



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 6/2015

## Naudanlihan syöntilaatuun vaikuttavat tekijät

Kirjallisuusselvitys

Maiju Pesonen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 6/2015

# **Naudanlihan syöntilaatuun vaikuttavat tekijät**

Kirjallisuusselvitys

Maiju Pesonen

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2015



ISBN: 978-952-326-051-1 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-005-4 (Verkojulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkojulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-005-4>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Maiju Pesonen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2015

Julkaisuvuosi: 2015

Kannen kuva: Lilli Kämäräinen

## Tiivistelmä

Maiju Pesonen

Luonnonvarakeskus, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki, etunimi.sukunimi@luke.fi

Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli kartoittaa uusinta naudanlihan syöntilaatuun liittyvää tutkimustietoa. Naudanlihan syöntilaadun tärkeimpiä ominaisuuksia ovat mureus, mehukkuus ja maku. Valitettavasti naudanlihan syöntilaatu on hyvin vaihtelevaa. Murean naudanlihan ja tasaisen laadun edellytyksenä on järjestelmällisyys ja tieto. Eläinten ominaisuudet, ruokinta ja olosuhteet vaikuttavat aina lopputuotteeseen. Tilaolosuhteiden vakioiminen on haastavaa. Olemassa olevat järjestelmät voivat kuitenkin antaa mahdollisuuden erilaisten kasvatusolosuhteiden tarkempaan huomioon ottamiseen. Ruokinnan ja eläintyyppin tietäminen antaa jo itsessään lisäarvoa teurastamossa tehtävälle ruhon loppukäsittelylle. Toimenpiteitä voidaan kohdistaa tiettyihin ruhoihin.

Karkearehuvaltainen ruokinta on tuotannon valttikortti, jota ei sovi menettää. Karkearehun, jota käytetään naudanlihan tuottamiseen, tulisi olla hyvälaatuista sulavuudeltaan (D-arvo yli 670 g/kg ka) ja säilönnälliseltä laadultaan. Rehua tulee myös olla koko ajan riittävästi eläimille tarjolla. Eläinten tulee kasvaa hyvin ja tasaisesti, jotta lihan syöntilaatu säilyy.

Tasainen laatu muodostuu tasaisesta eläinaineksestä. Keskimääräistä parempi luokittuminen ja riittävä rasvaluokka ovat ensi askeleita hyvän syöntilaadun tavoittelussa. On arvioitu, että rasvaluokan tulisi olla noin 3, jotta lihan syöntilaatu olisi hyvä. Korkeat teuraspainot (yli 400 kg) eivät ole lihan syöntilaadun kannalta tavoiteltavia. Biologinen teuraskypsyys saavutetaan yleensä, kun eläin on noin 75 % aikuispainostaan. Valitettavasti haasteeksi muodostuu se, ettei syöntilaadusta makseta. Teurastili ja tulos muodostuvat ainoastaan tuotetuista kilogrammoista.

Sukupuolien mureusominaisuudet ovat erilaisia. Hiehot tuottavat mureampaa lihaa kuin sonnit. Sonnien lihan mureusominaisuudet ovat heikkommat, ja ne heikkenevät eläinten ikääntyessä nopeammin kuin hiehoilla. Tasaisen syöntilaadun tavoittelu edellyttäisi, että sonnien teurasikä olisi noin 16 kuukautta. Hiehojen lihan syöntilaatu alkaa heiketä vasta noin 36 kuukauden iässä. Useissa maissa, joissa syöntilaatua arvostetaan, markkinoitavaa palalihaa tuottavien eläinten maksimi-ikä on 40 kuukautta. Vanhempien eläinten lihasta jauhetaan jauhelihaa. Jauhelihan raaka-aineen tuleekin olla hieman voimakkaamman makuista ja hyvin vettä sitovaa.

Eläinten stressi ja sairastaminen vaikuttavat negatiivisesti lihan syöntilaatuun. Eläinten hyvinvointia tulisi vaalia kasvatuksen aikana. Rauhallinen, helposti käsiteltävä eläin on koko tuotantokejun ja kuluttajan etu. Jalostuksella voidaan vaikuttaa eläinten luonneominaisuuksiin. Syöntilaadun kannalta olisi eduksi, jos eläimen mukana kulkisi tieto mahdollisista sairauksista tai ongelmista ja tehdyistä toimenpiteistä.

Tasaisen laadun tavoittelussa tulee ottaa huomioon teurastuksen jälkeiset tapahtumat. Murean lihan edellytyksenä on mahdollisimman kattava proteolyysi. pH:n lasku ja jäähdytys vaikuttavat siihen, kuinka mureaa lihasta muodostuu. Vähärasvaisilla ruhoilla jäähdytystekniikkaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Lihan mureutuminen jatkuu teurastuksen jälkeen raakakypsytyksessä. Yleensä raakakypsytyisaika voidaan pitää 10–12 päivässä. Tender stretch -tekniikkaa voidaan hyödyntää erityisesti niissä markkinointijärjestelmissä, joissa tavoitellaan syöntilaadullisesti tasaista ja ensiluokkaista lihaa.

Naudanlihan ominaisuudet tulevat olemaan tulevaisuudessa yhä tärkeämmässä roolissa. On nähtävissä, että tällä hetkellä etsitään keinoja, kuinka naudanlihasta saadaan tuotettua ihmisravitsemuksellisesti terveellisempää ja miellyttävämpää. Karkearehuvaltainen ruokinta muuttaa lihan rasvahappokoostumusta ihmisravitsemuksellisesti terveellisempään suuntaan. Toisaalta karkearehulla ruokittujen eläinten ruhot ovat yleensä aina vähemmän rasvaa sisältäviä kuin korkeilla väkirehudieseillä ruokittujen eläinten ruhot. Naudanlihan terveysominaisuudet voivat olla tulevaisuudessa se tapa, jolla tuotteelle saadaan lisäarvoa. Tämä kuitenkin vaatii järjestelmän kehittämistä ja rasvahappokoostumuksen selvittämistä suunnitellulla ruokinnalla. Jatkossa tuotanto-olosuhteet ja ruokinta tulee vakioida tutkittuihin toimenpiteisiin.

Eläinten genomien tunnistaminen naudanlihan laatuun vaikuttavilta osilta antaa mahdollisuuksia tasaisen syöntilaadun tavoittelussa ja naudanlihan terveellisyyden saavuttamisessa. Nyky menetelmillä voidaan tunnistaa ne eläimet ja ruhot, jotka tuottavat mureaa lihaa. Lähitulevaisuudessa geenitesteillä voidaan selvittää myös ne yksilöt, joiden rasvahappokoostumus on ihmisravitselmuksellisesti parempaa. Ultraäänitekniikan yhdistäminen genomitietoon antaisi mahdollisuuden nopeaan etenemiseen lihan syöntilaadun parantamisessa. Kummatkin vaihtoehdot (ultraäänimittaus ja geenitesti) vaativat rajojen muodostamista sen osalta, mitä halutaan ja mitä tavoitellaan. Teurastamon linjalla käytettävillä laitteilla tai eläinten genomisen lihan syöntilaadun testauksella voidaan jakaa ruhot jo teuraslinjalla syöntilaadun perusteella. Syöntilaadun perusteella tehty ruhojen jako vähentää vaadittavaa raakakypsytyisaikaa, tehostaa tuotantolinjaa ja tuo lisäarvoa parempana laatuna. Kaikki edellä mainitut menetelmät tarvitsevat laajoja vertailuaineistoja, joilla testataan mitattua laatua ja lihan ominaisuuksia (instrumentaalinen mittaus tai sensorinen mittaus).

Järjestelmän kehittämiseen tarvitaan tietoa naudanlihan syöntilaadun nykytasosta. Kuluttaja-auditointien avulla tulisi selvittää, mikä on kuluttajien mieltymys ja tarve. Alkutietojen perusteella tulisi luoda rajat ja toimintamalli syöntilaadun parantamiseksi, takaamiseksi, seuraamiseksi ja laatuvarmisteluiden tasoittamiseksi. Sekä lihan instrumentaalista syöntilaatua että kuluttajatytyväisyyttä tulee tarkkaila suunnitelmallisesti. Lihateollisuudella ei ole kovinkaan pitkää historiaa lihan laadullisten ominaisuuksien selvittämisestä yhdessä tutkimuksen kanssa. Laadullisten parametrien löytäminen, kuluttajajhyväksyntä ja standardien muodostaminen kuitenkin vaativat objektiivista arviointia, jolla lihan syöntilaatua voidaan parantaa ja luoda naudanlihasta laadullisesti tasainen tuote. Tulevaisuudessa tutkimuksen tulisi keskittyä siihen, kuinka saadaan mahdollisimman tarkasti selvitettyä naudan tuottaman lihan laatu, kuinka syöntilaadusta saadaan lisäarvoa tuottajalle ja kuinka syöntilaatu säilytetään kuluttajalle. Syöntilaatu vaatii koko ketjulta periksiantamatonta omistautumista asialle.

**Avainsanat:**

naudanliha, syöntilaatu, lihaskudos, mureus, mehukkuus, maku, rakenne, marmoroituminen, väri, pH, rasvahappokoostumus, teuraspaino, rotu, perimä, ikä, sukupuoli, ruokinta, ultraäänitekniikka, geneettiset markerit, riiputusmekniikat, raakakypsytytys, kuluttajapakkauskset

## Alkusanat

MTT Ruukin toimipisteen hallinnoiman InnoTietoa! –hankkeen keskeisenä tehtävänä oli hankkia nautakarjatalouden rehuviljelyyn, eläinten jalostukseen, ruokintaan, hoitoon ja hyvinvointiin sekä naudanhantuotannon ympäristövaikutuksiin sisältyvää uusinta ja alueellisista tuotanto-olosuhteista tarkasteltuna relevanttia kansainvälistä ja kansallista tutkimustietoa ja siirtää tämä tieto elinkeinoelämän sekä alan koulutuksen ja neuvonnan käyttöön. Hankkeen tavoitteena oli, että nautatilat sekä alan koulutus, neuvonta ja muut sidosryhmät saavat toimintansa suunnittelua, kehittämistä ja toteutusta varten käyttöönsä kootusti ja jäsennellysti nautasektorin uusinta tutkimustietoa.

InnoTietoa! –hanketta rahoitettiin Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta. Tuki myönnettiin Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen kautta. Hankkeen etenemistä seurasi ohjausryhmä, joka antoi arvokasta palautetta hanketyöntekijöille. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimivat Maarit Ilola (A-Tuottajat Oy) ja Marko Jokinen (A-Tuottajat Oy) ja ohjausryhmän jäseninä olivat Sanna Suomela (Pro Agria Oulu), Matti Järvi (Oulun seudun ammattikorkeakoulu), Erkki Joki-Tokola (MTT), Pirjo Onkalo (Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus) ja Eemeli Tuura (maatalousyrittäjä). Hankkeen toteuttajat kiittävät hankkeen rahoittajaa ja ohjausryhmää erittäin hyvästä ja toimivasta yhteistyöstä.

Käsillä olevaan julkaisuun on koottu naudanhantuotannon syöntelevää tutkimustietoa. Tämän tiedon toivotaan osaltaan palvelevan suomalaisen nautasektorin kehittämistä.

Vesannolla 22.1.2015

Arto Huuskonen

Luonnonvarakeskus

# Sisällysluettelo

<b>1.</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>Luokitusjärjestelmiä ja brändejä, jotka huomioivat lihan syöntilaadun</b> .....	<b>9</b>
	2.1. USDA (Yhdysvallat).....	11
	2.2. AAA (Kanada) .....	11
	2.3. MSA (Meat Standards Australia).....	12
	2.4. Naudanlihan syöntilaatuluokittaminen .....	13
<b>3.</b>	<b>Lihan ominaisuuksista</b> .....	<b>15</b>
	3.1. Lihäs-, rasva- ja sidekudoksen rakenne .....	15
	3.1.1. Lihaskudos .....	15
	3.1.2. Rasvakudos .....	24
	3.1.3. Sidekudos.....	25
	3.2. Lihaksen entsyymit .....	27
	3.2.1. Katepsiinit ja muut peptidaasit.....	28
	3.2.2. Proteosomit .....	28
	3.2.3. Kalpaiini-järjestelmä .....	29
	3.2.4. Kalpastatiini .....	29
	3.2.5. Kaspasi-järjestelmä .....	30
<b>4.</b>	<b>Naudanlihan syöntilaatu</b> .....	<b>32</b>
	4.1. Mureus.....	32
	4.1.1. Teurastuksen jälkeiset tapahtumat ja mureus .....	35
	4.2. Mehukkuus ja rakenne .....	39
	4.3. Marmoroituminen .....	40
	4.4. Lihan rasvahappokoostumus .....	42
	4.5. Maku .....	48
	4.6. Väri ja pH.....	49
<b>5.</b>	<b>Mahdollisuudet parantaa lihan syöntilaatua ennen teurastusta</b> .....	<b>52</b>
	5.1. Tasaisen syöntilaadun tavoittelemisen .....	52
	5.1.1. Teuraspaino, teurasikä, teuraskypsyys, sukupuoli, rotu, perimä, tuotantojärjestelmä, käsittely .....	53
	5.1.2. Luonnonmukainen tuotanto .....	64
	5.1.3. Ruokinta.....	66
	5.1.4. Ultraäänitekniikka .....	71
	5.1.5. Geneettiset markerit.....	72
<b>6.</b>	<b>Mahdollisuudet parantaa lihan syöntilaatua teurastuksen jälkeen</b> .....	<b>82</b>
	6.1. Sähkö.....	82
	6.2. Riiputustekniikat .....	83
	6.3. Raakakypsytytys.....	85
	6.4. Kuluttajapakkaukset .....	88
	6.5. NIR-tekniikka syöntilaadun mittaajana.....	89
<b>7.</b>	<b>Mahdollisuudet Euroopassa</b> .....	<b>91</b>
<b>8.</b>	<b>Yhteenvedo ja johtopäätökset</b> .....	<b>93</b>
<b>9.</b>	<b>Kirjallisuus</b> .....	<b>95</b>

# 1. Johdanto

Eurooppalaiselle naudanlihantuottajalle ei makseta naudanlihan syöntilaadusta. Laatu mitataan EU-ROP-luokitusjärjestelmällä, jossa arvioidaan ruhon lihakuus ja pintarasvan määrä visuaalisesti. EUROP-järjestelmä kannustaa yhdessä teurashinnoittelun kanssa naudanlihantuottajia tuottamaan isoja, lihaksikkaita ja vähärasvaisia ruhoja. Syöntilaatua EUROP-luokitusjärjestelmä ei arvioi. Useissa Euroopan maissa kuluttajat ovat kuitenkin yhä enemmän laatu- ja elämystietoisia. Hyvästä syöntielämyksestä ollaan valmiita maksamaan ja se halutaan toistaa (Grunert ym. 2005, Lyford ym. 2010, Wood 2013, O’Kiely ym. 2014). Grunertin ym. (2004) tekemän tutkimuksen mukaan kuluttajien on kuitenkin vaikea tunnistaa, mitä syöntilaatu on. Visuaalinen näkemys lihasta heikentää usein kuluttajien syöntilaadun arviointia. Tämä johtaa helposti tyytymättömyyteen ja epävarmuuteen tuotteen kulutuksessa. DeVuystin ym. (2014) mukaan yhdysvaltalainen USDA-laatuluokitus johtaa kuluttajia harhaan. Vain 14,5 % kuluttajista osasi yhdistää runsaasti marmoroituneen pihvin kuvan oikeaan laatuluokkaan (Prime). Suurin osa kuluttajista valitsi luokat kuvien perusteella päinvastoin (vähärasvainen vs. paras).

Laatu muodostuu varta vasten tehdyistä jokapäiväisistä päätöksistä, joilla tavoitellaan tiettyä lopputulosta. Syöntilaatua ohjaa maistajan mieltymys. Kokonaislaatu on usein vaikea määrittellä, koska yksilön kokemukset vaikuttavat laatuun. Syöntilaatu muodostuu ketjun tavoitteellisesta työskentelystä, jossa halutaan tuottaa kuluttajalle ensiluokkaisia elämyksiä. Hyvä syöntielämys muodostuu tasaisesta laadusta, johon kuluttaja voi luottaa kerta toisensa jälkeen (Wood 2013). Lihan kulutuksessa korostetaan lihan ravintoainekoostumusta ja syöntilaatua. Punainen liha on ravintoainesisällöltään rikasta, ja sen ravintoainetiheys on korkea. Punaisen lihan proteiini sisältää ihmisravitsemuksen kannalta tärkeitä välttämättömiä aminohappoja. Proteiinin lisäksi lihassa on A-, B<sub>6</sub>-, B<sub>12</sub>-, D- ja E-vitamiineja, rautaa, sinkkiä ja seleeniä (Biesalski 2005, Williamson ym. 2005, Wyness 2013). Näiden välttämättömien ravintoaineiden lisäksi naudanliha sisältää rasvaa. Rasvat ovat energianlähde ja myös välttämättömiä rasvaliukoisten vitamiinien (A, D, E ja K) imeytymisessä. Rasvan ravitsemuksellinen laatu voidaan yhdistää eläinten syömään dieettiin (Daley ym. 2010, Wyness 2013). Kuluttajat ovat yhä kiinnostuneempia siitä, kuinka dieetti vaikuttaa hyvinvointiin ja terveyteen sekä kuinka voi valita terveellisempiä ja ravintoainerikkaampia raaka-aineita (Verbeke ym. 2010, Hocquette ym. 2012a)

Lihan syöntilaatu on muutakin kuin ravintoainesisältö. Terveellisyys, ulkonäkö, vedensidontakyky ja maittavuus ovat myös laadullisia ominaisuuksia. Marmoroitumisen (lihaksen sisäisen rasvan osuus) määrä on olennainen tekijä lihan mehukkuuden ja maun muodostumisessa. Rasvan osuuden lisääntyessä lihan ravintoainetiheys kuitenkin laskee, vaikka energiamäärä nousee. Nykyään nautoja kasvatetaan yhä suurempiin teuraspainoihin, ja tämä merkitsee usein lihan syöntilaadun heikkenemistä ainakin tiettyjen syöntilaatuparametrien osalta. Tietyissä tapauksissa korkeiden teuraspainojen tavoittelun seurauksena voi muodostua rasvaisia ruhoja. Toisaalta useissa maissa tavoitellaankin huomattavia pintarasvan määriä. Pintarasvaa kerrytetään, jotta liha olisi riittävästi marmoroitunutta kuluttajatytyväisyyden takaamiseksi. Korkeat teuraspainot eivät kuitenkaan ole kasvatuksen kannalta biologisesti tehokkaita, koska rehuhyötysuhde heikkenee eläimen ikääntyessä ja kasvatuksen pitkittyessä.

Naudanlihan syöntilaatua voidaan arvioida joko kuluttajatytyväisyysarvioinneilla tai instrumentaalisesti mitattuna. Eniten käytetty lihas kummassakin tapauksessa on ulompi selkälihas (*longissimus dorsi*). Instrumentaalisessa mittaamisessa käytetään leikkuuvoimatestiä (Warner Blatzer Shear Force, WBSF), jossa mitataan kuinka suuren voiman leikkuuterä tarvitsee tietyn kokoisen lihapalan leikkaamiseen. Leikkuuvoimatestien etu on toistettavuus ja objektiivisuus (Kerth 2013). Naudanlihaa pidetään ulkomailla mureana, jos leikkuuvoimatestin tulos on alle 4,1 kg (Huffman ym. 1994, Kerth 2013). Toinen lihan syöntilaadun arviointimenetelmä on aistinvarainen arvio. Aistinvaraisen arvion voi suorittaa joko koulutettu- tai kuluttajapaneeli. Tulokset vaihtelevat käytetyn arviointipaneelin mukaan. Aistinvaraisessa arvioinnissa tulosten vaihteluväli on huomattavasti suurempi kuin instrumentaalisen mittauksen tuloksissa. Aistinvarainen arviointi tuottaa kuitenkin arvokasta tietoa, jota ei voida arvioida instrumentaalisesti (mm. maku, suutuntuma, kokonaistyytyväisyys) (Hui 2012, Kerth 2013). Tämän kirjallisuuskat-

sauksen tavoitteena oli kartoittaa uusinta naudanlihan syöntilaatuun liittyvää tutkimustietoa. Työn toteuttaminen katsottiin perustelluksi, koska edellisestä suomeksi julkaistusta naudanlihan laatua käsittelevästä kirjallisuusselvityksestä on kulunut aikaa jo melkein 20 vuotta (Rinne 1996).

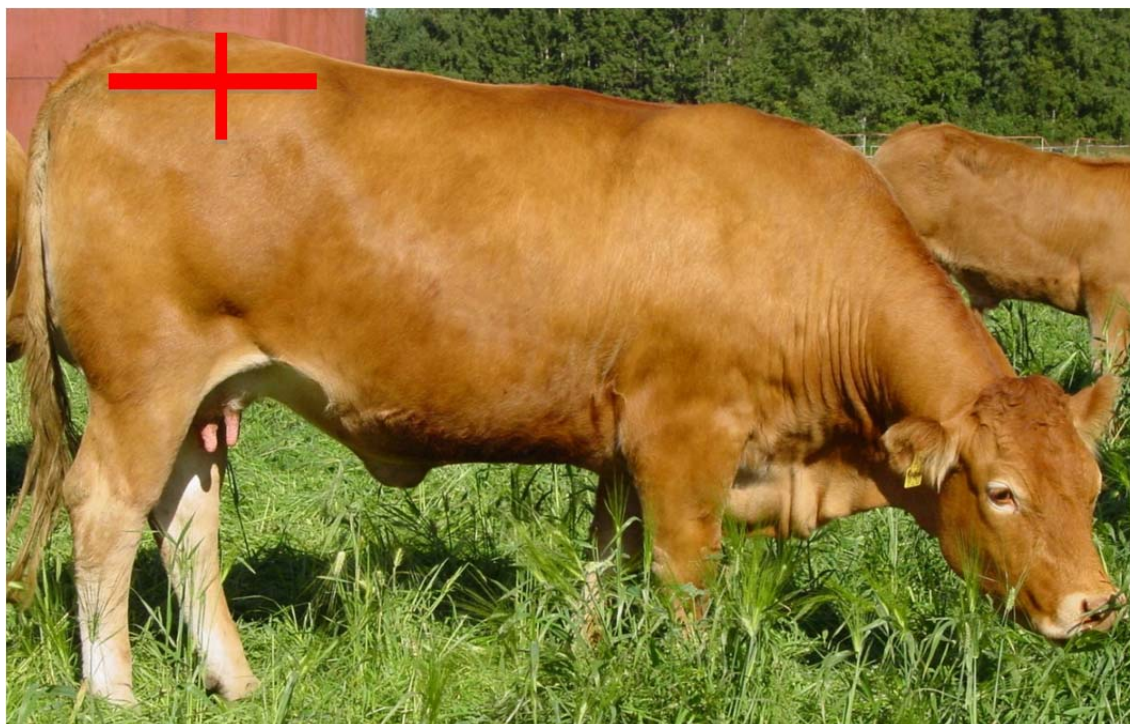
## 2. Luokitusjärjestelmiä ja brändejä, jotka huomioivat lihan syöntilaadun

Naudan ruhoille ei ole olemassa kansainvälisesti yhtenäistä luokitusjärjestelmää. Olemassa olevat luokitusjärjestelmät perustuvat joko subjektiivisiin arvioihin lihakkuudesta ja pintarasvan osuudesta/paksuudesta/peitosta tai ruhon objektiivisiin mittauksiin.

EUROP-luokitusjärjestelmä on ensimmäisiä luokitusjärjestelmiä, joita on alettu hyödyntämään laajemmassa mittakaavassa (de Boer 1992). Luokitusjärjestelmään kuuluu lihakkuusluokan tarkastelu EUROP-järjestelmän mukaan. Järjestelmään kuuluu 15 eri lihakkuusluokkaa, joista E-luokka on lihakkain ja P-luokka vähiten lihakas. Rasvaluokat ovat 1–5. Muutamat Euroopan maat (mm. Brittein saaret, Ruotsi) ovat sisällyttäneet korkeimpiin rasvaluokkiin ala-luokat + ja – (Allen 2009).

Yhdysvalloissa ruhot voidaan jakaa ns. saantoluokkiin, Yield grade (YG). Yiled grade -arvioinnissa otetaan huomioon ruhopaino, pintarasvan paksuus, selkilihaksen pinta-ala ja munuais-, rintaontelosekä sydämen rasvan osuus. Pintarasva ja selkilihaksen pinta-ala (eye muscle area EMA) mitataan 12 kylkiluun kohdalta selkilihaksesta (*longissimus*). YG 1 on korkein eli paras saantoluokka ja YG 5 on matalin (Anonymous 1988).

Australiassa luokitusjärjestelmän muodostaminen aloitettiin luokittelemalla ruhot sukupuolen, iän, pintarasvan ja ruhopainon mukaan. Järjestelmässä ruhojen rasvanpaksuus mitattiin 12 kylkiluun kohdalla manuaalisesti. Tällainen järjestelmä kuitenkin johti ruhojen luokitteluun tiettyjen ominaisuuksien mukaan tarkkojen luokkien sijaan (Anonymous 1981). Lisäksi rasvan mittausta paikka kyseenalaistettiin, koska vuoden vedon osoitettiin aiheuttavan enemmän pintarasvan hävikkiä 12 kylkiluun kohdalla kuin okahaarakkaiden tai lantio- ja istuinluun välisellä alueella. Rasvan mittausta ei voitu suorittaa lainkaan jopa 20 % ruhoista, koska pintarasvaa ei ollut kyseisessä kohdassa (Johnson & Vidyadaran 1981). Tulokset mittausten epäonnistumisesta eivät kuitenkaan olleet yhteneväisiä läpi valtakunnan (Hopkins 1989a). Rasvamittaus australialaisessa järjestelmässä siirrettiin mitattavaksi P8-alueelle (Kuva 1).



**Kuva 1.** Rasvan mittaus australialaisessa järjestelmässä suoritetaan P8-alueelta. Kuva: Maiju Pesonen.

Syiksi mainitaan mm. se, että P8-alueella on helpompi käyttää Hennessy-luokitusanturia (Hennessy grading probe) (Phillips ym. 1987). Hennessy-luokitusanturin on osoitettu sekä ali- että yliarvioivan naudan ruhojen lihakuutta ja rasvaisuutta (Phillips ym. 1987, Hopkins 1989b). Laitte voidaan kuitenkin kalibroida vastaamaan vaihtelua, ja näin saadaan käyttökelpoisia tuloksia. Hennessy-luokitusanturi on teurastamokäytössä naudanruhoilla muutamissa maissa, mm. Australiassa. Laitteella arvioidaan ruhon arvoa eli lihakuutta ja rasvaisuutta (Hopkins & Roberts 1993). P8-alueella rasvan ja lihakuuden mittauksessa on havaittu jonkin verran rotukohtaista vaihtelua (Ball & Johnson 1989). Rotukohtainen vaihtelu voidaan minimoida lisäämällä mittauksiin ja arviointimalleihin selkilihaksen pinta-alamittauksen tulos (Crouse ym. 1975, Hopkins & Roberts 1993). P8-alueen rasvanmittaus on sisällytetty AUS-MEAT-luokitusjärjestelmään. Se voidaan tehdä joko manuaalisesti mittaamalla tai Hennessy-luokitusanturia käyttämällä (Anonymous 2005). Tuottajalle lähetettävässä teurasraportissa on esitettävä ruhopaino, P8-alueen mittaustulos, ruhon ikä hampaista määritettynä ja ruhjeluoikka. Ruhjeluoikassa arvioidaan ruhjeiden osuus ruhossa luokilla 1–9. Vapaaehtoisia teurasraportissa esitettäviä asioita ovat sukupuoli ja paistien pyöreys. Paistien pyöreys luokitellaan asteikolla A–E. Tällöin A on ulkonevin ja kuperin muoto, ja E on kovera paistien muoto (Anonymous 2006).

Teuraslinjalla tapahtuvia luokitusmenetelmiä ja luokituksen automatisointia on tukittu ja kehitelty runsaasti. Eniten käytetty vaihtoehto on ruhojen videokuvantaminen. Vastaavia tuloksia ja hyötyjä ei ole pystytty saavuttamaan ultraäänimittauksella tai erilaisiin sähköön perustuvilla mittauksilla (Cottle & Kahn 2014). Videokuvantamiseen perustuvia järjestelmiä ovat mm. VIAScan<sup>®</sup> (Australia), BBC-2 (Tanska) ja VBS2000 (Saksa) (Allen 2009). Lihasaannon arvioinnissa BBC-2 -järjestelmä oli tarkempi kuin nykyinen EUROP-luokitusmenetelmä (Borggaard ym. 1996). VIAScan<sup>®</sup> -järjestelmän on osoitettu olevan tarkemman ruhon arvon määrittäjän kuin ruhopainon ja P8-alueen rasvamittauksen (Ferguson ym. 1995). VIAScan<sup>®</sup> -järjestelmässä on mahdollista arvioida ruhoa sekä linjalle suoraan asennettavalla laitteella että ruhovarastossa käsikäyttöisellä laitteella. Näiden laitteistojen yhteiskäytöllä on saatu Pohjois-Amerikassa erittäin tarkkoja arvioita ruhojen lihasaannosta (Jones ym. 1995, Cannell ym. 1999). VIAScan<sup>®</sup> -järjestelmän käsikäyttöisen laitteen etuna on, että sillä pystytään mittaamaan selkilihaksen pinta-ala, rasvan paksuus, marmoroituminen, rasvan- ja lihan väri (Anonymous 2010). Viime aikoina erilaisten videokuvantamislaitteistojen kalibrointia ja tarkkuutta on pyritty vertaamaan ennen kaikkea EUROP-luokitusjärjestelmään (Allen 2009, Pabiou & Perry 2009).

Leikkuusaantojen mittaus teuraslinjalla on erittäin tarkka tapa mitata ruhojen arvoa. Haasteena voi olla ruhon tunnistetiedon pysyminen ruhon osien mukana ja toisaalta suuren datamäärän muodostuminen (Cottle & Kahn 2014). Flowline-järjestelmässä on mahdollisuus kerätä jokaisesta ruhosta leikkuusaanto (Anonymous 2008). Ruhojen lihasaannon arviointiin voi yhtenä vaihtoehtona nousta DEXA (Dual Energy X-Ray Absorptiometry) -järjestelmä. Alustavat tulokset nopeuden, käytettävyyden ja luotettavuuden osalta ovat olleet lupaavia (López-Campos ym. 2015).

Erilaisten mallien ja mittausten tarkoitus on luoda järjestelmä, jolla pystyttäisiin arvioimaan ruhon arvo (lihakuus, lihasaanto, rasvaisuus, syöntilaatu) objektiivisesti siten, että hyötyä muodostuu koko ketjulle: tuottajalle, teollisuudelle, kaupalle ja kuluttajalle (Cottle & Kahn 2014). Automaattisten mittaustaitteistojen hyötynä on nähty myös ruhojen tarkempi lajittelu, jolloin esimerkiksi leikkuuta on pystytty tehostamaan (Jones ym. 1995, Cannell ym. 1999). Haastavaksi mallien muodostamisen tekee se, että eri teurastamoilla on erilaiset tavoitteet ja hinnastorakenne. Toisaalta erilaisuus sitoo tuottajat tiettyihin yhtiöihin (Hopkins & Roberts 1993).

Naudanlihan syöntilaadun yhdistäminen luokitusjärjestelmiin voi olla globaaleja markkinoita ajatellen haasteellista. Naudanlihan syöntilaatu on ainakin osittain kulttuurisidonnainen (Hui 2012, Kert 2013). Realinin ym. (2009) kokeessa käytettiin hereford-rotuisia eläimiä, joilla oli kolme erilaista ruokintaa: laidun, laidun ja väkirehua 0,6 % elopainosta sekä laidun ja väkirehua 1,2 % elopainosta. Heidän tutkimuksensa mukaan eurooppalaiset kuluttajat näyttäisivät selvästi suosivan naudanlihaa, joka on ruokittu karkearehuvallaisella dieetillä. Maun mietous nousi esille negatiiviseksi tekijäksi voimakkaalla väkirehudieetillä olleiden nautojen lihassa. Kuluttajatutkimus tehtiin Ranskassa, Isossa Britanniassa,

Saksassa ja Espanjassa. Eurooppalainen kuluttaja arvostaa kotimaassa tuotettua naudanlihaa, joka on tuotettu karkearehuvallaisella ruokinnalla ja jonka hinta on alhainen (Realini ym. 2013).

## 2.1. USDA (Yhdysvallat)

Yhdysvaltojen naudanlihateollisuus on vahvasti sidoksissa väkirehuihin, erityisesti maissiin. Lihaksen sisäisen rasvan määrä eli marmoroituminen on ensisijainen tekijä, jolla arvioidaan nuorten nautojen ruhojen laatuluokka Yhdysvalloissa (USDA 1997). Kuluttajat ovat valmiita maksamaan enemmän naudanlihasta, jossa on korkea lihaksen sisäisen rasvan osuus (Platter ym. 2005). Syy kuluttajien valmiuteen maksaa marmoroituneesta pihvistä korkeampaa hintaa johtuu jo hyvin varhain havaitusta asiasta, että marmoroituminen lisää naudanlihan makua ja mehukkuutta (Mcbee & Wiles 1967).

Naudanruhon luokitus perustuu laatu- ja saantoluokkiin. Laatuluokka muodostuu eläimen iän, teuraskypsyyden saavuttamisen ja marmoroitumisen mukaan. Saantoluokka on järjestelmä, jossa ruho saa numerot 1–5 perustuen selkähaksen pinta-alaan (mitattu 12. kylkiluun kohdalta), ruhopainoon, sisälmysrasvan osuuteen ja pintarasvan paksuuteen (mitattu 12. kylkiluun kohdalta). Suuremman saantoluokan eläimistä ruhon lihasaannon oletetaan olevan pienempi. Suurin osa Yhdysvaltojen teurasnaudoista on alle 30 kuukauden ikäisiä ja feedlot-loppukasvatettuja (Field 2007, Warriss 2010).

Yhdysvalloissa naudanlihan laatu järjestelmän suurimmat haasteet ovat olleet jo lähes 15 vuotta seuraavat (Smith ym. 2000, Cottle & Kahn 2014):

- Suuri hajonta ja epä johdonmukaisuus teuraseläimissä, teuraspainoissa ja leikkuusaannoissa
- Markkinoille sopimaton ruhokoko ja -paino
- Riittämättömät mureusominaisuudet
- Liian vähäinen marmoroituminen
- Implanttien käytöstä johtuva alentunut laatuluokka ja heikentyneet mureusominaisuudet
- Liian suuri pintarasvan määrä/paksuus
- Markkinoille sopimaton USDA-laatu luokkajakauma
- Liian paljon polttomerkinnästä johtuvia vuotavaurioita
- Ruhoissa liian paljon ruhjeita, joista useat erittäin vakavia
- Liian paljon maksavaurioita ja -hylkäyksiä

Prime luokkaan luokituu vain 2 % ruhoista. Marmoroituminen, ja siten myös kokonaisrasvan osuus, on korkeampaa Prime-luokan ruhoissa. Luokitusjärjestelmä ei kuitenkaan ota huomioon lihan syöntilaatuun vaikuttavia ominaisuuksia, kuten väriä, mureutta tai makua.

Tuotannossa on lukuisia erilaisia järjestelmiä, jotka määrittävät laatua mm. alkuperämerkintä, tuotannon laatu järjestelmät, luonnonmukainen tuotantojärjestelmä ym. USDA-FSIS (United States Department of Agriculture-Food Safety Inspection Service) aloitti ensimmäiset kehittämisohjelmat naudanlihan tuotannossa vuonna 1982. Tarkoituksena oli ennen kaikkea muodostaa järjestelmä ennen teurastusta tapahtuvalle toiminnalle koko ketjussa (Preharvest Beef Production Program). Ohjelma kehittäminen alkoi naudanlihan lääkeainejäämien kartoituksella ja ennaltaehkäisemisellä. Nykyään ohjelma on laajentunut esimerkiksi eläinten inhimilliseen käsittelyyn ja lihan syöntilaadun tarkkailuun mm. yrittämällä määrittää optimaalinen teurasajankohta markkinoiden ja eläimen kasvun sekä teuraskypsyyden kannalta (VanOverbeke 2007).

## 2.2. AAA (Kanada)

Kanadalainen luokitusjärjestelmä ottaa huomioon pintarasvan paksuuden ja saantoluokan. Saantoluokkia on kolme. Kanadalaiset teurasnaudat ovat hieman vähärasvaisempia kuin Yhdysvalloissa. Tämä johtuu todennäköisesti enemmän karkearehua sisältävistä loppukasvatusdieeteistä (Warriss 2010, Cottle & Kahn 2014).

Viimeisen kymmenen vuoden aikana naudan kaupallisten palojen pintarasvan osuus on lisääntynyt 26,6 %, paino laskenut 18,6 % ja valmistushävikki (cooking loss) lisääntynyt 17,2 % (Juárez ym. 2013). Yleisparannuksen lihan syöntilaadussa laskettiin olleen 10 % kymmenessä vuodessa. Vuonna 2011 sisäfileistä vain 1 % arvioitiin tarvitsevan lisää mureutusaikaa, ulkofileistä 5–8 % arvioitiin hieman tai melko runsaasti lisämureutusta tarvitseviksi. Tulokset olivat merkitsevästi pienempiä kuin vuosituhatosen vaihteissa tehdyt mittaukset, joissa 15 % sisäfileistä ja 25 % ulkofileistä arvioitiin sitkeiksi. Sisäpaisteista 52 % arvioitiin sitkeiksi tai mahdollisesti sitkeiksi vuonna 2001, kun vastaavasti 2011 mureiden paistien osuus oli 55 % analysoiduista. Analyysin kerättiin naudanlihanäytteen päivittäistavarakaupasta neljässä kaupungissa eripuolilta Kanadasta. Kokeessa analysoitiin yhteensä 602 näytettä, jotka arvioitiin mm. WBSF-testillä (Juárez ym. 2013).

Lihan syöntilaadullisten tulosten arvioidaan olevan suoraa vaikutusta koko ketjun ponnisteluista paremman kuluttajatytyväisyyden saavuttamiseksi. Teollisuus on muuttanut toimintatapojaan, mikä on vaikuttanut naudanlihan mureusominaisuuksiin (Juárez ym. 2013). Juárezin ym. (2012) tutkimuksessa havaittiin, että raakakypsytyksellä on ratkaisevin merkitys naudanlihan lopulliseen syöntilaatuun ja rakenteeseen kanadalaisessa tuotantojärjestelmässä. Raakakypsytyksella vaikuttaa ennen kaikkea mureusominaisuuksien lisääntymiseen nuorien eläinten ruhoilla, joissa sidekudoksen määrä on vähäistä (Juárez ym. 2012). Suositeltu raakakypsytyksaika kanadalaisessa naudanlihateollisuudessa on 12 päivää. Käytännössä raakakypsytyksaika kuitenkin vaihtelee 4–80 päivän välillä. Kaikki ruhon lihakset eivät hyödy näin suuresta raakakypsytyksaikojen vaihtelusta. Runsaasti kollageenia sisältävät ruhon osat eivät mureudu, vaikka raakakypsytyksaikaa lisätään (Juárez ym. 2010). Ruhojen jäähdystyskäytännöt ja/tai sähköstimulointi voivat vaikuttaa tiettyihin lihaksiin kuten selän lihaksistoon ja paisteihin (Juárez ym. 2013).

Toisaalta kanadalainen naudanlihantuotantoon käytetty eläinpopulaation roturakenne on muuttunut yhä enemmän brittiläisiä rotuja sisältäväksi viimeisen 10–15 vuoden aikana. Tämä on ollut seurausta kanadalaisen luokitusjärjestelmän muutoksesta, jossa lihaksen sisäisen rasvan osuus otettiin luokitusperusteeksi 1990-luvulla. Ruhojen korkeammat rasvapitoisuudet ja arvopalojen pienempi osuus voivat olla seurasta roturakenteen muutoksesta. Lihan mureuden lisääntyminen voi johtua brittiläisten rotujen suuremmasta osuudesta, järjestelmällisestä eläinvalinnasta ja teuraskypsytyksen laskemisesta (Juárez ym. 2013). Toisaalta enemmän pintarasvaa sisältävät ruhot jäähtyvät hitaammin, mikä vähentää kylmän aiheuttamaa sarkomeerien lyhentymistä ja lisää lihan mureutta (Hui 2012).

## 2.3. MSA (Meat Standards Australia)

Australiassa on kaksi naudan ruhojen luokitusjärjestelmää: AUS-MEAT ja Meat Standards Australia (MSA). AUS-MEAT on ruhojen luokitusjärjestelmä, jota käytetään väkirehuvaltaisella ruokinnalla loppukasvatettuihin eläimiin. Järjestelmä ottaa huomioon ruhopainon, pintarasvan paksuuden, hampaat, sukupuolen, ruhon muodon, marmoroitumisen, lihan- ja rasvan värin. MSA järjestelmä on hieman tarkempi luokitusjärjestelmä kuin AUS-MEAT, joka pyrkii luokittelemaan ruhon laadun yksittäisten leikkuupalojen mukaan. MSA:n tarkoituksena on saavuttaa mahdollisimman tarkka lihan syöntilaatu, tasaisuus ja kuluttajatytyväisyys (MLA 2014).

