



Saprolegnioosi eli vesihometauti

AMMATTIOPISTO LIVIA KALATALOUS- JA YMPÄRISTÖ
LUONNONVARAKESKUS 2024
OPINNÄYTETYÖ JUKKA SUOMELA (LUKE)

Tiivistelmä

Vesihome on yleisnimitys makeissa vesissä eläville munasienille (*Oomycetes*). Vesihomelajit voivat aiheuttaa kaloissa saprolegnioosin eli vesihometaudin tai tarttua kalojen mätimuniin. Vesihomeita esiintyy kaikkialla luonnonvesissä ja ne aiheuttavat tautipurkauksia erityisesti keväisin ja syksyisin. Vesihome on maailmanlaajuinen ongelma erityisesti lohikalojen makeanveden viljelyssä, jossa se tuottaa suuria taloudellisia tappioita vuosittain.

Saprolegnia parasitica on monimuotoinen elinkierto. Saprolegnioosin tarkkaa syntymekanismia ei tunneta, mutta tutkijat ympäri maailmaa vaikuttavat olevan yhtä mieltä siitä, että taudin puhkeaminen johtuu niin kalan fyysisistä ominaisuuksista, ympäristö- sekä muista ulkoisista tekijöistä kuten kaloille ihovaurioita aiheuttavista bakteereista tai loisista, joista vähintään yhden on ilmevä samanaikaisesti sopivassa elinkierron vaiheessa olevan *Saprolegnia parasitica* kanssa. Malakiittivihreän, joka oli vesihometta vastaan erittäin tehokas, poistuttua hoitomenetelmistä vuonna 2001 ei tehokkaita keinoja vesihomeinfektioiden torjumiseksi ole löydetty, joten tutkimustietoa tarvitaan taudin ehkäisemisen sekä hoitokeinojen mahdollistamiseksi.

Avainsanat: *Saprolegnia parasitica*, Saprolegnioosi, Vesihome

Abstract

Water molds is a general name for oomycetes living in fresh water. Water mold species can cause saprolegniosis, i.e., water mold disease, in fish or infect fish roe eggs. Water molds occur everywhere in natural waters and causes disease outbreaks especially in spring and autumn. Water mold is a worldwide problem, especially in freshwater salmon farming, where it causes large scale economic losses every year.

Saprolegnia parasitica has a diverse life cycle. The exact infection mechanism of saprolegniosis is not known, but scientists around the world seem to agree that the outbreak of the disease is caused by the physical characteristics of the fish, environmental and other external factors, such as bacteria or parasites that cause skin damage to fish, at least one of which must appear at the same time with *Saprolegnia parasitica* in the appropriate stage of the life cycle. Since malachite green, which was very effective against water mold, was removed from treatment methods in 2001, no effective means of combating water mold infections have been found, so research information is needed to enable disease prevention and treatment methods.

Keywords: *Saprolegnia parasitica*, *Saprolegniosis*, *Water molds*

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	4
2	MIKÄ VESIHOME ON	5
3	<i>SAPROLEGNIA PARASITICAN</i> ELINKIERTO	6
4	TAUDIN KUVAUS	8
5	KALAN PUOLUSTUSJÄRJESTELMÄ.....	9
6	TARTUNTA JA TAUDIN SYNTY	11
7	SAIRASTUMISEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	13
8	EHKÄISYMENETELMÄT, HOITO JA TUTKIMUS	15
9	POHDINTAA.....	20
	LÄHTEET	23

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on esitellä *Saprolegnia*-suvun munasienten kaloille aiheuttamaa, vesihomeena tunnettua saprolegnioosia helposti ymmärrettävällä tavalla. Työssä esitellään taudin oireita, taudin puhkeamiselle altistavia tekijöitä sekä ehkäisykeinoja. Vesihomeesta on suomenkielistä kirjoitettua tietoa saatavilla rajoitetusti. Maailmalla vesihometta on tutkittu jo vuosikymmeniä ja tietoa aiheesta englanniksi on saatavilla runsaasti. Artikkelit ovat pääosin kirjoitettu tutkijalta tutkijalle sisältäen yksityiskohtaista mikrobiologista tai geneettistä tietoa ollen siten hyvin tieteellisiä. Vesihometauti koskettaa kuitenkin usein myös toimijoita ilman tieteellistä taustaa. Tämä työ tarjoaa suomenkielisen esittelyn, pääasiassa *Saprolegnia parasitica* ja sen aiheuttamasta vesihometaudista.

Saprolegnioosin tarkkaa syntymekanismia ei tunneta, mutta tutkijat ympäri maailmaa vaikuttavat olevan yhtä mieltä siitä, että taudin puhkeaminen johtuu niin kalan fyysisistä ominaisuuksista, ympäristötekijöistä, *Saprolegnian* esiintymisestä kuin myös mahdollisista muista tekijöistä kuten bakteereista tai loisista. Tätä työtä varten on käyty läpi tutkimuksia Suomesta sekä ympäri maailmaa kirjallisuuskatsausmaisesti.

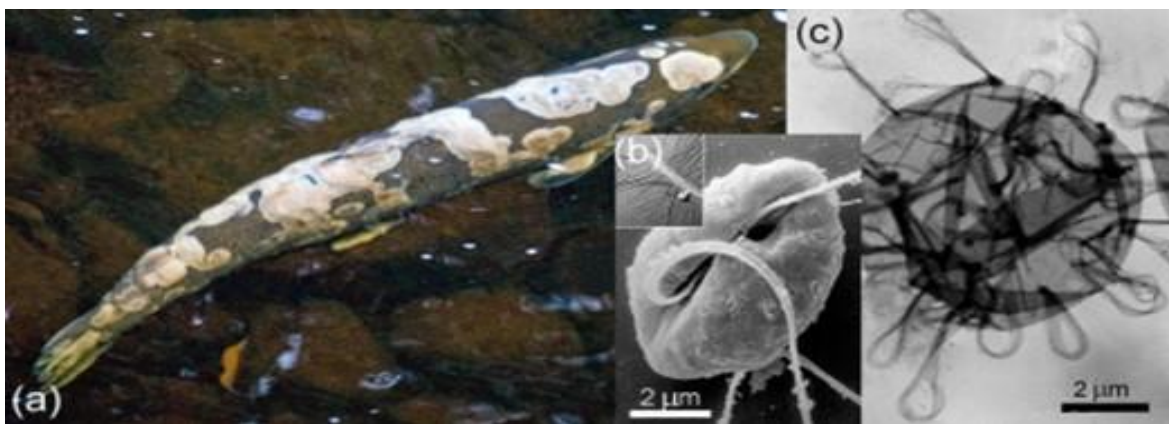
Saprolegnioosi aiheuttaa mittavia taloudellisia tappioita kalanviljelylle ympäri maailmaa sekä uhkaa useita arvokkaita viljelykantoja ja sitä kautta kokonaisten kalakantojen ja lajien hoito- ja suojelutoimia sekä jopa niiden säilymistä luonnossa. Lohikalajien vesihometauksista yleisimmin eristetään *Saprolegnia parasitica* vesihomelajia, kun taas mädistä ja pienpoikasista löydetään pääasiassa *Saprolegnia diclina*:a sekä muita *Saprolegnia* lajeja.

Suomessa erityisen herkkiä *Saprolegnia* tartunnalle ovat uhanalaiset lohikalalajimme kuten järvilohi ja järvitaimen sekä siika ja nieriä. Vesihome tappaa myös syönnösvaellukselta makeaan veteen kudulle palaavia, pääasiassa lohia ja taimenia. Tästä syystä kaikki tietämys Saprolegnioosista on tärkeää. Ratkaisun löytymiseksi vesihomeongelmaa tuleekin tutkia niin mikrobiologiselta, ekologiselta kuin myös käytännön toimien kuten kalojen lääkinnän sekä viljelykäytäntöjen näkökulmasta.

