after testosterone treatment: Comparison with the sebaceous gland of the male rat. *Cell and Tissue Research*, 246(2), 373–378. <https://doi.org/10.1007/BF00215900>
- Alt, G., Mägi, M., Lodjak, J., & Mänd, R. (2020). Experimental study of the effect of preen oil against feather bacteria in passerine birds. *OECOLOGIA*, 192(3), 723–733. <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04599-8>
- Bodawatta, K. H., Schierbech, S. K., Petersen, N. R., Sam, K., Bos, N., Jonsson, K. A., & Poulsen, M. (2020). Great Tit (*Parus major*) Uropygial Gland Microbiomes and Their Potential Defensive Roles. *FRONTIERS IN MICROBIOLOGY*, 11, 1735. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01735>
- Bridge, E. S. (2003). Densities and distributions of commensal feather mites (*Zachvatkinia caspica*) among the primaries of Caspian Terns. *International Journal of Acarology*, 29(4), 389–398. <https://doi.org/10.1080/01647950308684356>
- Brown, C., Brown, M., & Rannala, B. (1995). Ectoparasites reduce long-term survival of their avian host. *PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B-BIOLOGICAL SCIENCES*, 262(1365), 313–319. <https://doi.org/10.1098/rspb.1995.0211>

- Cucco, M., Guasco, B., Malacarne, G., Ottonelli, R., & Tanvez, A. (2008). Yolk testosterone levels and dietary carotenoids influence growth and immunity of grey partridge chicks. *General and Comparative Endocrinology*, *156*(2), 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2007.12.010>
- Dabert, J., & Mironov, S. V. (1999). Origin and evolution of feather mites (Astigmata). *Experimental and Applied Acarology*, *23*, 437–454.
- Foo, Y. Z., Nakagawa, S., Rhodes, G., & Simmons, L. W. (2017). The effects of sex hormones on immune function: A meta-analysis. *Biological Reviews*, *92*(1), 551–571. <https://doi.org/10.1111/brv.12243>
- Galván, I., Aguilera, E., Atienzar, F., Barba, E., Blanco, G., Canto, J. L., Cortes, V., Frias, O., Kovacs, I., Melendez, L., Moller, A. P., Monros, J. S., Pap, P. L., Piculo, R., Senar, J. C., Serrano, D., Tella, J. L., Vagasi, C. I., Voegeli, M., & Jovani, R. (2012). Feather mites (Acari: Astigmata) and body condition of their avian hosts: a large correlative study. *JOURNAL OF AVIAN BIOLOGY*, *43*(3), 273–279. <https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2012.05686.x>
- Galván, I., Barba, E., Piculo, R., Canto, J., Cortes, V., Monros, J., Atienzar, F., & Proctor, H. (2008). Feather mites and birds: An interaction mediated by uropygial gland size? *JOURNAL OF EVOLUTIONARY BIOLOGY*, *21*(1), 133–144. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2007.01459.x>
- Galván, I., & Sanz, J. J. (2006). Feather mite abundance increases with uropygial gland size and plumage yellowness in Great Tits *Parus major*. *Ibis*, *148*(4), 687–697. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00576.x>
- Groothuis, T., Müller, W., von Engelhardt, N., Carere, C., & Eising, C. (2005). Maternal hormones as a tool to adjust offspring phenotype in avian species. *NEUROSCIENCE AND BIOBEHAVIORAL REVIEWS*, *29*(2), 329–352. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2004.12.002>
- Jacob, S., Immer, A., Leclaire, S., Parthuisot, N., Ducamp, C., Espinasse, G., & Heeb, P. (2014). Uropygial gland size and composition varies according to experimentally modified microbiome in Great tits. *BMC EVOLUTIONARY BIOLOGY*, *14*, 134. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-14-134>

- Laji.fi. (2025). *Talitiainen*. <https://laji.fi/taxon/MX.34567/occurrence>
- LuontoPortti. (2025). *Talitiainen*. <https://luontoportti.com/t/750/talitiainen>
- Mullen, G. R., & O'Connor, B. M. (2002). MITES (Acari). *Medical and Veterinary Entomology*, *1*, 449–516. <https://doi.org/10.1016/B978-012510451-7/50025-6>
- Muriel, J., Pérez-Rodríguez, L., Ortiz-Santaliestra, M., Puerta, M., & Gil, D. (2017). Sex-Specific Effects of High Yolk Androgen Levels on Constitutive and Cell-Mediated Immune Responses in Nestlings of an Altricial Passerine. *PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ZOOLOGY*, *90*(1), 106–117. <https://doi.org/10.1086/688445>
- Møller, A. P., Czirjak, G. Á., & Heeb, P. (2009). Feather micro-organisms and uropygial antimicrobial defences in a colonial passerine bird. *Functional Ecology*, *26*(6), 1097–1102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01594.x>
- Møller, A. P., Erritzoe, J., & Rozsa, L. (2010). Ectoparasites, uropygial glands and hatching success in birds. *OECOLOGIA*, *163*(2), 303–311. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1548-x>
- Møller, A. P., & Laursen, K. (2019). Function of the uropygial gland in eiders (*Somateria mollissima*). *AVIAN RESEARCH*, *10*. <https://doi.org/10.1186/s40657-019-0163-8>
- Posit team. (2024). Posit. <https://www.posit.co/>
- R Core Team. (2024). <https://www.r-project.org/>
- Ruuskanen, S., Doligez, B., Pitala, N., Gustafsson, L., & Laaksonen, T. (2012). Long-term fitness consequences of high yolk androgen levels: Sons pay the costs. *Functional Ecology*, *26*(4), 884–894. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2012.01994.x>
- Ruuskanen, S., Doligez, B., Tschirren, B., Pitala, N., Gustafsson, L., Groothuis, T. G. G., & Laaksonen, T. (2009). Yolk androgens do not appear to mediate sexual conflict over parental investment in the collared flycatcher *Ficedula albicollis*. *Hormones and Behavior*, *55*(4), 514–519. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2009.01.010>
- Salibian, A., & Montalti, D. (2009). Physiological and biochemical aspects of the avian uropygial gland. *BRAZILIAN JOURNAL OF BIOLOGY*, *69*(2), 437–446. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000200029>

- Soler, J., Peralta-Sánchez, J., Martín-Platero, A., Martín-Vivaldi, M., Martínez-Bueno, M., & Moller, A. (2012). The evolution of size of the uropygial gland: Mutualistic feather mites and uropygial secretion reduce bacterial loads of eggshells and hatching failures of European birds. *JOURNAL OF EVOLUTIONARY BIOLOGY*, 25(9), 1779–1791.
<https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2012.02561.x>
- Tschirren, B., Richner, H., & Schwabl, H. (2004). Ectoparasite–modulated deposition of maternal androgens in great tit eggs. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 271(1546), 1371–1375. <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2730>
- Vincze, O., Vágási, C., Kovács, I., Galván, I., & Pap, P. (2013). Sources of variation in uropygial gland size in European birds. *BIOLOGICAL JOURNAL OF THE LINNEAN SOCIETY*, 110(3), 543–563. <https://doi.org/10.1111/bij.12139>
- Whittaker, D. J., Soini, H. A., Gerlach, N. M., Posto, A. L., Novotny, M. V., & Ketterson, E. D. (2011). Role of Testosterone in Stimulating Seasonal Changes in a Potential Avian Chemosignal. *Journal of Chemical Ecology*, 37(12), 1349–1357.
<https://doi.org/10.1007/s10886-011-0050-1>