Meat Standards Australia (MSA) luokitusjärjestelmä (MLA 2014):

- Lihan syöntilaadun takaaminen vaatii määritettyjä toimenpiteitä ja toimintatapoja, joita tehdään aina tilalta lautaselle
- MSA-standardin mukaan luokiteltavat ruhot luokitellaan ainoastaan MSA-lisenssin saaneessa teurastamossa. Eälillä tulee olla varmennettu kauppatodistus, jonka tarkistaa teurastamo ja luokittelija.
- Ruhot luokitaa MSA-koulutuksen suorittanut luokittelija, joka arvioi myös leikkuupalojen syöntilaadun (MSA 3, MSA 4, MSA 5)
- Jokainen ruho yksilöidään

- Ruho- ja eränumero. Teuraseriä ei sekoiteta. Eri tiloilta tulevat teuraserät pidetään myös luokituksessa erillään.
- Ruhopaino on tärkeä ominaisuus määritettäessä ruhon teuraskypsyyttä ja lihan sekä palojen taustaista laatua
- Sukupuoli
- *Bos Indicus*-määrä. Niskakäymän korkeus voi vaikuttaa alentavasti hinnoitteluun. *Bos Indicus* tuottaa sitkeämpää ja pidemmän raakakypsytysajan vaativaa lihaa kuin *Bos Taurus*
- Riiputustapa
- Hormoni-implanttien käyttö vaikuttaa yksittäisten palojen MSA luokkaan
- Luutumisasaste määrittää teuraskypsyyden saavuttamista
- Marmoroituminen mitataan käyttäen AUS-MEAT tai MSA ruudukkoa
- Kylkirasvan paksuus. MSA-luokitukseen vaaditaan vähintään 3 mm pintarasvan paksuus. Yli 22 mm rasvasta muodostuu vähennyksiä, samoin nahanvedon aiheuttamista vauroista.
- pH ja ruhon lämpötila. Ruhon pH mitataan pH-mittarilla. pH:n tulee olla alle 5,71 ja lämpötilan alle 12 °C astetta.
- Lihan väri mitataan AUS-MEAT värikortteja käyttäen. MSA-standardiin hyväksytään värit 1b–3.
- Selkälihaksen pinta-ala mitataan käyttäen AUS-MEAT ruudukkoa
- Rasvan väri mitataan AUS-MEAT värikortteja käyttäen. Asteikko 0–9.
- Ruho luokitellaan MSA-standardin mukaan, jos kaikki edellä mainitut kohdat täyttyvät. Kuluttajakaukussa on syöntilaadun lisäksi tieto parhaasta mahdollisesta tavasta valmistaa kyseinen pala.

## 2.4. Naudanlihan syöntilaatuluokittaminen

Mureus on tärkein ominaisuus, joka takaa toistuvan kuluttajan ostopäätöksen ja valmiuden maksaa ensiluokkaisesta naudanlihasta korkeampaa hintaa (Miller ym. 2001, MLA 2014). Maailmanlaajuisesti teurastamoteollisuus on kuitenkin omaksunut heikosti naudanlihan syöntilaatua mittaavia ja ylläpitäviä järjestelmiä.

Uudessa-Seelannissa Beef Quality Program-ohjelma otettiin käyttöön 2000-luvun alussa. Seuranta-tutkimuksissa havaittiin, että hälyttävän suuri osa (yli 40 %) naudanlihasta ei saavuttanut mureen lihan leikkuuvastesuosituksia (Frazer 1997). Kahden vuoden aikana testattu leikkuuvaste parani 22 % tiukan syöntilaatuohjelman ansiosta (Bickerstaffe ym. 2001). Tärkeimpinä asioina hyviin tuloksiin pääsemiseksi oli Hopkinsin ym. (2011) mukaan, että ruhojen pH oli alle 5,8 (95 % mitatuista kohdista) ja leikkuuvoima-testin tulos oli alle 80 N (Newton).

Yhdysvalloissa seurantatutkimustulokset naudanlihan syöntilaadun parantumisesta eivät ole olleet yhtä vakuuttavia kuin Uudessa-Seelannissa. Parannusta on tapahtunut 1990-luvulla vain vähän (George ym. 1999). Yhdysvalloissa syöntilaadun tarkkailu ja lisääminen perustuu ruho-ominaisuuksiin ja laatu-luokkaan. Laatuluokan tärkeimmät perusteet ovat ruhon ikä (teuraskypsäysaste), lihan väri ja marmoroituminen (Smith ym. 2008b). Laatuluokan kyky ennustaa mureutta vaihtelee huomattavasti eri palojen mukaan (Smith ym. 2008b). Yhteys leikkuuvasteeseen vaihtelee myös eri palojen mukaan ollen muutamissa paloissa erittäin huono (Powell ym. 2011). USDA-järjestelmässä käytetään *longissimus dorsi* -lihasta laatuluokan määräytymiseen. *Longissimus dorsi* -lihaksen mureuden yhteys ruhon muiden lihasten mureuteen on kuitenkin heikko (Rhee ym. 2004). Yhdysvalloissa on tehty lukuisia toimenpiteitä, joilla on arvoitu heikompien ruhonosien lihan laatua. Näiden toimenpiteiden pääasiallinen tarkoitus on ollut luoda leikkuupaloilte vaihtoehtoisia käyttötarkoituksia tai leikkuutekniikoita (Von Seggern ym. 2005). Rungas tutkimus on antanut paljon tietoa ja tuntemusta naudanruhon leikkuupalojen ominaisuuksista. Valitettavasti tutkimukset eivät ole ottaneet huomioon syöntilaatua tai kuluttajien mielipidettä (Jones ym. 2005).

Australiassa (MSA) syöntilaadun lähestymistapa on ollut hieman erilainen. Naudanlihan syöntiladulle muodostettiin ennustemalli (prediction model), jossa lihasten anatominen kuvaus korvattiin syön-

tilaadulla (Thompson 2002). Eri lihasten syöntilaatuluokka muodostettiin painottamalla neljää aistinva-  
raisen arvioinnin ja mitatun ominaisuuden kokonaisuutta – mureus, mehukkuus, maun miellyttävyys ja  
kokonaismiellyttävyys. Luokat, jotka leikkuupaloille/lihaksille muodostuivat, olivat (Watson ym. 2008):

- ei luokitu (ei sellaisenaan syötiin)
- MSA 3 (keskinkertainen, käyttölaatu)
- MSA 4 (hyvälaatu)
- MSA 5 (erinomainen, ensiluokkainen laatu)

Lihan laatuluokan muodostumiseen vaikuttaa MSA-luokittuminen (yllä). Eri paloille muodostuu eripitui-  
nen raakakypsytyisaika riippuen ruho- ja palaominaisuuksista (MLA 2014). MSA-järjestelmän muodosta-  
minen on vaatinut runsaasti yhteistyötä kuluttajien, teurastamoiden (teollisuuden), karjankasvattajien ja  
tutkimuksen kesken (MSA 2014). Australialaisen laatuluokituksen etuna pidetään ns. tiheää seulaa. Ru-  
hot, jotka näyttävät samanlaisilta, voivat erota yksittäisten lihasten mureudessa. Kuluttajalle pystytään  
kuitenkin tarjoamaan takuumureaa lihaa. Takuumurea on tässä tapauksessa kerrottu jo pakkauksessa  
MSA-luokilla, jolloin odotusarvo eri lihapalojen ja luokkien välillä on läpinäkyvä. Kuluttajapakkaukseen  
on myös liitetty suositeltu valmistustekniikka ruuanlaiton onnistumiseksi (MLA 2014).

Polkinghorne (2006) kuvaa tilannetta ns. välilylyksen (rump steak) osalta. Rump steak sisältää osia  
neljästä eri lihaksesta, jotka vaihtelevat mureuden ja syöntilaadun osalta. Näiden lihasten syöntilaatuun  
vaikuttaa myös valmistustekniikka. MSA-laatuokan lähestymistapa haastaa koko ruhon tai yhden li-  
haksen perusteella tehdyn laatuluokituksen tehon ja tarkkuuden. MSA-laatuokitusmallilla on mahdolli-  
suus mallintaa/antaa syöntilaatu-arvio/tulos 46 eri lihakselle kuudella eri valmistusmenetelmällä (Pol-  
kinghorne 2006). Viimeaikaisin muutos malliin tehtiin lisäämällä 135 leikkuuta ja valmistusmenetelmää  
syöntilaatuluokkiin (Polkinghorne ym. 2008b). Polkinghornen (2006) mukaan MSA-järjestelmä on todis-  
tanut, että tuotteet voidaan merkitä kuluttajapakkauksiin arvioidun syöntilaadun mukaan valmistus-  
suosituksella varustettuna mainitsematta, mistä palasta on kyse. Tapa on johtanut uusien lisäarvoa  
muodostavien tuotteiden kehittämiseen ja tehokkaampaan leikkuupalojen käyttöön (MSA 2010). Ru-  
hoista muodostuva voitto on lisääntynyt MSA-menetelmää käyttämällä (Polkinghorne ym. 2008a). MSA-  
luokitusjärjestelmä on ainoa järjestelmä, jossa otetaan huomioon syöntilaatu näin laajassa kontekstissa  
(Cottle & Kahn 2014). MSA-järjestelmää on testattu Irlannissa, Ranskassa, Pohjois-Irlannissa ja Puolassa  
kotimaisilla naudanlihoilla. Kaikissa Euroopan maissa tulokset ovat olleet yhtenevät. Naudanlihan syönti-  
laadun tietäminen jo ostopäätöstä tehdessä lisää kuluttajatytyväisyyttä. Eurooppalainen yhteistyö voisi  
johtaa samanlaisen syöntilaatua mittaavan järjestelmän kehittämiseen koko Euroopan alueelle (Woods  
2013).



Kuva: Susanna Jansson.

## 3. Lihan ominaisuuksista

Naudanliha koostuu lukuisista eri kudostyypeistä mm. lihas-, hermo-, rasva- ja sidekudoksesta. Naudanruhossa on lihaskudosta noin 50–75 % kokonaispainosta. Lihaskudos on yleensä arvokkain osa ruhosta. Eläimen teurastuksen jälkeen lihaskudos muuntuu lihaksi erilaisten kemiallisten prosessien kautta. Lihasten suhteelliset osuudet vaihtelevat eläimen teuraskypsyyden, rodun, rasvaisuuden ja sukupuolen mukaan. Esimerkiksi ulomman selkälihaksen (ulkofileen) osuus on teuraskypsässä nuorena naudassa keskimäärin noin 12 % kaikista teurasruhon lihaksista, 7 % ruhopainosta ja 4 % elävän eläimen painosta (Hui 2012).

Lihan sisältöä määritettäessä on tiedettävä, mistä liha koostuu ja miten sen koostumus on rakentunut. Teollisuus ja markkinat tavoittelevat lihanautojen osalta mahdollisimman korkeaa lihan osuutta ruhosta eli suurta elävän eläimen lihaksikkuutta. Ruhon arvoon liittyy lihasaannon lisäksi rasvaisuus ja rasvan sijoittuminen ruhossa. Lihan syöntilaatu on kuluttajan kannalta olennainen osa lopullista ostopäätöstä. Kuluttajasyöntilaadussa haasteellista on syöntilaadun todentaminen ja tasaisuuden säilyttäminen. Kuluttaja tekee ostopäätöksen usein lihan ulkonäön perusteella. Ostopäätösarviointi tehdään yleisesti lihan-, rasvan-, ja luun määrän arvioinnin perusteella, ja arviossa otetaan huomioon myös lihan väri. Lihan laadun ulkonäön arvioinneista tarkin on lihaksen sisäisen rasvan eli marmoroinnin osuuden visuaalinen arviointi (Hui 2012, Kerth 2013).

### 3.1. Lihas-, rasva- ja sidekudoksen rakenne

Kudosten kasvu muodostuu kahdesta eri tapahtumasta. Solujen lukumäärä kasvaa solujen jakautuessa. Tätä prosessia kutsutaan hyperplasiaksi. Suurimmaksi osaksi solujen hyperplasia tapahtuu jo ennen syntymää. Lihaskudoksen osalta tiineyden aikana tapahtuu 30–40 solujen jakautumistapahtumaa, syntymän jälkeen ainoastaan 2–4. Toisessa kudosten kasvutapahtumassa (hypertrofia) yksittäisten solujen koko kasvaa. Syntymän jälkeen solujen hypertrofia lisää kudossolujen massaa ilman, että solujen lukumäärä kasvaa (Lawrence ym. 2012).

Lihas- ja rasvakudos muodostavat ne kaksi pääkudostyyppiä, joita käytetään ihmisravinnoksi. Energiantarve lihas- ja rasvakudoksen muodostamiseen on erilainen. Lihaskudoksen energiasisältö on 4 kJ/g. Sama määrä rasvakudosta sisältää energiaa 26 kJ/g (Lawrence ym. 2012).

#### 3.1.1. Lihaskudos

Lihaskudoksessa on noin 75 % vettä ja 20 % valkuaisaineita eli proteiineja. Loput noin viisi prosenttia on rasvoja. Lihaksessa on myös vähäisiä määriä hiilihydraatteja, yleensä glykokeenin muodossa. Lihas sisältää myös vapaita aminohappoja, dipeptidejä ja nukleotideja (Warriss 2010). Lihaksessa proteiinit voivat olla rakenteellisia proteiineja kuten esimerkiksi kollageeni sidekudoksessa, josta muodostuu jänne (Warriss 2010).

Lihaksi käytettävä lihaskudos on pääasiallisesti luurankolihasista muodostuvaa lihaskudosta. Elävässä eläimessä on kolme erityyppistä lihaskudosta (Warriss 2010, Hui 2012, Lawrence ym. 2012):

- sileää lihaskudosta
- sydänlihaskudosta
- poikkijuovaista lihaskudosta

Lihaskudos jaetaan eri tyypeihin toiminnan, rakenteen ja hermostollisen kontrollin mukaan (Taulukko 1).

**Taulukko 1.** Kolmen lihastyypin ominaisuuksia (Hui 2012).

Lihastyypit	Juovikas	Tumien lukumäärä lihassyitä tai solua kohden	Hermostollinen kontrolli
Poikkijuovainen lihaskudos	kyllä	Monta	tahdonalainen
Sydänlihas	kyllä	1	tahdosta riippumaton
Sileä lihaskudos	ei	1	tahdosta riippumaton

Lihaskudoksessa myofibrillien valkuaisaineet muodostavat 60 % lihaksen kokonaisvalkuaisainemäärästä. Jäljelle jäävä 40 % proteiineista koostuu pääasiallisesti tavanomaisista solun valkuaisaineista. Lihaksen entsyymeitä kutsutaan joko sarkoplasmaproteiineiksi tai stromaproteiineiksi. Stromaproteiinit ovat usein liukenemattomia ja sisältävät runsaasti sidekudosta (kollageenia ja elastiinia). Sarkoplasmaproteiinien osuus on yleensä 20 % solun valkuaisaineista, samoin stromaproteiinien (Warriss 2010).

Lihassoluissa on lihassäikeitä, jotka muodostuvat aktiini- ja myosiiniproteiinisäikeistä. Aktiini- ja myosiiniproteiinisäikeiden säännönmukaisen järjestyksen vuoksi luustolihakset ja sydänlihas näyttävät poikkijuovaisilta.

Lihassäikeiden lukumäärä on perinnöllinen ominaisuus, joka on pääsääntöisesti määräytynyt jo hedelmöitymisessä. Eläinten, joiden lihaksistossa on enemmän lihassyitä syntymähetkellä, lihakset kasvavat nopeammin kuin eläinten, joiden lihakset eivät sisällä yhtä paljon lihassäikeitä. Lihasten kasvun geneettinen potentiaali täyttyy ainoastaan, jos eläimet saavat elinkaarensa aikana riittävästi ravintoaineita. Lihasten kasvu on suhteellisesti nopeinta parin päivän ajan syntymän jälkeen. Liikunta lisää lihassolujen kokoa, mutta ei määrää (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012).

#### *Sileä lihaskudos*

Sileä lihaskudos tuo joustavuutta kudoksiin. Sileää lihaskudosta on valtimoiden-, suoliston-, hengitysteiden-, lymfaattisen järjestelmän- ja virtsateiden seinämissä. Sileän lihaskudoksen solujen koko ja muoto vaihtelevat jonkin verran. Sileässä lihaksessa on vain yksi tuma, joka on lähellä solun keskustaa. Aktiini- ja myosiinisäikeet ovat sileässäkin lihaksessa supistuksen perusta. Aktiini- ja myosiinisäikeet eivät ole kuitenkaan järjestäytyneet samalla tavalla kuin sydänlihaksessa ja poikkijuovaisessa lihaksessa. Sileä lihaskudos toimii tahdosta riippumatta hermoston automaattisten signaalien ohjaamana (Hui 2012, Lawrence ym. 2012).

#### *Sydänlihaskudos*

Sydänlihaskudosta on vain sydämessä. Sydän toimii rytmisesti supistuen koko elämän ajan. Sydänlihaskudos näyttää samalla tavalla juovikkaalta kuin poikkijuovainen lihaskudos. Sydänlihassolut ovat pienempiä kuin poikkijuovaisen lihaskudoksen solut, ja niissä on vain yksi tuma keskellä solua. Myös sarkoplasmakalvosto on vähäistä. Mitokondrioita sydänlihassoluissa on runsaasti. Solut ovat usein haaraisia ja kiinnittyvät päistään toisiinsa muodostaen verkkomaisen rakenteen. Kiinnittyminen tapahtuu kytkelyvyillä. Lähes kaikki sydänlihaksen solut supistuvat yhtä aikaa. Emme pysty itse kontrolloimaan sydäntä, joten tämä lihaskudos on tahdosta riippumatonta (Lawrence ym. 2012).

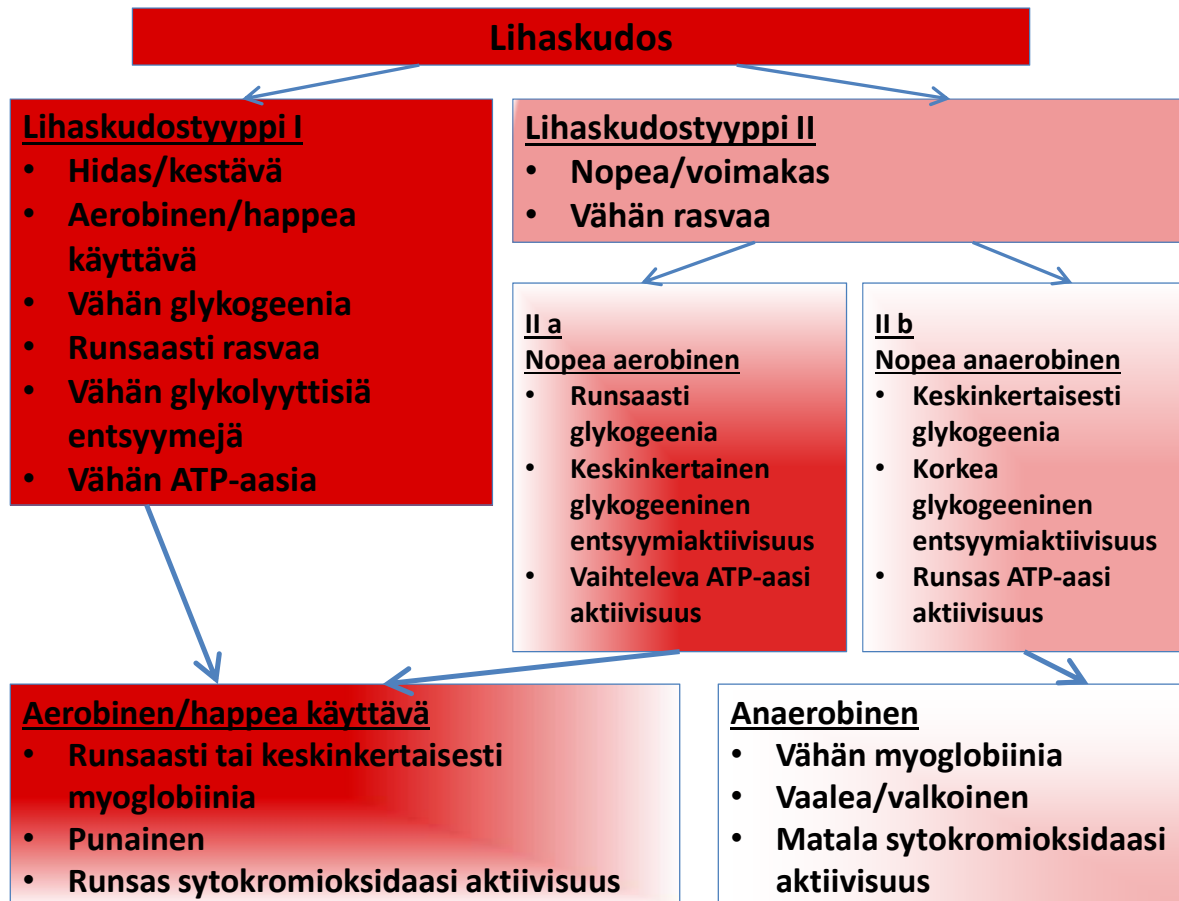
#### *Poikkijuovainen lihaskudos*

Kolmesta eri lihaskudoksesta eläimessä on eniten poikkijuovaista lihaskudosta. Supistavat, rakenteelliset ja aineenvaihdunnalliset valkuaisaineet ovat tässä lihaskudostyyppissä tarkasti määrätyillä paikoilla. Poikkijuovaisen lihaskudossolujen koko vaihtelee noin 10 mikrometrinä jopa pariin senttimetriin. Solun kokoon vaikuttaa se, mistä lihaksesta on kyse. Poikkijuovaisissa lihaksissa on monta tumaa. Tummat ovat sijoittuneet kypsässä lihassolussa lihassolun reunoille. Poikkijuovaisen lihaksen toiminta on tahdonalaisia ja vaatii hermoston impulssin (Lawrence ym. 2012).

Poikkijuovainen lihaskudos voidaan jakaa eri tyyppisiin siinä olevien entsyymien ja entsyymiaktiivisuuden perusteella. Luurankolihaskudostyyppien periaatteellinen jako tapahtuu aerobisen aktiivisuuden eli happea käyttävien lihassyiden ja anaerobisen eli glykolyyttisen aktiivisuuden välillä. Aerobinen lihassy vaatii toimiakseen happea. Anaerobinen lihassy voi toimia, eli saada lihasliikkeen aikaiseksi, hapetomissa olosuhteissa (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012).

Aerobiset/oksidatiiviset/happeakäyttävät lihassyöt sisältävät enemmän mitokondrioita sisältäviä punaisia sytokromeja kuin anaerobiset lihassyöt. Myös myoglobiinin määrä on runsaampi aerobisten lihassyiden sarkoplasmassa kuin anaerobisissa, glykolyyttisissä lihassyissä. Tämän vuoksi aerobinen lihassolukko näyttää punaisemmalta kuin anaerobinen lihassolukko (Kuva 2) (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012).

Sytokromit ovat aerobisen lihassyyn toiminnan kannalta olennaisessa osassa. Oksidatiivinen fosforylaatio on tapahtuma, jossa ravintoaineet hapettuvat solussa ja energiaa vapautuu. Oksidatiivinen fosforylaatio tapahtuu sytokromissa. Myoglobiini kuljettaa lihassolussa happea samalla tavalla kuin punasolut muualla elimistössä. Glykolyttiset, anaerobiset lihassyty sisältävät verrattain vähän sekä sytokromeja että myoglobiinia. Anaerobiset lihassyty näyttävät joko valkoisilta tai selvästi vaaleammilta kuin aerobiset lihassyty (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012) (Kuva 2).



**Kuva 2.** Yhteenveto eri lihaskudostyypeistä (Warriss 2010, uudelleen piirretty).

Punaisten oksidatiivisten lihassyiden väliin ja sisälle on usein kerääntynyt pieniä rasvasoluja. Glykolyttisten, anaerobisten lihassyiden glykogeenisäilytys on usein korkea. Punaisissa lihassyissä ATP-aasin ja fosforylaasin aktiivisuus on usein heikko. Aerobiseen energiatuotantoon vaadittavien entsyymien, kuten sytokromioksidaasin ja sukkiinaattidehydrogenaasin, aktiivisuus on runsas. Valkoisten lihassolujen entsyymiaktiivisuus on päinvastaista. Näissä lihassoluissa ATP-aasin ja fosforylaasin aktiivisuus on korkealla tasolla. ATP-aasi hydrolysoi ATP:tä energiaksi anaerobisissa olosuhteissa. Sekä ATP-aasi että fosforylaasi ovat tärkeitä aloitusentsyymejä glykogeenin hajotuksessa. Lihassoluissa on syytyyppejä, joissa on sekä aerobisia että anaerobisia ominaisuuksia. Tällaisia lihassyitä voidaan joissain tapauksissa kutsua välimuotoisiksi lihassyiksi. Näiden lihassyiden väri on hailakan vaalean punainen, jopa pinkki. Välimuotoisten lihassyiden entsyymiaktiivisuus vaihtelee. Näissä lihassoluissa ATP-aasin ja glykolyttisten entsyymien aktiivisuus on usein runsasta, mutta aerobiseen energiantuotantoon vaadittavien entsyymien aktiivisuus vaihtelee (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012) (Kuva 2).

Lihassolutyypit eroavat toiminnallisuudeltaan. Aerobinen, punainen lihassyityyppi on lihassyissä kestävämpää ja hitaammin reagoivaa eli voimaa tuottavaa. Anaerobinen, valkoinen lihassyityyppi tuottaa puolestaan nopeasti räjähtävää voimaa. Toisaalta anaerobinen lihas myös väsy nopeasti. Eri lihak-

set sisältävät vaihtelevan määrän erityyppisiä lihassyitä. Asentoa ylläpitävät lihakset sisältävät yleensä runsaasti aerobisia, kestäviä lihassyitä. Lihaksissa, joita vaaditaan nopeaan reagointiin ja räjähtävän voiman tuottamiseen, on runsaasti lihaskudostyyppi II lihassyitä. Lihaskudostyyppi II jakautuu kahteen erityyppiseen lihassyihin (Kuva 2). Käytännössä lihaskudostyyppien jakautuminen lihaksiin on hyvin monimuotoista. Perinnölliset tekijät ohjaavat lihaskudostyyppien ilmentymistä. Toisaalta ympäristötekijät, varsinkin liikunta, vaikuttavat lihaskudokseen (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012).

Valkoisia lihaskudostyyppin II omaavia lihassyitä on joissain lihaksissa kuten pakaralihaksessa (*gluteus medius*) ja selkälihaksistossa (*longissimus*) suhteessa enemmän kuin muissa lihaksissa. Yleensä näissä tapauksissa on kysymys II a-tyyppin lihassyistä. Tämä vaikuttaa lihaksen hapen kulutukseen. Runsaasti valkoisia II a lihassyitä sisältävät lihakset voivat tehdä ns. staattista työtä pitkäkestoisemmin kuin punaiset lihasyyt. Runsas valkoisten lihassyiden esiintyminen on yhteydessä matalampaan myoglobiinin määrään ja lihaksen sisäiseen rasvan osuuteen. Esimerkiksi yläselässä sijaitsevassa epäkäslihaksessa (*trapezius*) on 60 % punaisia lihassyitä ja lihaksen rasvapitoisuus on suhteellisen korkea. Takaraajan lihaksiin kuuluva puolijänteinen lihas (*semitendinosus*) on myös hieman poikkeava lihas, koska siinä on 50 % punaisia ja 50 % valkoisia lihassyitä sekä korkea rasvapitoisuus. Perintötekijät vaikuttavat lihassyiden suhteisiin ja mahdolliseen marmoroitumispotentiaaliin (Hui 2013, Kerth 2013).

Lihaskudostyypeissä on jonkin verran morfologisia eroja. Nopeat lihasyyt ovat halkaisijaltaan suurempia kuin hitaat, kestävät lihasyyt. Kestävien lihassyiden hiussuoniverkko on huomattavasti tiheämpi kuin nopeiden lihassyiden. Proteiinin muodostuminen ja hajoaminen on nopeampaa kestävässä lihassoluissa kuin nopeissa lihassoluissa (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012).

Lihaskudostyyppi vaikuttaa sekä lihaskudoksen ominaisuuksiin teurastuksen jälkeen että lihan laatuun. Liha muodostuu aina eripituisen ajan stressille altistuneista eläimistä. Ongelmia muodostuu erityisesti siinä tapauksessa, että eläin on geneettisesti altis hermostumiselle. Lihaksessa voi olla teurastuksen ajankohtana liian vähän energiaa, jolloin eri lihaskudostyyppit käyttäytyvät eri tavalla lopputuotteessa eli lihassa. Ääritapauksissa on kysymys tervalihasta (DFD) (dark, firm, dry). DFD voi aiheuttaa ongelmia yksittäisille lihaksille tai koko ruholle (Hui 2012, Kerth 2013). Mahmood ym. (2015a,b) havaitsivat, että hiehoilla ja härillä tervalihan esiintymistä lisäsivät vähäinen pintarasvan osuus ja vähäinen marmoroituminen sekä alhainen teuraspaino. He suosittelivat, että eläinten dieetti suunniteltaisiin niin, että se tavoittelisi korkeinta laatuluokkaa, jossa on runsain marmoroituminen (Canada AAA). Tervalihan havaitsemista voidaan merkitsevästi helpottaa ja nopeuttaa NIR-tekniikan avulla (Pietro ym. 2015).

#### *Lihaskudoksen kasvu ja kehittyminen*

Täysikasvuisen eläimen sileän-, sydän- ja poikkijuovaisen lihaskudoksen toiminta poikkeaa toisistaan hyvin paljon. Alkion kehitysvaiheessa nämä lihaskudokset ovat kuitenkin hyvin samanlaisia. Myogenesis eli lihaskudoksen kehitys ja sen jälkeinen kasvu on sarja monimutkaisia solutason muutoksia, jotka tapahtuvat ennen ja jälkeen syntymän (Lawrence ym. 2012, Kerth 2013).

Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta lihaskudos muodostuu sikiökautena alkion mesodermikerroksen soluista. Samaa alkuperää ovat myös rasva- ja sidekudos. Lihaskudossolujen erikoistumista ohjaa lihaskudossäätelytekijä (myogenic regulator factor, MRF). Soluja, joista muodostuu lihassäikeitä, kutsutaan myoblasteiksi (Hui 2012, Lawrence ym. 2012, Kerth 2013). Myobalstit muistuttavat ulkonäöltään hyvin paljon sileää lihaskudosta. Myobalstit pystyvät kuitenkin erikoistumaan miksi tahansa lihaskudokseksi. Jokaisella myoblastilla on oma tuma. Myobalstit kasvavat yhteen muodostaen ns. nauhoja. Nauhojen muodostuessa ja solujen yhteensuolautuessa yksittäiset myobalstit menettävät solukalvon. Tässä vaiheessa myobalstit saavat hormonaalisen signaalin, joka lopettaa jakautumisen, ohjaa solut järjestäytymään, sulautumaan yhteen ja muodostamaan monitumaisia myotuubeja. Samanaikaisesti lihasspesifiset geenit, kuten aktiinia ja myosiinia koodaavat geenit aktivoituvat (Hawke & Garry 2001, Buckingham ym. 2003, Biressi ym. 2007). Muodostuneet myotuubit ovat esilihassäikeitä. Esilihassäikeet pidentyvät ja kypsyvät oikeiksi lihassäikeiksi. Syntymän jälkeen vain muutamat satelliittisolut säilyttävät kyvyn kahdentua/jakautua eli muodostaa uusia lihassoluja. Näillä satelliittisolulla elimistö voi tarvittaessa muodostaa uusia myoblasteja (Lawrence ym. 2012).

Myogeneesiä säätelee neljä avainlihassäätelytekijää (Myf5, MyoD, myogeniini ja MRF4). Myf5 ja MyoD ohjaavat myoblastien koon kasvua ja erilaistumista. Myf5 ja MyoD ekspressio on korkeimmillaan erikoistumattomissa myoblasteissa. Myf5 ja MyoD aloittavat myogeneesitapahtuman. Myogeniini ja MRF4 ovat sekundäärisiä lihaksen kasvun säätelytekijöitä. Myogeniinin ja MRF4 säätelytekijöiden toiminta alkaa, kun Myf5- ja MyoD -tekijöiden toiminta on hiljentynyt. Myogeniinin ja MRF4:n geeniekspressio on vasta myogeneesin viimeisessä vaiheessa. Myogeniinin ja MRF4:n tehtävänä on hienosäätää solujen erilaistuminen ja ylläpitää erilaistuneita myofibrillejä. MRF4 lihassäätelytekijä lopettaa myogeneesin. Sen geeniekspressio on suurin ns. kypsässä lihassolussa (Perry & Rudnicki 2000, Sabourin & Rudnicki 2000, Pownall ym. 2002, TePas ym. 2004).

Lihassyt muodostuvat kahdessa kehityskaassa alkionkehityksen aikana. Primääriset lihassyt (myofiber) muodostuvat ensin myoblastien yhteensulautuessa. Näin syntyy myotuubi-rakenne. Primääriset myotuubit toimivat ohjaavana elementtinä myoblastien organisoitumisessa, järjestäytymisessä ja yhdistymisessä. Tästä myoblastien yhdistymisestä muodostuu suurempi rakenne, jota kutsutaan sekundäärisiksi lihassyiksi. Primääriset lihassyt muodostuvat myogeneesien ensimmäisessä vaiheessa. Naudan alkionkehityksessä tämä tapahtuu 1–3 kuukautta hedelmöityksen jälkeen. Sekundääriset lihassyt muodostuvat myogeneesin toisessa vaiheessa, naudalla noin 3–7 kuukautta hedelmöityksestä (Du ym. 2010).

Histologisesti (solujen rakenteellisesti) primääriset lihassyt ovat läpimitaltaan suurempia kuin sekundääriset lihassyt. Kummassakin rakenteessa on yksi tuma lihassolun keskellä. Primääristen lihassyiden myosiini ATP-aasi aktiivisuus on alhaista verrattuna sekundäärisiin lihassyihin. Sekundääriset lihassyt ylläpitävät kommunikointia primääristen myotuubien kanssa solukalvon proteiinien välityksellä, jotka ovat muodostuneet rakenteiden väleihin. Tämä signaalien välityskanava kuitenkin menetetään lihassolujen kypsyessä. Sekundäärisolujen erilaistuessa uudet primäärilihassäikeet voivat käyttää sekundäärisolujen ns. kantaa omana kehitymispaikkana. Noin 90 % lihassoluista kehittyy polkua pitkin. Hermotusta ei tarvita primäärilihassäikeiden muodostumisessa. Sekundäärilihassäikeiden kehitysvaihe vaatii supistuksen, joten tähän vaiheeseen tulee kysymykseen hermotus. Ilman sekundäärivaiheen eriyttävää supistusta ei tule ns. kantaa seuraavalle primäärivaiheelle. Tutkijoiden johtopäätöksenä on, että myogeneesin tärkein ohjaava tekijä on hermotuksen muodostuminen (Gerrard & Grant 2003, Du ym. 2010).

Myogeneesi eli lihassolujen uudismuodostuminen tapahtuu pääasiallisesti tiineyden kahden ensimmäisen kolmanneksen aikana. Syntymän aikaan myogeneesi on loppunut. Lihassyiden/solujen lukumäärä on siis lopullinen ennen kuin eläin on syntynyt. Sikiön tiineyden aikaiset olosuhteet, ravintoaineiden saanti ja stressi, voivat joko lisätä tai vähentää lihassyiden määrää ja lopullista yksilön lihasmassaa (Du ym. 2010, Hui 2010, Lawrence ym. 2012, Kerth 2013). Matthews (2011) mukaan tiineiden lehmien ruokinnan muutosta tulisi välttää keskitiineyden aikana, jos tavoitellaan jälkeläisten lihan tasaista laatua.

Sarkomeerien pituus vaikuttaa lihan mureuden tuntemukseen. Mitä pitempi lihaksen sarkomeeri on sitä mureampaa liha on (Hopkins 2004). Sarkomeerien pituuteen vaikuttavat sekä eläimen geneettiset ominaisuudet että lihan/ruhon käsittely teurastuksen jälkeen (Jeremiah ym. 2003a). Ruhon riiputustekniikalla voi olla olennainen merkitys sarkomeerien pituuteen ja murean lihan muodostumiseen teurastuksen jälkeen (Hostetler ym. 1972, Ahnström ym. 2012).

#### *Lihaskudoksen syntymän jälkeinen kasvu*

Lihaskasvu voi kasvaa koko lihassolujen kasvun (hypertrofian), lihassolujen lukumäärän lisääntymisen (hyperplasian) tai muiden lihaksessa olevien kudosten kasvun kautta. Lihassolujen lukumäärän lisääntyminen on syntymän jälkeen harvinaista, mutta mahdollista esimerkiksi lihasvamman parantumisen yhteydessä. Lihassolujen kasvu on tavallinen tapahtuma esimerkiksi normaalin kasvun yhteydessä ja liikunnan lisääntyessä. Lihaskasvu voi myös kasvaa lihaksessa olevien muiden kudosten kasvaessa. Muita lihaksessa olevia kudoksia ovat mm. rasvakudos ja sidekudos (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012).

Naudan lihassolujen lukumäärä on pääosin muuttumaton syntymän jälkeen tai viimeistään muutama päivän kuluttua syntymästä. Lihaskudoksen kasvu syntymän jälkeen onkin yhteydessä siihen, kuin-

ka lihassyiden lukumäärä on kehittynyt tiineyden aikana. Lihaskudoksen kasvu syntymän jälkeen on pääasiassa lihassolujen valkuaisainesynteesiä ja valkuaisaineiden hajotusta. Jos ravintoaineiden saanti on riittävää, valkuaisainesynteesi on eläimen kasvaessa suurempaa kuin valkuaisaineiden hajotus. Synteesi eli valkuaisaineiden kerääntyminen aiheuttaa lihasmassan kasvun. Lihaskudosta voidaan myös hajottaa aineenvaihdunnallisiin tarkoituksiin. Ääritapauksissa tämä johtaa lihaskatoon eli atrofiaan. Lihaskudoksen aineenvaihdunnalliset muutokset aiheuttavat lihassyiden pituuden ja paksuuden kasvun (Beitz 1985, Young 1985, Trenkle 1986, Marple 2003).

Lihassolut/syyt ovat muodostuessaan halkaisijaltaan 10–20 µm. Lihaksen kasvaessa ja kypsyessä lihassolun halkaisija on 50–80 µm (Gerard & Grant 2004, Warriss 2010, Lawrence ym. 2012). Gerardin & Grantin (2004) mukaan lihassolu kasvaa: 1) myofibrillien pitkittäissuuntaisena jakautumisena tai 2) sarkomeerien pituuden lisääntymisenä.

Tapahtumaa, jossa myofibrillit jakautuvat, kutsutaan myofibrillogeneesiksi. Myofibrillit ovat filamenttiorganelleja, joista lihassy rakentuu. Supistuksen mahdollistava yksikkö myofibrillissä on sarkomeeri. Myofibrillogeneesin aiheuttaa lihaksen rasittaminen eli liikunta/työ. Lihassyiden pituus lisääntyy venytyksen aiheuttamana. Eläimen kasvaessa tämä tapahtuu luonnollisesti, koska luusto kasvaa ja aiheuttaa venytystä lihaksistoon. Luuston aiheuttamaan lihaksiston kasvuun kuuluu sarkomeerien pituuden kasvu. Uudismuodostuneet lihasproteiinit sijoittuvat sarkomeerien päihin, jolloin myofibrilli kasvaa pituutta (Williams & Goldspink 1971, Stromer ym. 1974, Gerard & Grant 2004).

Lihassolujen kasvu tarvitsee uusien proteiinien synteesiä. Prosessin aloittaa lihassolun tumen DNA:n transkriptoituminen mRNA:ksi. mRNA kuljetetaan ulos lihassolun tumasta sarkoplasmaan. mRNA:ssa on kaikki tarvittava tieto, jolla uusia lihasproteiineja pystytään muodostamaan. Muodostumisen jälkeen lihasproteiinit tulee järjestää oikeille paikoille. Lihaksissa tapahtuu jatkuvasti lihasproteiinien uudelleen järjestämistä (muodostumista ja hajotusta). Nk. proteiini turnover -prosessi kuuluu lihaksen normaaliin aineenvaihduntaan (Lawrence ym. 2012). Proteiiniaineenvaihdunnan olennainen osa on proteiinien hajotus. Proteolyysissä proteiinin hajotetaan proteaasien avulla peptideiksi ja lopulta aminohapoiksi. Lihaksen kolme pääasiallista proteaasia eli lihasta hajottavaa entsyymiä ovat:

- Ubikitiini (ubiquitin) proteosomi
- Lysosomaalinen järjestelmä
- Kalsiumriippuvainen proteaasi eli kalpaiini

Edellä mainituista kalpaiini-järjestelmä aiheuttaa suurimman osan elävissä lihassolussa tapahtuvasta proteiiniaineenvaihdunnasta. Kalpaiini-järjestelmä on myös naudoilla eniten tutkittu genominen mahdollisuus naudanlihan mureuden jäljittämiseksi teurastuksen jälkeen. Kalpaiini-järjestelmään kuuluvat µ-kalpaiini ja m-kalpaiini sekä näiden vastavaikuttaja kalpastatiini. Kalpaiini-entsyymien µ- ja m-muodot ovat lihassolun sisäisessä nesteessä (sytosolissa) olevia. Näitä entsyymejä on siis kaikkialla elimistössä. Entsyymien aktivaatio vaatii elimistön 1,0 µmol–1,0 mmol kalsiumkonsentraation nousun (Goll ym. 2003).