2 Mikä vesihome on

Oomykeettejä tai munasieniä, jotka sairastuttavat vesieliöitä, kutsutaan usein puhekielessä vesihomeiksi. Oomykeettejä esiintyy satoja lajeja pääasiassa makeassa vedessä, mutta *Saprolegnia*-suvun oomykeetit ovat erityisen haitallisia kaloille aiheuttaen saprolegnioosia eli vesihometartunnan, joka on kalojen orvaskeden, useimmiten kuolemaan johtava sairaus. (1a)

Perinteisesti oomykeetit on luokiteltu valtakuntaan sienet rihmakasvunsa ja muiden sienimäisten ominaisuuksiensa vuoksi, mutta viimeaikaiset molekyyli- ja biokemialliset analyysit ovat kuitenkin luokitelleet Oomykeetit ryhmään *Stramenopiles* (ruskeat levät tai sukasiimaiset), johon kuuluvat mm. rakkolevä ja piilevät (Phillips ym. 2008). Vesihomeet luokiteltiin aikaisemmin sieniksi, johtuen osittain myös siitä, että niiden tutkimus tapahtui sienitutkijoiden toimesta.



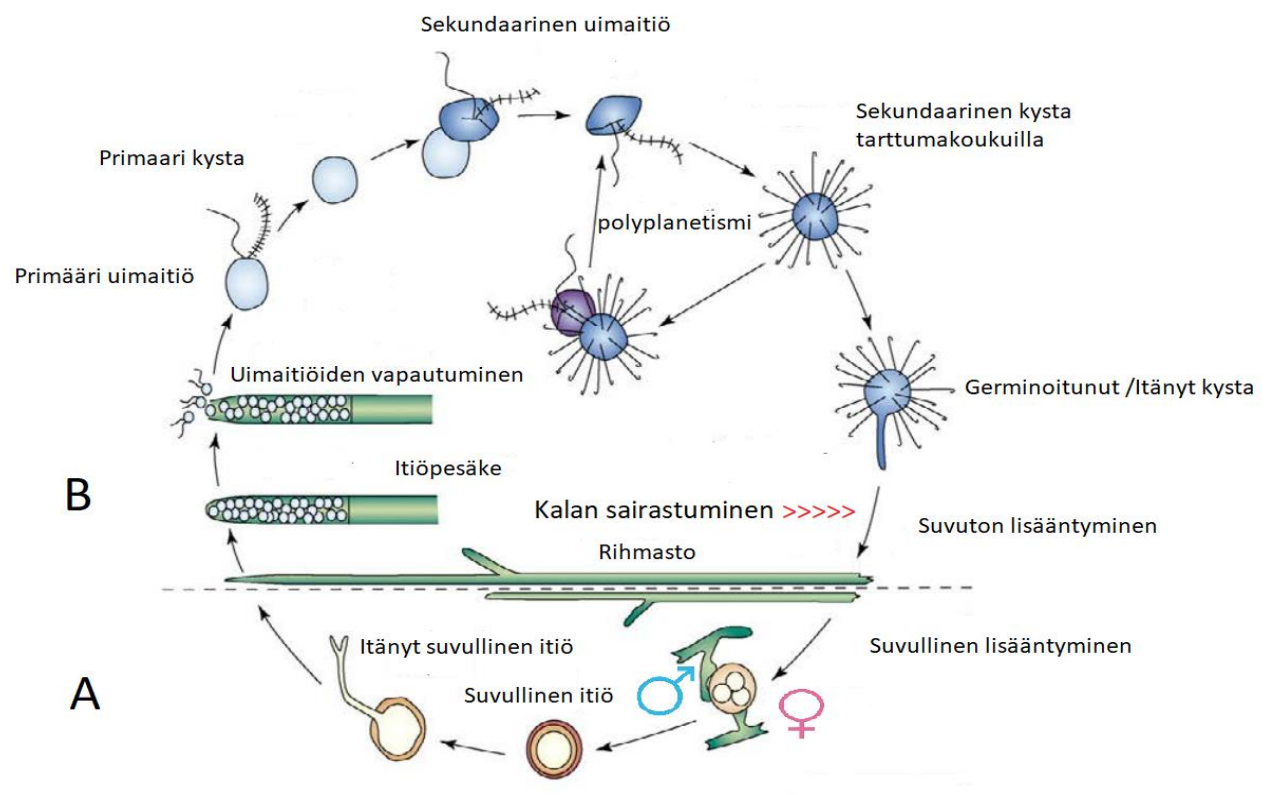
Kuva 1a) Sukukypsä taimen (*Salmo trutta*), jolla *Saprolegnia parasitica* tartunta. b) *S. parasitica* toissijainen parveilutiö. c) *S. parasitica* sekundaarinen kysta. (Muokattu Boddy 2016)

Saprolegnia parasitica lisääntyy sekä suvullisesti että suvuttomasti. Suvuton lisääntyminen on yleisempää, jolloin sienirihma tuottaa siimallisia primäärisiä parveilutiöitä. Nämä asettuvat sienirihman lähelle ja muodostavat lepoitiön. Tämä lepoitiö voi kasvattaa uutta sienirihmaa tai muodostaa sekundäärisiä parveilutiöitä, joita pidetään pääasiallisena homesienen leviämistapana. (Kuva 1b) Ne voivat elää vapaina useita päiviä tai asettua lepoitiöksi, joka selviytyy pitkiä aikoja hyvinkin keuhkoissa oloissa. Itiöiden ansiosta vesihomesienet ovat tehokkaita leviämään paikasta toiseen. *Saprolegnia*a pidetäänkin muutaman muun munasienen kanssa yhtenä maailman laajalle levinneimmistä kalataudeista. (Rahkonen ym. 2012) Vaikka *Saprolegnia parasitica* on vastuussa vesiviljelykalakantojen tappioista ja

heikkenemisestä, sitä löydetään myös makean veden kalalajien luonnollisista populaatioista ja se on kotoperäinen kaikille makean veden elinympäristöille ympäri maailmaa (van West 2006).

3 *Saprolegnia parasitica* elinkierto

Saprolegnia parasitica elinkierto on monimutkainen, ja siihen kuuluu useita ainutlaatuisia ja määriteltyjä kehitysvaiheita, jotka auttavat tekemään siitä menestyksekkään taudinaiheuttajan. (kuva 2) *Saprolegnia* lisääntyy sekä suvullisesti että suvuttomasti. Suvuton lisääntyminen on yleisempää. Se vapauttaa uimaitiöitä (zoosporeja) itiöpesäkkeestä (sporangium). Uimaitiöt ovat yksittäisiä tumallisia soluja, joissa ei ole soluseinää ja jotka uivat kahden uintisiiman (flagella) avulla. *S. parasitica*lla uimaitiöiden muodostuminen voi tapahtua muutamassa minuutissa, ja sitä pidetään yhtenä nopeimmista tunnetuista kehitysprosesseista biologian alalla.



Kuva 2 *Saprolegnia parasitica* elinkierto A) Suvullinen lisääntyminen B) Suvuton lisääntyminen. (Suomennettu New insights into animal pathogenic oomycetes [Phillips ym. 2007])

Uimaitiön liikkuvuus on ratkaisevan tärkeää, jotta taudinaiheuttaja löytää sopivan isännän. Sopivan isännän löydyttyä, uimaitiö kiinnittyy, kystoituu ja muodostaa ituputken, joka tunkeutuu isännän kudokseen. Isännän ja patogeenin vuorovaikutuksen aikana *S. parasitica* erittää efektoriproteiineja, mikä mahdollistaa isännän immuunijärjestelmän tukahduttamisen. (van West ym. 2010.)

Kiinnittymisen jälkeen *S. parasitica* pystyy vapauttamaan uuden tai sekundaarisen, erittäin liikkuvan uimaitiön prosessissa, jota kutsutaan polyplanetismiksi. Uusia uimaitiöitä syntyy paljon etenkin, kun kaloissa näkyviä oireita (rihmastoa/hyyfistöä). (kuva 3) Tämä prosessi lisää entisestään todennäköisyyttä sopivan isännän löytymiselle ja vakavalle vesihometaudin puhkeamiselle kalaparvessa. *Saprolegnia parasitica* -lajin sekundaarisilla uimaitiöillä on siimoja/karvoja, joiden päissä sijaitsevat rakenteet toimivat tarttumakoukkuina, lisäten siten kiinnittymistehokkuutta isäntään (Rezinciuc ym. 2018). Tässä yhteydessä on todettu myös muodostuvan kiinnittymistä edistäviä molekyyliyhdisteitä. Sekundaariset uimaitiöt ovat *S. parasitica*:n voimakkaimmin kaloja sairastuttava vaihe. Tartuttuaan isäntäkalaan *S. parasitica* muodostaa sekundaarisia kystoja (Kuva1c), jotka vapauttavat jälleen seuraavan sukupolven uimaitiöitä Tätä on raportoitu tapahtuvan jopa kuuden sukupolven ajan (Torto-Alalibo ym. 2005; van West 2006).