Lysosyymit ovat solun sisäisiä organelleja, joissa on proteolyttisiä (proteiineja hajottavia) entsyymejä, kuten katepsineja. Nämä entsyymit toimivat parhaiten matalassa pH:ssa. Lysosyymit ja lysosyymeissä olevat entsyymit hajottavat proteiineja peptideiksi ja aminohapoiksi niin kauan, kun pysyvät aktiivisina. Lihaksen normaaliin valkuaisaineenvaihduntaan lysosyymit eivät kuulu suurimmaksi osaksi siksi, että lysosyymien lukumäärä on lihaksessa suhteellisen matala. Lysosyymien entsyymien toiminta rajoittuu siis vain joko lysosyymin sisälle tai aivan lähietäisyyteen. Lysosyymentsyymit hajottavat ainoastaan sarkoplasmaproteiineja (Allen & Goll 2003).

Kolmas lihaksen proteiineja hajottava järjestelmä on ubikitiini proteosomi. Proteosomit ovat suuria proteiinirakenteita, jotka muistuttavat tyhjää sylinteriä. Hajottava toiminta tapahtuu sylinterin sisällä. Proteosomeja on runsaasti lihassoluissa. Tämä merkitsee, että elimistön tulee rajoittaa niiden toimintaa, jotta lihaskudosta ei hajoteta ilman pätevää syytä. Ubikitiinientsyymit sitoutuvat kiinteästi (kovalenttisesti) proteiineihin ennen hajotusta. Kovalenttisen sidoksen muodostaminen on ensimmäinen vaihe

ennen hajotusta. Tämän jälkeen polyubikitiinisoituneet proteiinit kuljetetaan proteosomisyliinterille. Hajotustoiminta aloitetaan vasta, kun toinen hajotustoimintaa estävä portti on läpäisty. Toisena hajotustoimintaa rajoittavana tekijänä toimii sylinterin suu, joka on hyvin kapea (1–1,3 nm). Tämä estää suurten proteiinien ja proteiinikompleksien pääsyn sylinterin sisään. Tästä syystä isot proteiinit tulee ennen ubikitiini proteosomi-järjestelmää hajottaa ensin pienemmiksi. Tämä hajotus tapahtuu lihaksessa usein kalpaiini-järjestelmän avulla. Kalpaiini- ja ubikitiini proteosomi-järjestelmä toimivatkin yhdessä myofibriilliproteiineja hajottaessa (Robert ym. 1999, Allen & Goll 2003, Houbak ym. 2008).

#### *Lihaskudoksen kasvun säätely*

Lihasyiden lukumäärä on pääasiallisesti määrätty syntymässä. Lihasyiden lukumäärän muutoksiin voidaan vaikuttaa ensisijaisesti eläimen tiineyden aikana. Poikkeuksena on vakavien lihasvaurioiden aiheuttama lihassyiden kato, joka voi palautua satelliittisolujen aktivaatiolla ja uusien lihassolujen muodostumisella. Palautuminen voi kuitenkin olla epätäydellistä. Toisaalta samanlainen satelliittisolujen aktivaatio saadaan aikaiseksi erittäin raskaalla lihaksia rasittavalla harjoituksella. Rasittamalla lihaksia ns. vastus-harjoittelulla saadaan aikaiseksi satelliittisolujen aktivoituminen, kasvu ja yhteen liittyminen olemassa olevien lihassyiden kanssa (Hawke & Garry 2001, Cornelison 2008, Relaix & Marcelle 2009, Lawrence ym. 2012, Hui 2013).

Tiineyden aikana lihassyiden kehittymiseen ja lukumäärään vaikuttavat sekä perintötekijät että tiineydenaikaiset olosuhteet. Yleisesti ottaen kookkaammilla eläimillä on enemmän lihassyitä kuin pienemmällä eläimillä. Isommat lihassyvät vaativat enemmän ravintoaineita ja aineenvaihduntaa sulautessaan yhteen. Tämä johtaa usein siihen, että lihassolujen halkaisija on lähes muuttumaton. Ns. perinnölliset lihassikkuserot muodostuvat lihassyiden lukumäärissä olevista eroista. Rotujen välillä on eroja lihassyiden lukumäärässä. Lihassikkaimmilla roduilla on yleensä enemmän lihassyitä lihassistossaan. Samanlainen ero on havaittavissa myös sukupuolien välillä. Rodun sisällä naaraspuolisten eläinten lihassyiden lukumäärä on yleensä pienempi kuin urospuolisten eläinten (Rehfeldt 1999, Wegner ym. 2000, Gerard & Grant 2004, Lawrence ym. 2012).

Perinnöllistä kaksoislihassikkuutta kantavilla eläimillä ja roduilla (Belgian sininen, piedmontese) on enemmän lihassyitä lihassistossaan kuin eläimillä, joilla ei ole tätä perinnöllistä ominaisuutta. Tästä syystä kaksoislihassisten eläinten lihassikkuusominaisuudet muodostuvat ylivoimaisesti verrattuna muihin eläimiin (Kambadur ym. 1997). Kaksoislihassisuus aiheutuu mutaatiosta, joka on tapahtunut myostatiinia koodaavassa geenissä. Mutaatioita on erilaisia, mutta niiden lopputulos on samanlainen. Mutaatio estää myostatiini-geenin toiminnan. Vähäinen myostatiinin määrä estää myoblastien erilaistumisen ja kasvun ennen syntymää. Tämä johtaa mutaatiota kantavien eläinten suurempaan lihasmassaan verrattuna eläimiin, joilla mutaatiota ei ole (Arthur 1995). Jos Belgian sinisen rodun edustaja kantaa myostatiinigeenin mutatoitunutta muotoa, lihasmassan määrä lisääntyy noin 20 % verrattuna saman rodun edustajaan, joka eivät kannu muuntunutta geeniä (Shahin & Berg 1985, Muroya ym. 2009).

Emon ruokinta tiineyden aikana vaikuttaa jälkeläisen lihassyiden lukumäärään. Tiineyden aikaiset olosuhteet muuntavat sikiön geenien ekspressiota. Emän olosuhteet voivat näin valmentaa sikiötä tiineyden jälkeiseen selviytymiseen (Du ym. 2010). Emän ravintoaineiden huomattava rajoitus heikentää lihassyiden kehitystä ja sikiön terveysominaisuuksia (Barker ym. 2002). Jälkeläisten lihaskasvun geneettinen potentiaali ei toteudu täysimääräisenä, jos emon ravintoaineiden saanti on rajoittunut tietyissä kriittisissä kehitysikkunoissa (Du ym. 2010). Emän ruokinnan on osoitettu vaikuttavan jälkeläisten lihassyiden lukumäärään muutamissa tutkimuksissa (Zhu ym. 2004, Quigley ym. 2005, Du ym. 2010, Robinson ym. 2013). Emän ruokinnan rajoitukset näyttäisivät vaikuttavan erityisesti lihassyiden sekundääriin kehitysvaiheeseen. Emon tiineyden aikaisesta ravintoaineiden saannista johtuva vasikan alhainen syntymäpaino vähentää lihassyiden lukumäärää verrattuna vasikoihin, joiden syntymäpaino vastaa perimää. Leikkuuvoimatestissä näiden eläinten liha vaati enemmän leikkuuvoimaa kuin suuremmalla syntymäpainolla syntyneiden eläinten. Emon ravintoaineiden vajeesta johtuva alhainen syntymäpaino johtaa usein heikompaan kasvuun eläimen elinikänsä, mikä voi vaikuttaa negatiivisesti lihan syöntilaatuun (Robinson ym. 2013).

Alku- ja keskitiineyden aikana emojen 30 %:n energiavaje ruokintasuositukseen nähden aiheutti jälkeläisten lihaksen sisäisen rasvan osuuden vähentymisen teurasruhoissa. Emojen ruokintasuositusten mukainen valkuaisen saanti kuitenkin poisti jälkeläisten heikomman marmoroitumistaipumuksen ja vähensi leikkuuvastetta 16,9 % (Long ym. 2012). Emon tiineyden aikainen ravintoaineiden saanti voi vaikuttaa eri sukupuolen jälkeläiseen eri tavalla. Alku- ja keskitiineyden aikainen valkuaisen saannin rajoitus (70 % suosituksesta) lisäsi härkien lihan marmoroitumista, mutta hiehojen marmoroitumiseen tiineyden aikainen valkuaisruokinta ei vaikuttanut (Micke ym. 2010).

#### *Lihassyiden/solujen kasvuun vaikuttavia tekijöitä*

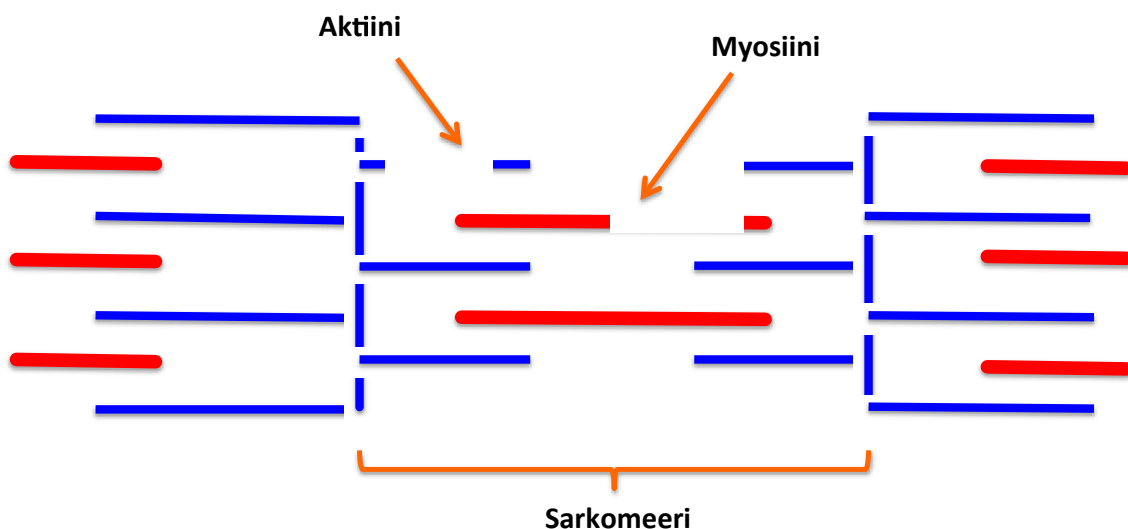
Lihassyyt voivat kasvaa kokoa kahteen eri suuntaan, joko pituus- tai leveyssuuntaisesti. Lihassyiden koon kasvuun vaikuttavat useat tekijät, kuten eläimen kasvunvaihe, sukupuoli, ruokinta, perintötekijät, mahdolliset geneettiset mutaatiot ja kasvunestäjien käyttö ruokinnassa (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012).

Sonnien lihassyiden poikkileikkauspinta-ala on suurempi kuin lehmien, hiehojen tai härkien lihassyiden. Suurempi lihassyiden koko johtuu sonnien testosteronin erityksestä, joka lisää valkuaisainesynteesiä sekä -hajoitusta eli kokonaisvalkuaisaineenvaihduntaa (TePas ym. 2004, Therkildesen & Oksbjerg 2009). Testosteronin vaikutus on myös lihasspesifistä. Tietyt lihassolut ovat herkempiä testosteronin vaikutukselle kuin toiset lihassolut. Esimerkiksi niskan lihaksisto on erittäin herkkä testosteronin vaikutukselle (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012).

Eläimen ruokinta vaikuttaa lihassyiden kasvuun. Ravintoaineiden saannin ollessa runsasta lihassyyt kasvavat halkaisijaltaan suuremmiksi kuin, jos eläinten ravintoaineiden saantia on rajoitettu. Tämä johtuu rajoitetulla ravintoaineiden saannilla olevien eläinten matalammasta valkuaisainemetaboliasta (Gerrard & Grant 2004, Warriss 2010, Lawrence ym. 2012). Ruokinnan taso vaikuttaa siihen, kuinka elimistö jakaa ravintoaineet elinten toimintaan. Sisäelinten toiminta (endokriinen järjestelmä) ohjaa ravintoaineiden suuntautumisen eri fysiologisille toimintoille ja kudoksille. Ensimmäisenä turvataan aivojen ja hermoston ravintoaineiden saanti, sitten verenkiertojärjestelmän, hengityselinten, ruuansulatusjärjestelmän ja viimeiseksi lisääntymistoimintojen. Hierarkia on nähtävissä myös eri kudosten välillä ravintoaineiden saannissa. Eläimen kasvaessa ravintoaineita ohjataan tukikudoksista ensimmäisenä luustolle, sitten lihaksistolle ja viimeisenä rasvakudokselle (Owens ym. 1993, Gerrard & Grant 2004, Lawrence ym. 2012).

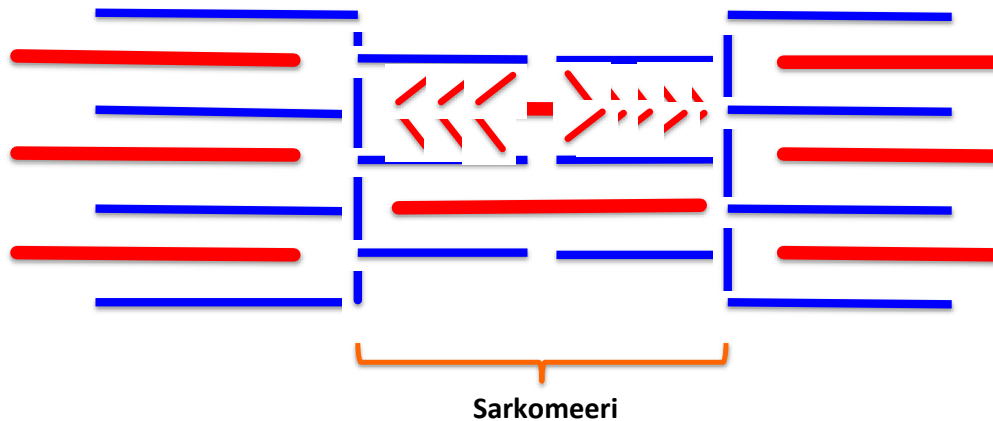
#### *Lihassolujen aineenvaihdunta ja liikkeenmuodostuminen*

Lihaksen toiminnallinen yksikkö eli supistuksen mahdollistaja on sarkomeeri (Kuva 3).



**Kuva 3.** Sarkomeerin rakenne. Ohuet aktiinisäikeet ja paksimmat myosiinisäikeet ovat lihaksessa sijoittuneet vuorotellen. Sarkomeeri on kuvassa lepotilassa. Kuva on poikittaisleikkaus.

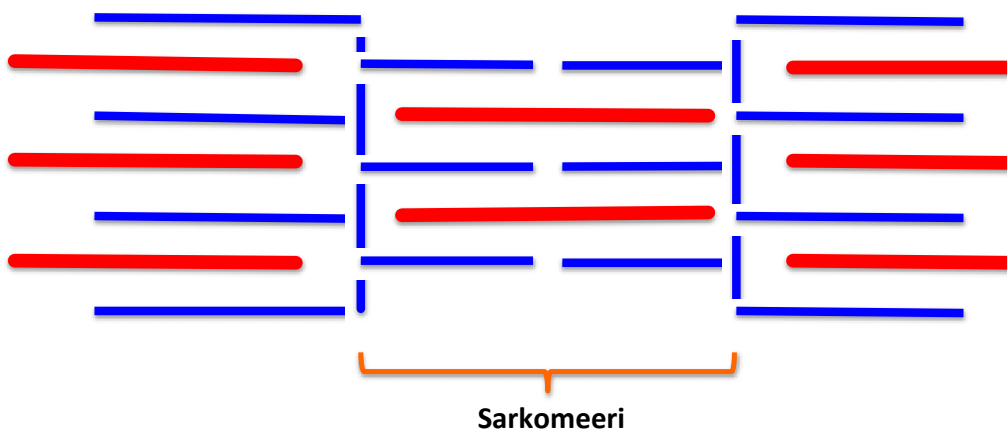
Sarkomeerit ovat lihassyissä. Lihaksen supistuminen perustuu aktiini- ja myosiinisäikeiden liukumiseen tiiviisti toistensa lomaan (Kuva 4). Ohuet aktiinifilamentit/säikeet liikkuvat kohti sarkomeerin keskustaa. Liukuminen tapahtuu myosiinifilamenttien päissä olevien ristisiltojen (cross-bridge) avulla. Ristisiltojen päät asettuvat aktiinifilamenteissa oleviin aktiiniketjuihin (Warriss 2010) (Kuva 4).



**Kuva 4.** Ristisillat sijaitsevat myosiinifilamenttien päissä. Niiden lukumäärä voi vaihdella.

Supistuminen lyhentää jokaista sarkomeeria ja siten lihassäikeiden osaa. Lihaksen supistuessa useat sarkomeerit lyhenevät, jolloin koko lihas lyhenee (Kuva 5). Lihassolu voi vain supistua. Se ei voi venyä. Venytyksessä lihassolu repeää.

Lihassyiden kasvaessa sarkomeerien pituus kasvaa niiden hännistä. Lihaksen supistuva yksikkö on myofibrilli. Myofibrilli voi jakautua pituussuunnassa, jolloin myofibrillien lukumäärä lisääntyy. Suuremmilla eläimillä on lukumääräisesti enemmän lihassyitä lihaksistossaan. Lihassyiden koko on kuitenkin samanlainen eläimen koosta riippumatta (Lawrence ym. 2012).



**Kuva 5.** Lihaksen supistuessa sarkomeeri lyhenee.

Yksittäinen lihassolu supistuu aina kokonaan. Lihaksen voimaa säädellään vaihtelemalla supistuvien lihassolujen lukumäärää. Lihasten supistuminen vaatii energiaa. Lihassoluissa voi olla kymmeniä tuhansia mitokondrioita, jotka toimivat solun voimalaitoksina. Rasituksessa lihassolu käyttää ensin hyväkseen solun oman ATP-varaston. Yleensä valmista ATP:tä on käytettävissä melko vähän. ATP:tä joudutaan tuottamaan rasituksen aikana lisää. ATP:n tuotantoon solut käyttävät glukoosia. Lihassolut saavat glukoosia lihassolujen omista glykogeenivarastoista ja verenkierron kuljettamana muualta elimistöstä. Suurin glykogeenivarasto on maksassa. Jos lihassolut saavat riittävästi happea käyttöönsä, mitokondriot tuottavat tehokkaasti ATP:tä (Lawrence ym. 2012).

Lihassolussa ATP:n hydrolyysi aktinomyosiini ATP-aasin avulla tuottaa lihassupistukselle energiaa. Osa lihassolujen supistukseen ja aineenvaihduntaan käyttämästä energiasta menetetään lämpönä. Lämpöä muodostuu mekaanisesta hankauksesta ja viskositeetista. Lämpöenergiana menetetään noin neljännes ATP:n tuottamasta energiasta. Toisaalta lämpönä menetetty ns. hukkaenergia antaa eläimille ja linnuille mahdollisuuden vaikuttaa kehonlämpötilaan riippumatta ympäristön lämpötilasta (Warriss 2010).

Mitokondrioiden soluhengityksessä muodostuu yhdestä glukoosimolekyylistä 38 ATP-molekyyliä, kun happea on riittävästi käytettävissä. Jos happea ei ole riittävästi lihassolujen käytössä, muodostuu maitohappoa. Anaerobisissa olosuhteissa ATP-tuotannon hyötysuhde on huomattavasti heikompi. Yhdestä glukoosimolekyylistä muodostuu vain kaksi ATP-molekyyliä (McDonald ym. 2004, Lawrence ym. 2012). Glukoosin lisäksi lihassolut voivat käyttää ATP-tuotannon lähtöaineena rasvahappoja. Rasvahap-  
poja voidaan käyttää erityisesti pitkäaikaisessa lihastyössä (Lawrence ym. 2012).

### 3.1.2. Rasvakudos

Rasva on todennäköisesti eniten keskustelua ja huomiota herättävä kudos naudanlihantuottajien, teollisuuden ja kuluttajien keskuudessa. Jokaisella ryhmällä on oma lähestymistapansa rasvaan. Trendien seurauksena tuotteen rasvaa pyritään muuntamaan, vähentämään tai lisäämään.

Elimistön rasvapitoisuus vaihtelee eläimen kuntoluokan mukaan. Rasva muodostuu sidekudoksesta erikoistuneista rasvasoluista. Rasvakudosta voidaankin pitää eräänlaisena sidekudoksena, johon elimistö voi varastoida tarvittaessa ylimääräistä energiaa rasvana. Rasva toimii myös lämmön eristimenä. Rasvasolujen koko vaihtelee kasvun- ja tuotantovaiheen sekä ravintoainetilanteen mukaan. Rasvasolujen rasvasta 98–99 % on triglyseridejä. Loppuosa on pääasiallisesti vettä ja erilaisia proteiineja (Lawrence ym. 2012).

Rasvakudoksella on neljä pääsijoittumiskohdetta elimistössä (Lawrence ym. 2012):

- Nahanalaisrasvakudos
- Sisäelinrasvakudos
- Vatsaontelon rasvakudos
- Lihaksen ympärillä ja lihaksen sisällä oleva rasvakudos (marmoroituminen)

Nahanalaisen rasvakudoksen määrä on noin 50 % eläimen sisältämästä rasvan määrästä. Lihaksien ympärille sijoittuu noin 15 % rasvakudoksesta ja lihaksen sisäistä sekä luuydinrasvaa on noin 25 % rasvakudoksesta. Sisäelinrasvan osuus on keskimäärin vain 10 %. Jos eläimen ruokinnallinen status pysyy muuttumattoman, edellä mainittujen rasvakudosten suhteiden tulisi pysyä melko muuttumattomina kasvun edetessä. Rasvasolujen koon kasvu on tavanomaisempaa kuin uusien rasvasolujen muodostuminen (Lawrence ym. 2012).

Eläimen rasvaisuus vaikuttaa eniten lihan/lihaksen koostumukseen. Yksittäisten lihassyiden koostumus pysyy lähes muuttumattomana, mutta rasvapitoisuus voi vaihdella 1–15 %. Vaihtelu muodostuu eläinten perinnöllisistä ominaisuuksista, kasvun vaiheesta, sukupuolesta ja liikunnan määrästä. Rasvakudos kehittyy eläimessä viimeisenä. Varsinkin nahanalainen rasvakudos kerääntyy eläimiin vasta, kun muu kasvu alkaa hidastua. Eläimen saavuttaessa täysi-ikäisyyden rasvakudoksen osuus suhteessa muihin kudoksiin lisääntyy. Muiden kudosten osuus pysyy lähes samana. Vanhemmat ja aikaisemmin sukukypsyyden saavuttaneet eläimet ovat yleensä rasvaisempia kuin nuoremmat eläimet. Sukukypsyydellä on merkittävä rasvakudoksen kerääntymisen kannalta. Rodut, jotka saavuttavat sukukypsyyden myöhemmin (blonde d'Aquitaine, charolais, limousin, simmental), ovat samassa teuraspainossa vähärasvaisempia kuin rodut, jotka saavuttavat sukukypsyyden aikaisemmin (angus, hereford) (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012). Maitorotuisten nautojen ruhoissa on matalissa teuraspainoissa vähemmän rasvaa kuin angus- ja hereford-rotujen ruhoissa (Huuskonen 2012). Toisaalta rasvakudoksen kertyminen on myös su-

kupuolisidonnaista. Rodun sisällä naaraspuoliset eläimet ovat yleensä aina rasvaisempia kuin urospuoliset eläimet (Warris 2010, Huuskonen 2012).

Lihaksen sisäisen rasvan osuus on yleensä yhteydessä eläimen kokonaisrasvapitoisuuteen. Ylirasvaisien teuraseläinten lihaksen sisäisen rasvan osuus (marmoroituminen) on yleensä korkeampaa kuin vähärasvaisempien eläinten. Rotujen välillä on kuitenkin eroja siinä, kuinka rasvakudos eläimessä sijoittuu. Esimerkiksi maitorotuisessa teuraassa marmoroituminen voi olla hyvin vähäistä, mutta waguy-rodussa runsasta samassa rasvapitoisuudessa (Warriss 2010, Hui 2012).

### 3.1.3. Sidekudos

Sidekudoksen tehtävänä on lisätä lihaksen rakenteellista kestävyyttä. Lihaksen sidekudoksen haarniskan ympäröimä. Sidekudoskalvostoa kutsutaan nimellä epimysium. Epimysium haaroittuu perimysiumkalvostoksi ja lopulta endomysium-kalvostoksi, joka suojaa jokaista lihassyytä. Lihaksiston hiusverenkierto on rakenteellisesti läheisessä yhteydessä sidekudoskalvostoihin. Lihaksen kiinnittyy aina vastaparin luumun, jolloin saadaan muodostetuksi liike. Sidekudoksesta muodostuneet jänteet toimivat lihaksen kiinnittäjinä (Warriss 2010, Lawrence ym. 2012).

Sidekudoksen erilaisen rakenteen lisäksi lihasten anatominen sijainti vaikuttaa siihen, kuinka paljon yksittäisissä lihaksissa on voimakkaita jänteitä ja epimysiaalista sidekudoskalvostoa. Tämä johtaa erilaisiin määriin stroma-, myofibrilli-, sarkoplasma- ja granulaariproteiineja lihaksessa. Raajojen lihaksisto sisältää enemmän sidekudosproteiineja kuin selänlihaksisto. Stromaproteiinien molekyyli rakenne muuttuu eläimen ikääntyessä, mutta niiden lukumäärä pysyy samana.

Perimysium-kalvostoa on lihaksen sisäisesti eniten. Perimysium-kalvosto sisältää kollageeni- ja muita sidekudossäikeitä. Sidekudossäikeet kehittyvät yhdessä lihaksen sisäisten esirasvasolujen kanssa (Moody & Cassens 1968). Wang ym. (2009) havaitsivat, että lihaksen sisäisen rasvakudoksen muodostumiseen ja sidekudoksen määrään vaikuttavat geenit peilasivat toisiaan. Sidekudosproteiinigeenien (COL1A1, COL1A2, CIL3A1, FN1) ja lihaskudoksen ekstrasellulaarimatriksin kahden geenin (SPARC, FMOD) geeniekspressio lisääntyi samassa suhteessa kuin marmoroitumisen määrä. Oletuksena on, että marmoroitumista ei voi tapahtua ilman sidekudoksen kehittymistä ja päinvastoin (Nishimura ym. 1999, Tahara ym. 2004, Wang ym. 2009).

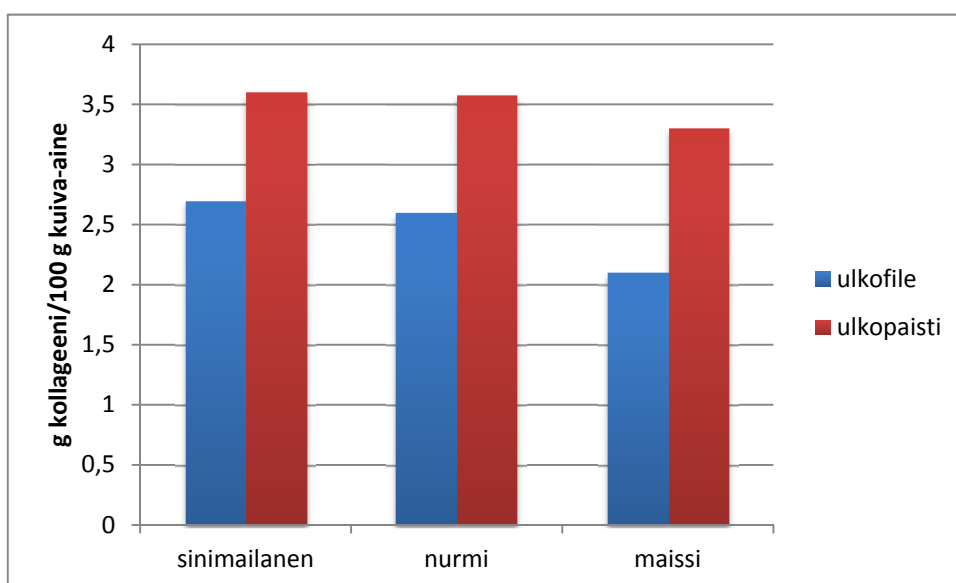
Sidekudos ja pääasiallisesti sidekudoksessa oleva kollageeni, on olennainen osa naudanlihan mureutta tai sen puuttumista. Sidekudosta on lihaksessa melko paljon ja sidekudoksen määrä on yhteydessä siihen, miten mureaksi naudanliha koetaan (Hall & Hunt 1982). Sidekudoksessa tapahtuu molekylaarisia muutoksia eläimen ikääntyessä. Nämä muutokset vaikuttavat naudanlihan mureusominaisuuksiin (Carmichael & Lawrie 1967, Cross ym. 1973, Tanzer 1973, Marsh 1977). Eläimen ikääntyessä sidekudoksen sitkeysominaisuudet lisääntyvät (Hall & Hunt 1982). Pyridinoliini (pyridinoline) ja Ehrlichin kromogeeni (Ehrlich's chromogen) ovat tunnettuja sidekudoksen ristosidoksia, jotka on yhdistetty runsaasti sidekudosta sisältävän naudanlihan sitkeyteen. Pyridinoliinin ja Ehrlichin kromogeenin suhteen oletetaan muuttuvan eläimen ikääntyessä. Pyridinoliinin määrä lisääntyy ja Ehrlichin kromogeenin määrä vähenee, mutta eniten leikkuuvasteen lisääntymiseen vaikuttaa kokonaissidekudoksen määrän lisääntyminen (Roy ym. 2015). Sidekudos sisältää runsaasti kollageenia. Eläimen ikääntyessä kollageenin joustavuus, kesto ja ristosidokset lisääntyvät (McCormick 1994, Anders ym. 1995). Kollageeni vaikuttaa eniten teurastuksen jälkeiseen lihan sitkeyteen. Lihaksien sisältämät kollageenimäärät ovat yhteydessä koettuun ja mitattuun mureuteen (Eggen & Hoquette 2004, Purslow 2005).

Eläimen iän lisäksi kollageenin rakenteeseen ja liukenevuuteen vaikuttavat eläimen kasvu ja dieetti. Kollageenin määrä ja rakenne taas ovat yhteydessä lihaksen rakenteeseen. Tutkimustulokset ovat kuitenkin olleet hyvinkin vaihtelevia eri kasvatusmenetelmien välillä. Lihaksen sisäisen sidekudoksen liukenevuuteen, jota ilmenee jo nuorillakin eläimillä, vaikuttaa eläinten loppukasvatusruokinta (Hall & Hunt 1982). Runsasenerginen dieetti, jolla eläimet kasvavat nopeasti, lisää kollageenin liukenevuutta. Syyksi on mainittu sidekudoksen nopeampi valkuaisaineenvaihdunta, koska kasvu on nopeampaa (Aberle ym. 1981, Wu ym. 1981, Fishell ym. 1985, Miller ym. 1987).

Toisaalta joissakin tutkimuksissa dieetillä tai kasvunopeudella ei ole havaittu yhteyttä kollageenin liukenevuuteen tai mureusominaisuuksiin (Mandell ym. 1998, French ym. 2001). Archile-Contreras ym. (2010) havaitsivat yhteyden eläinten päiväkasvun ja liukenevan sidekudoksen muodostumisen välillä. Nopeammin kasvavilla eläimillä liukenevan sidekudoksen määrä oli vähäisempi verrattu kauemmin kasvatettuihin eläimiin. Therkildsenin & Oksjbergin (2009) tulosten perusteella mureusominaisuuksia voidaan parantaa teurastamalla eläimet, kun valkuaisaineenvaihdunta on korkeimmillaan. Ruokinnan muutokset vaikuttavat eläinten kasvurytmiin ja teuraskypsyyden saavuttamisnopeuteen. Nopea kasvurytmi ja teuraskypsyyden saavuttaminen ovat mureusominaisuuksien kannalta edullisia (Fishell ym. 1985, Therkildsen ym. 2008, Matthews 2011).

Eri lihaksissa on erilaiset määrät sidekudosta. Kollageenin määrä ja liukenevuus vaikuttavat lihan mureuteen (Muir ym. 1998, Purslow 2005). Lihaksien ominaisuudet vaikuttavat liukenevan kollageenin ja liukenemattoman elastiinin suhteisiin. Fileissä sidekudoksen määrä on yleensä vähäisempi kuin paisteissa. Toisaalta liukenevan kollageenin määrä on suurempi fileissä. Lihaksissa, joissa on enemmän kollageenia suhteessa elastiiniin, kollageenin liukenevuus on yleensä korkeammalla tasolla (Rhee ym. 2004, Stolowski ym. 2006, Archile-Contreras ym. 2010). Näiden vastavuoroisten ominaisuuksien oletetaan johtuvan lihaksien käytöstä. Paistit sijaitsevat takajalan alueella. Eläimen liikkeessä takajalan lihaksisto on aktiivisessa liikkeessä, kun taas selän lihaksisto joutuu tekemään kokoajan passiivista työtä säilyttääkseen eläimen ryhdin (Li ym. 2007a, Kerth 2013).

Erlainen ruokinta voi vaikuttaa eritavalla erityyppisen lihaksen kollageenimäärään ja ominaisuuksiin. Runsaalla väkirehuruokinnalla kokonaiskollageenin määrä on fileissä matalampi kuin karkearehuvaltaisella tai pelkällä karkearehuruokinnalla olleiden eläimien (Bulgerin ym. 1981, Maltin ym. 1998, Archile-Contreras ym. 2010). Kollageenin suuremman pitoisuuden karkearehuvaltaisella ruokinnalla oletetaan johtuvan väkirehuruokinnan aiheuttamasta nopeammasta kasvusta ja aktiivisemmasta valkuaisaineenvaihdunnasta karkearehuvaltaiseen ruokintaan verrattuna. Korkeampi valkuaisaineenvaihdunta lisää myofibrilliproteiinien määrää lihaksessa, jolloin kollageenin määrä laimenee suhteessa valkuaisen määrään (Archiles-Contreras ym. 2010). Archiles-Contrerasin ym. (2010) tekemässä tutkimuksessa verrattiin kahden erityyppisen lihaksen ominaisuuksia kolmella erilaisella ruokinnalla. Tulokset olivat samanlaisia kuin edellä mainitut. Karkearehuruokinnalla kokonaiskollageenimäärä oli suurempi kuin väkirehuruokinnalla. Eri lihastyypin välillä trendi kollageenimäärässä pysyi samanlaisena (Kuva 6). Kaikissa tutkimuksissa ruokinta ei ole kuitenkaan vaikuttanut kollageenin määrään (Cox ym. 2006, Serrano ym. 2007).

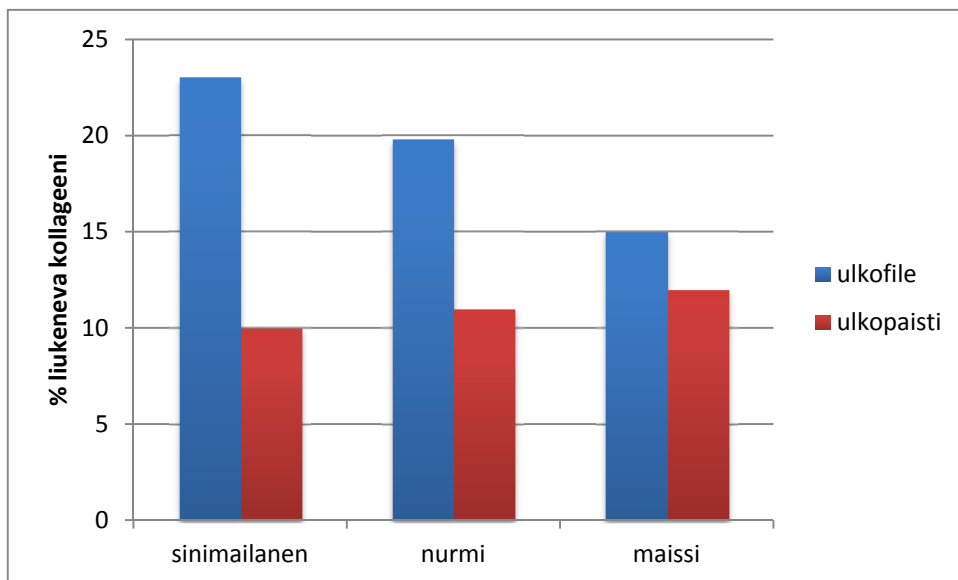


**Kuva 6.** Kokonaiskollageenin määrä kolmella eri ruokinnalla (Archile-Contreras ym. 2010).

Liukenevan kollageenin osuus voi olla matalampi väkirehuruokinnalla verrattuna karkearehuruokintaan. Liukenevaa kollageenia oli ulkofileessä noin 15–17 % maissiruokinnalla, karkearehuruokinnalla liukenevan kollageenin osuus oli noin 20 % ja enemmän (Bulgerin ym. 1981, Archile-Contreras ym. 2010) (Kuva 7). Serranon ym. (2007) tutkimuksessa liukenevan ja kokonaiskollageenin suhde oli korkeampi laiduntavilla eläimillä verrattuna heinäväkirehudieetillä olleisiin eläimiin.

Tutkimustulokset ruokinnan vaikutuksista sidekudoksen ja kollageenin rakenteeseen sekä liukenevuuteen eri lihaksissa ovat olleet vaihtelevia. Useissa tutkimuksissa dieetillä ei ole ollut vaikutusta eri lihaksissa olevaan liukenevan kollageenin osuuteen (Dikeman ym. 1986, Mandell ym. 1998, Cox ym. 2006).

Lihaksen ominaisuudet voivat kuitenkin vaikuttaa kollageenin liukenevuuteen. Ulkopaistin kollageenin liukenevuus oli ruokinnasta riippumatta lähes tasaisesti noin 10 %. Karkearehuruokinta taas lisäsi kollageenin liukenevuutta yli 5 % ulkofileissä (Archile-Contreras ym. 2010) (Kuva 7). Toisaalta aikaisemmissa tutkimuksissa hypoteesina oli dieettien päin vastainen vaikutus. Voimakkaalla väkirehuruokinnalla olleiden eläinten lihan oletettiin sisältävän enemmän liukenevaan kollageenia, koska ne kasvavat nopeammin ja siten sidekudoksen on muodostunut nopeasti. Nuoren, nopeasti muodostuneen sidekudoksen oletetaan olevan liukenevaa sidekudosta (Fishell ym. 1985, Miller ym. 1987, Wu ym. 1981).



**Kuva 7.** Liukenevan kollageenin osuus (%) kolmella eri ruokinnalla (Archile-Contreras ym. 2010).

### 3.2. Lihaksen entsyymit

Naudanlihan sitkeys tai mureuden puuttuminen on yksi yleisimmistä lihan syöntilaatua heikentävistä tekijöistä. Sitkeys aiheutuu runsaasta sidekudoksen määrästä, vähäisestä marmoroitumisesta ja sarkomeerien pituudesta. Proteolyysi eli teurastuksen jälkeinen lihasproteiinien hajotus on eräs tekijä, jolla voidaan vaikuttaa lihan mureuteen (Kemp ym. 2010).

Proteolyysin tehokkuus tai määrä vaikuttaa olennaisesti mureutumiseen (Koochmaraie & Geesink 2006). Lihan lopullinen mureutuminen tapahtuu lihasrakenteen ja siinä olevien valkuaisaineiden muutosten kautta (TePas ym. 2004). Erityisesti entsyymaattinen pilkkominen/hajottaminen vaikuttaa lihassyihin sekä niiden tukirakenteisiin. Näitä entsyymejä ovat kostameeri (costamere) proteiinit, kuten titiini (titin), desmiini (desmin) ja vinkuliini (vinculin). Entsyymaattinen hajotus vaikuttaa myös lihassyiden päävalkuaisaineisiin kuten aktiiniin ja myosiiniin (Kuva 8) (Hopkins & Thompson 2002b, Koochmaraie & Geesink 2006). Entsyymaattisen hajotuksen ehtona on, että entsyymit ovat lihassolun sisäisiä, entsyymien

toiminta jäljittelee teurastuksen jälkeisiä lihassyiden muutoksia ja entsyymien ovat kosketuksissa lihas-syihin (Kerth 2013).

Naudanlihan mureutumista voidaan yrittää lisätä ja nopeuttaa entsyymaattisin keinoin. Entsyymien toiminnan ehtona on, että ne jäljittelevät lihaksen omien entsyymien toimintaa (Kerth 2013). Koohmaraien ym. (1990) kokeessa yritettiin aktivoida kalpaiini-järjestelmää ruiskuttamalla/injektoimalla ruhoihin kalsiumkloridiliuosta. Peitrasik ym. (2010) käyttivät proteolyttisiä entsyymejä vastaavaan tarkoitukseen. Injektioliuoksina oli papaiinia, bromelainia ja porsaan haimanestettä. Ruhojen entsyymiskäsittelyt voivat vaikuttaa jonkin verran lihan mureusominaisuuksiin. Usein kuitenkin käytännön järjestelyt ovat haastavia.

### 3.2.1. Katepsiinit ja muut peptidaasit

Katepsiinit ovat peptidaasi-entsyymejä, jotka muodostuvat ekso- ja endopeptidaaseista. Peptidaasit jaetaan kolmeen peptidaasi-ryhmään (Sentandreu ym. 2002):

- Kysteiini (katepsiinit B, H, L ja X)
- Asparagiini (katepsiinit D ja E)
- Seriini (katepsiinit G)

Katepsiinit vaikuttavat erityisesti välittömään teurastuksen jälkeiseen mureutumiseen, koska aktiinin ja myosiinin hajoaminen on tällöin hyvin vähäistä (Koohmaraie ym. 1991). Katepsiinit sijaitsevat lysosymeissä. Hajotustoiminnan aloittamiseksi lysosyymien on ensin hajottava (TePas ym. 2004). Ruhon alhainen pH ja korkea lämpötila voivat lisätä lysosomien kalvojen kestävyttä (O'Halloran ym. 1997), ja ioni-pumppujen toiminnan lakkaaminen *rigor mortis* -vaiheessa voi estää katepsiinien mureuttavan vaikutuksen (Hopkins & Thompson 2002b). Katepsaanien aktiivisuuden ja lihan mureuden välillä on havaittu vain vähäinen yhteys (Whipple ym. 1990). Katepsiini B- ja L-aktiivisuuden välillä on havaittu positiivinen yhteys naudanlihan mureuden kanssa kahdeksan tuntia teurastuksen jälkeen (O'Halloran ym. 1997). Katepsiini L hydrolysoi suurimman määrän lihassyproteiineja 24 tunnin aikana teurastuksen jälkeen. Näitä lihassyproteiineja ovat troponiini T, I ja C, nebuliini, titiini ja tropomyosiini. Ensimmäisen vuorokauden jälkeen katepsiini L osallistuu myös aktiinin ja myosiinin hajotukseen (Mikaki ym. 1987).

Seriinipeptidaasi-aktiivisuudella voidaan ennustaa naudanlihan sitkeysominaisuuksia. Seriinipeptidaasi-aktiivisuus voidaan havaita kuuden päivän mureutuksen aikana. Vähäinen seriinipeptidaasin-aktiivisuus estää mureutumistapahtumaa, koska entsyymi on yhteydessä mikro-kalpaiini-aktiivisuuteen (Zamora ym. 2005).

### 3.2.2. Proteosomit

Proteosomi on katalyyttinen proteaasiryhmä, joka osallistuu lukuisiin solun säätelytoimintoihin. Proteosomit hajottavat valkuaisaineita sytosolissa ja tumassa (Coux ym. 1996). Proteosomi (26S) muodostuu säätelevästä 19S yksiköstä ja 20S monikatalyyttisestä rakenteesta, jossa sijaitsevat proteolyttiset entsyymit. Proteosomi 20S (MCP multicatalytic proteinase complex) on proteosomien ydinyksikkö (Dahlmann ym. 2001). Proteosomi-hajotus vaatii toimiakseen ubikitiiniä. Proteosomi tunnistaa hajotettavan valkuaisainemolekyylin ubikitiini-molekyyleistä, jotka irrotetaan hajotettavasta valkuaisaineesta (Tailander ym. 2004).

Proteosomit voivat olla yhteydessä naudanlihan mureutumistapahtumaan. Proteosomit voivat hajottaa lihassyproteiineista nebuliinia, myosiinia, aktiinia ja tropomyosiinia (Taylor ym. 1995b, Robert ym. 1999). Proteosomi-aktiivisuus on korkeinta heti teurastusta seuraavina päivinä, mutta sitä voi olla havaittavissa vielä seitsemäntenä päivänä teurastuksen jälkeen. Proteosomi-aktiivisuuden edellytyksenä on, että lihan pH on alle 6,0 (Lamare ym. 2002). Proteosomi-aktiivisuus on liitetty Z-levyjen (Z-disk) leventymiseen ja venymiseen (Dutaud ym. 2006).

### 3.2.3. Kalpaiini-järjestelmä

Kalpaiini on todennäköisesti eniten tutkittu proteaasi-ryhmän entsyymeistä. Kalpaiini-aktiivisuuden on todettu vaikuttavan naudanlihan mureutumistapahtumaan (Sentandreu ym. 2002, Koohmaraie & Geesink 2006, Kemp ym. 2010). Kalpaiinit ovat ryhmä lihaksen sisäisiä kysteiini-proteaaseja (proteiineja hajottavia entsyymejä). Kalpaiini ryhmään on tunnistettu kuuluvan 14 erilaista proteaasia, jotka toimivat joko ubikitiini- tai kudosspesifisesti (Golly m. 2003). Luurankolihaissa kalpaiini-järjestelmässä on kolme proteaasia. Ubikitiini-toimisia muotoja ovat  $\mu$ -kalpaiini, m-kalpaiini ja p94 eli kalpaiini 3.  $\mu$ - ja m-kalpaiini ovat kalsium-toiminnallisia entsyymejä. Näiden aktivaatio tarvitsee tietyn kalsium-ionikonsentraation. Vaadittava kalsium-ionikonsentraatio vaihtelee kalpaiinin muodon ja olosuhteiden mukaan (Goll ym. 2003). Kalpaiini-järjestelmän vastavaikuttajana toimii kalpastatiini (Wendt ym. 2004). Kalpaiini-aktiivisuuteen vaikuttaa todennäköisesti lihaksen valkuaisaineenvaihdunnan taso. Korkeampi valkuaisaineenvaihdunta voi olla yhteydessä vähäisempään kalpaiini-aktiivisuuteen ja sitkeämpään lihaan (Kemp ym. 2010).

Kalpaiini 3 (p94) -proteaasia löytyy lähes ainoastaan luustolihaista (Sorimachi ym. 1989). Kalpaiini 3:n erikoisuus on, että se kiinnittyy lihassyiden titiini-proteiiniin N2-linjan kohdalle (Sorimachi ym. 1995). N2-linja on proteolyysin kohta, joka vaikuttaa mureuteen (Taylor ym. 1995a). On kuitenkin hyvin todennäköistä, että kalpaiini 3:lla ei ole mitään vaikutusta naudanlihan mureuteen (Ono ym. 2004).

$\mu$ - ja m-kalpaiini hajottavat samoja lihassyproteiineja (nebuliini, titiini, troponiin-T ja desmiini) (Huff-Lonergan ym. 1996).  $\mu$ -kalpaiinin toiminta-aika on kolme vuorokautta teurastuksen jälkeen. Tänä ajanjaksona tiedetään tapahtuvan keskeisten lihassyproteiinien hajoamisen (Taylor ym. 1995a). m-kalpaiini on pysyvämpi muoto kuin  $\mu$ -kalpaiini. m-kalpaiini myös kestää kauemmin (Sensky ym. 1996). m-kalpaiini ei ole yhtä sensitiivinen kalsium-konsentraatiolle (Boehm ym. 1998).

Johtopäätöksenä asian ympärillä tehdyistä tutkimuksista on ollut, että mureuteen vaikuttavin kalpaiini on  $\mu$ -kalpaiini. Naudoilla SNP-merkki on kohdennettu CAPN1-geeniin, joka koodaa  $\mu$ -kalpaiinia. Page ym. (2002) havaitsivat kaksi erillistä CAPN1 SNP-merkkiä, jotka ovat yhteydessä mureuteen.

### 3.2.4. Kalpastatiini

Kalpastatiini-geenissä on lukuisia promoottoreita, joista muodostuu erilaisia transkripteja ja mRNA:ta. Nämä tekijät aiheuttavat sen, että kalpastatiini-geenistä voidaan muodostaa lukuisia erilaisia muotoja (Parr ym. 2001, 2004, Raynaud ym. 2005). Kalpastatiinia löytyy useista eri soluista ja kudoksista. Kalpastatiini-geenin eri muotojen oletetaan johtuvan eri solujen ja kudosten vaatimista erilaisista tarpeista. Kalpastatiini estää  $\mu$ - ja m-kalpaiinin toimintaa. Kalpaiinin toiminta vaatii kalsium-ioniaktivaation. Yleensä vaadittu kalsium-konsentraatio on lähellä tai hieman matalampi kuin kalpaiinin toimintaan vaadittava kalsium-konsentraatio (Goll ym. 2003). Proteolyysissä voidaan hajottaa kalpastatiinia. Hajotetut kalpastatiinin osat säilyttävät kalpaiinin toimintaa ehkäisevän ominaisuuden (Hanna ym. 2008). Kalpaiinissa on neljä kalpaiinin toimintaa estävää domainia/kohtaa. Jokaisessa domainissa on kolme aluetta (A, B, C), joihin kalpaiini voidaan kiinnittää. Kalpaiinin ja kalsium-molekyylin sitoutuminen yhteen aktivoi kalpaiinin ja antaa mahdollisuuden kalpastatiinin ja kalpaiinin reaktioon (Goll ym. 2003). Kaspaasit voivat muuttaa kalpastatiini-aktiivisuutta ja aiheuttaa muutoksia kalpaiini-kalpastatiini-sidoksiin (Moldoveanu ym. 2008).

Runsas kalpastatiinikonsentraatio on yhdistetty heikkoon lihan laatuun ja sitkeään lihaan. Kalpastatiini estää tai vähentää kalpaiinin aktiivisuutta ja heikentää tätä kautta proteolyysin tehoa, jota tarvitaan murean lihan muodostumiseen. Naudoilla teurastuksen jälkeisen ensimmäisen vuorokauden kalpastatiini-aktiivisuuden tasolla on yhteys lihan mureusominaisuuksiin ja vaadittavaan raakakypsytyksaikaan. Ensimmäisen 24 tunnin kalpastatiini-aktiivisuus voi selittää jopa 40 % mureusominaisuuksien vaihtelusta naudanlihassa (Shackelford ym. 1994). Kemp ym. (2010) olettivat, että seuraamalla ensimmäisen vuorokauden jälkeistä kalpastatiini-aktiivisuutta voidaan arvioida lihan mureus-/sitkeys-ominaisuuksia. Kalpastatiini-aktiivisuuden havainnointi voi olla kuitenkin haasteellista molekyylin heterogeenisyyden takia.

Rotujen sisällä eri yksilöillä ja sukulinjoilla on erilainen kalpastatiini-aktiivisuus. Jalostusvalinta nopean kasvun tai alhaisen nettosyönnin osalta voi lisätä kalpastatiini-aktiivisuutta. Proteolyysi voi olla heikentynyt teurastuksen jälkeen näillä eläimillä (Oddy ym. 2001). Kalpastatiini-aktiivisuutta voidaan ennakoita kartoittamalla eläimen perimää. Muutamilla kalpastatiini-geenin eri muodoilla (polymorphisms) on yhteyttä lihan mureusominaisuuksiin (Barendse 2002). Geneettiset markerit on kalpastatiini- ja  $\mu$ -kalpaiini-geenin osalta tunnistettu. Markkereita olisi mahdollista käyttää niiden eläinten tunnistamiseen, joilla olisi mahdollista tuottaa keskimääräistä murempaa lihaa (Casas ym. 2006). Tällaisten fenotyyppien tunnistaminen on haasteellista, jos asiaa ei liitetä jalostusohjelmaan. Vartenotettavana mahdollisuutena tulisi pitää teollisuuden/teurastamoiden osallistumista näytteiden keräämiseen. Näytteitä voitaisiin käyttää myös genomisen valinnan muodostamiseen liharotuisilla eläimillä. Muutamia kaupallisia testejä on saatavilla. Haaste on kuitenkin validoida näiden kaupallisten testien tulos kuhunkin tuotantoympäristöön (Wood 2013). Kaikki genomisen työn voidaan kuitenkin menettää, jos ruhojen teurastuksen jälkeiseen käsittelyyn ei kiinnitetä erityistä huomiota (Wood 2013).

Ympäristökijät voivat aiheuttaa vaihtelua kalpastatiinin toimintaan ja sen vaikutuksiin kalpaiinin proteolyysiä ehkäisevänä vastavaikuttajana (Kemp ym. 2010). Adrenaliini on lisännyt kalpastatiini-geenin ekspressiota ja kalpastatiini-ekspressioita sioilla (Parr ym. 2000). Oletuksena on, että myös stressi vaikuttaisi samansuuntaisesti, ja näiden eläinten mahdollisuus tuottaa mureaa lihaa olisi heikommalla (Kemp ym. 2010).

### 3.2.5. Kaspaasi-järjestelmä

Kaspaasit ovat kysteini-aspartaatti-spesifisiä proteaaseja, joita on tunnistettu 14 kappaletta. Kaspaasit osallistuvat tulehdusreaktioihin ja apoptoosiin (ohjelmoitu solujen kuoleminen esim. sikiön kehityksen aikana mm. sormien ja varpaiden muodostuminen) (Earnshaw ym. 1999). Kaspaasi-järjestelmän proteolyttinen aktiivisuus voi vaikuttaa lihan mureusominaisuuksiin teurastuksen jälkeen (Sentandreu ym. 2002, Ouali ym. 2006).

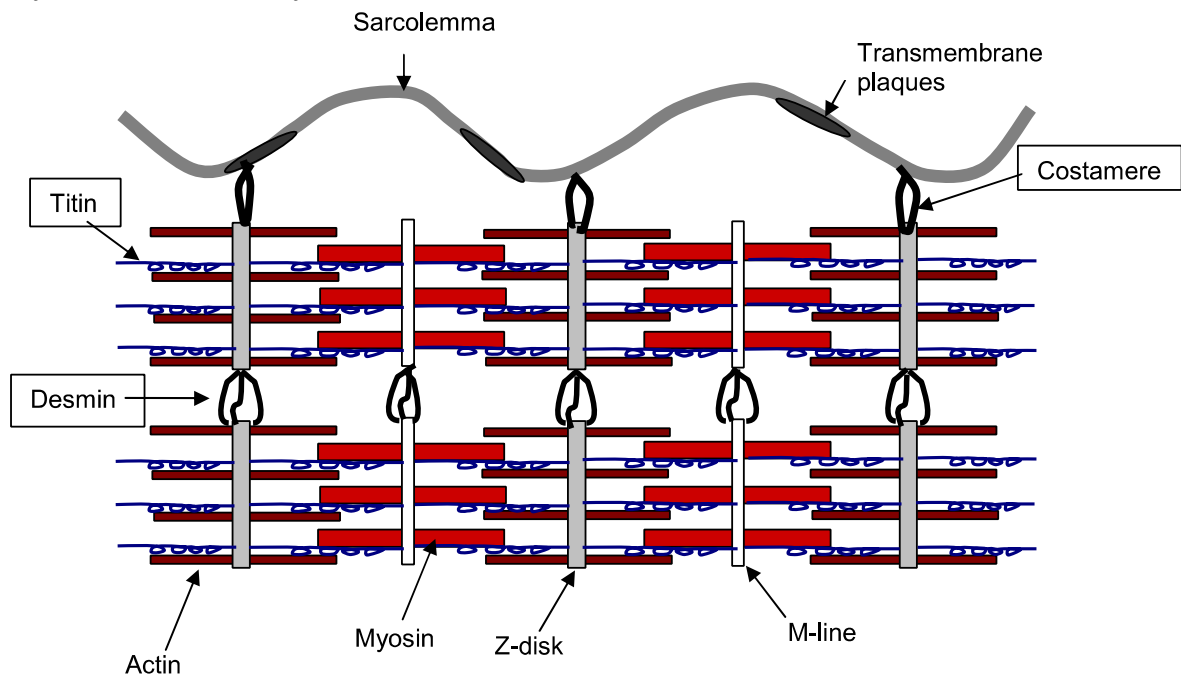
Kaspaasit voivat aktivoitua kolmella päätekijällä. Solukuolema tai ulkoinen vamma voi aiheuttaa solun pinnan reseptoreiden kaspaasipolun (kaspaasit 8 ja 10) aktivoitumisen (Boatright & Salvesen 2003). Ympäristön aiheuttama stressi ja/tai hapen puute voi aktivoida kaspaasi-järjestelmän (kaspaasi 9) (Earnshaw ym. 1999). Kaspaasi-järjestelmä voi aktivoitua myös solulimakalvostoon kohdistuneesta stressistä (endoplasminen retikulumi ER). Stressi voi aiheuttaa kalsium-ionikonsentraatioiden muutoksia, jotka laukaisevat kaspaasi-järjestelmän (kaspaasi 12) (Fuentes-Prior & Salvesen 2004).

Kaspaasien aktivoituminen voi alkaa jo varhaisessa vaiheessa elimistön kokiessa hapen- ja/tai veren puutetta (hypoksia, iskemia) (Gustafsson & Gottlieb 2003). Teurastuksen jälkeen lihaskudos on väijäämättä tällaisessa tilassa. Eläimen kuoleman jälkeen lihaskudoksen metabolia jatkuu, ja kudoksen solut viestivät solukuolemasta, joka aiheuttaa erilaisten solutuotteiden vapautumiseen (Sentandreu ym. 2002). Nämä solutuotteet, kuten kaspaasit, voivat vaikuttaa lihan mureutumiseen teurastuksen jälkeen (Kemp ym. 2010). Underwood ym. (2008) tutkivat kaspaasi 3:n aktiivisuutta teurastuksen jälkeen. Mittaus tehtiin 10 minuuttia teurastuksen jälkeen. Tutkimuksessa ei saatu mitään yhteyttä kaspaasi-aktiivisuuden ja mureuden välille. Itse asiassa tulokset leikkuvasteen perusteella kertoivat erittäin sitkeästä lihasta. Bernard ym. (2007) taas havaitsivat selvän yhteyden mureuden ja apoptoosiin johtavien tekijöiden välillä.

Kaspaasi- ja kalpaiini-järjestelmät toimivat todennäköisesti jollain tavalla yhdessä. Kalpaiinin vaikutuksen estyminen kalpastatiini-geenin ylimääräisen ekspression vaikutuksesta aktivoi kaspaasit 1, 3 ja 7, jotka hajottavat kalpastatiinia (Wang ym. 1998). Lihan mureutumistapahtumaan voi siis vaikuttaa kalpastatiinia hajottava kaspaasi, joka vähentää lihan sitkeyttä.

Bernard ym. (2007) havaitsivat DNAJA1-geenin toiminnan olevan vähäisempää niillä charolaissonneilla, joiden lihan laatu oli keskimääräistä parempaa. DNAJA1-geenin ekspressio oli negatiivisesti korreloitunut mureuteen. DNAJA1-geenin toiminta selitti 63 % lihan mureudessa havaittua vaihtelua (Bernard ym. 2007). Selityksenä voi olla se, että DNAJA1-geeni koodaa Hsp-proteiineja (heat shock pro-

tein). DNAJA1/Hsp70 kompleksin on osoitettu estävän apoptoosia mm. inaktivoimalla kaspasi 9 polkua (Gotoh ym. 2004). Bernard ym. (2007) olettavat, että DNAJA1-geenin aktivaation rajoittaminen helpottaa ja lisää solukuolemaa ja siten lisää lihan mureutta.



**Kuva 8.** Kaaviokuva lihaksen sarkomeerin päärakenteista ja myofibrilliproteiineista. Laatikoissa lihaksen rakenteista ja valkuaisaineista ne, joihin entsyymaattinen pilkkominen vaikuttaa (Kemp ym. 2010).



Kuva: Maiju Pesonen.

## 4. Naudanlihan syöntilaatu

Lihan syöntilaatu käsittää monia aistinvaraisia ominaisuuksia. Yleisesti syöntilaadun määrittävinä tekijöinä ovat mureus, mehukkuus ja maku (Hui 2012).

### 4.1. Mureus

Mureus on yksi eniten kuluttajatytyväisyyttä ja ostopäätöksen uusimista lisäävä laatuominaisuus. Liha-teollisuudella on kuitenkin suuria haasteita mureusominaisuuksien todentamisessa, havaitsemisessa ja laadun ylläpidossa (Miller ym. 1987, Geay ym. 2001). Mureus on useasta eri ominaisuudesta ja tekijästä koostuva ominaisuus, johon vaikuttavat eläimen perimä, ympäristö ja näiden yhdysvaikutukset (Takahashi ym. 1987, Koochmaraie 1996, Muir ym. 1998, Lee ym. 2000, Sorheim ym. 2001, Devine ym. 2002, Nuernberg ym. 2005, Dikeman 2007). Naudanlihan mureuteen vaikuttavat sekä eläimelle ennen teurastusta tehdyt toimenpiteet että teurastuksen jälkeiset tapahtumat. Hui (2012) mukaan naudanlihan mureuteen vaikuttaa ennen kaikkea neljä pääkohtaa:

- Eläimen perimä = tekijät ennen teurastusta (ns. background toughness)
- Välittömästi teurastuksen jälkeen tapahtuva *rigor mortis* -tapahtuma
- *Rigor mortis* -tapahtumaa seuraava mureutumisen
- Lihan proteiinien denaturoituminen ja/tai liukeneminen lihan valmistuksessa

Naudanlihan mureuteen vaikuttavat kaksi pääasiallista tekijää: aktinomyosiinikompleksi ja sidekudoksen määrä (Hui 2012). Naudanlihan mureus ja sen vaihtelu on yhdistetty myofibrillien ja sidekudoksen ominaisuuksiin jo melko varhaisessa vaiheessa (Cross ym. 1973, Marsh 1977). Myofibrillien rakenteen on oletettu olevan merkittävämpi mureustekijä nuorilla eläimillä, koska sidekudoksen määrä ja sidekudoksen liukenevuus on tällä nuorilla eläimillä suurempaa kuin ikääntyneillä. Myofibrillien rakenne-erot eivät kuitenkaan ole ainoa mureuden eroja selittävä ominaisuus (Hall & Hunt 1982). Mureuteen vaikuttavat lihassykimppujen koko, lihaskudostyyppi ja pH:n muutos (Cross ym. 1973, Ouali 1992).

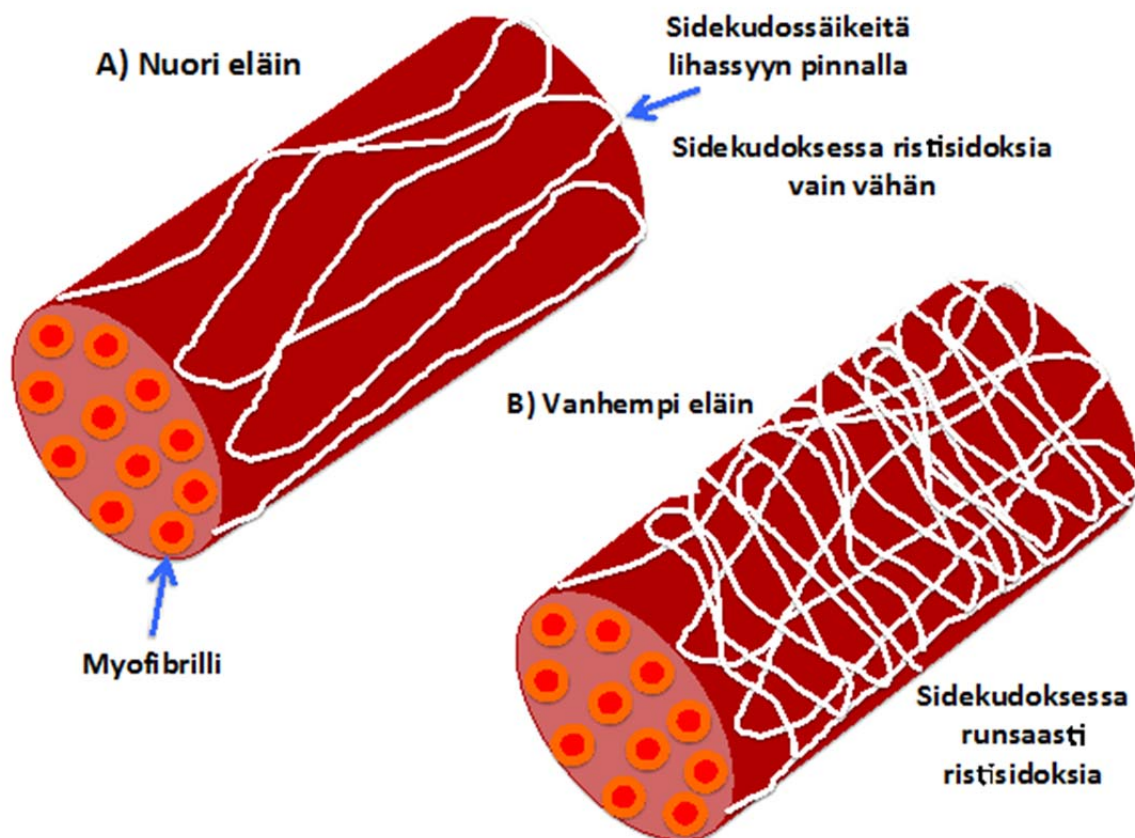
Lihassyyn rakenne vaikuttaa lihan mureuteen. Mitä lyhyempi lihassy on, sitä sitkeämpää on liha. Tämä johtuu lihassyyn rakenteesta. Lyhyempi lihassy mahdollistaa sen, että z-linja on lähempänä seuraavaa lihassyttä. Näin lihassykimpusta muodostuu kiinteämpi yksikkö (Hui 2012) (Kuva 8).

Eläimen lihaksisto on biologisesti hyvin vaihteleva. Jokainen lihas on rakenteeltaan ja metaboliaaltaan hyvin erilainen. Eri lihakset toimivat eri tavalla, joten lihan mureusominaisuuksien voi olettaa vaihtelevan samassa suhteessa (Pette & Staron 1999, Sentandreu ym. 2002). Tämä runsas vaihtelu aiheuttaa haasteita mm. raakakypsytyksaikojen määrittämiselle. Jotkut lihakset hyötyvät raakakypsytyksajan lisäämisestä, toisille sillä ei ole mitään merkitystä. Tutkimusraporteissa on myös esitetty, että jokainen lihas reagoisi eri tavalla kasvatusolosuhteisiin ja dieetteihin. Jos tämä pitää paikkansa, niin silloin tasaisen lihan laadun tavoittelu on lähes mahdotonta (Cassar-Malek ym. 2004, 2009, Stolowski ym. 2006, Therkildsen ym. 2008).

Eläimen perimä vaikuttaa lihan mehukkuuteen ja rasvapitoisuuteen. Näillä ominaisuuksilla on selvä vaikutus *rigor mortis* -tapahtumaan ja mureutumiseen, mutta myös lihan valmistuksessa tapahtuviin muutoksiin (Winger & Hagyard 1999). Eläimen iän lisääntyessä mureus yleensä heikkenee (Bailey & Sims 1977, Valin 1995, Cottle & Kahn 2014, Roy ym. 2015). Eläimen fysiologisella kypsyydellä eli aikuiskoon saavuttamisella on käänteinen vaikutus mureusominaisuuksiin (Hinner & Hankins 1950, Romans ym. 1965, Smith ym. 1982, Shorthose & Harris 1990). Mureuteen vaikuttaa myös se, minkälaisella dieetillä eläin on kasvatettu. Hyvin energiatiheä ruokinta ja pitkä loppukasvatusaika eivät ole edullisia lihan mureuden kannalta (Hall & Hunt 1982, Hedrick ym. 1983). Toisaalta energiatiheän loppukasvatusruokinnan on osoitettu lisäävän mureutta, kun energiatiheän ruokinnan kesto on rajoitettu (Miller ym. 1983, 1987). Lisääntynyt mureus on tässä tapauksessa yhdistetty vähentyneeseen suhteelliseen kollageeninmäärään,

koska lihaskudossolujen kasvu on nuorilla eläimillä tässä tapauksessa nopeampaa kuin sidekudoksen kasvu. Sidekudoksen kasvu on myös hitaampaa kuin lihaksen sisäisen rasvan kasvu, kun eläimet saavat runsaasti energiaa (Nishimura ym. 1999).

Mureuteen vaikuttaa myös sidekudoksen määrä. Sidekudoksen määrään vaikuttavat puolestaan lihaksen alkuperä ja eläimen ikä (Jeremiah ym. 2003b). Eläimen perimä vaikuttaa siihen, kuinka paljon sidekudoksessa muodostuu sitkeyttä aiheuttavia ristsidoksia (Juárez ym. 2013). Loppukasvatuksen pituus ja eläimen ikä ovat yleensä yhteydessä toisiinsa. Eläimen ikääntyessä sidekudoksen ristsidokset lisääntyvät (Kuva 9). Sidekudoksen ristsidosten lisääntyessä sidekudoksen liukenevuus veteen vähentyy. Kypsennetyssä lihassa tämä merkitsee suurempaa leikkuuvastetta eli sitkeämpää lihaa. Sidekudoksen määrä on yhteydessä suurempaan leikkuuvasteeseen (Burson & Hunt 1986, Jeremiah ym. 2003a).

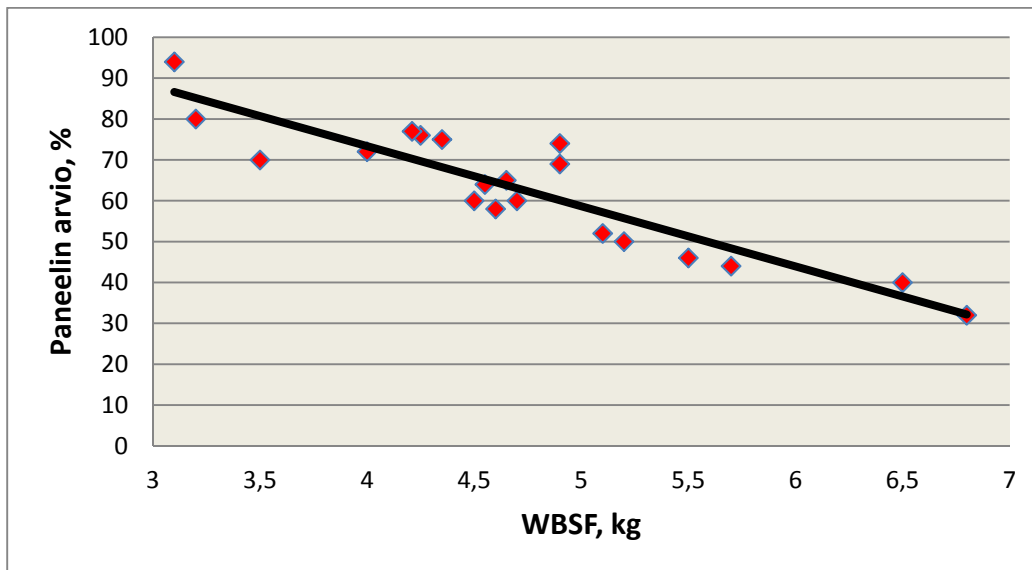


**Kuva 9.** Lihaksessa sidekudos on lihaksen rakennetta ylläpitävä kudostyyppi. Sidekudoksen ristsidokset lisääntyvät eläimen ikääntyessä.

Yksittäisten lihasten mureuteen vaikuttaa lihaksen sisältämä sidekudoksen määrä. Sidekudosta on yleensä enemmän lihaksessa, joka joutuu tekemään paljon työtä. Toisaalta runsas lihaksen supistelutai-pumus lisää lihaksen sitkeysominaisuuksia myös lihaksen rakenteellisella tasolla (Barnier & Smulders 1994, Von Seggern ym. 2005).

Eläimen sukupuoli vaikuttaa lihan mureusominaisuuksiin. Hiehot ovat mureampia kuin lehmät. Lehmien mureusominaisuudet ovat usein paremmat kuin nuorien sonnien, jotka ovat taas omalta osaltaan parempia kuin vanhemmat sonnit (Hedrick & Karuse 1975).

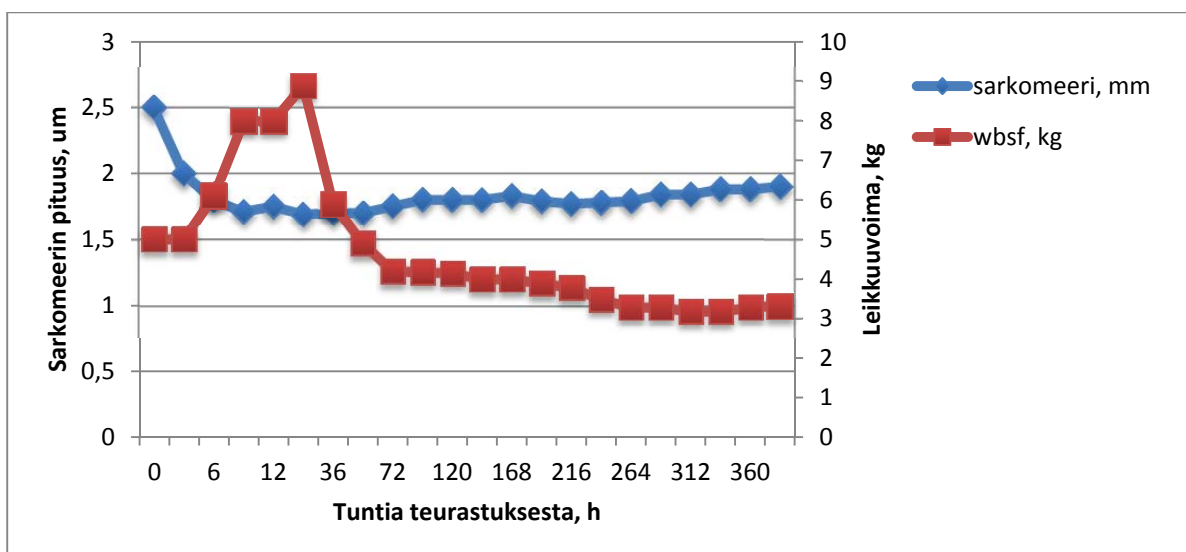
Mureuden aistinvaraisen arvion ja leikkuuvoimatestin (Warner-Blatzer Shear Force (WBSF) välillä on yhteys (Kuva 10). WBSF-menetelmä on käytetyin ja puolueettomin menetelmä, kun arvioidaan lihan mureusominaisuuksia. Se on myös tutkimuksellisesti ja kuluttaja-arvioissa laajasti käytetty objektiivinen mureuden arviointimenetelmä (Miller ym. 2001, Caine ym. 2003).



**Kuva 10.** Leikkuuvasteen ja kuluttajaneelin astinvarainen arvio lihan mureudesta (Miller ym. 2001).

Leikkuuvastemenetelmän (WBSF) indikoimien mureusominaisuuksien periytyvyys on keskinkertaista ( $h^2$  0,11–0,40) (Robison ym. 2001). Vaadittavaan mureutumisaikaan (raakakypsytysaika) vaikuttavat eläimen perimä, proteolyttisten entsyymien profiili ja lihastyppi (Stolowski ym. 2006). Wheelerin ym. (2002) tutkimuksessa 73 % leikkuuvoimatestin tuloksista pystyttiin selittämään yhtälöllä, jossa otettiin huomioon sarkomeerin pituus, kollageenin määrä ja kollageenin liukenevuus. Leikkuuvoimatesti tehtiin kokeessa 14 päivän raakakypsytyksen jälkeen.

Sarkomeerin pituus vaikuttaa mureuteen ja tarvittavaan leikkuuvasteeseen (Kuva 11). Jos kaikki muut ominaisuudet pysyvät samoina, lyhyempi sarkomeeri merkitsee enemmän tarvittavaa leikkuuvoimaa ja sitkeämpää lihaa (Weaver ym. 2008). Lyhyemmät sarkomeerit sijoittuvat enemmän päällekkäin ohuiden ja paksujen filamenttien kanssa, jolloin muodostuu lukumääräisesti enemmän aktomyosiiniris-tisidoksia. Näin lyhyt sarkomeeri on tiukempi kuin pitempi sarkomeeri. Weaverin ym. (2009) mukaan sarkomeerin mittaaminen ennen *rigor mortis* -tapahtuman päättymistä, voisi mahdollistaa tunnistamaan ne ruhot, jotka tuottavat mureaa lihaa. Mittaus voitaisiin tehdä 3–12 tunnin kuluessa teurastuksesta. Tässä vaiheessa keskimääräistä lyhyemmät sarkomeerimittaukset indikoivat sitkeämpää lihaa.



**Kuva 11.** Sarkomeeri lyhentyy teurastuksen jälkeen. Tämä vaikuttaa selvästi leikkuuvasteeseen. Sarkomeerin lyhentyessä leikkuuvoiman tarve lisääntyy (Koochmarai ym. 1996).

Duckett ym. (2014) havaitsivat korrelaatioita leikkuuvoimatestin sekä päiväkasvun, pH:n ja lihan värin vaaleuden välillä. Leikkuuvoimatestissä tarvittiin vähemmän voimaa nopeammin kasvaneilla eläimillä, joiden lihan pH laski matalammalle ja lihan väri oli vaaleampaa. Teuraspainolla ja pintarasvan paksuudella oli positiivinen korrelaatio leikkuuvasteeseen. Leikkuuvastetestissä tarvittiin enemmän voimaa korkeamman teuraspainon ja enemmän pintarasvaa sisältäneiden ruhojen selkälihaksiin (Duckett ym. 2014). Aikaisemmissa tutkimuksissa tulokset ovat olleet pintarasvan osalta kuitenkin päin vastaisia (Dolezal ym. 1982, Riley ym. 1983, May ym. 1992). Edellä mainittujen tutkimusten johtopäätöksenä oli, että mureusominaisuuksien takaamiseksi pintarasvan paksuus tulisi olla vähintään 7,6 mm. Jonesin & Tatummin (1994) mukaan 5,0 millimetrin pintarasvan paksuus olisi riittävä.

Naudanruhon lihakuusominaisuudet, lihasaanto ja marmoroituminen voivat olla yhteydessä mureusominaisuuksiin. Shackelfordin ym. (1994) tutkimuksessa heikoimpiin saantoluokkiin (USDA select ja matalampi) (saantoluokat ovat yhteydessä lihakuuteen ja marmoroitumiseen) luokittevat ruhot eivät hyötäneet paksummasta pintarasvasta. Mureuden kannalta pintarasvan paksuus voitiin rajoittaa 4 millimetriin. Duckettin ym. (2014) tutkimuksen poikkeava tulos on selitettävissä koejärjestelyillä, joissa suuremmat ruhot saavutettiin pitemmällä kasvatusajalla ja ruokinnalla, joka perustui pelkästään laitukseen (Taulukko 2). Eläinten ikä oli joko 16,6, 18,6 tai 20,3 kuukautta. Eläinten iän vaikutuksesta leikkuuvoimatestiin saatiin Wulfen ym. (1996) tutkimuksessa samansuuntainen tulos hieman nuoremmilla eläimillä ja lyhyemmällä aikajänteellä. Eläinten ikä oli 15–18 kuukautta. Leikkuuvoimatestissä 18 kuukauden ikäisten eläinten liha tarvitsi merkitsevästi enemmän leikkuuvoimaa (WBSF).

**Taulukko 2.** Leikkuuvoimatestin (WBSF) korrelaatiot eri ominaisuuksien kanssa 14 päivän raakakypsytyksen jälkeen (Duckett ym. 2014).

Ominaisuus	Korrelaatio, r	p-arvo
Eläimen ikä	0,47	0,001
Päiväkasvu	-0,22	0,04
Viimeisen 28 päivän kasvu	0,07	0,49
Viimeisen 56 päivän kasvu	0,10	0,34
Teuraspaino	0,34	0,001
Rasvanpaksuus	0,35	0,001
Selkälihaksen pinta-ala	0,19	0,07
Saantoluokka (Yield grade)	0,28	0,007
Marmoitumisaste (Marbling score)	0,04	0,69
Laatuluokka (USDA)	0,06	0,57
Selkälihaksen pH	-0,14	0,23
Vaaleus L*	-0,13	0,18
Punaisuus a*	0,08	0,47
Keltaisuus b*	-0,03	0,80

Mureusominaisuuksien yksi keskeinen haaste on se, että suurin osa mureuden todentamisesta on tehty koeolosuhteissa. Kaupasta ostettavan lihan säännöllistä mureus- ja kuluttajatytyväisyysanalyysiä suoritetaan vain muutamissa markkinatalouksissa (Yhdysvallat, Kanada, Australia, Uusi-Seelanti) (Hui 2012, Cottle & Kahn 2014).