Kuva 3 *Saprolegnia parasitica* rihmastoa järvilohismoltin (*Salmo salar* sebago) pyrstössä. (Kuva: Jukka Suomela)

4 Taudin kuvaus

Jotkut vesiviljelyn tuhoisimmista kalainfektioista ovat munasienten aiheuttamia, mukaan lukien *Saprolegnia*- ja *Aphanomyces* (mm. rapurutto) -lajit. *Saprolegnia parasitica* on endeeminen kaikissa makean veden elinympäristöissä ympäri maailmaa, ja sen uskotaan olevan osittain vastuussa lohikalojen luonnollisten populaatioiden heikkenemisestä maailmanlaajuisesti (van West, 2006, Bruno ym. 2010). *Saprolegnioosille* on tunnusomaista harmaat tai valkoiset pörröiset rihmastot kalan pinnalla. Näkyvä vesihometartunta kehittyy usein ensimmäisenä pään, pyrstön ja evien ympärille. (Kuva 4) Myös muut ihorikot kuten käsittelyssä syntyneet tai pedon aiheuttamat haavat tai muiden sairauksien ja loisten aiheuttamat reitit ovat usein ”hotspotteja” vesihometartunnalle (Hatai & Hoshiai 1992).



Kuva 4 Alkavaa vesihometta järvitaimenen päässä ja rintaevän tyvessä (kuva: Jukka Suomela)

Kalojen sairastumista edistävät huono veden laatu, aliravitsemus, tungos, lämpötilashokki ja hormonaaliset muutokset (Piper ym. 1982). Infektio on ensisijaisesti orvaskeden kudoksessa (Fregeneda & Grandes ym. 2001, Hussein ja Hatai, 2002), ja voi ääritapauksissa peittää yli puolet kalan kehosta. *S. parasitican* vaurioittamat kohdat voivat myös näyttää verisiltä ja haavautuneilta, ja niissä saattaa olla nekroottisia (kuolio) alueita (Giesecker ym. 2006). Rihmaston näkyessä paljaalla silmällä on se jo saattanut tunkeutua kehon kudoksiin (jopa

aivoihin asti) ja sienen lisääntymisvaihe alkaa. *S. parasitican* infektoimien kalojen kyky osmoreguloida heikkenee, joka johtaa usein (Pickering & Willoughby, 1988) veren ohenemiseen, ruumiinnesteiden menetykseen ja hengitysvaikeuksiin. (Richards & Pickering 1979). Paljaalla silmällä havaittavan hyyfistön ilmaannuttua kalojen luonnollinen elpyminen on erittäin epätodennäköistä.

5 Kalan puolustusjärjestelmä

Kalan puolustusjärjestelmä voidaan karkeasti jakaa synnynnäiseen (luontainen, epäspesifinen) ja hankittuun (spesifinen) immunitettiin. Vastustuskykyyn vaikuttavat monet sisäiset ja ulkoiset tekijät mm. kalan kunto, sairaudet, ravitseminen, veden laatu ja lämpötila, lääkitykset ja hormonit, stressi.

Synnynnäinen puolustusjärjestelmä koostuu mikrobien tunkeutumista estävistä mekaanisista rakenteista (iho ja limakalvot), taudinaiheuttajien toimintaa estävistä kemiallisista tekijöistä ja puolustussoluista. Synnynnäisen immunitetin puolustussolut tunnistavat taudinaiheuttajia niiden pinnalla yleisesti esiintyvien rakenteiden perusteella.

Hankitun eli spesifisen puolustusjärjestelmän toiminta perustuu tietyn valkosoluryhmän, imusolujen eli lymfosyyttien toimintaan. Lymfosyytit muodostavat immuunivasteen taudinaiheuttajaavastaan. Useimmiten vaste syntyy, kun makrofagi (syöjäsolu) esittelee nielemänsä mikrobin rakenteita lymfosyyteille. Immuunivasteessa kalalle on syntynyt immunologinen muisti tiettyä taudinaiheuttajaa kohtaan. Sen ansiosta immuunijärjestelmä aktivoituu ja alkaa muodostaa vasta-aineita nopeammin ja tehokkaammin, kun mikrobi toisen kerran tunkeutuu kalan elimistöön.

Vaihtolämpöisinä eläiminä kalojen ruumiin lämpötila seuraa veden lämpötilaa. Kylmässä vedessä kalan puolustuskoneistit, etenkin hankittu immunitetti, toimivat hitaasti. Lämpötilan nousu saattaa edistää puolustusjärjestelmän toimintaa, mutta myös bakteerien ja alkueläinloisten lisääntymistä. Nopeat lämpötilan vaihtelut stressaavat kaloja kuten myös veden matala happipitoisuus.

Stressi saa aikaan kalan aineenvaihdunnassa muutoksia, jotka lisäävät kalan suorituskykyä ja suojaavat sitä lyhytaikaisissa uhkatilanteissa kuten esimerkiksi petokalan hyökätessä. Stressitilanteessa kala tuottaa useita hormoneja, kortisolia, adrenaliinia ja noradrenaliinia, jotka aiheuttavat fysiologisia muutoksia mm. kiduksissa ja veressä. Koska haasteeseen on

kohdistettu monia resursseja, stressireaktion toinen piirre on, että tämä aineenvaihdunnan uudelleenjärjestely vaikuttaa muiden toimintojen, kuten immuunijärjestelmän, tehokkuuteen. Tämä tarkoittaa, että jotkin puolustusjärjestelmän mekanismit voivat viivästyä tai heikentyä, mikä ohimenevästi vaarantaa immuunipuolustuksen ja vastustuskyvyn patogeenejä vastaan (Tort 2011).

Viljely-ympäristössä monet tekijät aiheuttavat stressiä. Käsittelyn tai kuljetuksen ja hoitojen kuten rokotusten aiheuttamasta lyhytaikaisesta stressistä kala yleensä toipuu ennalleen muutamassa päivässä. Jotkin tutkimukset ovat osoittaneet, että akuutisti stressaantuneilla kaloilla on suurempi määrä aktivoituneita makrofageja ihossa (Tort 2011). Pitkittyneessä, kroonisessa stressissä veren kortisolitaso säilyy korkealla pitkään, jolloin kalan vastustuskyky taudeille heikkenee merkittävästi. (Rahkonen *ym.* 2012). Kohonneen kortisolitason on todettu mm. heikentävän kalan immuunipuolustukseen osallistuvien valkosolujen (imusolut ja makrofagit) aktiivisuutta ja vähentävän niiden määrää. Krooninen tai pitkittynyt stressitila vaatii enemmän energiaa ja resursseja, joita kohdistetaan stressitekijästä selviytymiseen. Siksi mekanismit, jotka edellyttävät immuunijärjestelmän jatkuvaa energian saantia, kuten vasta-aineiden tuotanto, joutuvat alttiiksi puutteelle. (Tort 2011.)

Kalan iho sekä kidusten ja ruuansulatuskanavan limakalvot toimivat tärkeinä mekaanisina esteinä tunkeutuville taudinaiheuttajille. Yhdessä kemiallisten suoja-aineiden kanssa ne pystyvät estämään suuren osan tartuntoja. Mikäli ulkoinen suoja heikkenee tai siihen muodostuu vaurioita, saattavat pieneliöt päästä kalan kudoksiin ja alkaa lisääntyä.

Kalan iho on elävä elin, joka koostuu kerroksista, jotka ovat hiukan erilaisia kalan eri osien kuten vatsan, selän, pään ja pyrstön alueella ja eroavat paksuuden, suomujen lukumäärän ja liman määrän suhteen. Kaikilla alueilla on kuitenkin yhteistä kolme erityistä kerrosta. Ulkokerros on glykoproteiinien limakalvo, jota kutsutaan musiiniksi, eli kalan "limaksi". Tämä limakalvo suojaa ihoa mekaanisilta vammoilta ja kulumiselta sekä sisältää useita antimikrobisia komponentteja. Orvaskesi (epidermis) koostuu limakalvosoluista (jotka tuottavat limaa) ja soluista, joita kutsutaan keratosyyteiksi, jotka muodostavat kalan ihon uloimman solukerroksen. Orvaskeden alla on dermis, joka antaa iholle voimaa ja joustavuutta. Tässä ihokerroksessa on enemmän verisuonia, vahvistavia kuituja sekä pigmentoituneita soluja. (Nofima 2023) Jokainen näistä ihokerroksista koostuu eri solutyypeistä. Nämä rakenteelliset erot tarkoittavat, että jokainen kerros tarjoaa tärkeitä ominaisuuksia

suojaautumisessa ympäröivältä ympäristöltä immuunijärjestelmän komponentteina sekä ihovaurioiden korjaamisessa ja uudistamisessa.

Kalojen ravinto vaikuttaa niiden immuunijärjestelmän toimintaan ja siihen, kuinka hyvin iho suojaa sen terveyttä. Ravinnon koostumuksella ja sen muutoksilla voi olla ratkaiseva merkitys kudosten toiminnalle esimerkiksi esteenä ulkoisia elementtejä vastaan. Ihon mekaaniset kulumisvauriot ja haavaumat ovat ongelma, joka liittyy usein käsittelytoimenpiteisiin. Myös kemialliset käsittelymenetelmät/kylvetykset loisten ja tautien torjumiseksi vaikuttavat kalan ihoon ja yleiseen hyvinvointiin. Kalan ravitsemuksella ja immuunijärjestelmällä on tärkeä rooli haavan paranemiskyvyn tehokkuudessa. Lisäksi ihon haavaumat paranevat hitaammin alhaisemmissa lämpötiloissa. Ihon haavaumat ovat aina mahdollinen portti infektioille.



Kuva 5 Alkavaa hometta Taimenen (*Salmo trutta*) vatsaevän tyvessä. (Kuva: Jukka Suomela)

6 Tartunta ja taudin synty

Saprolegnia parasitica ensisijaiset uimaitiöt liikkuvat vain lyhyen aikaa ennen kuin ne kystoituvat ja vapauttavat sekundaarisen uimaitiön. *S. parasitica* leviäminen ja taudin aiheutuskyky perustuukin pääasiassa suvuttoman lisääntymisen kautta syntyviin hyvin liikkuviin, pitkäikäisiin sekundaarisiin uimaitiöihin. Uimaitiöiden liikkuminen ohjautuu ulkoisen ympäristön mukaan, erilaisten vasteiden, kuten kemotaksioiden kautta, joissa ympäristön kemiallisessa koostumuksessa aistittavat muutokset määräävät solun liikettä joko

ärsykettä kohti tai siitä poispäin. Tutkimukset osoittavat, että kemotaksioilla voi olla tärkeä rooli *S. diclinan* uimaitiöiden suuntautumisessa kohti eläviä lohikalojen munia (Rand & Munden 2011)

Siirtyminen liikkuvasta soluseinättömästä uimaitiöstä liikkumattomaan, soluseinälliseen kystavaiheeseen on kriittinen, koska sillä on keskeinen rooli isäntä – patogeeni vuorovaikutuksen muodostamisessa. Sekundaariset uimaitiöt muodostavat, sopivan kasvualustan löydyttyä sekundaarisia kystoja, jotka kiinnittyvät isäntään ennen infektiota (Burr, Beakes 1994). Uimaitiön voi saada kystoitumaan laaja valikoima ympäristöärsyksiä kuten metalli-ionit, aminohapot ja hiilihydraatit.

Oomykeettien kyky tunkeutua monenlaisiin isäntiin, kuten sieniin, leviin, kasveihin, selkärangattomiin tai selkärangaisiin, osoittaa, että niillä todennäköisesti on eri kasvualustoihin mukautuvat kiinnittymismekanismat. *Saprolegnia parasitica* sekundaarisissa uimaitiöissä on tälle juuri tälle *Saprolegnia* lajille ominaisia pitkiä koukkukarvoja. Verrattaessa tämän taudinaiheuttajan sekundaaristen kystojen kiinnittymisvoimaa muihin sukulaislajeihin, joilla pitkiä koukkukarvakimppuja ei ole, havaittiin, että *S. parasitica* kiinnitysvoima oli noin kolme kertaa vahvempi kuin lajien, joilla ei pitkiä koukkukarvoja ole. (Rezinciuc ym. 2018)

Saprolegnia on ensin voitettava limakalvojen immuunipuolustus, jotta ihon tai kidusten infektio onnistuu. (Beckmann ym. 2020) Viimeaikaiset genomi- ja erityistutkimukset ovat osoittaneet, että näihin mekanismeihin liittyy erilaisia molekyyliä, mukaan lukien siirretyt isäntäkohdeproteiinit (Wawra ym. 2012), hajottavat entsyymit, kuten proteaasit (entsyymit, jotka pilkkovat proteiineja). Proteaasien toiminta voi olla hyvin tarkkaan kohdeproteiininsa valikoivaa. *S. parasitica* kiinnittymisen yhteydessä on todettu muodostuvan adhesiivisiä (kiinnittymistä edistävät) biopolymeerejä (molekyyli, jossa useat pienet molekyylit ovat liittyneet toisiinsa kemiallisin sidoksia). Nämä ”liimayhdisteet” mahdollistavat lujemman solualustaan kiinnittymisen, estävät taudinaiheuttajan irtoamista, helpottavat isännän ja patogeenin vuorovaikutusta ja isännän kolonisaatiota (Rezinciuc ym. 2018).

Biologinen kiinnittyminen siis perustuu liimapolymeereihin, joiden rakenne ja ominaisuudet voivat vaihdella sisältäen eri toiminnallista tarkoitusta omaavia ainesosia. Näiden komponenttien tunnistaminen on biokemiallinen ja geneettinen haaste, koska tuloksia on saatu vain vähän menetelmien ja lähestymistavan monimutkaisuuden vuoksi (Burr, Beakes 1994).

Oomykeetit aiheuttavat usein taudin efektoriproteiinien ja virulenssitekijän siirtämisellä isännän kudoksiin immuunivasteiden manipuloinniseksi. Näin tekevät myös kasvipatogeenit kuten perunarutto, joka on niin ikään *Phytophthora infestans*-munasienen aiheuttama tauti.

Myös *S. parasitica* erittää efektoriproteiineja isäntä-patogeeni vuorovaikutuksen aikana, mikä mahdollistaa isännän puolustuksen infektioon ja tukahduttamisen. Tätä prosessia ei kuitenkaan tunneta vielä tarkasti. Tutkimuksissa on kuitenkin onnistuttu tunnistamaan *S. parasitica*sta erittyvä seriiniproteaasi, joka nimettiin SpSsp1:ksi (*S. parasitica* secreted serine protease 1). Tällaisen proteiinin ilmentyminen elämänvaiheissa, joissa *S. parasitica* on vuorovaikutuksessa isäntäsolujen kanssa, lisää olennaisesti onnistuneen infektion todennäköisyyttä (van West ym. 2010). Feng ym. (2010, 2013) havaitsivat, että *S. parasitica* erittämä SpSsp1 kykenee hajottamaan taimen immunoglobuliinia (vasta-aine mm. limakalvojen pinnalla). Tämä viittaa siihen, että kyseinen proteiini on mahdollinen virulenssitekijä ja osallinen isännän immuunivasteen tukahduttamisessa.