#### 4.1.1. Teurastuksen jälkeiset tapahtumat ja mureus

Naudanlihan mureusominaisuuksia voidaan yrittää parantaa teurastuksen jälkeen mm. erilaisilla riipustekniikoilla, lihaan lisättävillä entsyymeillä tai mekaanisella mureutuksella. Mekaaniseen mureutusprosessiin voi kuulua kokolihaan, esimerkiksi paistien osalta, pienien terien/neulojen työntäminen lihan läpi. Ääritapauksessa mekaaninen mureutus on kokonaisen lihan jauhaminen jauhelihaksi, jolloin mureus on tasalaatuista koko tuotteessa (Hui 2012). Mekaaninen mureutus voi kaikissa tapauksissa olla mik-

robikontaminaatoriski. Lihan mureuttaminen pienillä terillä voi aiheuttaa lihan pinnassa olevien mikro-bien viemisen syvemmälle lihaan, jolloin kypsennystekniikalla on erityisen suuri merkitys (Gill ym. 2013). Lihan mureusominaisuuksia voidaan todennäköisesti analysoida NIR-tekniikalla. Mureuden astinvaraisen arvion ja NIR-analyysituloksen korrelaatio oli korkeampi kuin leikkuuvoimatestin ja NIR-analyysituloksen välinen korrelaatio ( $r^2=0,98$  vs.  $0,74$ ). NIR-analyysi tehtiin jauhelihasta (Ripoli ym. 2008).

### Jäähdytys

Jäähdytyksen tarkoitus on laskea lämpötilaa niin, etteivät haitalliset mikrobit kasva ruhossa. Jäähdytyksessä ruhojen lämpötila lasketaan nopeasti jäädyttämättä lihaa. Ruhojen jäähdytystekniikka ja säilytyslämpötila vaikuttavat lihan ominaisuuksiin. Alhaiset lämpötilat estävät mikrobin kasvun, mutta myös hidastavat kuoleman jälkeisiä kemiallisia reaktioita. Ruhovarastoissa lämmön johtaminen erilaisin tuuletus/ilmanvaihtojärjestelmin on tärkeä osa prosessia (Cottle & Kahn 2014).

Ruhojen pinta kuivuu niiden jäähtyessä. Kuivumiseen vaikuttavat ruhovaraston ilmanvirtaus, lämpötila ja kosteus. Ruhojen pinnan kuivuminen ehkäisee mikrobin kasvua, mutta aiheuttaa painon menetystä (Koutsoumanis & Sofos 2004). Nopea jäähdytys parantaa elintarviketurvallisuutta ja vähentää ruhopainon menettämistä. Ruhon nopea jäähdytys voi kuitenkin aiheuttaa vaihtelua mureusominaisuuksiin. Nopeassa jäähdytyksessä lihassa voi tapahtua kylmäsupistumista (cold shortening). Toisaalta ruhon pinta voi kuivua liikaa. Rasvaisissa ruhoissa ruhon rasva muuttuu kovaksi, ja se on vaikeasti irrotettavissa. Jäädyttämön täyden aloituslämpötilaksi suositellaan  $+5$ – $10$  °C (Cottle & Kahn 2014). Alle  $+7$  °C lämpötilat estävät suolistoperäisten patogeenisten bakteerien kasvun (Koutsoumanis & Sofos 2004). Prado & de Felicio (2010) vertasivat tavanomaista ilmajäädytystä (ilman nopeus 2 m/s ja lämpötila 0 °C) hitaaseen ilmajäädytykseen (ilman nopeus 2 m/s, lämpötila  $+10$  °C ensimmäiset 12 tuntia). Selkälihaksen mureusominaisuudet olivat merkittävästi paremmat hitaassa ilmajäädytyksessä kuin tavanomaisessa ilmajäädytyksessä. Leikkuuvaste muodostui suuremmaksi tavanomaisessa jäädytyksessä, ja leikkuuvaste-erot säilyivät vielä 60 päivän raakakypsytyksen jälkeen.

Jäähdytyksen vaikutukset voivat olla syöntilautua heikentäviä erityisesti, jos ruhon lihaksien lihas-syyt ovat lyhyitä. pH:n ja lämpötilan liian nopea lasku voivat aiheuttaa erittäin sitkeää lihaa. Sarkomeerien pituus lyhyissä lihas-syissä on alle 1,7 mikronia. Tällaiset lihas-syyt ovat yleensä hyvin tiukasti kiinni z-linjassa. Jos jäähdytys on nopeaa, normaali proteolyttinen aktiivisuus ei edes auta mureutumista. Ääritilanteessa sarkomeerien lyhentymisen ylittää z-linjan ja sarkomeerit kiinnittyvät aktiiniin (Hui 2012). Nopea jäähdytys aiheuttaa glykolyttisen aktiivisuuden hidastumista, jolloin lihas-syiden supistuminen lisääntyy entisestään. Kylmäsupistumistapahtuman aloittaa ylimääräisten kalsiumionien vapautuminen sarkoplasmaan lämpötilan ja pH:n laskun seurauksena. Lisääntynyt kalsiumkonsentraatio supistaa lihas-syitä, jos lihas-soluista löytyy riittävästi ATP:tä (Kert 2013).

Ruhot voidaan altistaa hyvin nopealle jäähdytykselle, jossa lihaksen lämpötila lasketaan  $-1$  °C viiden tunnin kuluessa teurastuksesta (Joseph 1996). Tällainen jäähdytystekniikka on erittäin haasteellinen mureusominaisuuksien kannalta. Sarkomeerien pituus lyhenee merkittävästi nopeassa jäähdytyksessä. Lihan mureusominaisuuksien säilyttämiseksi, lihassa tulisi tapahtua 2–3-kertainen proteolyttinen aktiivisuus normaalitilanteeseen verrattuna (Dransfield ym. 1998). Jos tavoitellaan tasaisia mureusominaisuuksia, tekniikkaa ei suositella käytettäväksi kokonaisille ruhoille (Dransfield ym. 1998). Nopeaa jäähdytystä ja ääriämpötiloja voidaan hyödyntää lämpimänä paloiteltuihin isoihin lihaksiin, joiden jäähdyttäminen voi olla haasteellista (Cottle & Kahn 2014).

Yleisiä ohjeita ruhojen jäähdytyksestä (Cottle & Kahn 2014):

- Ruhot tulee jäädyttää kahden tunnin sisällä tainnutuksesta
- Ruhojen, puolikkaiden, neljäsoisien tai lämpimänä paloiteltujen osien lämpötila tulee olla 24 tunnin sisällä tainnutuksesta  $+7$  °C

Lihan syöntilaudun kannalta ruhon jäädyttämisen nopeuteen voidaan käyttää ohjeistusta 10/10. Minkään ruhon osan lämpötila ei saa alittaa alle  $+10$  °C asteen lämpötilaa 10 tunnin sisällä teurastuksesta (Troy

1995). Modernimpi tapa on seurata ruhojen ns. pH/lämpötilaikkunaa (Thompson 2002). Pääsääntöisesti kylmäsupistumista, joka johtaa sitkeään lihaan voi tapahtua, kun:

1. lihaksen pH on 6 tai yli
2. vapaata ATP:tä on lihaksen soluissa jäljellä, jolloin lihas voi supistua
3. lihaksen lämpötila on alle +12 °C

Lämpösupistumista, joka aiheuttaa myös sitkeää lihaa, voi tapahtua esimerkiksi ruhon aikaisen (pian teurastuksen jälkeen tapahtuvan) sähkökäsittelyn seurauksena. Lämpösupistumisen edellytykset ovat:

- lihaksen pH alle 6
- lämpötila yli +35 °C

Lämpösupistumiselle alttiita lihaksia ovat erityisesti isot takajalan lihakset (paistit) (Hui 2012).

### *Leikkuu/paloittelu*

Ruho voidaan paloitella joko lämpimänä tai jäädytettynä eli kylmänä. Tavanomaisesti nautojen ruhot paloitellaan kylminä. Yksi syy tähän on naudanlihan syöntilaadun parempi takaaminen (Cottle & Kahn 2014).

Lämpimänä paloittelu lisää lihasaantoa, pienentää leikkuuseen tarvittavaa energiaa, vähentää jäädyttämässä tarvittavaa tilaa sekä pienentää työkustannusta ja työaika (McPhail 1995). Leikkuupalojen muoto voi kuitenkin lämpimänä paloiteltaessa muuttua tavanomaisesta, ja palojen markkinointi voi olla haasteellista (Pisula & Tyburcy 1996). Leikkuupalojen muodon muutos liittyy sarkomeereissa tapahtuviin muutoksiin, erityisesti ylimääräiseen lyhentymiseen, mikä voi johtaa lihan mureusominaisuuksien heikkenemiseen (Devine ym. 2004). Toisaalta lämpimänä paloitteluun liittyy aina lisääntynyt mikrobikontaminaation riski (Spooncer 1993). Lihaksien ylimääräistä lyhenemistä voidaan ennalta ehkäistä sähköshokeilla/sähkökäsittelyllä. Sähkökäsittely nopeuttaa *rigor mortis* -tapahtumaa ja vähentää kylmän aiheuttamaa sarkomeerien lyhentymistä (Hwang ym. 2003). Lämpimänä paloittelusta voidaan saada suurin hyöty käyttämällä tekniikkaa ruhoihin, joiden mureusominaisuuksien tiedetään olevan keskimääräistä heikompia. Australiassa ja Uudessa Seelannissa paloitellaan poistolehmien ruhot lämpimänä (Cottle & Kahn 2014). Lämpimänä tehtävä leikkuu tulisi suorittaa 90 minuutin kuluessa teurastuksesta, jotta tekniikka vaikuttaisi lihasaannon lisääntymiseen ja vaatisi vähemmän jäädytys/varastointitilaa, energiaa sekä työvoimaa. Lämpimänä leikkaamisen haasteena on, että leikkaamisen tulee toimia selvässä synkronissa teurastuksen ja ruhojen liikuttamisen kanssa (Hui 2012).

*Tenderbound-system* on ruhojen lämpimänä tapahtuva leikkuujärjestelmä, jonka on osoitettu lisäävän mureusominaisuuksia. Järjestelmän etuina on, että se vähentää lämpimänä yleistä lihaksen supistumisreaktiota. Tenderbound-systeemissä lämpimänä leikattu lihas sijoitetaan muovikalvon sisään, mikä estää lihaksen supistumisen (Troy 2006). Troy (2006) havaitsi, että Tenderbound-liha voidaan jäädyttää nopeammin kuin perinteisesti käsitelty liha. Lihan mureus ja muut syöntilaatua kuvaavat ominaisuudet olivat tasaisempia kuin perinteisesti käsitellyissä ruhoissa. Leikkuuvaste oli tenderbound-menetelmällä 44 % pienempi ja sarkomeerien pituus 23,5 % suurempi kuin tavanomaisesti käsitellyillä ruhoilla. Järjestelmän etuina on, että yksittäiset lihakset voidaan käsitellä jo aikaisessa vaiheessa. Järjestelmä myös vähentää valuntaa sekä parantaa makua ja värin pysyvyyttä (Cottle & Kahn 2014).

### *Pi-Vac Elasto-Pack System* ®

Pi-Vac Elasto-Pack System ® -menetelmä perustuu lämpimien leikkuupalojen pakkaamiseen elastiseen suojakelmuun. Tiukka elastinen pakkaus estää jäähtyvän lihaksen ja siinä olevien lihassyiden lyhentymisen ja vähentää lihaksen sitkeysominaisuuksien muodostumista. Lihas asetetaan vahvaan osittain venytettyyn suojakelmuun. Suojakelmuun venyttämisen ja asettamisen hyödynnetään osittaista tyhjää. Tyhjiön palautuessa suojakelmu asettuu lihaksen ympärille ja tukee lihasta estäen sen lyhentymisen (Sørheim & Hildrum 2002, Troy & Kerry 2010). Tenderbound-menetelmässä on mahdollisuus käyttää kolmea erikokoista vakuumpakkauskokoa (Troy 2006). Hopkinsin ym. (2000) ja O'Sullivanin ym. (2003)

mukaan Pi-Vac Pack Sytem<sup>®</sup> -menetelmän erot mureuden vaihtelussa ovat vähäisemmät verrattuna mm. erilaisiin riiputustekniikoihin. Menetelmä vähentää myös lämpimänä leikatun lihan valumaa (O'Sullivan ym. 2003, Troy 2006).

### Smartstretch<sup>TM</sup>

Smartstretch<sup>TM</sup>-menetelmässä lämpimänä leikattu lihas pakataan ilmanpaineen avulla. Menetelmän tarkoituksena on, että lihas säilyttää muotonsa jäädytyksen aikana. Alkuperäisenä tarkoituksena oli joko venyttää sarkomeeria tai pitää lihas jäädytyksen aikana samassa mitassa. Kummallakin tavalla pyrittiin lisäämään mureusominaisuuksia. Menetelmässä liha pakataan suoraan vakuumpakkauksiin, joissa voidaan suorittaa raakakypsytytys (Cottle & Kahn 2014).

Smartstretch<sup>TM</sup>-menetelmä on lisännyt vanhempien lehmien lihaksien (*semimembranosus*, *longissimus lumborum*, *gluteus medius*) pituutta noin 20 %, mutta vaikutukset lihaksien mureusominaisuuksiin eivät ole olleet suoraviivaisia. Positiivisena havaintona on kuitenkin ollut se, että menetelmä on vähentänyt mureusominaisuuksien vaihtelevuutta (mureusominaisuudet tasaisempia). Kuluttajien astinvaraisissa arvioissa lihan joko tasainen mureus tai sitkeys on pystytty havaitsemaan (Taylor ym. 2010, Toohy ym. 2010).

Nuorilla ruhoilla (teuraseläinten ikä alle 32 kk) Smartstretch<sup>TM</sup>-menetelmästä on selvä etu mureusominaisuuksien tavoittelussa. Geesinkin & Thompsonin (2008) tutkimuksessa 7 päivän raakakypsytyksen jälkeen leikkuuvasteen ero akillesriiputustekniikkaan oli 23,4 % (49 vs. 64 N) ja 14 päivän raakakypsytyksen jälkeen 21,7 % (47 vs. 60 N). Tenderstretch -riiputustekniikan ja Smartstretch<sup>TM</sup>-menetelmän välillä ei havaittu eroja.

Smartstretch<sup>TM</sup>-menetelmän etuina voidaan pitää mureusominaisuuksien vaihtelun vähenemistä raakakypsytyksessä lihaksissa. On myös havaittu, että lihaksen muoto säilyy valmistuksen yhteydessä paremmin tällä menetelmällä pakatuissa lihaksissa (Taylor ym. 2011). Smartstretch<sup>TM</sup>-menetelmän patentin omistaa Meat and Wool New Zealand Ltd ja Meat and Livestock Australia Ltd (Cottle & Kahn 2014).

### Jäädyttäminen

Jäädyttämisessä voidaan soveltaa joko nopeaa tai hidasta jäädyttämistä. Nopeassa jäädyttämisessä jääkiteiden koko jää pieneksi. Säilytyksessä jääkiteiden koko kuitenkin kasvaa. Jääkiteiden koon kasvaessa ne rikkovat lihassyiden rakennetta ja aiheuttavat runsaampaa valumaa sulattaessa kuin lyhyt säilytysaika (Ngapo ym. 1999). Naudanlihan jäädyttäminen leikkuun jälkeen voi parantaa mureutta. Jäädyttämien rikkoo naudanlihan solurakennetta, jolloin mureus voi lisääntyä. Tämä on kuitenkin keinotekoinen tapa lisätä mureusominaisuuksia. Jäädyttämien lisää aina naudanlihan valumaa, jolloin mehukkuusominaisuudet heikkenevät (Shanks ym. 2002b, Enfält ym. 2004, Lagerstedt ym. 2008, Grayson ym. 2014).

Naudanlihan mureutta lisäävät/parantavat toimenpiteet (Cottle & Kahn 2014):

- Vältä ruhojen nopeaa jäädytystä, jos ei ole käytetty sähkökäsittelyä
- Valmenna ruhot kylmään ennen lopullista jäädytystä (esim. 1–2 h +7 °C asteen lämpötilassa ennen lopullista jäädytystä)
- Ruhojen sähkökäsittely – yksinkertaisin tapa lisätä naudanlihan mureutta ilman negatiivisia vaikutuksia kuluttajien terveydelle
- Tenderstretch-riiputustekniikka
- Seuraa tuotteen mureusominaisuuksia säännöllisillä mittauksilla, joko leikkuuvoimatestillä tai talon sisäisellä paneelilla
- Seuraa jäädyttämön toimintaa, liitä edellisen kohdan tulokset jäädyttämön lämpötilan muutoksiin
- Valitse muu käyttö (jauheliha, halvempi hinta yms.) ruhoille, joiden pH on korkea (> 5,7)
- Käsittele lihaa mahdollisimman vähän
- Raakakypsytä lihaa kaksi viikkoa
- Raakakypsytytys/säilytä liha noin 0 °C

## 4.2. Mehukkuus ja rakenne

Naudanlihan rakenne ja mehukkuus ovat tärkeitä kuluttajatytyväisyyttä lisääviä tekijöitä. Kuluttajat arvostavat ja haluavat mureaa lihaa. Murean lihan ostopäätöksen syntyessä lihan oletetaan olevan myös mehukasta. Lihan rakenne todennäköisesti vaikuttaa näihin kumpaankin ominaisuuteen (Hui 2012).

Naudanlihan rakenteen aistinvarainen arviointi tehdään ensimmäisen puraisun aikana. Mureuden arviointi muodostuu seuraavissa pureskelutapahtumissa. Pureskelutapahtuman lisäksi naudanlihan muodostama suutuntuma on tärkeä tekijä kokonaisuimpiyyden muodostumisessa. Naudanlihan rakenne, veden sidontakyky ja rasvapitoisuus vaikuttavat olennaisesti miellyttävän suutuntuman muodostumiseen (Hui 2012).

Liha mehukkuus on yksi lihan haasteellisimmista aistinvaraisen arvioinnin kohteista. Mehukkuus muodostuu pureskelun aikana vapautuvien lihasnesteiden ja syljen yhteisvaikutuksista. Mehukkuus ei siis ole ainoastaan lihan ominaisuus, vaan siihen vaikuttavat arvioijan yksilölliset ominaisuudet. Mehukkuuteen vaikuttaa myös lihan valuma, joka on myös teollisuudelle taloudellista tappiota aiheuttava asia (Kerth 2013).

Lihas sisältää vettä noin 75 %. Vesi toimii erilaisten aineenvaihduntatuotteiden kuljettajana elimistössä. Veden määrä on yhteydessä kehon rasvan määrään (Lawrence ym. 2012). Eläimen ikääntyminen aiheuttaa muutoksia valkuaisaineiden ja lihaksen sisäisten nesteiden välillisissä suhteissa. Nuorilla eläimillä proteiini/kosteussuhde on matala noin -0,1. Eläimen ikääntyessä suhde nousee eli eläin ns. kuivuu. Täysi-ikäisenä proteiini/kosteussuhde on noin 0,3 (Hui 2012). Eläimen ikääntyessä lihan maku on voimakkaampi ja vedensidontakyky parempi kuin nuorella eläimellä. Vanhempien eläinten liha sopiikin erinomaisesti jauhelihan raaka-aineeksi (Cottle & Kahn 2014).

Marmoroitumisen lisääntyessä lihaksen rakenne muuttuu. Rasva laimentaa lihassyiden muodostamaa kiinteää rakennetta. Marmoroituminen voi myös vähentää leikkuuvastetta, jos rasva on sijoittunut sidekudosväleihin (Calkins & Sullivan 2007, Kerth 2013). Naudanlihan kokonaistytyväisyydestä 5–10 % johtuu marmoroitumisesta (Dikeman 1987). Mehukkuuden kannalta marmoroitumisasteen minimi on noin 3 % (Savell ym. 1986). Liha rakennetta arvioidaan erilaisilla leikkuuvoimatesteillä tai penetrometreillä (Kerth 2013).

Liha vedensidontakykyä voidaan käyttää mehukkuuden arviointiin. Teurastuksen jälkeen lihaksen muuntuessa lihaksi normaalin *rigor mortis* -prosessin aikana lihassolujen vedensidontakyky laskee, koska myofibrillit kutistuvat. Lihassolujen väliin puristuvasta nesteestä muodostuu tietyn suuruinen valuma. Valuman aiheuttaa painovoima. Valuma mitataan lihasta, joka on ollut 24 tai 48 tuntia +0–4 °C asteen lämpötilassa (Kerth 2013). Liha valumaan voidaan vaikuttaa teurastuksen jälkeisillä toimenpiteillä.

Jalostus on todennäköisesti vaikuttanut naudanlihan mehukkuus- ja rakenneominaisuuksiin. Valinta lihaksikkaampien eläinten puolesta on lisännyt lihassolujen kokoa (Rehfeldt ym. 2008). Lihassolujen kasvun lisäksi valinta on suosinut eläimiä, joilla on enemmän glykolyttisiä kuin oksidatiivisia lihassoluja (Hui 2012). Liharotujen laaja kirjo lisää lihan rakenteellista vaihtelua (Albertí ym. 2008). Liha rakenteessa on eroja brittiläisten ja mannermaisten rotujen välillä (Dikeman ym. 2005, Albertí ym. 2008, Christensen ym. 2011). Ranskalaisten rotujen lihassyiden rakenne on hienompaa kuin brittiläisillä roduilla. Brittiläisten rotujen lihassyiden ovat puolestaan suurempia kuin mannermaisilla roduilla (Dikeman ym. 2005, Christensen ym. 2011). Christensenin ym. (2011) tutkimuksessa rotujen välillä oli eroja sidekudoksen liukenevuudessa. Nuorilla eläimillä ranskalaisten rotujen sidekudoksen liukenevuus oli suurempaa kuin brittiläisillä roduilla. Albrechtin ym. (2006) tutkimus on samassa linjassa edellisten kanssa. Tekijöitä, jotka vaikuttivat rotujen välisiin eroihin leikkuuvasteessa ja mureudessa, ei kuitenkaan pystytty osoittamaan. Mehukkuuden osalta tutkimustulokset ovat vielä kyseenalaisempia. Rotujen välillä ei ole pystytty osoittamaan kovinkaan suuria eroja mehukkuudessa (Wheeler ym. 1996). Jalostusvalintaa ei ole suoraan suoritettu mehukkuuden osalta. Bernard ym. (2007) löysivät charolais-rodulta 215 eri geenä, jotka vaikuttavat mureuteen, mehukkuuteen ja makuun. Näistä 18:sta geenin oletetaan selittävän 60 % liha maku ja mehukkuuden eroista.

Lihan valmistus denaturoi lihaksen valkuaisaineet. Denaturoituminen vaikuttaa valkuaisaineiden rakenteisiin ja veden jakautumiseen lihassa (Tornberg 2005, Kerth 2013). Lihan valmistus aiheuttaa merkittävää lihan mehukkuuden heikkenemistä. Kypsentämisessä lihasta vähenee nesteitä 15–35 %, joista vettä on noin 90 % (Pearce ym. 2011). Lihan mehukkuuden väheneminen on suoraan verrannollinen valmistustekniikkaan (valmistuksen lämpötila, kesto, loppulämpötila) ja raaka-aineen ominaisuuksiin (kosteus, valkuaisaine- ja rasvasisältö, pH, valmistettavan lihapalan koko) (Jeremiah ym. 2003a, Kerth 2013).

### 4.3. Marmoroituminen

Marmoroituminen yhdistetään lihan mehukkuuteen, makuun, mureuteen ja kokonaisu miellyttävyyteen (Jeremiah ym. 2003b, O’Quinn ym. 2012). Marmoroituminen on yhteydessä nahanalaiskudoksen rasvan paksuuteen (McPhee ym. 2006). Ruhojen liallinen rasvaisuus ei ole kuitenkaan tavoiteltavaa, koska se heikentää taloudellista tulosta koko tuotantoketjussa (Moore ym. 2012). Yleisen käsityksen mukaan syntymän jälkeen rasvakudos kertyy ensin sisäelimiin, lihasten väliin, nahanalaiskudokseen ja viimeiseksi lihaksen sisään (Lawrence ym. 2012). Toisaalta Wang ym. (2009) esittivät, että rasvakudoksen kasvua tapahtuu kaikissa kudoksissa samanaikaisesti ja Bruns ym. (2004), että marmoroituminen lisääntyisi lineaarisesti kasvun edetessä.

Marmoroituminen vaihtelee jonkin verran eri lihaksien välillä. Sidekudoksen rakenne ja määrä vaikuttavat marmoroitumisen esiintymiseen. Lihaksen sisäistä rasvaa kertyy helpommin lihaksiin, joissa sidekudosta on vähän tai se on löyhästi kiinnittynyttä. Esimerkiksi leveän selkälihaksen (*latissimus dorsi*) sidekudos on yhdensuuntaista ja melko löyhästi järjestäytynyttä. Leveässä selkälihaksessa lihaksen sisäisen rasvan määrä on suurempi kuin tiukasti lihas- ja sidekudoserakenteeltaan järjestäytyneessä säären ulkosyrjän lihaksessa (*peroneus longus*). Säären lihaksissa sidekudoserakenteet ovat paksumpia ja kiinteämmin sitoutuneet toisiinsa, mikä estää rasvakudoksen kerääntymisen (Warriss 2010, Hui 2012).

Erirotuisten lihaksisto kasvaa ja saavuttaa aikuiskoon hieman eri aikaan. Lihaksiston kasvussa havaitaan samanlaista vaihtelua myös yksilöiden välillä. Tämä voi vaikuttaa lihaksen sisältämään rasvan määrään edellyttäen, että lihaksen rakenne mahdollistaa rasvan kertymisen lihassyiden väliin ja eläimellä on geneettinen potentiaali marmoroitumiseen. Erot ovat yleensä vähäisiä, mutta ne ovat havaittavissa verrattaessa eri lihaksien proteiinin- ja rasvan osuuksia (Hui 2012). Sisäeritysjärjestelmä (endokriininen) ohjaa rasvan kertymistä ja lihaksen sisäisen rasvan osuutta. Testosteroni lisää valkuaisaineenvaihduntaa ja vähentää rasva-aineenvaihduntaa. Marmoroitumisen määrä on sonneilla vähäisempää kuin lehmillä, hiehoilla ja härillä (Warriss 2010, Hui 2012, Kerth 2013).

Eläimen genotyyppi vaikuttaa marmoroitumiseen. Ranskalaisilla ja kaksoislihaksisilla roduilla on osoitettu olevan erilainen metabolinen ja endokriininen ohjelmointi, joka johtaa vähäisempään rasvakudoksen aktiivisuuteen. Lihasmetabolia on enemmän glykolyyttistä (Hocquette ym. 2010, 2012b). Jalostusvalinta on suosinut lihaksikkuuden kehittämistä. Lihaksikkuuteen on kiinnitetty enemmän huomiota. Runsaasti rasvakudosta tuottavien yksilöiden perinnöllinen aines on vähentynyt monessa nautapopulaatiossa. Tämä trendi on myös siirtänyt lihassoluja glykolyyttiseen metaboliaan rodusta riippumatta. Glykolyyttisten lihassolujen lisääntyessä marmoroitumispotentiaali vähenee (Hocquette ym. 2012b). Lihaskasvun geeniekspressio todennäköisesti kuitenkin eroaa rasvasolujen lisääntymisen ja kasvun geeniekspressiosta (Bernerd ym. 2009). Tosin Pethick ym. (2007, 2004) ovat sitä mieltä, ettei lihas- ja rasvakudoksen kasvua voida erottaa toisistaan, koska kummatkin vaativat oman osansa ravintoaineiden saannista. Eläimen ikä ja kasvun ajankohta ovat lihas- ja rasvakudoksen kasvun kannalta olennaisia. Rasvakudos kasvaa hitaammin kasvun alussa ja kiihkeimmän kasvun vaiheessa. Lihaskudoksen kasvun hidastuessa, eläimen ikääntyessä ravintoaineiden pidättyminen suuntautuu rasvakudoksen kasvuun (Pethick ym. 2004, 2007).

Marmoroituminen johtuu todennäköisesti enemmän glukoosijohdannaisista (propionihappo) kuin etikkahaposta. Pintarasvan osalta etikkahappo voi olla suurempana tekijänä (Smith ym. 2009). Teoria antaa mahdollisuuden ajatella, että eläinten ruokinta voitaisiin suunnitella enemmän marmoroitumista aikaansaavaksi. Dieetit, jotka lisäävät glukoosin saantia, lisääisivät lihaskasvun lisäksi myös marmoroi-

mista ilman ylimääräistä pintarasvan muodostumista. Korkeampi glukoosin määrä voidaan saavuttaa maksimoimalla glukoneogeenisten ravintoaineiden esiasteet (propionihappo) ruokinnassa tai lisäämällä tärkkelyksen imeytymistä ohutsuolesta. Yksi tapa saavuttaa tämä on (väki)rehujen prosessointi, jolla yritetään siirtää tärkkelyksen sulavuutta pötsin sijaan ohutsuoleen (Rowe ym. 1999, Scollan ym. 2014). Lihaksen sisäisten rasvasolujen kasvun kannalta pelkkä glukoosi ei ole olennainen tekijä. Glukoosin imeytymiseen tarvitaan insuliinia. Mitä enemmän eläimen verenkierrassa on insuliinia, sitä tehokkaammin glukoosi imeytyy ja sitä enemmän insuliini stimuloi lipogeneesiä (rasvasolujen muodostumista). Kaikki nämä mekanismit todennäköisesti vaikuttavat yhdessä siihen, miksi marmoroitumisen määrä on karkearehualtaisella ruokinnalla vähäisempää verrattuna väkirehualtaiseen ruokintaan (Pethick ym. 2004).

Leptiini-geenin polymorfian [c.73 C (sytyysiini) → T (tyymiini)] on osoitettu vaikuttavan naudan ruhojen rasvaisuuteen (Kononoff ym. 2005). Lähes 50 % Pohjois-Amerikassa teurastetuista naudoista edustaa genotyyppiä CT (Kononoff ym. 2005). Marmoroitumisen perinnöllisiä tekijöitä on tutkittu pääasiassa loppukasvatusvaiheen eläimistä. Wang ym. (2009) havaitsivat lihaksen sisäisten rasvasolujen geeniekspression vaihtelevan jo hyvin varhaisessa kasvatuksen vaiheessa. Varsinkin CEBP- $\beta$ -aktiivisuudella oli jo hyvin aikaisessa vaiheessa (7–14 päivän iässä) selvä yhteys ruhon marmoroitumisasteeseen. Adenosinimonofosfaatti aktivoitu proteiinikinaasi (AMPK), stearyylikoentsyymi A desaturaaasi (SCD) on yhdistetty naudan marmoroitumispotentiaaliin (Chung ym. 2007, Underwood ym. 2008). Myostatiini-geenin ekspressio vaikuttaa myös marmoroitumiseen. Myostatiini-geenin runsaampi ekspressio vähentää myogeneesiä ja lisää rasvakudoksen muodostumista. Tällöin marmoroitumista muodostuu enemmän lihakseen. Varsinkin myostatiinin, lihaskudoksen säätelytekijän (myogenic regulatory factor, MRF) ja PPAR $\gamma$ -geenin yhteisvaikutus voi olla olennaisessa osassa marmoroitumisessa (Shibata ym. 2006). Kern ym. (2014) seurasivat marmoroitumisen kehittymistä ja geeniekspressiota koko kasvatuskauden kuudella erilaisella dieetillä (kolme alkukasvatusdieettiä ja kolme loppukasvatusdieettiä). Heidän johtopäätöksensä oli, että PPAR $\gamma$ -geenin aktivoituminen lisääntyi kasvatuksen loppua kohden, mikä lisäsi rasvakudoksen aineenvaihduntaa. Marmoroituminen vaatii rasvasolujen lisääntymistä ja koon kasvamista, jotta saadaan muodostettua riittävästi lihaksen sisäistä rasvaa. Ilman uusien rasvasolujen muodostumista marmoroituminen saavuttaa tasannevaiheen ennen kasvatuksen loppua.

Marmoroituminen yhdistetään pienempään leikkuuvasteeseen ja mureampaan lihaan. Enemmän lihan sisäistä rasvaa sisältävä liha muodostuu pureskellessa mehukkaammaksi ja maukkaammaksi kuin vähemmän marmoroitunut liha. Mehukkuus ja suurempi maun intensiteetti muodostuvat, koska rasvamolekyylit kuljettavat umaamin makua, jonka makureseptorit aistivat suussa (Hui 2012, Kerth ym. 2013). Leikkuuvaste alenee vasta, kun lihaksen sisäisen rasvan määrä on yli 8 % (Nishimura ym. 1999). Hocquette ym. (2010) arvioivat, että kuluttajatytyväisyyden varmistamiseksi lihaksen sisäisen rasvan määrä tulisi olla noin 3–4 %.

Lihan rasvasisällön ohella dieetin kolesterolin määrä on muodostunut seurattavaksi tekijäksi osalle kuluttajista. Naudanlihan sisältämä kolesterolin määrä on hyvin samanlainen verrattuna muihin lihoihin (nauta 73, sika 79, karitsa 85, broileri 76, kalkkuna 83 mg/100 g). Naudanlihaa voidaankin käyttää ns. valkoisten lihojen rinnalla dieeteissä, joissa kolesterolitasoa joudutaan valvomaan (O’Dea ym. 1990, Smith ym. 2002). Naudanlihan sisältämään kolesteroliin ei vaikuta eläimen rotu, ruokinta tai sukupuoli. Kolesterolin määrä on kuitenkin yhteydessä marmoroitumisen määrään (Rule ym. 2002). Marmoroitumisen määrän kasvaessa, kolesterolin määrä kasvaa samassa suhteessa (Alfaia ym. 2007). Sonnien ja karkearehualtaisella ruokinnalla olleiden nautojen kokonaisrasvapitoisuus ja marmoroitumisaste on alhaisempi kuin väkirehualtaisella ruokinnalla olleiden eläinten (Nuernberg ym. 2005, Garcia ym. 2008, Leheska ym. 2008, Alfaia ym. 2009, Huuskonen 2012). Voidaankin olettaa, että karkearehualtaisella ruokinnalla olleiden eläinten lihan kolesterolitaso on matalampi kuin väkirehualtaisella ruokinnalla olleiden nautojen lihan (Sitz ym. 2005, Ponnampalam ym. 2006). Tutkimustuloksia vertailevista aineistoista on kuitenkin hyvin vähän. Garcian ym. (2008) mukaan laitumella kasvatettujen härkien kolesterolimäärä oli 40,3 g/100 grammaa lihaa, kun vastaavasti väkirehua saaneiden eläinten lihan kolesterolitaso oli 45,8 g/100 grammaa lihaa. Ero oli tilastollisesti merkitsevä.

## 4.4. Lihan rasvahappokoostumus

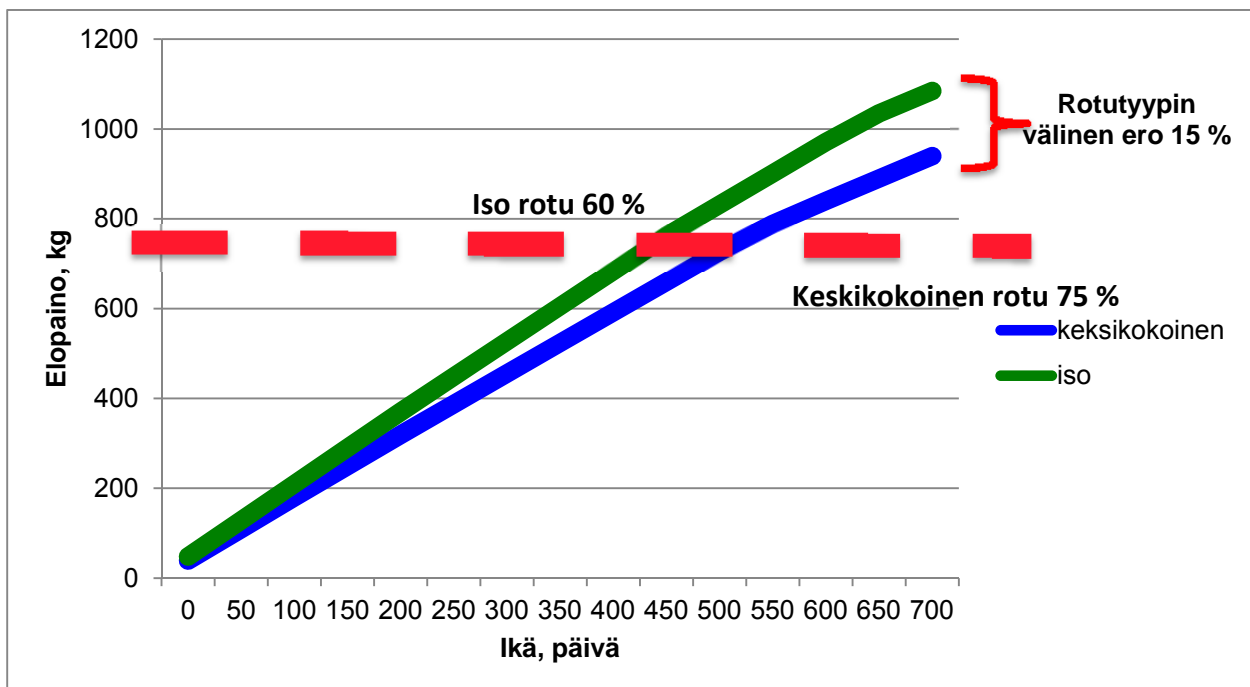
Naudanlihan rasvahappokoostumus on maailmanlaajuisesti kiinnostava aihe. Naudanlihan rasvapitoisuudella voi olla sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia. Dieetin kokonaisrasvan määrää tulisi vähentää varsinkin länsimaissa. Rasvan osuuden ei tulisi olla yli 35 % päivittäisestä energian saannista. Toisaalta rasvaa tarvitaan rasvaliukoisten antioksidanttien ja vitamiinien imeytymiseen sekä välttämättömien rasvahappojen saantiin. Rasvojen saantia tulisi tarkastella myös yksittäisten rasvahappojen eikä pelkästään rasvan kokonaismäärän kannalta (EFSA 2010). Monityydyttymättömien rasvahappojen saanti on yhdistetty vähäisempään tulehdusalttiuteen ja matalampaan riskiin sairastua sydän- ja verisuonitauteihin (Calder 2004). Toisaalta monityydyttymättömien rasvahappojen saannilla on osoitettu olevan yhteys myös käyttäytymiseen ja oppimistuloksiin (Ruxton ym. 2007). Monityydyttymättömien rasvahappojen saanti on runsasta rasvaisista kaloista. Naudanlihassa n-3 ja varsinkin n-3 pitkäketjuisten rasvahappojen määrä on huomattavasti pienempi kuin rasvaisessa kalassa (19,9 vs. 0,28–0,52 mg/g). Naudanlihasta saatavien monityydyttymättömien rasvahappojen saanti voi olla kuitenkin merkityksellinen länsimaissa erityisesti, jos kala ei kuulu ruokavalioon (Meyer ym. 2003, Howe ym. 2006, Razminowicz ym. 2006, McAfee ym. 2011). Runsaasti naudanlihaa sisältävissä dieeteissä, jopa 23,3 % monityydyttymättömistä rasvahapoista voi tulla naudanlihasta (Howe ym. 2006). McAfeen ym. (2011) tutkimuksessa havaittiin, että syömällä naudanlihaa, joka on tuotettu karkearehuvallaisella ruokinnalla, pystytään jo neljässä viikossa muuttamaan ihmisen veren n-3 rasvahappojen määrää suosiolliseen suuntaan. Razminowiczin ym. (2015) mukaan vähärasvainen naudanliha, joka on tuotettu apilavallaisella karkearehulla voi olla merkittävä n-3 rasvahappojen lähde ihmisravitsemuksessa. Naudanlihan haasteena ovat kuitenkin sen sisältämät tyydyttyneet rasvahapot, jotka on yhdistetty sydän- ja verisuonitauteihin sekä paksusuolen syövän riskiin (Scollan ym. 2006a, McAfee ym. 2010).

Naudanlihan rasvahappokoostumusta ja sen manipulointia on tutkittu runsaasti (Scollan ym. 2006a, Givens 2010, Salter 2013, Shingfield ym. 2013). Rasvahappokoostumuksen manipuloinnin tarkoituksena on ollut lisätä n-3 pitkäketjuisia rasvahappoja ja konjugoituneen linolihapon (CLA) määrää sekä vähentää tyydyttyneitä rasvahappoja. Nurmen monityydyttymättömät rasvahapot muuntuvat pötsin hydrogenaatioprosessissa pääsääntöisesti tyydyttyneiksi rasvahapoiksi (McDonald ym. 2004). Rasvahapot taasen jakautuvat naudassa rakenteellisiin fosfolipideihin, organellien kalvojen lipideihin ja rasvakudoksen rasvoihin. Rasvakudossoluja on naudassa pintarasvakudoksessa, lihaksen välissä, mutta myös lihaksen sisällä (Lawrence ym. 2012). Rasvakudoksen jakautumiseen vaikuttavat perimä, ikä, sukupuoli ja ruokinta. Pintarasva toimii energiavarastona ja eristimenä. Pintarasvalla on vähäisempi merkitys ravitsemuksellisesti. Toisaalta leikkuutekniikka vaikuttaa siihen, kuinka paljon naudanrasvaa jää valmistettavaan lihaan. Syöntilaadun kannalta lihaksen sisäisen rasvakudoksen (marmoroituminen) rasvahappokoostumus on merkityksellisin (Raes ym. 2004, Scollan ym. 2006a, Wood ym. 2008).

Nuorten ja perinnöllisesti aikaisin marmoroituvien eläinten lihaksen sisäinen rasva sisältää enemmän fosfolipidejä, joiden monityydyttymättömien rasvahappojen konsentraatio on korkeampi. Nuorilla eläimillä solujen aineenvaihdunta on nopeampaa. Monityydyttämättömien rasvahappojen tarkoitus on pitää yllä solun sisällön juoksevuuutta (fluidity). Fosfolipidien monityydyttymättömien rasvahappojen pitoisuus laimentuu eläimen ikääntyessä, koska fosfolipidit korvautuvat tyydyttyneillä rasvahapoilla ja triglyserideillä. Toisaalta tähän johtaa myös vanhempien eläinten korkeampi rasvapitoisuus (Scollan ym. 2006a, Lawrence ym. 2012). Keskimäärin lihaksen sisäinen rasva sisältää 45–48 % tyydyttyneitä rasvahappoja (SFA), 35–45 % kertatyydyttymättömiä rasvahappoja (MUFA) ja noin 5 % monityydyttämättömiä rasvahappoja (PUFA) (Scollan ym. 2006a).

Monityydyttymättömien ja tyydyttyneiden rasvahappojen suhde on lihaksen sisäisessä rasvassa 0,11 ja nahanalaiskudoksen rasvassa 0,05 (Wood ym. 2008). Eläimen rasvapitoisuuden kasvaessa tyydyttyneiden rasvahappojen määrä lisääntyy nopeammin rasvakudoksessa kuin tyydyttämättömien rasvahappojen määrä. Eläimen kokonaisrasvapitoisuuden noustessa P:S-suhde (tyydyttymättömien suhde tyydyttyneisiin rasvahappoihin) pienenee. Tästä syystä vähärasvaisten myöhään teuraskypsyyden saavuttavien rotujen P:S-suhde on yleensä korkeampi kuin aikaisin teuraskypsyyden saavuttavilla roduilla,

jos eläimet teurastetaan samassa teuraspainossa (Raes ym. 2001). Kuitenkin Pesosen ym. (2013) ko-  
keessa hereford-rodun sonnien lihan rasvahappokoostumus oli ihmisravitsemuksellisesti terveellisem-  
pää kuin charolais-rodulla, kun hereford-sonnit teurastettiin selvästi charolais-sonneja matalammissa  
teuraspainoissa, mikä vastaa käytännön tilannetta suomalaisessa naudanlihantuotantoketjussa. Rotu voi  
siis epäsuorasti vaikuttaa naudanlihan terveellisyteen. Jos eläimet teurastetaan samassa teuraspai-  
nossa, esimerkiksi 400 kg, on todennäköistä, että isojen rotujen lihan rasvahappokoostumus on ihmisra-  
vitsemuksen kannalta parempi kuin keskikokoisten rotujen. Tämä johtuu siitä, että rodut ovat teuras-  
kypsyyden saavuttamisessa eri vaiheessa (Kuva 12). Keskikokoisen rodun eläimen ruho samassa teuras-  
painossa sisältää enemmän rasvaa kuin ison rodun eläimen ruho, jolloin tyydyttyneiden rasvahappojen  
suhde voi olla suurempi verrattuna tyydyttymättömiin. Tämä kaikki edellyttää, että eläimet ovat olleet  
vähintään viimeiset 30 päivää samalla ruokinnalla. Jos roduilla on ollut erilainen ruokinta, esimerkiksi  
keskikokoisilla karkearehuvaltaisempi ruokinta verrattuna isoihin rotuihin, voi tilanne olla toisenlainen.  
Tutkimusta asiasta on kuitenkin hyvin vähän.



**Kuva 12.** Rotutyypin välinen teuraskypsyysero johtuu genomista. Jos eri rotutyypin sonnit teuraste-  
taan noin 790 kg teuraspainossa, iso rotu on saavuttanut 60 % ja keskikokoinen 75 % aikuispainosta.  
Rotutyypin välinen ero on keskimäärin 15 % (MLA 2014).

Naudan ja muiden märehäntäjien liha on tärkeä konjugoituneen linolihapon (CLA) lähde. CLA:n cis-9,  
trans-11 -isomeerilla on osoitettu olevan runsaasti terveysvaikutuksia (Salter 2013). Naudanliha sisältää  
myös trans-rasvahappoja, joista vakseenihappo on todennäköisesti merkittävin. Trans-rasvahapoilla voi  
olla sydän- ja verisuonitauteja ennaltaehkäisevä vaikutus (Salter 2013). Garcian ym. (2008) tutkimukses-  
sa karkearehuruokinnalla muodostui eniten n-3 monitydyttämättömiä rasvahappoja angus-härkien  
lihan rasvaan ja vähiten holstein-härkien lihan rasvaan (2,0 vs. 1,69 % kaikista rasvahapoista). Holstein-  
härkien lihassa oli puolestaan merkittävästi enemmän CLA:ta verrattuna angus- ja angus-charolais-  
risteytyshärkiin (Taulukko 3).

**Taulukko 3.** Rodun vaikutus naudanlihan rasvahappokoostumukseen (Garcia ym. 2008).

Rotu	Angus-härkä	Angus × Charolais-härkä	Holstein-härkä
Marmoroituminen, %	3,64	3,73	3,45
Tyydyttyneiden rasvahappojen määrä, % (14:0+16:0+18:0)	32,28	38,11	36,00
Tyydyttymättömien rasvahappojen määrä, % (16:1+18:1)	37,65	40,07	41,87
Monityydyttämättömien rasvahappojen määrä, % (n-6 + n-3)	7,81	7,92	8,20

Rodun vaikutusta rasvahappokoostumukseen pidetään pienempänä kuin dieetin vaikutusta (De Smet ym. 2004). Rotu vaikuttaa kuitenkin eläimen geeniekspressioon ja/tai entsyymiaktiivisuuteen, jotka vaikuttavat rasvahapposynteesiin. Erilaisena rasvahapposynteesin geeniekspression esimerkkinä voidaan pitää Taniguchin ym. (2004a,b) tekemää koetta holstein- ja Japanin Musta (Japanese Black) -eläinten välillä. Stearoyyli CoA desaturaasi (delta-9-desaturaasi) mRNA ekspresion taso oli kokeessa yhteydessä tyydyttymättömien rasvahappojen määrään ja alempaan lihaksen sisäisen rasvan sulamispisteeseen. Naudan genomista on tunnistettu muutamia SNP-merkkejä, jotka ovat yhteydessä rasvahappometaboliaan ja joita voitaisiin käyttää hyväksi eläinten valinnassa (Shingfield ym. 2013).

Nautojen dieetti vaikuttaa lihan rasvapitoisuuteen ja rasvahappokoostumukseen. Rasvahappokoostumukseen vaikuttaa pötsissä tapahtuva dieetin rasvojen biohydrogenaatio. Nurmivaltaisella dieetillä kasvatettujen nautojen rasvapitoisuus on tunnetusti matala vain 2–5 % (Scollan ym. 2006a). Tuorenurmi- tai laidunruokinnalla olleiden nautojen lihan rasvahappokoostumuksessa on osoitettu olevan suhteellisesti enemmän monityydyttymättömiä rasvahappoja verrattuna väkirehuokinnalla olleisiin nautoihin (McAfee ym. 2011). Tuoreen nurmen syöttö tai laiduntaminen on kuitenkin rajoitettu kasvukauden suuressa osassa naudankasvatusaluetta. Karkearehuokinta perustuu usein kasvukaudella korjattuun ja varastoituu rehuun (Fredriksson & Pickova 2007, Butler ym. 2011, Pestana ym. 2012). Karkearehujen, kuten nurmi- ja nurmipalkokasvien, rasvahapot koostuvat pääosin alfa-linoleenihapoista, joka on pääraaka-aine n-3 rasvahappojen muodostumisessa (Dewhurst ym. 2006, Scollan ym. 2014).

Serranon ym. (2007) tutkimuksessa karkearehuokinnalla olleiden liharotuisten sonnien n-6:n-3 rasvahappojen suhde oli matalampi kuin väkirehua saaneilla sonnien (3,95 vs. 5,37). Laitumella suoritettu loppukasvatus voi lisätä merkittävästi monityydyttymättömien rasvahappojen osuutta, mukaan lukien CLA ja omega-3 rasvahapot, verrattuna väkirehuvaltaiseen ruokintaan (Realini ym. 2004). Pötsin biohydrogenaatioprosessia on pyritty muuttamaan myös lisäämällä nautojen dieettiin öljyjä tai öljykasvien siemeniä, joiden tiedetään sisältävän runsaasti monityydyttymättömiä rasvahappoja. Biohydrogenaatioprosessin vähentämisen tarkoituksena olisi tuottaa raaka-aineita pidempien rasvahappojen muodostamiselle ja/tai lisätä rasvahapoissa olevien kaksoissidosten määrää (Scollan ym. 2006a, Daley ym. 2010).

Simopouloksen (2002, 2004) mukaan n-6/n-3 rasvahappojen suhteen tulisi ihmisravitsemuksellisesti terveellisessä dieetissä olla alle neljän ja mieluiten lähellä yhtä. Daleyn ym. (2010) mukaan terveellisessä dieetissä on karkeasti neljä kertaa enemmän n-6 rasvahappoja kuin n-3 rasvahappoja. Länsimaisessa dieetissä on usein yli 10-kertainen määrä n-6 rasvahappoja verrattuna n-3 rasvahappoihin (Daley ym. 2010). Naudanlihan n-6/n-3 rasvahappojen suhteeseen vaikuttaa nautojen ruokinta. Suhde muodostuu matalammaksi karkearehuokinnalla tai karkearehuvaltaisella ruokinnalla verrattuna väkirehuokintaan (Taulukko 4). Ihmisravitsemuksessa n-3 rasvahappojen saanti on yleisesti ottaen korkeaa kalaa sisältävistä dieeteistä. On kuitenkin havaittu, että naudanliha sisältävissä dieeteissä naudanliha on myös merkittävä n-3 rasvahappojen saannin lähde (Sinclair ym. 1994).

**Taulukko 4.** Ruokinnan vaikutus naudanlihan n-6/n-3 rasvahappojen suhteeseen.

Eläintyyppi	Ruokinta	n-6/n-3 suhde	Lähde
Alentejano-sonni	Karkearehu 100 %	1,77	Alfaia ym. 2009
	Väkirehu 70 %	8,99	
Risteytseläimiä	Karkearehu 100 %	2,78	Leheska ym. 2008
	Väkirehu 90 %	13,6	
Angus ja angus × charolais- risteytyshärkä	Karkearehu 100 %	1,72	Garcia ym. 2008
	Väkirehu 0,7 % elopainosta	1,82	
	Väkirehu 1,0 % elopainosta	3,77	
	Väkirehu 100 %	10,38	
Simmental-sonni	Karkearehu 78 %	2,04	Nuernberg ym. 2005
	Väkirehu vapaasti	8,34	
Holstein-sonni	Karkearehu 78 %	1,94	Nuernberg ym. 2005
	Väkirehu vapaasti	6,49	
Risteytyshärkä	Karkearehu 100 %	2,0	Descalzo ym. 2005
	Väkirehu vapaasti	1,1	
Hereford-härkä	Karkearehu 100 %	1,44	Realini ym. 2004
	Väkirehu vapaasti	3,00	
Ayshire-sonni	Laidun+4,4 kg ka/pv ohra	6,33	Huuskonen ym. 2010a
	Säilörehu+4,4 kg ka/pv ohra	5,46	
Hereford-sonni	Laidun+4,4 kg ka/pv ohra	2,93	Huuskonen ym. 2010b
	Säilörehu+4,4 kg ka/pv ohra	3,05	

Karkearehun raaka-aine vaikuttaa jonkin verran lihan rasvahappokoostumukseen (Taulukko 5). Duckettin ym. (2013) tutkimuksessa lihaan muodostuivat korkeimmat n-3 rasvahappojen määrät sinimailaslaidunruokinnalla. Moloneyn ym. (2007) tutkimuksessa valkoapilalaidun vaikutti rasvahappokoostumukseen positiivisemmin kuin raiheinäpitoinen laidun. Dierking ym. (2010) eivät kuitenkaan havainneet eroja härkien lihan rasvahappokoostumuksessa, kun eläimet olivat laiduntaneet joko ruokonata-, ruokonata/apila- tai sinimailaslaitumilla. Kasvilajistoltaan monimuotoiset nurmet ovat antaneet rasvahappokoostumuksessa vastaavanlaisia tuloksia. Esimerkiksi Fraser ym. (2007) ja Moloney ym. (2008) saivat luonnonlaiduntyyppisillä laitumilla yhtäläisiä tuloksia kuin viljelyllä laitumilla. Pääasiallisesti korkeammat n-3-rasvahappojen määrät muodostuvat tuoreilla nurmilla verrattuna säilöttyihin karkearehuihin ja pitoisuudet kasvavat laidunnuksen/syötön keston nähdessä (Scollan ym. 2006a). Nurmisäilörehun korvaaminen nurmiapilasäilörehulla lisäsi n-3 monityydyttymättömien rasvahappojen määrää, mutta ei vaikuttanut ekosapentaeni (EPA)- tai dokosaheksaenihappojen (DHA) määrään (Lee ym. 2009). Nurmisäilörehun korvaaminen kokoviljasäilörehulla vähensi n-3 monityydyttymättömien rasvahappojen määrää (Moloney ym. 2013).

**Taulukko 5.** Karkearehunlaadun vaikutus rasvahappojen määrään ja suhteeseen naudanlihassa.

Rehustus	Suku- puoli	Rasvahappojen kokonaismäärä	18:1n-9	18:2n-6	18:3n-3	Lähde
<b>Karkearehu</b>						
Laidun	Sonni	547	189	145,5	34,7	Aldai ym. 2011
30 päivää väkirehua laitumen jälkeen	Sonni	813	202	130,5	22,1	
60 päivää väkirehua laitumen jälkeen	Sonni	1055	232	113	13,4	
Monikasvilaidun	Härkä	2150	328	25,9	11,7	Duckett ym. 2013
Sinimailaslaidun	Härkä	2060	323	28,5	13,2	
Puna-apila säilörehu	Härkä	2250	339	22,7	19,6	
<b>Öljyä lisättynä diettiin</b>						
Nurmisäilörehu	Härkä	3179	1123	47	29	Kim ym. 2011
Nurmisäilörehu + echi- um-öljy (matala)	Härkä	4090	1378	52	31	
Nurmisäilörehu + echi- um-öljy (korkea)	Härkä	4075	1358	54	32	
Nurmisäilörehu + pella- vaöljy (korkea)	Härkä	3385	1117	50	31	
Heinä	Härkä	5680	380	26	5,1	Nassu ym. 2011
Heinä + pellava	Härkä	5875	347	24	12,2	
Ohrasäilörehu	Härkä	6772	406	21	3,1	
Ohrasäilörehu+pellava	Härkä	6413	386	21,2	10,6	
<b>Pötsisuojuattu öljy</b>						
Nurmisäilörehu	Härkä	2551	880	56,7	26,9	Kim ym. 2010a
Nurmisäilörehu + kasvi- uute (matala)	Härkä	2501	850	70,2	38,3	
Nurmisäilörehu + kasvi- uute (korkea)	Härkä	2433	794	72,7	41,3	

Rasvahappokoostumusta voidaan muuttaa myös lisäämällä diettiin rasvoja. Pääasiallisia nautojen dieetin rasvanlähteitä ovat erilaiset kasviöljyt ja siemenet, kalaöljyt, merilevät ja erilaiset rasvaa sisältävät sivutuotteet (Woods & Fearon 2009). Rasvojen vaikutus lihan rasvahappokoostumukseen on rajallinen, koska nautojen ruokinnan rasvalisä tulisi olla maksimissaan noin 60 g/kg ka. Liiallinen rasvan määrä dieetissä heikentää pötsin toimintaa. Rasvat kuitenkin vaikuttavat naudan rasvan rasvahappokoostumukseen melko tehokkaasti (Shingfield ym. 2013). Pellavaöljyn lisääminen voi lisätä n-3-rasvahappojen määrää ja alentaa n-6/n-3 rasvahappojen suhdetta. Nurmisäilörehuvaltaisilla dieeteillä öljyn lisäämisellä ei todennäköisesti kuitenkaan saavuteta kovinkaan suurta vaikutusta naudanlihan rasvahappokoostumukseen. Rasvojen pötsisuojuuksella voidaan jonkin verran vaikuttaa rasvan vaikutustehoon. Lihaksen sisäisen rasvan rasvahappokoostumukseen vaikuttavat tekijät ovat varteen otettavia siksi, että ne eivät välttämättä vaikuta naudan kokonaisrasvan määrään negatiivisesti (Scollan ym. 2014).

Konjugoituneen linolihapon (CLA) on raportoitu vähentävän liikalihavuutta sekä sydän- ja verisuonitauteja. Naudanlihan CLA-pitoisuuteen vaikuttavat ruokinta, rehuraaka-aine, eläimen rasvapitoisuus, ikä, sukupuoli, rotu ja vuodenaika (Hocquette ym. 2012a) (Taulukko 6).

**Taulukko 6.** Eri ominaisuuksien vaikutus naudanlihan CLA-pitoisuuteen.

Rotu tai risteytys	Eläin	Ruokinta	CLA-pitoisuus	Lähde
Emorotu × pääterotu	Härkä	Puna-apilasäilörehu	0,462 %	Mapiye ym. 2013
	Härkä	Puna-apilasäilörehu + pellava	2,142 %	
Limousin × charolais	Sonni	Laidun, alkukesä	0,473 %	Pestana ym. 2012
Limousin × charolais	Sonni	Laidun, alkusyksy	0,437 %	
Holstein	Sonni	Maissisäilörehu+n-6lisä	5,59 mg/100 g	Dannenberger ym. 2013
Holstein	Sonni	Nurmisäilörehu+n-3 lisä	6,25 mg/100 g	
Holstein	Sonni	Maissisäilörehu + n-6 lisä	13,8 mg/100 g	Dannenberger ym. 2005
Holstein	Sonni	Laidun + n-3 lisä (160 pv)	20,5 mg/100 g	
Simmental	Sonni	Maissisäilörehu + n-6 lisä	7,6 mg/100 g	
Simmental	Sonni	Laidun+n-3lisä (160 pv)	10 mg/100 g	
Ayshire	Sonni	Laidun+4,4 kg ka/pv ohra	0,12 %	Huuskonen ym. 2010a
	Sonni	Nurmisäilörehu+4,4 kg ka/pv ohra	0,11 %	
Hereford	Sonni	Laidun+4,4 kg ka/pv ohra	4,2 g/kg	Huuskonen ym. 2010b
	Sonni	Nurmisäilörehu+4,4 kg ka/pv ohra	2,8 g/kg	

Tuotantotapa ja ruokinnan intensiteetti vaikuttavat todennäköisesti eniten naudanlihan CLA-pitoisuuteen. Nurmi-pohjaisilla säilörehuilla naudanlihan CLA-pitoisuudet ovat korkeammat kuin maisisäilörehulla. Laidunnuksella voi olla positiivinen vaikutus naudanlihan CLA-pitoisuuteen, kun taas intensiivinen kasvatus voi heikentää naudanlihan CLA-pitoisuutta (Taulukko 6) (Scollan ym. 2014). Rotu voi vaikuttaa naudanlihan CLA-pitoisuuteen. Kraftin ym. (2008) tutkimuksessa luonnonlaitumilla olleiden angus- ja highland-sonnien lihan CLA-pitoisuudet olivat noin 4 % korkeammat kuin intensiivisesti kasvatettujen limousin- ja simmental-sonnien. Rotujen välillä havaittiin myös eroja, sillä highland-sonnien lihan CLA-pitoisuus oli 2,1 % korkeampi kuin angus-sonnien samalla luonnonlaitumella laidunnettaessa. Intensiivisessä kasvatuksessa, samanlaisella ruokinnalla limousin-sonnien lihan CLA-pitoisuus oli 2,7 % korkeampi kuin simmental-sonneilla. Huuskosen ym. (2010a,b) kokeissa hereford-sonnien lihan CLA-pitoisuus oli korkeampi kuin ayshire-sonnien samanlaisella ruokinnalla.

Naudoilla saavutetaan ihmisravitsemuksellisesti suosiollisempi rasvahappokoostumus, kun eläinten ruokinta on karkearehuvaltainen. Karkearehuvaltaisella ruokinnalla ja kohtuullisella teurasiällä lihan kokonaisrasvan määrä on matalampi. Toisaalta eläinten jalostus ja perinnöllisen aineksen kehittyminen ovat edistäneet vähemmän rasvaa sisältävän tuotteen kehittämistä (Higgs 2000, Hocquette ym. 2012).

Helppo ja nopea tapa määrittää naudanlihan rasvahappokoostumus teuraslinjalla edistäisi ruhojen lajittelua ja markkinointiarvon saavuttamista teollisuudelle. NIR-tekniikkaa pidetään yhtenä varteen otettavana vaihtoehtona rasvahappokoostumuksen määrittämiseksi nautojen ruhoista (Mourot ym. 2015). Prieto ym. (2011, 2014) pystyivät menestyksekkäästi erottelemaan tyydyttyneet ja tyydyttymättömät rasvahapot homogenoidusta/jauhetusta naudanlihasta. Mourotin ym. (2015) mukaan on mahdollista, että kokonaisista ruhoista voitaisiin määrittää tyydyttyneet ja tyydyttämättömät rasvahapot NIR-tekniikalla. He suosittelevat, että kalibrointiin käytetään eri rotuja, koska rotujen rasvoittumispotentiaali vaihtelee ja vaikuttaa NIR-spektriin. Vatsalihas on käytännöllisin linjalla määrittämiseen. Kuluttajat voivat maksaa naudanlihasta enemmän, ja rasvamäärä voi olla korkeampi, jos naudanlihan rasvahappokoostumus on ihmisravitsemuksellisesti suosiollinen (Kallas ym. 2014).

## 4.5. Maku

Naudanlihan makumieltymykset ovat hyvin kulttuurisidonnaisia. Jos runsas väkirehuruokinta on alueen tyypillinen tapa loppukasvatetta nautoja, kuluttajatestit ja makupaneelit suosivat tällä tavalla kasvatettujen nautojen lihaa (Wood ym. 2003). Yksilöt valitsevat yleensä sen makuista naudanlihaa, johon ovat tottuneet (Sitz ym. 2005). Koulutettujen makupaneelien tuloksissa väkirehuvaltaiselta loppukasvatusruokinnalta teurastettujen eläinten liha on usein ollut maukkaampaa ja mureampaa kuin karkearehuvaltaisella ruokinnalla olleiden eläinten (Killingier ym. 2004, Calkins & Hodgen 2007). Ruokinnan vaikutus maun muodostumiseen lienee kiistanaton. Sapp ym. (1999) osoittivat, että yhdysvaltalainen kuluttajapaneeli jopa suosi maissilla loppukasvatettua naudanlihaa verrattuna ohralla loppukasvatettuun. Brittiläinen kuluttaja suosii enemmän makua sisältävää, karkearehuruokinnalla olleiden eläinten lihaa. Lihaa, josta yhdysvaltalainen kuluttaja havaitsi makuvirheitä (Wood & Richardson 2004).

Naudanlihan maku muodostuu raa'assa lihassa olevista yhdisteistä, jotka muuttuvat ruuanvalmistusprosessissa. Lukuisia lihan makuaromeja muodostuu lihassa olevien aminohappojen, pentoosisokerien ja fosfolipidien yhteisvaikutuksesta. Riippuu valmistustekniikasta, kuinka maillard-reaktio vaikuttaa edellä mainittuihin yhteisvaikutuksiin ja siihen kuinka maku muodostuu (Hui 2012). Naudanlihan maku tulee voimakkaammin esille, jos lihassa on rasvaa (marmoroituminen). Mottram (1979) tekemän tutkimuksen mukaan 10 %:n rasvalisäys paransi lihan makujen erottamista.

Lihan maku on yksi tärkeimmistä naudanlihan kuluttajatytyväisyyden luojista. Ns. kokonaistyytyväisyys korreloi vahvasti mureuden, mehukkuuden ja maun kanssa (Taulukko 7). Naudanlihan sisältämä rasva vaikuttaa positiivisesti makuarvioon. Marmoroitumisen määrä on vahvasti yhteydessä kuluttajatytyväisyyden muodostumiseen jopa mureudesta riippumatta. Edellä mainitun edellytyksenä on kuitenkin se, ettei lihassa ole virhemakuja (Taulukko 7) (Corbin ym. 2015).

**Taulukko 7.** Korrelaatiot naudanlihan syöntilaatuominaisuuksien välillä. Kaikki korrelaatiot olivat tilastollisesti merkittäviä ( $p < 0,01$ ) (Corbin ym. 2015).

Ominaisuus	Kokonaistyytyväisyys	Mureus	Mehukkuus	Maku	Marmoroituminen	Kosteus
Mureus	0,92					
Mehukkuus	0,93	0,93				
Maku	0,96	0,88	0,87			
Marmoroituminen	0,79	0,81	0,88	0,74		
Kosteus	-0,80	-0,81	-0,89	-0,76	-0,99	
Valkuainen	-0,72	-0,76	-0,85	-0,67	-0,95	0,92

Kaikki liha oli mureaa (WBSF <3,4 kg) (Miller ym. 2001).

Karkearehuvaltaisella ruokinnalla olleiden nautojen liha maistuu voimakkaammalta kuin väkirehuvaltaisella ruokinnalla olleiden eläinten liha (Hui 2012, Kerth 2013). Karkearehuvaltainen ruokinta ja/tai laidunloppukasvatus muuttaa naudanlihan biokemiaa verrattuna väkirehuvaltaiseen ruokintaan. Biokemialliset muutokset lisäävät lihan maun intensiteettiä ja makua (Daley ym. 2010). Elmoren ym. (2004) tutkimuksessa havaittiin, että karkearehuruokinnalla olleiden eläinten liha sisälsi enemmän diterpenoideja. Diterpenoidien muodostumisessa raaka-aineena on viherhiukkasten klorofylli. Diterpenoidit vaikuttavat liha-aromin muodostumiseen valmistetussa lihassa. Karkearehuvaltaisella ruokinnalla olleiden eläinten lihan ns. vihreän hajun on arveltu johtuvan heksanaaleista, joita muodostuu öljy- ja alfa-linoleenihaposta. Toisaalta väkirehuvaltaisella ruokinnalla olleiden nautojen ns. saippuan maun arvellaan johtuvan oktanaaleista, jotka muodostuvat linoleenihaposta. Viljat sisältävät runsaasti linoleenihappoa (Lorenz ym. 2002). Woodin ym. (2008) yhteenvedossa todetaan, että karkearehuvaltainen ruokinta aiheuttaa naudanlihaan epäedullista hapettumista ja virhemakuja. Todennäköisesti virhemaut syntyvät antioksidanttien vaikutuksesta.

Rodun vaikutus makuun on kiistanalainen. Usein liharotujen ja varsinkin keskikokoisten liharotujen lihan makuominaisuuksia pidetään parempina kuin maitorotujen eläinten lihan makuominaisuuksia.

Tieteellisesti asiaa on kuitenkin harvoin pystytty todistamaan. Vatanserver ym. (2000) maistattivat Welsh Black (WB) ja Holstein-Friisiläis (HF) -eläinten lihaa kuluttajilla. Kuluttajat eivät pystyneet erottamaan makuominaisuuksissa eroa, vaikka liharotuisen (WB) liha oli merkitsevästi sitkeämpää kuin maitorotuisen (HF). Elmoren ym. (2004) tutkimuksessa ei havaittu eroja maussa anguksen ja holstein-friisiläisen rodun välillä kahdella erilaisella ruokinnalla. Sinclairin ym. (2001) tutkimuksessa angushärkien lihan maku ja mehukkuus oli merkitsevästi parempaa kuin holstein- tai charolais-härkien. Rodulla on kuitenkin aina epäsuora vaikutus marmoroitumisen määrään ja tätä kautta lihan maun intensiivisyyteen (Corbin ym. 2015).

Raakakypsytysaika vaikuttaa naudanlihan makuun. Pohjois-Amerikassa nautojen ruhoihin käytettävä raakakypsytysaika on pääsääntöisesti 7–12 päivää lyhyempi kuin Euroopassa, Australiassa tai Uudessa Seelannissa (Cottle & Kahn 2014). Pitempi raakakypsytysaika lisää naudanlihan happamia makuja ja maun intensiteettiä. Jos kuluttaja ei ole tottunut näihin makuihin, naudanlihan syöntilaatu koetaan heikommaksi (Campo ym. 1999). Perinteisessä raakakypsytyksessä muodostuvat homeet lisäävät naudanlihan maun intensiteettiä (Hui 2012).

## 4.6. Väri ja pH

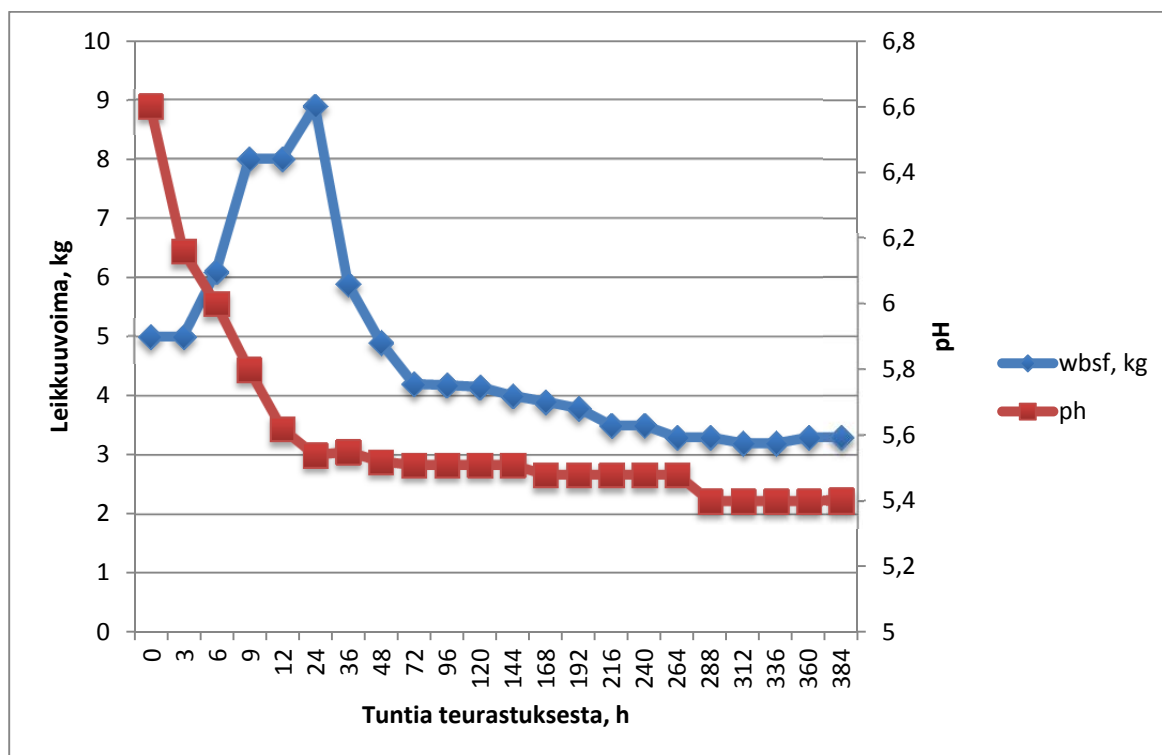
Naudanlihan ulkonäkö vaikuttaa kuluttajan ostopäätökseen. Väri, jonka ihmisen silmä havaitsee ja arvioi, on aina subjektiivinen arvio. Väriarvioon vaikuttaa aina myös valo, jossa havainnointi on tehty (Hui 2012).

Naudanlihan väriin vaikuttavat (Hui 2012, Kerth 2013):

1. Lihan väripigmenttien määrä ja laatu
2. Lihassytyppi ja järjestäytyminen (erilaiset heijastukset, jotka vaikuttavat väriin, muodostuvat tästä ominaisuudesta)
3. Lihaksen sisäinen rasvamäärä, pinnan kuivuminen (vaikuttaa heijastuspintaan ja kiiltävyyteen)

Teurastuksen jälkeinen lihan väri vaihtelee purppuran punaisesta hyvin vaaleaan, jopa harmahtaviin sävyihin. Pääasiallisin syy värin runsaaseen vaihteluun on myoglobiinin määrä lihassa ja lihan pH. Myoglobiini on fysiologisesti tärkeä valkuaisaine. Happi- (O<sub>2</sub>) ja hiidioksidi (CO<sub>2</sub>) -kaasujen kuljettaminen ja vaihto elävässä lihassolussa tapahtuvat myoglobiinin avulla (Kerth 2013).

Naudanlihan värin muodostumiseen vaikuttaa maitohapon määrä, jota ei pystytä poistamaan lihasoluista. pH laskee niin kauan, kun lihassa on entsyymiaktiivisuutta ja/tai glykogeenivarastoja. Tämän jälkeen pH hieman nousee. Tämä kertoo mureutumisprosessin päättyneen (Kuva 13). Lopulliseen pH:n vaikuttavat jonkin verran eläimen rotu ja lihastyppi. Väkirehuvaltaisella loppukasvatusdiетillä olleiden eläinten ruhojen pH laskee suhteellisesti nopeammin kuin karkearehuvaltaisella ruokinnalla olleiden eläinten (Matthews 2011). Jos lihaksen väri jää hyvin punaiseksi, pH on korkea. Tällaisissa lihaksissa glykolyttinen aktiivisuus on ollut heikkoa ja liha voi olla sitkeämpää (Kerth 2013). Lihan värin ja pH:n las-  
kun kannalta eläinten glykogeenitaso tulee olla riittävä teurastuksen aikaan.



Kuva 13. pH:n lasku on yhteydessä lihan leikkuuvasteeseen (Kerth 2013).

Naudanlihan väri tummuu eläimen iän myötä (Maltin ym. 1998, Roy ym. 2015). Sukupuoli vaikuttaa myös lihan väriin. Naaraspuolisten eläinten liha on vaaleampaa kuin urospuolisten (Page ym. 2001). Tuotantoympäristö voi vaikuttaa lihan väriin. Vestergaardin ym. (2000a) tutkimuksessa sonnien vapaa liikkuminen pihatossa lisäsi lihan värin intensiteettiä verrattuna parressa kasvatettuihin sonneihin. Mojto ym. (1998) tekivät havainnon, että teurastamoon yöllä tulleiden sonnien ruhojen pH laski hitaammin kuin härkien ruhojen. Teurastamossa oli yhteiskarsinat, joissa eläimet ottivat yhteen. Sonneilla lihaksien glykogeenitaso oli teurastuksen hetkellä alhainen ylimääräisestä liikunnasta johtuen.

Toisaalta väriin vaikuttaa myös eläinten ruokinta. Karkearehuokinnalla tai karkearehuvaltaisella ruokinnalla naudanlihan väri on tummempaa ja rasva keltaisempaa kuin väkirehuvaltaisella ruokinnalla (Taulukko 8) (Realini ym. 2004). Loppukasvatusvaiheessa 100 päivän ajan annettu E-vitamiinilisä paransi lihan säilyvyyttä korkealla väkirehuokinnalla olleilla eläimillä. Lihan väri oli myös vaaleampaa ja punaisempaa kuin ilman E-vitamiinilisää (Realini ym. 2004).

**Taulukko 8.** Naudanlihan ja rasvan vaaleus ( $L^*$ ), punaisuus ( $a^*$ ) ja keltaisuus ( $b^*$ ) kahdella erilaisella ruokinnalla ja E-vitamiinilisällä (Realini ym. 2004).

	Laidun	Väkirehu	Väkirehu ja E-vitamiini (1000 I.U./eläin)
Selkäfileen väri			
$L^*$	33,80 <sup>b</sup>	35,56 <sup>a</sup>	36,4 <sup>a</sup>
$a^*$	20,45	20,42	20,95
$b^*$	8,77	8,44	9,22
Rasvan väri			
$L^*$	72,44 <sup>a</sup>	71,81 <sup>b</sup>	69,78 <sup>b</sup>
$a^*$	5,94	5,15	5,51
$b^*$	15,23 <sup>a</sup>	13,53 <sup>b</sup>	14,48 <sup>ab</sup>

Eri yläindekseillä (a,b) merkityt keskiarvot eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,05$ ).

Pratt ym. (2013) osoittivat, että lihan väri on keskimääräisesti periytyvä ominaisuus ( $h^2 = 0,28-0,34$ ), joka on vahvasti korreloinut lihan syöntilaadun kanssa. Naudanlihan väri on tutkijoiden mukaan teollisuudelle taloudellisesti kannattava tapa mitata, arvioida ja parantaa naudanlihan syöntilaatua.

E-vitamiini hidastaa hapettumisreaktiota teurastuksen jälkeen. Hapettumisprosessissa punainen myoglobiini muuttuu rusehtavaksi metmyoglobiiniksi muodostaen lihaan ruskean sävyn (Kerth 2013). Yangin ym. (2002) tutkimuksessa verrattiin laitumella loppukasvatettujen eläinten ja väkirehuvaltaisella ruokinnalla olleiden eläinten lihan värin pysyvyyttä. Tutkimuksessa havaittiin laidunruokittujen nautojen lihan punaisen värin pysyvyys merkitsevästi paremmaksi verrattuna väkirehuvaltaisella ruokinnalla olleiden eläinten lihan värin pysyvyyteen, vaikka hapettumisherkkien monityydyttymättömien rasvahappojen määrä oli laidunloppukasvatettujen eläinten lihassa huomattavasti korkeampi. Tutkijoiden johtopäätöksenä oli, että laidunruohosta saadut antioksidantit nostivat E-vitamiinitasoa, jotka hidastivat merkitsevästi hapettumista, vaikka oletusarvona oli, että rasvojen hapettuminen aiheuttaisi päin vastaisen reaktion. O'Sullivan ym. (2003, 2004) osoittivat, että säilörehulla kasvatetun naudanlihan säilyvyys ja väri olivat kuluttajapakkausissa parempia kuin väkirehuvaltaisella loppukasvatuksella kasvatettujen eläinten liha. Säilörehuvaltaisella tai laidunruokinnalla olleiden nautojen lihan väri pysyy kuluttajapakkausissa paremmin (Gatellier ym. 2005, Warren ym. 2008). Välttämättä karkearehuvaltainen ruokinta ei kuitenkaan riitä pitämään yllä lihan riittävää E-vitamiinitasoa, vaikka näennäinen saanti onkin runsasta. Leen ym. (2009) kokeessa poistolehmien lihan E-vitamiinitaso oli puna-apilasäilörehuruokinnalla alhaisempi kuin nurmisäilörehuruokinnalla. Alhainen E-vitamiinitaso vaikutti lihan värin pysyvyyteen negatiivisesti. Samoin lihan rasvat olivat hapettumisherkempiä puna-apilasäilörehuruokinnalla kuin nurmisäilörehuruokinnalla olleiden lehmien lihassa. Tyydyttymättömien rasvahappojen negatiivinen vaikutus värin pysyvyyteen on tunnistettu muissakin tutkimuksissa. Puna-apilasäilörehuruokinnalla tulisivatkin lisätä eläinten E-vitamiinin saantia ennen teurastusta (Scollan ym. 2006b). Scollanin ym. (2008) tutkimuksessa puna-apilasäilörehua sisäruokintakaudella saaneiden nautojen lihan värin pysyvyyteen saatiin merkittävä parannus, kun eläimet laidunsivat 100 päivää raiheinäkasvustoja. Kuivattu sinimailasuute (PX) ja E-vitamiinilisä voivat parantaa naudanlihan värin kestävyyttä ja hidastaa rasvan hapettumista erilaisilla karkearehudeeteillä. PX sisältää runsaasti valkuaisista ja xantofylliä (Kim ym. 2010a). Liu ym. (1995) suosittelevat 500IU E-vitamiiniannosta/eläin 126 päivän ajan ennen teurastusta parantamaan lihan väriä ja värin pysyvyyttä. Wood (2013) antaisi 100 päivää ennen teurastusta 1000 IU E-vitamiinia parantamaan lihan säilyvyyttä.

Perinteisesti lihan väriä on analysoitu kolorimetrillä, joka mittaa värin intensiteettiä. Kolorimetrimittaus perustuu usean mittauskohdan analyysiin, josta muodostetaan keskiarvo. Kolorimetrin haaste on, ettei sillä pysty analysoimaan näytteen värien vaihtelua. Keskiarvotuloksia on lisäksi vaikea tuottaa uudestaan (Mancini & Hunt 2005, Larraín ym. 2008). Valokuvantaminen mahdollistaa lihan värin analysoimisen ilman, että lihaa joudutaan koskemaan tai jauhamaan. Wu & Sun (2013) kuitenkin arvioivat, että kuvien väritulokset ovat vahvasti riippuvaisia kameran käyttäjästä, kameran ominaisuuksista ja väriskaalasta. Samanlaisista näytteistä saatu tulos voisi vaihdella runsaasti (Wu & Sun 2013). Trinderupin ym. (2015) tutkimuksessa käytettiin monispektrianalyysiä. Menetelmän etuna on helppokäyttöisyys ja nopeus. Menetelmä antaisi myös enemmän väri vaihtoehtoja lihan värin arvioimiseen.