7 Sairastumiseen vaikuttavia tekijöitä

Koska *S. parasitica* -munasientä esiintyy kaikkialla makean veden ympäristössä, on hyvin todennäköistä, että viljelylaitosten kalat ja luonnonvaraiset kalat altistuvat jatkuvasti tälle patogeenille. *S. parasitica* on perinteisesti pidetty toissijaisena tai opportunistisena taudin aiheuttajana. Tämä tarkoittaa, että *S. parasitica* sairastuttaa ensisijaisesti kaloja, jotka ovat jo altistuneet muille taudin aiheuttajille tai ovat muusta syystä heikentyneet. Selvää on, että vesihome taudin puhkeaminen vaatii *S. parasitica* läsnäolon. Pelkkä läsnäolo ei todennäköisesti kuitenkaan riitä. Ruokaviraston tekemissä infektiokokeissa osoitettiin, että vesihomeisista kaloista usein eristetty *Iodobacter limnosediminis* bakteeri aiheutti ihovaurioita kaloille, ja mahdollista onkin, että ihovaurioita aiheuttavat bakteerit tai loiset voivat olla yksi vesihometaudille altistava tekijä. (Korkea-aho ym. 2019)

Luonnonolosuhteissa varsinkin mereltä makeaan veteen kudulle palaavilla lohikaloilla tavataan vesihometta. Kutuvaelluksen aikana kalat altistuvat usein mm. pyydysten, petojen tai itse kututapahtuman aiheuttamille mekaanisille vaurioille. Tämä yhdistettynä sukukypsyyden aiheuttamiin hormonaalisiin muutoksiin ja stressiin, mahdollisiin vieraisiin loisiin ja taudinaiheuttajiin, (*S. parasitica* mukaan lukien) sekä osmoottiseen stressiin (suolapitoisuuden muutoksen aiheuttama epätasapainotila) altistavat kalan sairastumiselle. (Kuva 6)



Kuva 6 Hometta Järvitaimenen pyrstössä ja evissä. (Kuva: Jukka Suomela)

Yhdysvaltojen kaakkoisosissa viljellyllä kanavamonnilla (*Ictalurus punctatus*) esiintyvää *S. parasitican* aiheuttamaa tautia on kutsuttu "talvisaprolegnioosiksi" tai paikallisesti "talvitapoksi". Laboratoriossa taudin puhkeaminen saatiin aiheutettua kahden toisiinsa liittyvän tekijän yhdistelmällä: (1) veden lämpötilan nopea lasku, joka aiheutti monnissa immuunipuolustuksen heikkenemistä ja (2) veden alhaisten lämpötilojen ($\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) ylläpitäminen, mikä edistää *S. parasitican* tuottamien itiöiden määrää. Tässä tutkimuksessa kahta monnilampea seurattiin yli vuoden ajan sen määrittämiseksi, esiintyivätkö yllä mainitut tekijät myös luonnossa ja korreloivatko ne taudin puhkeamisen kanssa. Tutkimuksessa todettiin, että kylmää sää sai lampien veden lämpötilan laskemaan $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 24 tunnissa ja että tällaiset veden lämpötilan laskut johtivat monnien vastustuskyvyn heikkenemiseen. Lisäksi kun *S. parasitican* itiötä löytyi lammen vedestä, osoittivat kalat selviä merkkejä saprolegnioosista. Jos jokin taudin puhkeamiseen vaikuttavista tekijöistä puuttui, kalat lammissa pysyivät terveinä. (Bly ym. 1993)

Howe ym. (2011) havaitsivat kokeissa, joissa pyrittiin kehittämään standardoitu menetelmä saprolegnioosin aiheuttamiseen kaloissa uusien fungisidien (sienten torjunta-aine) tehokkuuden arvioimiseksi, että vain 10 % kaloista sai tartunnan ryhmässä, jotka altistettiin pelkästään lämpötilan laskulle ja *S. parasitica*lle. Toinen, hankaus-stressihoitoa saanut

kalaryhmä ei saanut tartuntaa, vaikka nämä kalat olivat alttiina merkittävälle hankaus- ja vedenpoistostressille. Matalan lämpötilan ja hankauksen yhdistelmä kuitenkin riitti aiheuttamaan saprolegnioosin 100 %:lla kaloista ja johti 90 %:n kuolleisuuteen. Yksikään kala ei sairastunut kontrolliryhmässä, joka altistettiin *S. parasitican* itiöille ilman stressiä. (Howe ym. 2011)

8 Ehkäisymenetelmät, hoito ja tutkimus

Nykyään ei pelkillä viljelykäytännöillä voida vesihome epidemioilta välttyä, mutta kalojen alttiutta vesihometartunnalle voidaan ehkäistä parhaiten pitämällä kalan elinympäristö puhtaana, välttämällä ylitieheitä parvia ja käsittelemällä kaloja hellävaraisesti, sekä välttää kalojen käsittelyä silloin, kun esimerkiksi niiden iho on herkimmillään vaurioille (smolttiutuminen, sukukypsyys ym. hormonaaliset muutokset). Käsittelyä tulisi välttää myös lämpötilavaihteluiden aikana (kevät/syksy), koska vaihtolämpöisenä kalan immuunijärjestelmä joutuu tuolloin sopeutumaan ympäröiviin olosuhteisiin eikä siksi toimi täydellä teholla. Lisäksi on tärkeää vähentää zoosporien/itiöiden määrää poistamalla oireelliset kalat altaista sekä kuolleet ja homeiset mätijyvät haudonta-aseteilta.

Näkyviin homekasvustoihin kylvetysaineet tehoavat huonosti. Sairaavat kalat kannattaa poistaa, koska ne kuolevat joka tapauksessa ennemmin tai myöhemmin. (kuva 7) Malakiittivihreäoksalaattia on perinteisesti käytetty vesihometartunnan hoitoon, mutta sen käyttöä ei ole hyväksytty EU:ssa elintarvikkeeksi päätyvien eläinten hoidossa sen myrkyllisyyden ja syöpää aiheuttavien ominaisuuksien vuoksi 1.10.2001 lähtien. (Rahkonen ym. 2012, Ruokavirasto 2021)

Nykyisin vesihomeen estossa käytetään yleisimmin formaliinia eli formaldehydin vesiliuosta sekä bronopolia. Formaldehydiä kuitenkin suositellaan korvattavaksi turvallisimmilla aineilla silloin kun se on mahdollista sen potentiaalisten karsinogeenisten vaikutusten vuoksi. Formaldehydi on tehokas useita ektoparasiitteja ja patogeenejä vastaan vesihomeen lisäksi ja siksi yksi käytetyimmistä kylvetyskemikaaleista vesiviljelyssä ympäri maailman. Formaliinilla on kuitenkin haittapuolia, kuten kidusvauriot ja hapen sitominen vedestä. Formaliinin käyttöä tarkastellaan parhaillaan ympäristö-, terveys- ja työturvallisuusnäkökohtien vuoksi (EU Biosidituotteiden direktiivi 2009). Estomenetelmien yksipuolisuus lisää kalanviljelyn haavoittuvuutta, jos aineen käyttöä rajoitetaan tai sen tehokkuus kärsii ja tarvitaan vaihtoehtoisia menetelmiä. (Ruokavirasto 2021)



Kuva 7 Vesihomeeseen kuollut Saimaan nieriä (Salvelinus alpinus) (Kuva: Jukka Suomela)

Potentiaalisia kylvetysaineita vesihomeen kontrolloimiseksi on tutkittu paljon niin laboratoriossa kuin laitoksilla. Vaikka lupaavia menetelmiä vesihomeen estoon on olemassa, lisää tutkimusta kuitenkin tarvitaan niiden toimivuudesta käytännössä. Kylvetysaineiden tehokkuuteen vaikuttaa aina käytetyn aineen ominaisuudet, mutta myös ympäristötekijät kylvetyksen aikana, kuten viljelymenetelmä, lämpötila, kiintoaineen määrä jne. Tämä tarkoittaa, että tietyllä aineella saatu tulos vesihomeen estossa tietyssä ympäristössä ei olekaan aina toistettavissa toisessa ympäristössä tai eri kalalajilla. Väärin käytettynä kemikaalit voivat olla yhtä vahingollisia kalalle kuin itse vesihome. Lisäksi käyttäjäturvallisuus tulee aina selvittää. (Kuva 8)



Kuva 8 Tautien torjunnassa käytettävät kemikaalit kuormittavat kaloja, käyttäjiä ja ympäristöä (kuva Jukka Suomela)

Mädinhaudonnassa formaliinikylvetys on hyvin tehokas ja helppo metodi homeen torjunnassa, mutta mikäli siitä joudutaan esimerkiksi lainsäädännöllisistä syistä luopumaan, tulisi edellä mainittujen kaltaisia estokeinoja tutkia lisää. Kylvetsaineiden osalta tulisi malakiitin ainesosia sekä vaikutustapaa tutkia, ja selvittää, olisiko sitä mahdollista käyttää toisenlaisessa muodossa. Tämä ei tosin poista kalojen sairastumisen perimmäistä syytä, mutta tällä voitettaisiin aikaa, kunnes syy ja hoitokeino saprolegnioosiin löydetään.

Vetyperoksidia on käytetty ja pidetään tällä hetkellä yhtenä lupaavimmista vaihtoehdoista formaliinille vesihomeen estossa, sillä sen ominaisuus hajota nopeasti vedessä tekee siitä ympäristöystävällisemmän ja turvallisemman kemikaalin, toisaalta tämä ja orgaaniseen aineeseen sitoutuminen vaikeuttaa vetyperoksidin tehokasta annostelua.

Useilla luonnollisia aineilla ja menetelmillä kuten kuparikuidulla (Skytta 2012, Miura ym. 2005) sekä mm. *Pseudomonas fluorescens* bakteerilla (Bly ym. 2003) on todettu olevan *Saprolegnia* hyyhistön kasvua rajoittava vaikutus varsinkin mädin haudonnassa. Veden keinotekoinen lämmittäminen/viilentäminen voimakkaiden lämpötilavaihteluiden tasoittelemiseksi voisi olla mahdollinen, joskin suurista vesi määristä puhuttaessa kallis tapa vähentää herkässä elinkierronvaiheessa olevien kalojen sairastuvuutta. Vaikka suolan (NaCl)

lisäämisen viljelyveteen on raportoitu olevan tehokas saprolegnioosin hallinnassa, se ei kuitenkaan aina estä taudin puhkeamista, eikä sitä myöskään pidetä käyttökelpoisena vaihtoehtona malakiittivihreälle vesiviljelyssä tarvittavien suurten määrien vuoksi (Minor ym. 2014). *Saprolegnia diclinan* kahden kannan itiöiden on todettu olevan positiivisesti kemotaktisia puurotaimen (*Salvelinus fontinalis*) eläviä mätimunua ja niissä esiintyviä aineita kohtaan koeolosuhteissa. Nämä tulokset viittaavat siihen, että kemotaksioilla voi olla tärkeä rooli *S. diclinan* itiöiden suuntautumisessa kohti eläviä lohikalojen munia. Tämän tiedon valossa kemoattraktantteja (kemiallisia houkuttimia) voitaisiin käyttää kehitettäessä strategioita hautomoissa kasvatetun mädin *Saprolegnia*-tartuntojen hallitsemiseksi tai estämiseksi. (Rand, Munden 1993)

Saprolegnioosin esiintyvyyden ja mätiiin liittyvien tiettyjen bakteerisukujen runsauden välillä on tutkimuksissa löydetty merkittävä yhteys. Nämä tulokset osoittavat, että tautialttiuteen vaikuttaa myös kalan tai mädin pinnalla elävä mikrobisto. Mikrobisto vaikuttaa merkittävästi mm. mädin terveyteen ja sairauksiin. Mädin immuunijärjestelmä on ”epäkypsä” ja on siten riippuvainen muista suojakeinoista. Nämä tutkimukset ehdottavat hyödyllisten ns. pöytävierasbakteerien, kuten *Fronidihabitans* sp. siirtymistä emokalasta mätimunien pintaan ja antavan mädille mahdollisesti suojaa taudinaiheuttajia vastaan. (Liu ym. 2014) Kalan ja mädin mikrobiomin (mm. ihon ja limakalvojen pinnoilla elävä mikrobien muodostama eliöyhteisö [Varis, 2017]) sekä siihen vaikuttavien vesistöissä tapahtuneiden muutosten ja *Saprolegnian* yhteyttä tulisi siis jatkossa selvittää.

Myös erilaisten rokotteiden kehittämistä vesihometta vastaan on tutkittu niin Suomessa kuin muualla maailmassa, mutta toimivaa ratkaisua ei ole vielä löydetty. Vesiviljelyssä on jo käytössä rokotteita lukuisia taudinaiheuttajia, pääosin bakteereja (mm. vibrioosi, furunkuloosi, yersinoosi) vastaan. Lupaavia havaintoja vesihomerokotteen suhteen on jo tehty. *Saprolegnia parasitica* erittää efektoriproteiineja isäntä-patogeeni vuorovaikutuksen aikana, mikä mahdollistaa isännän puolustuksen tukahduttamisen. Tarkkaan ei kuitenkaan tiedetä, miten proteiinin istuttaminen ja immuunijärjestelmän ”huijaaminen” tapahtuu (van West ym. 2010), mutta tämän tiedon toivotaan mahdollistavan tehokkaiden kalarokotteiden kehittämisen ja mahdollisuuden kehittää uusia menetelmiä taudin hallitsemiseksi (Earle, Hintz 2014).

Fregeneda-Grandes ym. (2009) löysivät tutkimuksissaan *S. parasitica*lle spesifisiä vasta-aineita terveen ja tartunnan saaneen luonnonvaraisen taimenen (*Salmo trutta* L.) seerumista (veren nestemäinen osa). Tämä voi mahdollisesti viitata siihen, että SpSsp1:n immunologinen

tunnistaminen johtaa spesifiseen immuunivasteeseen kaloissa, jotka pystyvät vastustamaan *Saprolegnia*-infektiota. Laboratoriokokeissa on pystytty osoittamaan, että SpSsp1-injektio kaloihin johti korkeampaan SpSsp1-vasta-ainepitoisuuteen kirjolohen (*Onchorynchus mykiss*) seerumissa kuin kontrolliryhmillä, jotka olivat rokotettu pelkällä adjuvantilla (rokotteen apuaine) tai suolaliuoksella, joka viittaa siihen, että immuunivaste SpSsp1:tä vastaan löytyi. Myöskään kaloja, joiden verestä näitä vasta-aineita löydettiin ei laboratoriokokeissa onnistuttu sairastuttamaan. Tutkimuksen tässä vaiheessa ei kuitenkaan voitu sulkea pois mahdollisuutta, että kalat alun perin asensivat immuunivasteen sukulaiselle molekyylille, kuten bakteeriperäiselle seriiniproteaasille. SpSsp1:n immunologinen tunnistaminen voisi mahdollistaa kaloille suojan *Saprolegnioosia* vastaan sekä mahdollistaa rokotteen kehittämisen. (Minor ym. 2014)

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että mm. lohi, taimen ja kirjolohi kykenevät kehittämään vasta-aineita *Saprolegnia*-infektioiden aikana, mutta ne eivät näytä pystyvän tuottamaan riittävää immuunivastetta ainakaan muiden tekijöiden kuten lämpötilan tai hormonaalisten muutosten, käsittelyn, muiden taudin aiheuttajien tai stressin yhteydessä. (Kuva 9) (Bäckman ym. 2020), (Minor ym. 2014), (Bruijn ym. 2012) Luonnonvarakeskuksen siian (*Coregonus lavaretus*) valintajalostuksessa tehdyissä kokeissa on tietyillä perheryhmillä havaittu geneettistä kykyä vastustaa *Saprolegnia* tartuntaa, mutta sitä mitä nämä havaitut geenialueet ohjaavat ei vielä tiedetä (Kause ym. 2023)



Kuva 9 Vesihomeeseen kuollut sukukypsä järvilohikoiras (Kuva: Jukka Suomela)

Ensisijaisen tärkeää taudin leviämisen ehkäisemiseksi on bioturvallisuudesta huolehtiminen. Koska *S. parasitica* päägenotyypppejä esiintyi kalanviljelylaitoksilla ympäri Suomen, kyseinen kloonin on ilmeisesti siirtynyt laitosten välillä, mahdollisesti kalasiirtojen mukana. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että *S. parasitica* leviää helposti kalasta kalaan ja leviää kalojen mukana, jolloin kalojen siirroissa tulee noudattaa huolellisuutta ja tarvittaessa tutkia kalat vesihomeen varalta ennen siirtoa. (Korkea-aho ym. 2019) Vesihome ei kuulu eläintautilaissa (76/2021) mainittuihin vastustettaviin eläintauteihin.