## 5. Mahdollisuudet parantaa lihan syöntilaatua ennen teurastusta

Naudanlihan syöntilaadussa on runsaasti vaihtelua. Millerin ym. (2002) mukaan mureuden vaihtelu on Pohjois-Amerikassa keskimäärin 20 %. Alfnesin ym. (2005) tekemässä tutkimuksessa norjalaiset kuluttajat olisivat valmiit maksamaan 50 % enemmän naudanlihasta, jos on tae siitä, että kyseinen tuote on erittäin murea. Tasaisen laadun ja ns. takuumurean tuotteen tarjoaminen kuluttajalle tulisi olla lihateollisuudelle ensiarvoisen tärkeää. Erilaisia toimenpiteitä naudanlihan mureuden takaamiseksi on tehty, mutta laadussa on edelleen liian paljon vaihtelua (Maher ym. 2004).

Petersin (1987) mukaan syöntilaatu järjestelmien rakentamisessa on otettava huomioon seuraavaa:

1. Kaikki tuotantoportaat ovat omistautuneet laadun tavoitteluun. Peters (1987) korostaa, että laadun tavoittelu vaatii omistautuneisuutta. Ei ainoastaan toimintatapaa, jossa asia hoidetaan.
2. Laadun takana on ohjausjärjestelmä tai kriteeristö, joka helpottaa laatua tavoittelevan tuotteen päämääriä. Petersin (1987) mukaan useimmat laatuohjelmat epäonnistuvat, koska ne toimivat ilman intohimoa tuotteeseen tai niillä on intohimo, mutta ei järjestelmällistä menetelmän valvontaa.
3. Laatu mitataan. Laadun mittaamiseen kuuluu, että otetaan selville, kuinka paljon heikkolaatuisen tuotteen tuottaminen maksaa ketjulle. Tuotannon kustannus- ja tulosrakenne on koko ketjun tiedossa.
4. Laadusta palkitaan. Palkitseminen muodostaa positiivisen kierteen, jossa haluttua tuotetta muodostuu markkinoille enemmän. Palkitsemisjärjestelmä tulee muodostaa siten, että laatu järjestelmän päämäärät toteutuvat.
5. Jokaisella tuotantoketjuun kuuluvalla tulee olla mahdollisuus kouluttautua laadun tarkkailuun.
6. Ongelmien ratkaisuun osallistuvat ketjun kaikki osapuolet. Laaja-alainen lähestymistapa luo uusia näkökulmia ja nopeuttaa ongelman ratkaisua.
7. Pienistä onnistumisista palkitaan. Jatkuva kannustaminen auttaa pääsemään eteenpäin haasteellisissa ajankohdissa. Menestyvien järjestelmien takana on yleensä pitkäaikainen, jatkuva paremman onnistumisen toimintakulttuuri.
8. Laatua ei voida saada ilman onnistunutta sisään ostoa, jakelua ja kuluttajaa.
9. Hyvän laadun tavoittelu parantaa tulosta.
10. Parempaan laadun tavoittelu on jatkuvaa. Vapaassa markkinataloudessa laatu ei ole pysyvä käsite. Se muodostuu suhteessa kilpailijoihin. Laatua tulee tavoitella jatkuvasti, jotta se pysyy ensiluokkaisena.

Laatuperusteisissa markkinoissa tulisi kiinnittää huomiota erityisesti siihen, kuinka laajaa on laadun vaihtelu. Laadullinen vaihtelu kertoo keskiarvoa enemmän laadun tasosta (Deming 1994).

### 5.1. Tasaisen syöntilaadun tavoittelemisen

Naudanlihan syöntilaatuun vaikuttavat tuotantotapa, prosessointi (teurastamon toimenpiteet) ja ruuanvalmistaja. Rotu, sukupuoli, ruokinta, käsittely, ympäristöolosuhteet, elopaino ja teurasikä ovat tuotannollisia avaintekijöitä, jotka vaikuttavat tuotteen lopullisiin ominaisuuksiin. Seuraavassa portaassa, eläimen muuttuessa lihaksi, syöntilaatuun vaikuttavat pH, lämpötila, riiputustekniikka, raakakypsytyisaika ja sähkökäsittely. Kuluttajalla on oma tärkeä roolinsa naudanlihan syöntilaadun varmistamisessa. Lihan käsittely ruuanvalmistuksen yhteydessä vaikuttaa olennaisesti lihan syöntilaatuun: mureaksi tuotetusta naudanlihasta voi lautasella muodostua sitkeä pihvi.

### 5.1.1. Teuraspaino, teurasikä, teuraskypsyys, sukupuoli, rotu, perimä, tuotantojärjestelmä, käsittely

Kasvatuksen kesto eli eläinten ikä vaikuttaa eläinten elopainoon, ruhon laatuun, lihan ravintoainesisältöön ja mureuteen (May ym. 1992, Duckett ym. 1993). Suurissa naudanlihantuottajamaissa yleensä kaikki eläimet loppukasvatetaan tavoiteteuraspainoihin ns. feedlot-yksiköissä. Loppukasvatus suoritetaan väkirehuvaltaisella ruokinnalla väkirehutasen ollessa 75–100 %. Loppukasvatusvaiheen keston vaikuttavat eläinten koko ja teurastavoitteet. Yleensä loppukasvatusvaihe kestää 100–240 päivää.

Runsaasti väkirehua sisältävällä loppukasvatusruokinnalla pintarasvan määrä lisääntyy huomattavasti kasvatuksen pidentyessä. Duckettin ym. (1993) tutkimuksessa 84 päivän loppukasvatuksessa teurasruhojen pintarasvan paksuus oli alle 1 cm (0,98 cm). Loppukasvatusajan pidentyessä lähes 200 päivään pintarasvan paksuus nousi yli 2 cm:in (2,11 cm) (Taulukko 9). Marmoroitumisen määrä nousi vastaavasti 19,7 %.

**Taulukko 9.** Ruho-ominaisuuksien kehittyminen kasvatuksen pidentyessä. Dieteissä oli 87,5 % väkirehua. Kokeessa käytettiin angus × hereford-rotuisia eläimiä (Duckett ym. 1993).

Ruokinta-päivät	Marmoroituminen <sup>a</sup>	Pintarasvan paksuus, mm	Selkälihak-sen pinta-ala, cm <sup>2</sup>	Munuais-, vatsaontelo- ja sydänrasva, %	Teuraspaino, kg	Yield grade, USDA
0	254,2	3,05	63,3	1,0	196,6	1,4
28	299,0	4,11	69,8	1,3	236,7	1,7
56	336,0	6,82	78,6	1,5	263,7	1,7
84	372,8	9,78	76,3	1,8	295,8	2,4
112	472,2	14,60	82,8	2,1	327,2	2,9
140	428,3	15,03	85,7	2,4	353,0	3,2
168	471,7	18,20	84,5	2,3	364,7	3,7
196	464,2	21,08	93,2	2,2	417,4	4,0

<sup>a</sup> 200–299 = vain muutamia rasvahiutaleita, 300–399 = erittäin vähän marmoroitumista, 400–499 = hie-man marmoroitumista.

Realinin ym. (2004) tutkimuksessa väkirehuruokinnalla olleiden eläinten selkälihaksesta mitattu rasvasiältö oli kaksinkertainen verrattuna karkearehuvaltaisella ruokinnalla olleisiin eläimiin. Samansuuntaiseen tulokseen on tultu lukuisissa muissakin kokeissa, joissa on verrattu karkearehu- ja väkirehuruokintaa (Taulukko 10). Väki-rehu eläinten dieetissä lisää rasvan osuutta.

**Taulukko 10.** Lihaksen kokonaisrasvanmäärä erilaisilla ruokinoilla.

Eläintyyppi	Ruokinta	Rasvan määrä	Lähde
Alentejano-sonni	Karkearehu 100 %	9,76 mg/g lihaa	Alfaia ym. 2009
	Väkirehu 70 %	13,03	
Risteytyseläimiä	Karkearehu 100 %	2,8 % lihassa	Leheska ym. 2008
	Väkirehu 90 %	4,4	
Angus ja angus × charolais-risteytyshärkä	Karkearehu 100 %	2,86 % marmoroituminen	Garcia ym. 2008
	Väkirehu 0,7 % elopainosta	3,62	
	Väkirehu 1,0 % elopainosta	4,09	
	Väkirehu 100 %	3,85	
Simmental-sonni	Karkearehu 78 %	1,51 % lihassa	Nuernberg ym. 2005
	Väkirehu vapaasti	2,61	
Holstein-sonni	Karkearehu 78 %	2,3 % lihassa	Nuernberg ym. 2005
	Väkirehu vapaasti	2,67	
Risteytyshärkä	Karkearehu 100 %	2,7 % marmoroituminen	Descalzo ym. 2005
	Väkirehu vapaasti	4,7	
Hereford-härkä	Karkearehu 100 %	1,68 % lihaksessa	Realini ym. 2004
	Väkirehu vapaasti	3,18	

Osittain pinta-rasvan lisääntymiseen vaikuttaa eläimen rotutyypin. Jos eläimet teurastetaan samassa teuraskypsyyssasteessa ja teuraspainossa, pintarasvan paksuudessa havaitaan eroja (Greiner 2002) (Taulukko 11). Rodut, joiden ruhoista muodostuu korkeampi teurassaanto, muodostavat vähemmän pintarasvaa ja niiden liha marmoroituu heikommin. Selkälihaksen pinta-ala on yhteydessä ruhon lihassmassan osuuteen ja kokonaislihasaantoon. Tulos muodostuu rotujen välillä erilaiseksi luokitusjärjestelmässä, jotka perustuvat marmoroitumiseen (Taulukko 11).

**Taulukko 11.** Ruho-ominaisuudet eriroduilla runsaasti väkirehua sisältävällä loppukasvatusruokinnalla (>75 % väkirehua useita kokeita) (Greiner 2002).

Rotu	Teuras-paino, kg	Pintarasvan paksuus, cm	Selkälihaksen pinta-ala, cm <sup>2</sup>	Lihasaanto, %	Marmoroi-tuminen <sup>a</sup>	USDA Choise, %
Angus × hereford	320,7	1,6	72,3	67,2	543	70,7
Charolais	338,8	0,9	81,3	70,2	523	58,9
Limousin	302,5	1,0	79,4	71,5	477	43,8
Simmental	315,2	0,9	76,8	70,1	510	63,4

<sup>a</sup> 400 = hieman marmoroitumista = Select USDA, 500 = vähän marmoroitumista = Choise USDA.

Laitumella suoritettu loppukasvatus ei ole ollut tavanomainen tuotantojärjestely suurissa naudanlihan tuotantomaissa. Kiinnostus laitumella kasvatukseen on kuitenkin lisääntynyt johtuen kuluttajien tietoisuudesta ja valinnoista ostopäätöksiä tehdessä. Toinen merkittävä tekijä on kustannukset. Laitumella tuotettu ja syötetty karkearehu on edullisin tapa ruokkia märehijöitä. Laidunkasvatuksen yhtenä haasteena on oikean teurastusajankohdan määrittäminen naudanlihan syöntilaatua korostavissa tuotantojärjestelmissä. Useiden näiden tuotantojärjestelmien teurashinnoittelu on muodostettu tietyn teuraspainon, pintarasvan paksuuden ja marmoroinnin perusteella. Laidunkasvatuksen haasteeksi on muodostunut eläinten riittävä kasvu sekä pintarasvan paksuus ja marmoroituminen. Teuraskypsyys tulisi saavuttaa kohtuullisessa ajassa lihan syöntilaadun heikentymättä (Duckett ym. 2007, 2013).

Duckett ym. (2014) vertasivat eri kokoluokan angus-eläimien teurastuloksia ja lihan laatua laidunruokinnalla. Kokeen hypoteesina oli, että suuremman kokoluokan eläimet eivät saavuttaisi teuraskyp-syyttä samassa ajassa kuin pienemmän kokoluokan eläimet ja niiden teuraslaatu ei olisi yhtä hyvä. Kokoluokan kasvattaminen yhdellä yksiköllä (framescore 3 → 4) paransi teurastulosta vaikuttamatta teuraskyp-syyden saavuttamiseen. Lihanlaatuominaisuudet pysyivät samankaltaisina, koska eläinten teuraskyp-syysikä oli samanlainen (Taulukko 12). Kokeessa käytettyjen eläinten kokoluokka oli kuitenkin huomattavan pieni suomalaisen eläinainekseen verrattuna.

**Taulukko 12.** Kokoluokan vaikutus laitumella tapahtuvaan teuraskasvatukseen tuloksiin (Duckett ym. 2014).

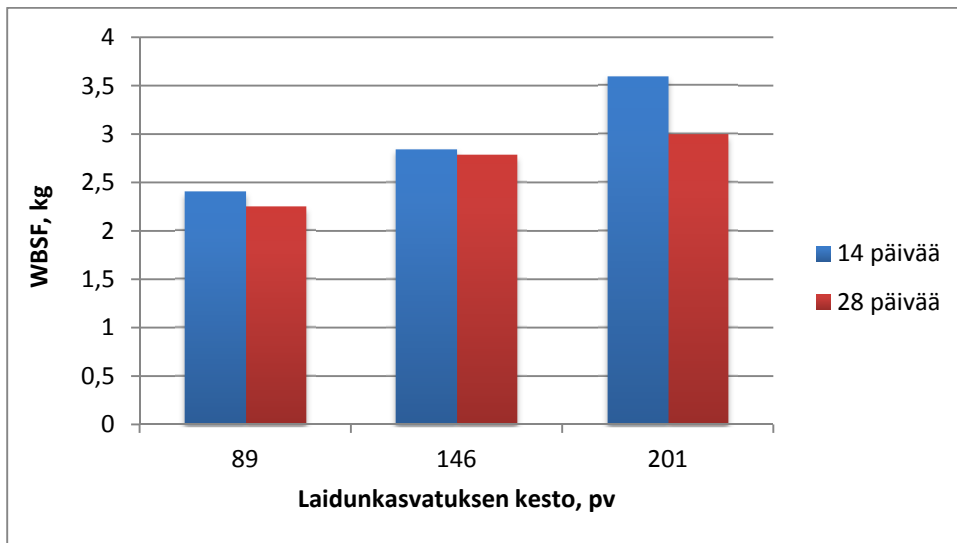
Ruho-ominaisuus	Kokoluokka (Framescore)	
	Pieni	Keskikokoinen
Kpl	46	46
Eläinten ikä, kk	18,5	18,5
Kasvu, kg/pv	1,08	0,98
Takakorkeus, cm	121,5	125,4
Kokoluokka (Framescore)	3,29	4,07
Loppuelopaino, kg	368	392,3
Teuraspaino, kg	213,5	227,5
Pintarasvanpaksuus, cm	0,30	0,27
Selkälihaksen pinta-ala, cm <sup>2</sup>	59,87	65,52
Sisäelinrasva, % (munuais- ja rintaontelo)	0,94	0,79
Marmoroitumisluokka <sup>1</sup>	423	436
Laatuluokka <sup>2</sup>	2,97	3,29
Saantoluokka (Yieldgrade) <sup>3</sup>	1,79	1,73
<b>Sisäfile</b>		
pH	5,63	5,67
L (vaaleus)	39,98	40,19
a (punaisuus)	25,02	24,89
b (keltaisuus)	10,09	10,16
<b>Rasvan</b>		
L (vaaleus)	74,13	74,14
b (keltaisuus)	16,34	15,85

1 Marmoroitumisluokka: 300 = hieman 400 = vähäinen 500 = havaittavissa.

2 Laatuluokka (Quality grade: 2 = Standard+, 3 = Standard-, 4 = Select+, 5=Choise.

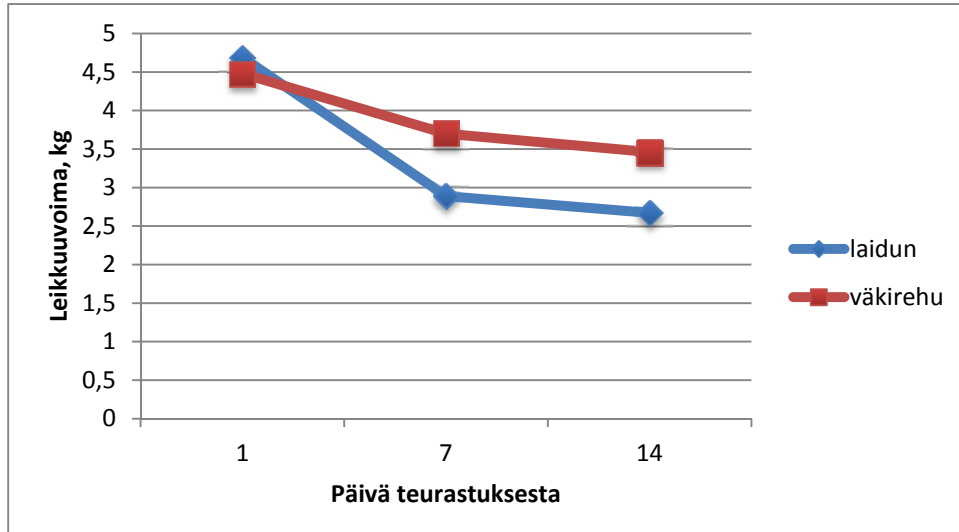
3 Yield grade 1 = paras 5 = heikoin.

Laidunkasvatuksen kesto vaikuttaa lihan syöntilaatuun. Lihan väri on tummempi ja rasvan väri keltaisempi karkearehuvallaisella ruokinnalla olleilla eläimillä kuin väkirehuvallaisella ruokinnalla olleilla eläimillä (Warriss 2010, Hui 2012). Eläinten teurasiän kasvaessa 16,6 kuukaudesta 20,3 kuukauteen lihan väri tummui 4,11 % ja rasvan väri muuttui 13,3 % keltaisemmaksi (Duckett ym 2014). Kasvatuksen pidentyessä ruhojen pintarasvanmäärä nousi 1,55 % ja kokonaisrasvahappojen osuus 1,09 %. Myös n-6/n-3 -rasvahappojen suhde muuttui. Lyhemässä kasvatuksessa n-6/n-3 -suhde oli 1,46 ja pitemmässä 1,37. Kertatydyttymättömien rasvahappojen osuus nousi (33,74 % vs. 35,91 %) ja monitydyttymättömien väheni (9,19 % vs. 5,24 %) kasvatusajan pidentyessä (Duckett ym. 2014). Kasvatusajan pidentyessä lihan mureusominaisuudet heikkenivät, vaikka rasvaisuus lisääntyi. Leikkuuvoimatestissä vaadittava voima lisääntyi 33 % pidemmällä kasvatusajalla. Raakakypsytyksajan pidentäminen vaikutti enemmän pitkään kasvatettujen eläinten mureutusmisprosessiin (Kuva 14) (Duckett ym. 2014).



**Kuva 14.** Laidunkasvatuksen keston vaikutus sisäfileen leikkuuvoimatestin (WBSF) tuloksiin (Duckett ym. 2014).

Karkearehuvaltaisella laidunruokinnalla olleiden eläinten mureutumisprosessi raakakypsytyksessä oli jopa tehokkaampaa kuin väkirehuvaltaisella ruokinnalla olleiden eläinten. Jo seitsemän päivän jälkeen laidunkasvatuksessa olleiden eläinten liha oli mureempaa kuin väkirehuvaltaisella loppukasvatuserhustuksella olleiden eläinten (Kuva 15) (Realini ym. 2004). Frenchin ym. (2000a) tutkimuksen mukaan mureinta lihaa muodostuu kasvatuksessa, jossa yhdistetään laidunnus ja pieni määrä väkirehua (10–15 % dieetin kuiva-aineesta). Liha on tällöin mureinta kaksi päivää teurastuksen jälkeen.



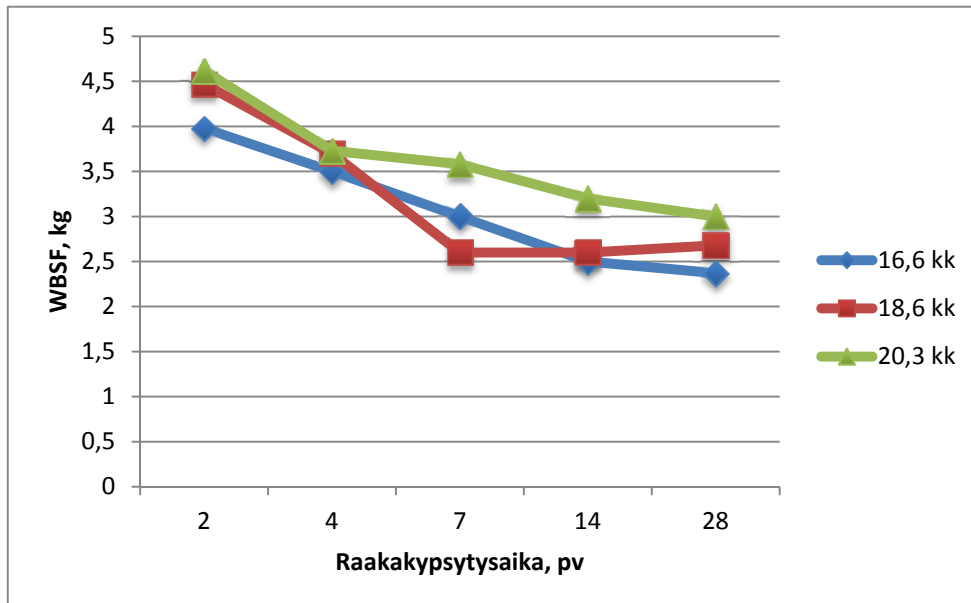
**Kuva 15.** Dieetin vaikutus lihan mureuteen ensimmäisen kahden viikon aikana (Realini ym. 2004).

#### Fysiologinen ikä

Eläimen ikä on yhdistetty lihan syöntilaatuun. Syöntilaatu heikkenee eläimen ikääntyessä. Sonneilla siidekudoksen määrä lihassa voi lisääntyä merkittävästi jo 24 kuukauden iässä ja hiehoilla noin 36 kuukauden iässä (Phillips 2009, Warriss 2010, Hui 2012). Yleisenä ohjeistuksena kuitenkin pidetään 42 kuukauden ikää, jonka jälkeen lihan laatu on heikompaa (sitkeämpää ja väri tummempaa) kummallakin sukupuolella (Field 2007, Hui 2012).

Eläimen kasvatusaika vaikuttaa mureutumiseen. Lyhyemmällä kasvatusajalla leikkuuvoimatestissä vaadittava voima vähenee raakakypsytyksajan edetessä. Pidemmässä kasvatuksessa väheneminen ei ole yhtä suoraviivaista ja eläinten välinen hajonta mureusominaisuuksissa lisääntyy (Kuva 16) (Duckett ym.

2014). Leikkuuvoimatestin tulos voi johtua lisääntyneestä sidekudoksen määrästä ja sidekudokseen muodostuneista ristsidoksista. Duckettin ym. (2007) tutkimuksessa havaittiin, että laitumella tapahtuvassa loppukasvatuksessa kollageenin määrä lisääntyi enemmän kuin väkirehuvaltaisessa loppukasvatuksessa. Liukenevan kollageenin määrä pysyi kuitenkin kummallakin dieetillä samanlaisena.



**Kuva 16.** Kasvatusaika (teurasikä 16,6, 18,6 ja 20,3 kk) vaikuttaa mureuteen (Duckett ym. 2014).

Eläinten terveysstatus vaikuttaa lihan ominaisuuksiin. Terveysongelmat ja runsas sairastuvuus voivat vaikuttaa lihaksien kasvuun. Lihakset voivat surkastua ja lihaskudos voi ääritapauksissa korvautua rasvakudoksella. Lihaksista menetetään tärkeitä aminohappoja sairauksien ja stressaavien olosuhteiden yhteydessä, jolloin teurasominaisuudet yleensä aina heikkenevät. Samoin voi tapahtua erittäin vakavissa traumaperäisissä lihasvaurioissa. Lihasta hermottavien hermojen vaurioituessa lihaskudos korvautuu side- ja rasvakudoksella (Andrews ym. 2004, Warriss 2010). Sairastaneen ja/tai pitkäaikaista stressiä kärsineen eläimen liha ei ole mureusominaisuksiltaan ensiluokkaista (Cottle & Kahn 2014).

Liikunta lisää lihaskudoksen kasvua ja vähentää rasvaisuutta. Lihan ravintoainekoostumukseen tai syöntilaatuun liikunnalla ei ole osoitettu olevan vaikutusta (Hui 2012, Kerth 2013).

#### *Kivennäis- ja hivenaineruokinnan vaikutus lihan laatuun*

Magnesiumlisä voi vaikuttaa positiivisesti eläinten stressinsietoon ja parantaa lihan laatua (Dunshea ym. 2005). Magnesiumin saanti nostaa lihashermopäätteiden aktivointikynnystä ja vaimentaa glukokortikoidien ja katekolamiinien eritystä (Suttle 2010). Merinolampailla magnesium (MgO) -lisä vähensi glykoogenin menetystä ennen teurastusta, jolloin lihan pH lasku oli tehokkaampaa (Gardner ym. 2001). Toisaalta Lowe ym. (2002) ja Apple ym. (2000) eivät saaneet magnesiumlisällä merkittäviä vaikutuksia lihan laatuun. Nautojen osalta tutkimusta aiheesta on hyvin rajoitetusti.

Ennen teurastusta dieetissä annettujen elektrolyyttien on osoitettu parantavan ruhosaahtoa. Lihan laatuun, pH:n laskuun, lihan väriin tai vedensidontakykyyn elektrolyyteillä ei ole pystytty osoittamaan olevan vaikutusta (Schaefer ym. 1990). Nutricharge<sup>®</sup> on kaupallinen tuote, jonka on osoitettu parantavan ruhon laatua ja vähentävän tervalihan esiintymistä (Schaefer ym. 1997). Jeremiah ym. (1992) eivät havainneet eroja elektrolyyttiä saaneiden sonnien lihan aistinvaraisessa laadussa. Parker ym. (2003) kyseenalaistavat elektrolyyttien hyödyllisyyden. Heidän mielestään hyvälaatuinen juomavesi riittää pitämään yllä nautojen elektrolyyttitasoa.

*Rotu ja sukupuoli*

Rodun vaikutus lihan syöntilaatuun ei ole yksiselitteinen. Eläinten ominaisuudet vaihtelevat, mutta myös ruokinnat. Tutkimuksellinen asetelma on usein hyvin moninainen. Perimä vaikuttaa siihen, missä ajassa eläin saavuttaa aikuiskoon. Toisaalta rotu vaikuttaa myös eri kudoksien osuuteen ja suhteeseen. Rotu vaikuttaa lihastyyppiin, proteylyyttisiin entsyymeihin (kalpaiini-kalpastaatiini), liukenevan kollageenin määrään, lihan pH:n ja lihaksen sisäisen sidekudoksen (perimysium) paksuuteen (Brooks & Savell 2004, Stolowski ym. 2006, Lefaucheur 2010). Jos kaikki muut tuotanto-olosuhteet vakioidaan, rotu voi selittää syöntilaadullisista (ennen kaikkea lihan mureuden) eroista noin 12 % (Wood 2013, MLA 2014, Tait ym. 2014b).

USDA Clay Center Nebraskassa toimii lihantuotannon tutkimuskeskuksena (Meat Animal Research Center) Yhdysvalloissa. Clay Centerissä on tehty pitkäaikaisimmat tutkimukset liharotuisilla naudoilla ja näiden risteytyksillä. Järjestelmällinen rotu- ja risteytystutkimus alkoi 1970-luvulla. Tutkimus on perustunut tuotannossa yleisesti käytettyihin rotuihin ja näiden yhdistelmiin. Emorotuna on joko angus, hereford tai MARC III-yhdistelmärotu. Näillä emoilla on käytetty eri rotuisia sonneja. Lihan laadullisten ominaisuuksien tulokset (paremmuudet tai heikkoudet) eivät ole olleet yhtenäisiä, vaikkakin tuloksissa mm. lihan mureuden osalta on havaittavissa pieni tendenssi anguksen ja herefordin eduksi (Tatum 2006). Lihan laadulliset vaikutukset ovat pieniä, ja niillä ei voida selittää ns. valtarotujen käyttöä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa luokitusjärjestelmässä käytetty marmoroituminen suosii angusta ja herefordia. On kuitenkin huomioitava, että marmoroituminen on heikko mureuden arviointi peruste (Wood 2013, Grasey 2014).

Homer ym. (1997) tutkivat eri isärotujen vaikutusta maitorotuemien jälkeläisten lihan syöntilaatuun. Pihvien osalta rotueroja ei pystytty todistamaan. Paisteissa belgian sininen tuotti isärotuna mu-reimmat paistit. Tutkijoiden loppupäätelmä oli, ettei rotuyhdistelmä ollut merkittävä tekijä lihan syönti-laadun osalta. Groth ym. (1999) saivat samansuuntaisen tuloksen, jossa belgian sininen × maitorotusonnit tuottivat mureampaa lihaa kuin angus × maitorotusonnit tai charolais × maitorotusonnit. Meille tyy-pillisemmistä roduista angus × maitorodun tulokset mureuden osalta olivat tässä tutkimuksessa parempia kuin charolais × maitorodun tulokset.

Sinclair ym. (2001) vertasivat puhdasrotuisten angus-, charolais- ja maitorotuisten härkien lihan syöntilaatuominaisuuksia. Anguksen lihan mureusominaisuudet olivat hieman parempia kuin holstein-härkien. Charolais-härkien mureusominaisuudet olivat taas parempia kuin holstein-härkien. Matthews ym. (2011) mukaan liharotuisten eläinten mureusominaisuudet ovat keskimäärin parempia kuin maitorotuis-ten eläinten.

Emoroduilla, erityisesti anguksella, lihaksen sisäisen rasvan kerääntyminen on suurempaa kuin muil-la kaupallisilla roduilla (Hui 2012). Emorotu vaikuttaa myös risteytyksessä lisäämällä marmoroitumisen määrää. Angus-risteytyssonnien lihaksen sisäisen rasvan osuus oli 28,5 % korkeampi samassa teurasiässä kuin charolais-risteytyssonnien (2,96 vs. 2,12 %) (Maltin ym. 1998). Nuernbergin ym. (2005) tutkimuk-sessa holstein-sonneilla oli korkeampi marmoroitumisen määrä karkearehuvallaisella ruokinnalla verrat-tuna simmental-sonneihin (2,30 vs. 1,51 %). Samassa kokeessa verrattiin myös vapaan väkirehuruokin-nan vaikutusta lihaksen sisäiseen rasvan määrään. Vapaalla väkirehuruokinnalla marmoroitumisen mää-rä oli roduilla samanlainen (2,67 vs. 2,61 %) (Taulukko 13). Tuloksissa arvioitiin eläinten kohtuullisen hitaan kasvun ja erilaisen valmistustavan vaikuttavan kokeen korkeisiin leikkuuvastetuloksiin. Valmistetun lihan sisälämpötila oli 160 °C.

Wulfin ym. (1996) ja Maherin ym. (2004) tutkimuksien mukaan rodulla ei ollut mitään vaikutusta li-han leikkuuvasteeseen (WBSF). Rotujen sisäinen vaihtelu eli yksilöominaisuuksien erot lihan laadussa ovat usein suuremmat kuin rotujen väliset erot. Dikemann ym. (2005) havaitsivat tilastollisesti merkitse-västi vaihtelua rodun sisällä ja rotujen välillä selkälihaksen leikkuuvasteessa. Tutkimuksen tuloksena oli, että 20–25 % loppukasvatettavista naudoista tuottaa leikkuuvasteeltaan sitkeää lihaa. Näiden eläinten lihan mureusominaisuuksia voidaan parantaa sähkökäsitteilyllä, neulamureutuksella tai pidentämällä raakakypsytyksiaikaa yli 14 päivän. Marmoroitumisen huomioon ottaminen jalostusvalinnassa vähensi lihan sitkeyttä useilla roduilla. Marmoroitumisen osalta jalostusarvojen arvosteluvarmuus (Pohjois-

Amerikka) on riittävän tarkka anguksella, simmentalilla ja herefordilla, jotta ominaisuudesta on hyötyä. Marmoroituminen on syöntilaadullisesti yhteydessä mureuteen ja mehukkuuteen (Dikemann ym. 2005).

**Taulukko 13.** Holstein (Hol) ja simmental-sonnien (Si) lihanlaadulliset ominaisuudet kahdella erilaisella ruokinnalla (Nuernberg ym. 2005).

Ruokinta	Väkirehu vapaasti		Karkearehuvaltainen (78 %)		Merkitsevyys, $p < 0,05$		
	17	16	16	15	Rotu	Ruokinta	Rotu × Ruokinta
Eläinmäärä							
Rotu	Hol	Si	Hol	Si			
Elopaino, kg	620	623	624	620			
Ikä, pv	594	495	732	680	**	**	**
Marmoroituminen, %	2,67	2,61	2,30	1,51		**	
pH	5,76	5,85	5,91	5,72			**
Väriin vaaleus (L*)	33,08	35,78	29,25	32,20	**	**	
Leikkuuvaste, kg raaka- kypsytyks 12 päivää	11,06	13,17	14,34	15,87	**	**	

Allais ym. (2014) mukaan ranskalaisilla roduilla lihaksen sisäisen rasvan määrä on huomattavan vähäinen. Charolais-rodulla keskimäärin 1,53 %, limousin-rodulla 1,18 % ja blonde d'Aquitaine-rodulla alle yhden prosentin. Leikkuuvoimassa charolais-rotu saavuttaa keskimäärin 7 % alhaisemmat arvot kuin limousin- ja blonde d'Aquitaine-rodut. Limousin-rodun lihan väri on 5,6 % vaaleampaa kuin charolais-rodun ja 0,9 % vaaleampaa kuin blonde d'Aquitaine-rodun (Taulukko 14) (Allais ym. 2014).

**Taulukko 14.** Rodun vaikutus lihan syöntilaatuominaisuuksiin ranskalaisilla roduilla (Allais ym. 2014).

Rotu	Charolais		Limousin		Blonde d'Aquitaine	
	Kpl	Keskiarvo	Kpl	Keskiarvo	Kpl	Keskiarvo
Ominaisuus						
Lihaksen sisäinen rasva, %	1114	1,53	1254	1,18	981	0,56
Väriin vaaleus, L*	1114	34,75	1253	32,79	979	33,08
Leikkuuvoima (WBSF), N/cm <sup>2</sup>	1114	38,09	1252	40,98	977	40,54
Mureusarvo, /100	1113	62,42	1241	58,74	970	61,40

Rotu vaikuttaa lihassolutyyppeihin. Vaikutus säilyy risteytseläimissä. Charolais-risteytyssonneilla oli nopeasti supistuvia glykolyttisiä lihassoluja 5 % enemmän kuin angus-risteytyssonneilla (54,3 vs. 49,3 %). Oksidatiivisten, hitaampien lihassolujen osuus oli päinvastainen. Angus-risteytyssonneilla näiden osuus oli 3 % korkeampi kuin charolais-risteytyssonneilla (18,9 vs. 15,8 %) (Maltin ym. 1998). Lihan mureusominaisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi korreloituneet oksidatiivisten lihassolujen lukumäärän kanssa ( $r=0,48$ ;  $p < 0,01$ ). Nopeiden lihassyiden ja mureuden välinen korrelaation oli negatiivinen ( $r=-0,38$ ;  $p < 0,05$ ) (Maltin ym. 1998).

Lihan väri on osittain rotuvaikutteinen ominaisuus. Maitorotuisten liha on väriltään hieman vaaleampaa kuin liharotuisten (Nuernberg ym. 2005, Huuskonen ym. 2010a,b). Poikkeuksena voi olla limousin ja blonde d'Aquitaine, joiden lihan väri voi olla hyvin vaaleaa (Allais ym. 2014). Brittiläisten liharotujen lihan väri on yleensä aina tummempaa kuin ranskalaisten liharotujen (Huuskonen ym. 2010b, Huuskonen 2012). Maltin ym. (1998) tutkimuksessa rodun vaikutus säilyi samansuuntaisena käytettäessä eri rotutyyppejä risteytykseen. Angus-risteytyssonnien liha oli tummempaa kuin charolais-risteytyssonnien (39,9 vs. 35,9). Archile-Contreras ym. (2010) eivät havainneet liukenevan kollageenin määrässä eroja angus- ja hereford-rotujen välillä.

Rodun vaikutus mureutumistapahtuman nopeuteen on melko pieni. Jersey-eläinten liha mureutui 3 % nopeammin kuin limousin-eläinten liha 26 päivän aikana (Chang ym. 2014). Angus-rodun vaikutus risteytseläinten lihan mureutumistapahtuman pituuteen on kuitenkin ollut selvä useassa eri tutkimuksessa. Mitä enemmän eläinten perimässä on ollut angus-rotua (1/4,1/2,3/4), sitä enemmän mureutus aika on lyhentynyt. Lisäksi liukenevan kollageenin osuus on ollut 3–10 % korkeampi angus-rodun osuuden

lisääntyessä. Toisaalta leikkuuvoimatestin tulokset ovat olleet raakakypsytyksen alkaessa jo 5–10 % matalampia (Brooks & Savell 2004, Stowlowski ym. 2006). Rodun sisäinen vaihtelu syöntilaadussa oli runsasta isoja dataja käsiteltäessä. Marmoroitumisen osalta ranskalaisten rotujen rodun sisäinen vaihtelu oli 40 %. Mureuden osalta leikkuuvoimatestillä arvioitaessa rodun sisäinen vaihtelu oli 18–26 % ja kuluttajapaneelin arvioimana rodun sisäinen vaihtelu oli noin 15 %. Lihan värin osalta rodun sisäinen vaihtelu oli 10 % (Allais ym. 2014).

Ominaisuuksien periytyvyys vaihtelee rotujen välillä jonkin verran (Taulukot 15–18). Syöntilaatuun vaikuttavien tekijöiden periytyvyys on pääsääntöisesti keskinkertaista ( $h^2 = 0,1–0,24$ ). Charolais-rodulla kuitenkin havaittiin keskimääräistä korkeampi periytyvyys marmoroitumisen ja mureuden osalta ( $h^2 = 0,44–0,50$ ) (Allais ym. 2014).

Lihan syöntilaatuun vaikuttavat mm. ruhon käsittely, analysoitu lihas ja arvioivan paneelin subjektiivinen mielipide. Syöntilaatuun vaikuttavien ominaisuuksien periytyvyyden on yleensä ilmoitettu olevan keskinkertaista. Mateescu (2014) arvioi mureuden periytyvän keskinkertaisesti ( $h^2 = 0,06–0,46$ ) ja mehukkuuden hieman heikommin ( $h^2 = 0,0–0,46$ ). Mateescu ym. (2015) arvioi sidekudoksen määrän periytyvyyden olevan angus-rodulla samalla tasolla kuin lihan syöntilaadullisten ominaisuuksien (Taulukko 18).

**Taulukko 15.** Syöntilaatuun vaikuttavien ominaisuuksien periytyvyys (lihavoitu), geneettinen korrelaatio (punainen) ja mitatun ominaisuuden korrelaatio (sininen) charolais-rodulla (Allais ym. 2014).

	Marmoroituminen	Väri (kirkkaus)	Leikkuuvoima	Mureus
Marmoroituminen	<b>0,44</b>	-0,12	-0,36	0,27
Väri (vaaleus)	0,01	<b>0,15</b>	-0,22	0,13
Leikkuuvoima	-0,05	-0,08	<b>0,24</b>	-0,91
Mureus	0,03	0,03	-0,43	<b>0,5</b>

**Taulukko 16.** Syöntilaatuun vaikuttavien ominaisuuksien periytyvyys (lihavoitu), geneettinen korrelaatio (punainen) ja mitatun ominaisuuden korrelaatio (sininen) limousin-rodulla (Allais ym. 2014).

	Marmoroituminen	Väri (kirkkaus)	Leikkuuvoima	Mureus
Marmoroituminen	<b>0,23</b>	0,04	0,50	-0,24
Väri (vaaleus)	0,08	<b>0,10</b>	0,35	-0,06
Leikkuuvoima	-0,05	-0,04	<b>0,22</b>	-0,19
Mureus	0,00	0,00	-0,34	<b>0,12</b>

**Taulukko 17.** Syöntilaatuun vaikuttavien ominaisuuksien periytyvyys (lihavoitu), geneettinen korrelaatio (punainen) ja mitatun ominaisuuden korrelaatio (sininen) Blonde D'Aquitaine-rodulla (Allais ym. 2014).