Taudin torjuntaa vaikeuttaa lisäksi *Saprolegnia* arvaamattomuus. Tautipurkaukset eivät tottele aina samoja muuttujia kuten lämpötiloja, parveilutiöiden määrää vedessä eikä välttämättä myöskään kalan herkkää elinkierron vaihetta.

9 Pohdintaa

Munasieniä esiintyy luontaisesti suurimmassa osassa makeita vesiä sekä kosteata maaperää, eivätkä siis ole uusi elämänmuoto tai taudinaiheuttaja. Munasienten aiheuttamat taudit eivät ole pelkästään vesieliöiden ongelma, vaan niihin voivat sairastua myös mm. sammakkoeläimet ja kasvit. Mistä johtuu, että varsinkin muutamat *Saprolegnia*-lajit ovat alkaneet aiheuttaa kalojen joukkosairastumisia ja -kuolemia enenevässä määrin 2000 luvun aikana? Tämän taudin torjuntaan tehokkaan malakiittivihreän käyttökielto on varmasti yksi syy pahentuneeseen vesihomeongelmaan, mutta sillä tuskin voidaan koko ilmiötä selittää.

Koska *S. parasitica* -munasientä esiintyy kaikkialla makean veden ympäristössä, on hyvin todennäköistä, että viljelylaitosten sekä luonnonvaraiset kalat altistuvat jatkuvasti tälle patogeenille. Useissa tutkimuksissa on todettu kalojen immunitettijärjestelmän pystyvän tunnistamaan *S. parasitican*, mutta ainakaan pysyvää immunitettia sitä vastaan ei synny. Merkilläpöntävää on, että varsinkin *S. parasitican* kohdalla lajien yhteisevoluutiokehitys, jossa lajeissa tapahtuvat perinnölliset muutokset vaikuttavat vastavuoroisesti toisiinsa, ei toteudu. Vaikka aika, jona malakiittia käytettiin menestyksekkäästi vesihomeen torjunnassa, on ollut evolutiivisessa mielessä erittäin lyhyt, on se saattanut muuttaa isäntä-parasiitti-suhdetta suuntaan, jossa kalan ei tarvitse kehittää vastustuskykyä mutta taudinaiheuttaja on joutunut kehittymään aggressiivisempaan suuntaan.

Ilmaston lämpenemisen vaikutukset vesistöihin ovat kiistattomia. Pitkittyneet kevät ja syksyt pitävät vesien lämpötilat pidempään vesihomeelle otollisella alueella. Samaan aikaan kalan

puolustusjärjestelmä joutuu sopeutumaan lämpötilan sekä esimerkiksi smolttiutumisen ja sukukypsyysaiheuttamiin muutoksiin elimistössä. Edellä mainitut tekijät vaikuttavat varmasti vesihomeongelmaan Suomessa sekä muualla samoilla leveysasteilla sijaitsevilla vesistöissä, mutta ongelma on yleistynyt maailmanlaajuisesti täysin erilaisissa olosuhteissa ja erilaisen elinkierron omaavilla lajeilla. Mahdollista on, ettei yhteistä nimittäjää eripuolilla maailmaa sairastuvien kalojen välillä löydy, vaan kuten vaikuttaa, useat vaihtelevat tekijät yhdessä aiheuttavat *Saprolegnioosin* puhkeamisen.

Vesistöjen ominaisuuksien muutokset voivat aiheuttaa arvaamattomia ja kauaskantoisia vaikutuksia. Mainittakoon yhtenä nousevana huolenaiheena vesien tummuminen, joka vaikuttaa mm. vesistön lämpö- ja happioloihin sekä eliöyhteisön rakenteeseen. Veden tummuessa auringonvalo tunkeutuu siihen heikommin. Valaistu vesikerros ohenee, jolloin yhteyttäville eliöille jää vähemmän elintilaa ja kasviplanktonlajisto muuttuu. Muutokset kasviplanktonissa vaikuttavat edelleen eläinplanktoniin ja edemmäs ravintoverkossa. Erittäin mielenkiintoista olisi selvittää, minkälaisia vaikutuksia tämänkaltaisilla muutoksilla on esimerkiksi vesihomeisiin tai kalan limapinnan mikrobiomiin.

Veteen on luonnonolosuhteissa poikkeuksetta liuenneena aineita, yhdisteitä ja kaasuja, jotka vaikuttavat vesieliöstöön. Sadannan ja valunnan äärevöityminen on lisännyt vesistöihin huuhtoutuvan orgaanisen- sekä muiden aineiden määrää. Vesien tummumisen yhtenä tekijänä esiintyvä rauta vaikuttaa kalojen kiduksiin ja aineenvaihduntaan. Lisääntyneestä orgaanisen aineen hajoamisesta seuraavien ilmiöiden, kuten kohonneen hapenkulutuksen, vaikutukset veden muiden kaasujen muodostukseen (esimerkiksi metaanin) voivat vaikuttaa mm. kalan ihoon. Tämänkaltaiset muutokset vedessä voivat vaikuttaa myös *Saprolegnia parasitica* ja kalan väliseen suhteeseen.

Vesiviljelyssä vesihome aiheuttaa mittavia taloudellisia tappioita varsinkin lohikalojen makeanvedenviljelyssä. Kalanviljelyn kestävästä laajentamisesta rajoittavin tekijä ovatkin taudit. Viljelyolosuhteissa kalat ovat alttiimpia sairauksille mm. kasvatustiheyden, käsittelyiden sekä stressin takia. Puutteellisen bioturvan vuoksi taudit voivat levitä kuljetusveden, kalan- tai mädänsiirtojen ja istutusten mukana laitokselta toiselle tai luonnonpopulaatioihin. Viljelyolosuhteissa eräs tutkimuksen arvoinen asia on kalojen ravinto. Kaloille syötettävä rehu sisältää epäilyksettä kaiken tarpeellisen energian ja ravintoaineet, jotka takaavat kalan tehokkaan kasvun. Ne sisältävät kuitenkin nykyään runsaasti kasviperäisiä öljyjä ja valkuaisaineita, jotka eivät ole lohikalojen luontaista ravintoa. Ravinnolla on suuri merkitys

mm. kalan iholle ja limakalvoille (mm. suu, kidukset suolisto), jotka ovat ensimmäinen suoja ulkoisia taudin aiheuttajia vastaan.

Tutkimuksissa on todettu *Saprolegnia diclinan* uimaitiöiden olevan positiivisesti kemotaktisia kalojen mätiä kohti. Mädin haudonnassa tarvittavan pienemmän vesimäärän vuoksi on itiöiden poistaminen tai niiden määrän vähentäminen torjunta-aineilla haudontavedessä tehokasta. Vesihome leviää haudonnassa usein kuolleista mätimunista eläviin. Tutkimukset tukevat käsitystä efektoriproteiinien osuudesta saprolegnioosin synnyssä. Olisi mielenkiintoista selvittää voivatko efektoriproteiinit siirtyä jo mätiin ja siten estää kalaa muodostamasta vastustuskykyä *Saprolegnialle*.

Saprolegnioosi on tällä hetkellä ongelmavyöhyhti, jonka selviämistä itsestään on odoteltu liian pitkään. Tässä kappaleessa esitellyt mielenkiintoiset tutkimusaiheet ovat vain esimerkkejä ja häviävän pieni osa siitä mitä voisi ja pitäisi tutkia. Aikana, jolloin vesihomeongelma pidettiin hallinnassa malakiittivihreällä ei systemaattisesti kerätty tietoa taudin syntyyn vaikuttavista tekijöistä. Tämä on jättänyt vesihometta koskevaan tietoon aukon, joka on nyt täytettävä. Lisää tutkimustietoa tarvitaan mm. taudinpurkausten aikana vallitsevista ympäristötekijöistä, vesikemiasta, infektioprosessista sekä kalan ominaisuuksista, jotta taudin syntyyn vaikuttavat tekijät voidaan riittävästi tunnistaa ja uusia torjuntastrategioita kehittää.

Lähteet

Trusch, Loebach, Wawra, Durward, Wuensch, Iberahim, de Bruijn, MacKenzie, Willems, Toloczko, Diéguez-Uribeondo, Rasmussen, Schrader, Bayer, Secombes, van West (2018) **Cell entry of a host-targeting protein of oomycetes requires gp96.**

Howe, Rach, Olson (2011) **Method for Inducing Saprolegniasis in Channel Catfish.**

Korkea-aho, Viljamaa-Dirks, Wiklund, Sundberg (2019) **Bakteerien merkitys vesihomeen esiintymisessä ja vesihomeen sekä bakteerien PCR-tunnistumenetelmät.**

Beckmann, Saraiva, McLaggan, Pottinger, van West (2020) **Saprolegnia infection after vaccination in Atlantic salmon is associated with differential expression of stress and immune genes in the host.**

Tort (2011) **Stress and immune modulation in fish.**

Fast, Hosoya, Johnson, Afonso (2008) **Cortisol response and immune-related effects of Atlantic salmon (*Salmo salar* Linnaeus) subjected to short- and long-term stress.**

Bly, Lawson, Szalai, Clem (1993) **Environmental factors affecting outbreaks of winter saprolegniosis in channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque).**

<https://nofima.com/worth-knowing/fish-skin-and-its-protective-properties> (8.12.2023)

Rays H. Y. Jiang, de Bruijn, Haas, Belmonte, Löbach, Christie, van den Ackerveken, Bottin, Bulone, Díaz-Moreno, Dumas, Fan, Gaulin, Govers, Grenville-Briggs, Horner, Levin, Mammella, Meijer, Morris, Nusbaum, Oome, Phillips, van Rooyen, Rzeszutek, Saraiva, Secombes, Seidl, Snel, Stassen, Sykes, Tripathy, van den Berg, Vega-Arreguin, Wawra, Young, Zeng, Dieguez-Uribeondo, Russ, Tyler, van West (2013) **Distinctive Expansion of Potential Virulence Genes in the Genome of the Oomycete Fish Pathogen *Saprolegnia parasitica*.**

Calboli, Iso-Touru, Bitz, Fischer, Nousiainen, Koskinen, Tapio, Tapio, Kaune (2023) **Genomic selection for survival under naturally occurring *Saprolegnia* oomycete infection in farmed European whitefish *Coregonus lavaretus*.**

Rand, Munden (2011) **Chemotaxis of Zoospores of Two Fish-Egg-Pathogenic Strains of *Saprolegnia diclina* (Oomycotina: Saprolegniaceae) toward Salmonid Egg Chorion Extracts and Selected Amino Acids and Sugars**

deBruijn, Belmonte, Anderson, Saraiva, Wang, van West, Secombes (2012) **Immune gene expression in trout cell lines infected with the fish pathogenic oomycete *Saprolegnia parasitica*.**

Fregeneda-Grandes, Carbajal-González, Aller-Gancedo (2009) **Prevalence of serum antibodies against *Saprolegnia parasitica* in wild and farmed brown trout *Salmo trutta*.**

Fregeneda-Grandes, Rodríguez-Cadenas, Carbajal-González, Aller-Gancedo (2007) **Antibody response of brown trout *Salmo trutta* injected with pathogenic *Saprolegnia parasitica* antigenic extracts.**

Richards, Pickering (1979) **Changes in serum parameters of *Saprolegnia*-infected brown trout *Salmo trutta* L**

Varis (2017) **Mikrobiomi, sen toiminta ja vaikutukset elimistöön Biologian kandidaatintutkielma.**

Sarowar, Hossain, Nasrin, Naznin, Hossain, Rahman (2019) **Molecular identification of oomycete species affecting aquaculture in Bangladesh.**

Schorneck, Huitema, Cano, Bozkurt, Oliva, Van Damme, Schwizer, Raffaele, Chaparro-Garcia, Farrer, Segretin, Jorunn, Haas, Zody, Nusbaum, Voitti, Thines, Kamoun (2009) **Ten things to know about oomycete effectors.**

El-Feki, Hatai, Hussein (2003) **Chemotactic and chemokinetic activities of *Saprolegnia parasitica* toward different metabolites and fish tissue extracts.**

Wawra, Bain, Durward, de Bruijn, Minor, Matena (2012) **Host-targeting protein 1 (SpHtp1) from the oomycete *Saprolegnia parasitica* translocates specifically into fish cells in a tyrosine-O-sulphate-dependent manner.**

López-Otín, Bond (2008) **Multifunctional Enzymes in Life and Disease.**

Burr, Beakes (1994). **Characterization of zoospore and cyst surface structure in saprophytic and fish pathogenic *Saprolegnia* species (oomycete fungal protists).**

Rezinciuc, Sandoval-Sierra, Ruiz-León, van West, Diéguez-Urbeondo (2018) **Specialized attachment structure of the fish pathogenic oomycete *Saprolegnia parasitica*.**

Duan, Feng, Huang, Wang, Geng, Deng, Ou, Chen, Yang (2018) **A Review: Factors Affecting Outbreaks of Saprolegniosis on Aquatic Animals.**

Torto-Alalibo, Tian, Gajendran, Waugh, van West, Kamoun (2005) **Expressed sequence tags from the oomycete fish pathogen *Saprolegnia parasitica* reveal putative virulence factors.**

Phillips, Anderson, Robertson, Secombes, van West (2007) **New insights into animal pathogenic oomycetes.**

Lone, Manohar (2018) ***Saprolegnia parasitica*, a lethal oomycete pathogen demands to be controlled.**

Eskelinen, Vennerström (2003) **Vesihome ja vesihometartunta.**

Earle, Hintz (2014) **New Approaches for Controlling *Saprolegnia parasitica*, the Causal Agent of a Devastating Fish Disease**

Lynne (2016) **The Fungi** (Third Edition)

van West, de Bruijn, Minor, Phillips, Robertson, Wawra, Bain, Anderson, Secombes (2010) **The putative R $\times$ LR effector protein SpHtp1 from the fish pathogenic oomycete *Saprolegnia parasitica* is translocated into fish cells.**

Phillips, Anderson, Robertson, Secombes, van West (2008) **New insights into animal pathogenic oomycetes.**

Minor, Anderson, Davis, Van Den Berg, Christie, Löbach, Faruk, Wawra, Secombes, Van West (2014) **A putative serine protease, SpSsp1, from *Saprolegnia parasitica* is recognised by sera of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*.**

van den Berg, McLaggan, Diéguez-Urbeondo, van West (2013) **The impact of the water moulds *Saprolegnia diclina* and *Saprolegnia parasitica* on natural ecosystems and the aquaculture industry**

Miura, Oono, Tuchida, Hatai, Kiryu (2005) **Control of Water Mold Infection in Rainbow Trout Eggs by Using Copper Fiber.**

Ruokavirasto (2021) **Vesihomeen ajallinen esiintyminen ja estomenetelmien optimointi kalanviljelylaitoksilla.**

Rahkonen, Vennerström, Rintamäki, Kannel (2012) **Tervekala.**

Bly, Quiniou, Lawson, Clem (2003) **Inhibition of *Saprolegnia* pathogenic for fish by *Pseudomonas fluorescens*.**

Skytta (2012) **Vesihomeen torjunta mädin haudonnassa kuparikuitua käyttäen.**

Salinas (2015) **The Mucosal Immune System of Teleost Fish.**

Liu, de Bruijn, Jack, Drynan, van den Berg, Thoen, Sandoval-Sierra, Skaar, van West, Diéguez-Urbeondo, van der Voort, Mendes, Mazzola, Raaijmakers (2014) **Deciphering microbial landscapes of fish eggs to mitigate emerging diseases.**

Thomas Rand, Munden (1993) **Chemotaxis of Zoospores of Two Fish-Egg-Pathogenic Strains of *Saprolegnia diclina* (Oomycotina: Saprolegniaceae) toward Salmonid Egg Chorion Extracts and Selected Amino Acids and Sugars.**