	Marmoroituminen	Väri (kirkkaus)	Leikkuuvoima	Mureus
Marmoroituminen	<b>0,19</b>	0,16	-0,61	0,38
Väri (vaaleus)	0,08	<b>0,23</b>	-0,13	0,34
Leikkuuvoima	-0,03	-0,20	<b>0,23</b>	-0,86
Mureus	0,00	0,12	-0,36	<b>0,21</b>

**Taulukko 18.** Syöntilaatuun vaikuttavien ominaisuuksien periytyvyys, geneettinen ja mitatun ominaisuuden varianssi angus-rodulla (Mateescu ym. 2015).

	Geneettinen	Fenotyyppinen	Periytyvyys ja vaihteluväli
Marmoroitumislukka	0,61	0,30	0,67 ± 0,08
Lihaksen sisäisen rasvan osuus, %	1,29	2,13	0,38 ± 0,07
Leikkuuvoima, kg	0,07	0,03	0,19 ± 0,05
Aistinvarainen mureus	0,05	0,24	0,18 ± 0,06
Mehukkuus	0,01	0,20	0,06 ± 0,04
Sidekudoksen määrä	0,07	0,21	0,25 ± 0,07

1. Geneettinen korrelaatio ominaisuuksien välillä ilmaisee seuraavan asian (Mateescu ym. 2015):
2. Jos jalostuksellista valintaa suoritetaan yhden ominaisuuden perusteella, myös korreloitunut ominaisuus muuttuu korrelaation suhteessa ja suunnassa.

Esimerkiksi lihaksen sisäisen rasvan prosentuaalinen osuus korreloi positiivisesti marmoroitumislukuan (0,72), aistinvaraisen mureuden (0,56), mehukkuuden (1,00), sidekudoksen määrän (0,50) kanssa. Lihaksen sisäisen rasvan osuus korreloi negatiivisesti leikkuuvoiman (-0,47) kanssa (Taulukko 19). Marmoroitumislukua, aistinvarainen mureus, mehukkuus ja sidekudoksen määrä lisääntyy ja leikkuuvoima vähenee, jos eläinten jalostusvalintaa suoritetaan lihaksen sisäisen rasvan prosentuaalisen osuuden mukaan.



Kuva: Markku Honkavaara.

**Taulukko 19.** Angus-rodun syöntilaatuun vaikuttavien ominaisuuksien geneettinen korrelaatio ja geneettisen korrelaation vaihteluväli (Mateescu ym. 2015).

Ominaisuus	Marmoroitumisloukka	Lihaksen sisäinen rasva	Leikkuuvoima	Aistinvarainen mureus	Mehukkuus	Sidekudoksen määrä
Marmoroitumisloukka		1,0 (0,01)	-0,50 (0,12)	0,57 (0,14)	1,00 (0,17)	0,49 (0,13)
Lihaksen sisäisen rasvan osuus, %	0,72 (0,01)		-0,47 (0,14)	0,56 (0,16)	1,00 (0,21)	0,50 (0,15)
Leikkuuvoima, kg	-0,23 (0,02)	-0,23 (0,02)		<b>-0,99 (0,08)</b>	-0,33 (0,30)	<b>-0,99 (0,07)</b>
Aistinvarainen mureus	0,21 (0,03)	0,23 (0,03)	-0,58 (0,02)		0,54 (0,28)	<b>1,00 (0,02)</b>
Mehukkuus	0,23 (0,02)	0,27 (0,02)	-0,11 (0,02)	0,31 (0,02)		0,58 (0,26)
Sidekudoksen määrä	0,17 (0,03)	0,19 (0,02)	-0,55 (0,02)	<b>0,92 (0,0)</b>	0,22 (0,02)	

Mateescun ym. (2015) tutkimuksessa havaittiin, että angus-rodulla fenotyyppinen korrelaatio marmoroitumisasteen ja aistinvaraisten arvioiden (mureus ja mehukkuus) välillä oli heikko. Leikkuuvaste osoittautui tässä tutkimuksessa parhaaksi objektiiviseksi syöntilaadun arviointiperusteeksi. Aistinvaraisessa arvioinnissa sidekudoksen määrä korreloi myös vahvasti koettuun mureuteen. Tutkijoiden mukaan leikkuuvaste olisi erinomainen jalostusindeksin kohde, jolla pystyttäisiin parantamaan lihan syöntilaatua. Tällä hetkellä marmoroitumisloukka vastaa kuitenkin lihan syöntilaadun parantamistarkeitä kohtuullisesti angus-rodulla (Mateescu ym. 2015) (Taulukko 19).

Sukupuoli on vaikuttanut tutkimuksissa vaihtelevasti lihan syöntilaatuominaisuuksiin. Yleensä naaraspuoliset eläimet ovat aina mureampia kuin urospuoliset eläimet ja nuoremmat eläimet mureampia kuin vanhemmat (Hedrick & Krause 1975). Maher (2003) havaitsi, että hiehojen lihan mureusominaisuudet vaihtelivat enemmän kuin härkien. Tosin tutkijat epäilivät, että vaihtelu liittyi eläinten laajaan ikähaarukkaan. Purchasin ym. (2002) tutkimuksessa sonnien lihan mureusominaisuudet olivat heikompia kuin härkien. Woodin (2013) mukaan eurooppalaisessa tuotantomuodossa nuorien sonnien on osoitettu tuottavan syöntilaadultaan hyvää lihaa, jos otetaan huomioon kaksi tekijää:

1. sonnien ikä tulee rajoittaa 16 kuukauteen
2. raakakypsytykseen tulee kiinnittää erityisesti huomiota (pidennetty aika, erilainen tekniikka)

Ikä vaikuttaa heikentävästi naudanlihan syöntilaatuun (Harper 1999). Eläinten ikä ei ollut vaikuttavana tekijänä kollageenin määrään tai liukenevuuteen Fieldin ym. (1997) tutkimuksessa. Hiehojen iät olivat 31 ja 35 kuukautta. Onkin todennäköistä, että naaraspuolisten eläinten kollageeni pysyy liukenevana pitempää kuin urospuolisten eläinten. Euroopassa suurin osa loppukasvatettavista naudoista teurastetaan alle 30 kuukauden iässä. Ikä voi olla lihan syöntilaatua heikentävä tekijä sonneilla mutta harvemmin hiehoilla (Wood 2013).

#### *Luonne ja käsittely*

Nautojen luonteen erot tulevat eniten esille tilanteissa, joihin eläimet eivät ole totuneet (Ferguson & Warner 2008). Uudet tilanteet nostavat eläinten stressitasoa. Stressi aiheuttaa fysiologiaa muuttavia eläimessä. Akuutti stressi nostaa elimistön kortisolin ja adrenaliinin määrää. Pitkittyessään stressi heikentää eläimen hyvinvointia ja terveyttä. Pelko on olennainen osa stressireaktion syntymistä (Price 2008).

Kortisoli koordinoi elimistön reaktioita stressiä vastaan. Kortisoli vaikuttaa sekä proteolyyysiin että proteiinisynteesiin. Kortisoli vaikuttaa myös entsyymeihin, jotka ovat yhteydessä glukoneogeneesiin (Lawrence ym. 2012). Voisinet ym. (1997) ja Curley ym. (2006) raportoivat käsittelytilanteessa hermostuneiden eläinten kortisolitasojen olevan korkeampia kuin rauhallisten eläinten. Stressireaktiot aiheuttavat glukogeenin vapautumisen maksasta, jotta verensokeri saadaan nousemaan tehokkaasti. Normaali verensokerin säätelyjärjestelmä (insuliini, glukagoni) on stressireaktioissa häiriinty-

nyt. Luonnearvion (ärsyntyvä vs. rauhallinen) yhteys stressimetaboliaan on todistettu useissa eri tutkimuksissa (Fell ym. 1999, King ym. 2006).

Kuljetus ja käsittely voivat vaikuttaa lihan laatuominaisuuksiin. Tavanomaista enemmän stressaantuneiden eläinten lihasten glykogeenitasot ovat teurastuksen jälkeen alhaisia (Sanz ym. 1996). Alhainen glykogeenitaso hidastaa ja jopa estää pH:n riittävän laskun hyvälaatuisen lihan syntymiseksi (Devine ym. 2006). Villarroel ym. (2003) havaitsivat, että keskinkertainen kuljetuksen kesto (n. 3 h) lisäsi lihan aistinvaraisen arvion miellyttävyyttä verrattuna erittäin lyhyeen (alle 30 min) tai hyvin pitkään (yli 6 h) matkaan verrattuna. Varsinkin herkästi stressaantuvien ja hermostuneiden eläinten käsittely tulisi minimoida ennen teurastusta. Ennen teurastusta eläinten tulisi saada levätä riittävän pitkään (Cottle & Kahn 2014).

Varhaisissa tutkimuksissa on havaittu yhteys eläimen veren maitohappopitoisuuksissa ja käsiteltävyydessä. Holmes ym. (1973) havaitsivat, että helpommin hermostuneiden eläinten veren perusmaitohappopitoisuudet olivat korkeampia kuin rauhallisten, käsittelyyn suostuvaisten eläinten. Maitohapon määrä lihaksessa vähentää oksidatiivista metaboliaa. Korkeampi maitohappopitoisuus yhdistettynä, lihaksen alhaiseen glykogeenitasoon voi olla merkittävänä tekijänä sitkeän lihan esiintymisessä. Kohlbeck (2013) yhdisti veren maitohappopitoisuuden, eläinten luonteen, myofibrillien hajoamisen ja leikkuuvasteen. Hänen tuloksissaan nopeammin kasvaneiden eläinten liha vaati vähemmän leikkuuvastetta. Luonteen ja veren maitohappopitoisuuden välillä havaittiin pieni, mutta merkitsevä yhteys. Johtopäätöksenä oli, että maitohappopitoisuuden mittaaminen voisi tuoda mahdollisuuksia mureaa lihaa tuottavien eläinten yksilöinnissä yhdistettynä esimerkiksi käsittelyhäkkikäyttäytymistulokseen.

Café ym. (2010) yhdistivät rauhallisemman luonteen parempiin syöti-, kasvu- ja teurasominaisuuksiin verrattuna hermostuneisiin eläimiin. Fergusonin & Warnerin (2008) tutkimuksessa rauhallisemmilla eläimillä oli korkeampi kokonaistuottavuus kuin hermostuneemmilla eläimillä. Rauhallisemmilla eläimillä on yleensä myös parempi rehuhyötysuhde (Hill 2012). Luonne voi vaikuttaa merkittävästi lihan mureusominaisuuksiin (Phillips 2009, Warriss 2010). Voisinetin ym. (1997) mukaan mureusominaisuudet heikkenevät ja leikkuuvaste kasvaa merkittävästi, kun eläimillä on heikko luonnearvio verrattuna paremman luonnearvion saaneisiin eläimiin. Erot ovat havaittavissa vielä 14 päivän raakakypsytyksen jälkeen (Voisinet ym. 1997).

Maitorotuisilla sonneilla ei havaittu eroja luonteen ja ryhmän sosiaalisen aseman sekä ruho- ja lihanlaatuominaisuuksien välillä (Partida ym. 2007). Käyttäytyminen ja ruhon ruhjeet ovat kuitenkin hyvin vahvasti yhteydessä keskenään. Hermostuneilla eläimillä ruhon ruhjeet ja hylkyjen osuus ovat merkittävästi suuremmat kuin rauhallisemmilla eläimillä (Voisinet ym. 1997, Ferguson & Warner 2008, Phillips 2009, Café ym. 2010, Warriss 2010, Hill 2012).

Tilalla hermostuvat eläimet ovat myös teurastamossa herkemmin hermostuvia. Hermostuneiden eläinten käsittely voi aiheuttaa teurastamossa vaaratilanteita, mutta se lisää myös henkilökunnan stressin tasoa (Ferguson & Warner 2008). Hermostuneiden, vastahankaisten eläinten käsittelyyn käytetään herkemmin sähköpiiskaa (Warner ym. 2007). Teurastamossa aiheutunut stressi vaikuttaa eläinten lihan laatuun. Ennen teurastusta tapahtuva asiallinen käsittely on ensiarvoisen tärkeää eläinten stressin kannalta. Hyvät, sujuvat käsittelytilat ja kulkemista helpottavat ajokujat teurastamossa vähentävät ylimääräisen voimankäytön tarvetta eläinten liikuttamisessa. Eniten eläinten stressitasoa laskeva tekijä on kuitenkin osaava henkilökunta (Grandin 2003, Ferguson & Warner 2008).

Eläinten käyttäytymistä voidaan arvioida erilaisilla menetelmillä mm. käsittelyhäkkikäyttäytymisellä (Grandin 1993, Voisinet ym. 1997) tai sillä, kuinka nopeasti eläin lähtee käsittelyhäkistä (Burrow ym. 1988). Eläimet tottuvat käsittelyyn, joten ensimmäinen käsittelymittaus antaa yleensä luonteesta luotettavimman tuloksen (Behrends ym. 2009). Eri menetelmien arvioita eläinten käyttäytymisestä voidaan käyttää jalostuvalinnassa. Parempi luonteiset, helpommin käsiteltävät ja vähemmän pelokkaat eläimet ovat eläinten hyvinvointia lisäävä sekä teollisuuden työturvallisuutta ja lihan laatua parantava tekijä (Ferguson & Warner 2008). Menetelmien antamien tulosten periytyvyys on keskinkertaista ( $h^2 = 0,35-0,47$ ) (Curley ym. 2006). Fenotyyppinen korrelaatio eläinten luonteen ja lihan mu-

reuden (WBSF) välillä on kiistaton (0,3–0,4). Jalostusvalinta rauhallisemman luonteen puolesta johtaa mureampaan lihaan (Reverter ym. 2003, Kadel ym. 2006). Eläinten hyvä hoito ja käsittely ovat keskeisiä asioita myös naudanlihan syöntilaadun tavoittelussa. Rauhallisen ja johdonmukaisen käsittelyn on osoitettu vaikuttavan eläinten terveyteen ja tuottavuuteen. Myös kuluttajien tietoisuus eläinten kohtelusta on lisännyt vaatimusta eläinten asianmukaiseen kohteluun ennen teurastusta.

#### *Luokittuminen ja rasvaluokka*

EUROP-luokitusjärjestelmä suosii lihakkaita ja vähärasvaisia ruhoja. Lihakkaampien eläinten lihakset ovat suurempia kuin heikosti luokittuvien eläinten. Isommat lihakset altistuvat vähemmän kylmäsupistumiselle kuin pienemmät lihakset, varsinkin eurooppalaisessa tuotannossa, jossa pintarasvan paksuus on alhainen. Lihan syöntilaadun kannalta O+ on alhaisin hyväksyttävä luokka brittiläisissä tutkimuksissa (Wood 2013). Paremmiin luokittuvien ruhojen lihaksien sidekudoksen määrä on yleensä pienempi, koska lihaksisto on suhteessa suurempi. Tällöin lihan ns. taustavastus muodostuu alhaisemmaksi (Bouton ym. 1978). Lisäksi hylkäämällä syöntilaatuluokkajärjestelmistä heikommin luokituttavat ruhot voidaan epäsuorasti vaikuttaa heikosti kasvaneiden osuuden pienentämiseen. Tämä joukko eläimiä on voinut olla heikolla ruokinnalla ja/tai ne ovat voineet jostain syystä kärsiä terveysongelmista (Wood 2013).

Brittiläisten tutkimusten mukaan vähärasvaiset ruhot tuottavat syöntilaadultaan hieman heikompa lihaa. Alle EUROP- rasvaluokka 3 ruhoja ei tulisi huomioida syöntilaatua määrittävissä järjestelmissä (Wood 2013). Vähäinen lihaksen sisäinen rasvamäärä aiheuttaa helpommin kuluttajan yleisimpiä heikkenemisen myös mureuden ja mehukkuuden osalta (Wood 2013, Corbin ym. 2015). Denoyelle (1995) osoitti, että lihaksen sisäisen rasvan osuus tulisi olla 4 % *longissimus lumborum*-lihaksessa parhaan syöntilaadun osalta. Muissa tutkituissa lihaksissa ei havaittu yhtä suurta vaikutusta. Matala marmoroituminen on useilla roduilla yhdistettävissä matalaan pintarasvan määrään. Tämän hetkisen EUROP-järjestelmään perustuvan rasvaluokka-arvion mukaan rasvaluokka 3 takaa riittävän marmoroitumisen (Wood 2013).

### 5.1.2. Luonnonmukainen tuotanto

Luonnonmukaisen naudanlihatuotannon etu on valvottu järjestelmä. Tuotantoehdot rajoittavat eläinten väkirehun määrän 40 %:in dieetin kuiva-aineesta (Evara 2014). Karkearehuvaltainen ruokinta tuo etuja lihan ravitsemukselliseen laatuun. Luonnonmukainen tuotanto on ainoa tuotantomuoto, jossa nautojen voidaan todistetusti vakuuttaa olleen karkearehuvaltaisella ruokinnalla koko kasvatuskauden (Kamihiro ym. 2015). Naudanlihanlaatua voidaan luomutuotannossa arvottaa kahdella eri tavalla: joko ruhon luokittumisella tai lihan syöntilaadulla. Ruhosta tuleva tulos muodostuu eri järjestelmissä eri tavalla. Tulokseen eri teurashintaan vaikuttavat joko teuraspaino, luokittuminen ja rasvanosuus (EUROP) tai lihan syöntilaatuun perustuvissa järjestelmissä lihaksen sisäisen rasvan osuus (marmoroitumisen määrä) (Blair 2011).

Luomutuotannon vaikutuksia naudanlihan syöntilaatuun on simuloitu muutamissa tutkimuksissa. Harvoja tutkimuksia on kuitenkin tehty luomutuotantojärjestelmään hyväksytyissä tuotantoyksiköissä. French ym. (2001) tutkivat, kuinka eri määrä väkirehua vaikuttaa limousin- ja charolais-risteytyseläinten kasvuun sekä ruhon- ja lihan laatuominaisuuksiin. Karkearehuna kokeessa oli niitety nurmi (D-arvo 738 g/kg ka), ja väkirehua tarjottiin eläimille erikokoisia annoksia. Kokeen kesto oli 95 päivää. Eläinten kasvu oli heikompa ryhmillä, jotka eivät saaneet viljaväkirehua. Teuraspaino, marmoroituminen ja rasvaluokka olivat korkeampia väkirehua saaneilla eläimillä. Väkirehua saaneilla eläimillä lihan vesipitoisuus oli vähäisempää. Leikkuuvasteanalysissä väkirehun määrä dieetissä alensi leikkuuvastetta eli lisäsi lihan mureutta. Aistinvaraiseen arvioon lihan syöntilaadusta ruokinta ei kuitenkaan vaikuttanut merkittävästi (Taulukko 20).

Marino ym. (2006) tekivät luonnonmukaisen tuotannon dieettiä simuloivan tutkimuksen. Sonni- en ruokinnan väkirehun osuus oli joko 30 % tai 40 % dieetin kuiva-aineesta. Lihan raakakypsytyisaika oli joko 15 tai 21 päivää. Aistinvarainen paneeli arvioi lihan kokonaismiellyttävyyden. Korkeammalla

karkearehun osuudella ruokittujen sonnien liha arvioitiin 15 päivän raakakypsytyksajan jälkeen mureammaksi, mutta 21 päivän raakakypsytyksen jälkeen dieettien väliset erot lihan mureudessa olivat hävinneet. Pitempi raakakypsytyisaika lisäsi ja paransi sonnien lihan makuominaisuuksia merkitsevästi. Raa'an lihan leikkuuvoimatestin tuloksella oli vahva korrelaatio aistinvaraisesti koettuun mureuteen. Tanskalaisten tutkimusten mukaan laidunnus ja erityisesti liikunta voi vaikuttaa luonnonmukaisesti tuotetun naudanlihan aistinvaraiseen laatuun. Heidän tutkimuksissaan luonnonmukaisesti tuotettu naudanliha on ollut tummempaa, sitkeämpää ja sen makuominaisuudet ovat olleet heikommat kuin tavanomaisessa naudanlihassa (Bowling ym. 1978, Knight & Death 1997, Vestergaard ym. 2000a,b).

**Taulukko 20.** Dieetin vaikutus nurmen syöntiin, ruho-ominaisuuksiin ja lihan laatuun (French ym. 2001).

Tarjottu rehumäärä	Käsittely					
	18 kg ka nurmi	18 kg ka nurmi + 2,5 kg viljaa	18 kg ka nurmi + 5 kg viljaa	6 kg ka nurmi + 5 kg viljaa	12 kg ka nurmi + 2,5 kg viljaa	Vapaa vilja- ruokinta (ei karkearehua)
Niitonurmi kg ka/päivä	10,67	7,72	7,78	4,49	6,78	0
Vilja kg ka/päivä	0	2,25	4,50	4,50	2,25	13,3
Teuraspaino, kg	330	355	363	352	348	371
Nettokasvu, g/päivä	360	631	727	617	551	809
Rasvaluokka EUROP	4,03	3,97	4,14	3,79	4,15	4,64
Munuais- ja sisäelin rasva, g/kg	24	26	28	25	22	29
Lihaksen sisäinen rasva, g/kg lihaa	23	24	29	23	25	44
Tuhka, g/kg lihaa	12	17	12	12	12	12
Vesi, g/kg lihaa	737	736	733	735	734	717
Proteiini, g/kg lihaa	225	227	224	226	228	226
Lihan laatu kahden päivän raakakypsytyksen jälkeen						
WBSH, kg/cm <sup>2</sup>	8,0	7,5	6,6	7,0	6,4	6,1
Kypsennyshävikki, %	30	29,5	28,7	29,3	29,1	29,8
Aistinvarainen arvio (asteikko 1-8)						
Mureus	3,5	4,2	4,5	4	4,8	4,4
Rakenne	2,9	3,2	3,3	3,1	3,2	3,3
Maku	3,5	3,6	3,7	3,8	3,6	3,7
Mehukkuus	4,8	5,2	5,3	5,2	4,7	5,2
Purukumimaisuus	4,2	3,7	3,7	4	3,6	3,9
Yleinen miellyttävyys	3,2	3,1	3,4	2,8	3,2	3,3
Yhteensä	22,1	23	23,9	22,9	23,1	23,8

Luonnonmukaisten tuotantoehtojen mukaan tuotettu naudanliha eroaa harvoin kokonaislaadultaan tavanomaisesti tuotetusta naudanlihasta (Blair 2011). Razminowicz ym. (2006) tekivät vertailevan tutkimuksen kaupallisella naudanlihalla, josta tiedettiin naudanlihan alkuperä ja kasvatustapa. Tutkimusaineisto oli peräisin:

1. Noin 10 kuukauden ikäisistä vasikoista, joiden teuraspaino vaihteli 150–220 kg välillä. Vasikat olivat olleet emojensa kanssa laitumella teurastukseen saakka.
2. Laitumella tai luonnonmukaisten tuotantoehtojen mukaisesti kasvatetuista hiehoista tai häristä. Eläinten teurasikä oli 18–24 kuukautta ja teuraspaino 250–320 kg.
3. Maitorotuisista tavanomaisesti kasvatetuista sonneista, joiden teurasikä oli noin 13 kuukautta ja teuraspaino 270–310 kg.
4. Maitorotuisista tavanomaisesti kasvatetuista hiehoista, joiden teurasikä on 18–20 kuukautta ja teuraspaino 250 kg.
5. Jonkin erityisen brändin (ulkoilu mahdollisuus, eläinten hyvinvointi) alla kasvatetuista tavanomaisesti ruokituista sonneista.

Heidän analyysituloksissaan alhaisimmat leikkuuvoimatestin tulokset mitattiin laitumella olleiden nautojen lihalle ja korkeimmat tavanomaisesti kasvatetuille hiehoille ja sonneille (40,3 ja 34,7 vs. 51 ja 52,5 N). Leikkuuvoiman vaihteluväli oli pienin luonnonmukaisesti tuotetuilla hiehojen ja härkien lihalla. Tavanomaisesti tuotettujen hiehojen lihan rasvapitoisuus oli korkein ja matalin rasvapitoisuus oli emolehmätuotannosta peräisin olleiden nuorien eläinten naudanlihassa (1,73 vs. 1,22 g/100g naudanlihaa). Rasvahappokoostumuksessa oli selvä positiivinen ero luonnonmukaisesti tuotetun naudanlihan eduksi. Tyydyttymättömien, pitkäketjuisten rasvahappojen määrä oli luonnonmukaisesti tuotettujen eläinten lihassa merkitsevästi suurempi kuin tavanomaisesti kasvatetussa naudanlihassa (Razminowicz ym. 2006).

Kamihiron ym. (2015) tutkimus tehtiin vertailemalla isoimmista kauppaketjuista ostettua naudanlihaa, joka oli tuotettu joko tavanomaisesti tai luonnonmukaisten tuotantoehtojen mukaisesti. Luomu-logon alla myyty naudanliha sisälsi 8,6 % vähemmän rasvaa kuin tavanomaisesti tuotettu naudanliha (3003 vs. 3287 mg/100 g naudanlihaa). n-3 rasvahappojen määrä oli luonnonmukaisesti tuotetuissa näytteissä 31–44 % korkeampi kuin tavanomaisesti tuotetussa naudanlihassa. Tulos johti luonnonmukaisesti tuotetun naudanlihan matalampaan n-6/n-3 -rasvahappojen suhteeseen (Kamihiron ym. 2015).

Luonnonmukaisesti tuotetun naudanlihan aistinvaraiseen laatuun voivat vaikuttaa rehukasvusto, rehun korjuumenetelmät ja korjuuajankohta sekä säilöntä- ja säilöntämenetelmät (Ricke ym. 2012). Calkinsin & Sullivanin (2007) sensorisessa analyysissä havaittiin, että luonnonmukaisesti tuotetussa naudanlihassa oli korkeampi rasvapitoisuus ja matalampi vesipitoisuus kuin tavanomaisesti tuotetussa naudanlihassa. Tutkimuksessa otettiin huomioon myös erilaisten pakkausten vaikutukset aistinvaraiseen laatuun. Tavanomaisessa naudanlihassa oli parempi värin säilyvyys, koska tuotteet oli pääsääntöisesti pakattu suojakaasuun. Rasvan hapettumiseen vaikutti suojakelmun käyttö, josta johtuen tavanomaisesti tuotetun naudanlihan rasvan härskiintyminen oli vähäisempää. Kuluttajapaneelin tekemässä arvioissa tavanomaisessa naudanlihassa ja luonnonmukaisessa naudanlihassa ei havaittu eroja. Luonnonmukaisen tuotannon mielikuva vaikuttaa muodostuvaan käsitykseen laadusta, vaikka objektiivinen mittaustulos olisi poikkeava (Walshe ym. 2006). Nielsen & Thamsborg (2005) ehdottavat, että luonnonmukaisen naudanlihan tuotannon tulisi lisätä mm. lihan CLA-pitoisuutta ruokinnallisin keinoin. Ricke ym. (2012) kuitenkin painottavat, että lihanautojen pötsifermentaatio voi aiheuttaa muutoksia laadullisten kriteerien pysyvyyteen. Luonnonmukaisesti tuotettu naudanliha vaatii enemmän tutkimusta, jotta mahdollisia eroja tavanomaiseen tuotantoon pystytään todentamaan.

### 5.1.3. Ruokinta

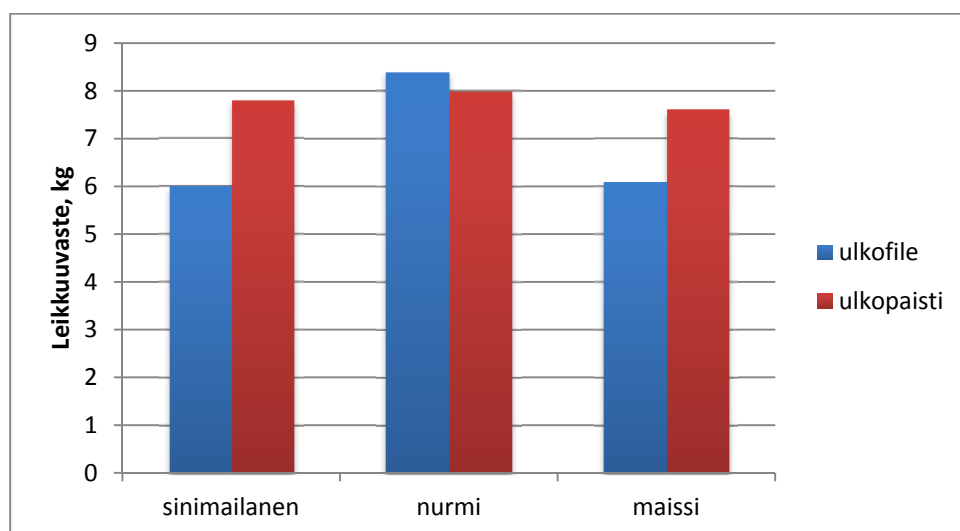
Nautojen ravintoainevaatimukset vaihtelevat eläimen iän, sukupuolen, painon, rodun tai biologisen tyypin, kuntoluokan ja tuotantovaiheen mukaan. Ruokinta tulisi suunnitella vastaamaan tuotantovaiheen mukaista ravintoainetarvetta (Warriss 2010).

Monissa tutkimuksissa eläinten dieetin vaikutukset lihan mureuteen on yhdistetty eläinten kasvuun, ikään, teuraspainoon ja eläinten rasvaisuuteen teurastushetkellä (Realini ym. 2009). Ruokinnan energiatiheys voi vaikuttaa naudanlihan sidekudoksen liukenevuuteen ja molekyyliarakenteen muutoksiin. Varhaisena oletuksena oli myös se, että dieetin valkuaisaine- ja hiilihydraattisisällöllä olisi vaikutusta mureusominaisuuksiin (McClain 1977). Ruokinnan, myös kivennäisaine ja vitamiinisäilyksen, oletetaan vaikuttavan siihen, miten paljon sidekudokseen muodostuu ristsidoksia (McClain 1977). Nopeasti kasvavilla eläimillä, jotka on ruokittu korkeaenergisellä dieetillä, voi olla enemmän liukenevaa sidekudosta kuin karkearehuvaltaisella ruokinnalla olevilla eläimillä samassa iässä. Korkeaenergisellä dieetillä olleiden eläinten sidekudos muuntuu myös aikaisemmin liukenemattomaksi. Tällaisella dieetillä olleiden eläinten sidekudoksessa on myös hieman enemmän ristsidoksia kuin eläimillä, jotka on ruokittu pelkällä karkearehulla. Sidekudoksen ristsidosten määrä lisääntyy, jos eläinten dieetti vaihdetaan karkearehuvaltaiseksi noin 40 päivää ennen teurastusta (Hall & Hunt 1982). Archile-Contrerasin ym. (2010) tutkimuksessa voimakkaalla väkirehuruokinnalla olleiden eläinten paisteissa liukenevan kollageenin osuus pysyi samalla tasolla kuin karkearehuruokinnalla olleiden eläinten. Kar-

kearehuruokinnalla ulkofileissä oli enemmän liukenevaa kollageenia verrattuna väkirehuvaltaiseen ruokintaan. Jos lasketaan keskiarvo eri lihastyypin välillä, liukenevaa kollageenia muodostui voimakkaalla väkirehuruokinnalla 3,25 % vähemmän kuin karkearehuruokinnalla (16 % vs. 12,75 %). Merkittävää on se, että karkearehuvaltainen ruokinta näytti vaikuttavan juuri niihin lihaksiin, joiden mureus voi olla alun perin heikompaa (Archiles-Contreras ym. 2010).

Hallin & Huntin (1982) kokeessa karkearehuruokinnalla olleiden eläinten mureusominaisuudet olivat kaikissa teurastuspainoissa hieman paremmat kuin voimakkaalla väkirehuruokinnalla olleiden eläinten. Kokeessa eläinten teurastuspainotavoitteet vaihtelivat 309–666 kilogramman välillä. Eläimillä oli kolme erilaista dieettiä: 1) 100 % maissidieetti (väkirehuruokinta), 2) 50 % maissisäilörehua ja 50 % sinimailassäilörehua 3) 100 % maissidieetti, joka vaihtui 98–190 päivää ennen teurastusta ylläpito-rehustukseen. Väkirehuvaltainen ruokinta tulisi rajoittaa 180–210 päivään, jos tavoitellaan mureusominaisuuksiltaan hyvää naudanlihaa (Hall & Hunt 1982).

Archile-Contrerasin ym. (2010) tutkimuksen tulos oli samansuuntainen. Tutkimuksessa oli kolme angus- ja hereford-eläinryhmää, kolmella eri ruokinnalla: 1) maissi-sinimailassäilörehuruokinta (85 % maissia ja 15 % sinimailassäilörehua dieetin kuiva-aineesta), 2) kiertolaidunnus sinimailasurmella ja 3) kiertolaidunnus monivuotisella nurmella. Eläimet teurastettiin joko 108 tai 116 päivän ruokinnan jälkeen. Mureusominaisuudet mitattiin kypsennetyistä ulkopaisti- ja ulkofilepihveistä. Leikkuuvaste oli sinimailaslaitumella kasvatetuilla eläimillä lähes samanlainen kuin väkirehuvaltaisella loppukasvatusruokinnalla. Yllättävää oli se, että kollageenin liukenevuus väkirehudieetillä olleiden eläinten vähemmän leikkuuvastetta tarvinneissa näytteissä olin alhaisempaa. Nurmikasvilaitumella olleiden eläinten leikkuuvaste oli korkeampi varsinkin ulkofileen osalta (Archile-Contreras ym. 2010) (Kuva 17). Fishell ym. (1985), Miller ym. (1987) ja Nuernberg ym. (2005) saivat samansuuntaisen tuloksen. Runsaasti energia saaneiden, korkealla väkirehuruokinnalla olleiden eläinten ulkofileen leikkuuvaste oli pienempi kuin vähemmän energiaa saaneiden, karkearehuruokinnalla olleiden eläinten. Realinin ym. (2004) tutkimuksessa karkearehuruokinnalla olleiden hereford-eläinten lihan leikkuuvaste oli merkittävästi matalampi 7–14 päivän raakakypsytyksen jälkeen kuin väkirehuruokinnalla olleiden eläinten.



**Kuva 17.** Leikkuuvaste (WBSF) kahdesta eri lihaksesta kolmella eri dieetillä (Archile-Contreras ym. 2010).

del Campon ym. (2008) tutkimuksessa laitumella loppukasvatettujen hereford-eläinten lihan leikkuuvaste oli matalampi kuin korkealla väkirehudieetillä loppukasvatettujen eläinten. Realinin ym. (2004) tutkimuksessa laitumella loppukasvatettujen eläinten lihan leikkuuvaste oli lähes 1,0 kg pienempi kuin korkeaväkirehudieetillä kasvatettujen eläinten. Toisaalta muutamissa tutkimuksissa dieettien välille ei ole saatu eroja leikkuuvasteessa (French ym. 2001, Cox ym. 2006). Serranon ym. (2007) tut-

kimuksessa parhaat mureus- ja mehukkuusarvot saatiin niillä liharotuisten sonnien kasvatustajuste-lyillä, joissa eläimet olivat hyväkasvuisella laitumella ja saivat loppukasvatuksen ajan runsaan väkirehuruokinnan. Tutkimuksessa eläinten teuraspaino- ja ikätavoitteet olivat matalia (210 kg ja 10 kk). Ranskalaisissa tuotanto-olosuhteissa tehty seurantatutkimus antoi samanlaisen tuloksen. Eläinten ollessa dieetillä, joka sisälsi runsaasti energiaa, kasvu oli nopeaa, teuraskypsyys saavutettiin kohtuullisessa ajassa ja liha oli mureampaa kuin hitaammin kasvaneilla eläimillä (Oury ym. 2007).

On hyvin todennäköistä, että mureus on yhteydessä kasvunopeuteen ja valkuaisaineenvaihduntaan. Nopea kasvu on yhdistetty lisääntyneeseen valkuaisaineenvaihduntaan. Kun valkuaisaineenvaihdunta on kiihkeää, solujen sisäisten proteolyttisten entsyymien määrä on korkeampi. Teurastuksen jälkeen nämä vaikuttavat myofibrillen ja kollageenin hajotukseen. Väkihudieetillä olevien eläinten lihan mureusominaisuuksien oletetaan olevan keskimäärin parempia, koska nämä eläimet todennäköisesti ovat saavuttaneet teuraskypsyyden aikaisemmin kuin karkearehuruokinnalla olleet eläimet. Lisäksi todennäköisyys sille, että eläimillä on ollut runsas lihasten valkuaisaineenvaihdunta, on suurempi kuin karkearehuruokinnalla, koska rehun täyttävyyden ei rajoita syöntiä ja eläinten energiansaanti on runsasta (Fishell ym. 1985, Miller ym. 1987, Muir ym. 1998). Jos kasvunopeus on sama, erot leikkuuvasteessa ovat todennäköisesti hyvin pieniä (Realini ym. 2004, del Campo ym. 2008, Archiles-Contreras ym. 2010).

Eläinten vitamiinien saanti voi olla merkittävässä asemassa sidekudoksen ominaisuuksien muodostumisessa kasvavassa eläimessä. Kollageenin liukenevuuteen vaikuttaa todennäköisesti eläinten E-vitamiinin saanti. Laitumella loppukasvatettujen eläinten lihassa on yleensä korkeat E-vitamiinipitoisuudet verrattuna korkealla väkirehuruokinnalla olleisiin eläimiin (Realini ym. 2004). Nurmikasvit ja sinimailanen sisältävät luonnostaan kohtuullisen paljon E-vitamiinia (10–30 mg alfakofeolia/100 g ka) (McDonald ym. 2004). E-vitamiinilisän on osoitettu parantavan naudanlihan väriä ja makua (Granit ym. 2001, Maiorano ym. 2007). Runsaan E-vitamiinin saannin on osoitettu lisäävän tiettyjen entsyymien ekspressiota (mm. metalloproteaseja MMP). Nämä entsyymit vaikuttavat sidekudosaineenvaihduntaan (Asbun ym. 2005). Sidekudosaineenvaihduntaa lisäämällä voi olla mahdollista vaikuttaa positiivisesti mureusominaisuuksiin, jos eläimet teurastetaan oikeaan aikaan. Ns. lihan taustavastus on sidekudosaineenvaihdunnan huipulla vähäisintä.

Kasvunopeuden lisäksi sidekudosominaisuuksiin ja lihan mureuteen vaikuttavat rehun ominaisuudet, eläinten käsittely, aktiivisuus ja lihastyppi (Vestergaard ym. 2000a, Maiorano ym. 2007, del Campo ym. 2008, Hui 2012). Edellä mainitut tekijät vaikuttavat siihen, miten lihassytyt ja sidekudos kehittyvät eläinten kasvaessa (Cassar-Malek ym. 2004, Therkildsen ym. 2008). Lihastyppi ja eri lihakset reagoivat eri tavalla dieetin ja liikunnan vaihteluihin (Vestergaard ym. 2000a, Cassar-Malek ym. 2004, Therkildsen ym. 2008). Ruokinnan ja energian saannin rajoittaminen ja sitä seuraava kompensatorinen kasvu vaikuttavat lihaksen mureusominaisuuksiin lihassyypikohtaisesti. Selkälihaksissa energian saannin rajoittaminen vähentää liukenevan kollageenin osuutta ja lisää leikkuuvastetta, mutta paisteissa vaikutus on päinvastainen (Cassar-Malek ym. 2004). Mureusominaisuuksien kannalta on todennäköisesti edullista, että eläinten ruokinta on suunniteltu niin, että energiatiheys lisää kasvua aina teuraskypsyyden saavuttamiseen saakka (Cassar-Malek ym. 2004, Archiles-Contreras ym. 2010).

Ruokinta on merkittävässä roolissa myös lihan ravintoainesisällön muodostumisessa. Karkearehuvallaisella ruokinnalla ruhojen kokonaisrasvan määrä jää matalammaksi, jolloin proteiinin määrä lihassa on korkeampi kuin väkirehuvallaisella ruokinnalla (Realini ym. 2004, Daley ym. 2010, Pesonen ym. 2013). Muodostuvassa rasvassa on myös eroja ruokinnasta johtuen. Karkearehuvallaisella ruokinnalla lihaan muodostuu 2–3 kertaa enemmän CLA:ta kuin väkirehuvallaisella ruokinnalla. Tämän oletetaan johtuvan pääosin siitä, että karkearehuvallaisella ruokinnalla eläinten pötsin pH muodostuu tasaisemmaksi (Duckett ym. 1993, Mandell ym. 1997, French ym. 2000b, Rule ym. 2002). Karkearehuvallainen ruokinta lisää A-vitamiinin esiasteen (karotenoidin) määrää nautojen maidossa, lihassa ja rasvassa (Daley ym. 2010). Naudanruhon rasvan keltainen väri aiheuttaa useissa maissa vähennyksiä, mutta toisaalta se on yhdistettävissä rasvan terveellisempään rasvahappokoostumuk-

seen ja korkeampaan antioksidanttimäärään (Dunne ym. 2009). Ruokinnan korkeampi karkearehun osuus voi lisätä  $\beta$ -karotenoidin määrän seitsenkertaiseksi verrattuna väkirehuvaltaiseen ruokintaan (0,45 vs. 0,06  $\mu\text{g/g}$ ) (Descalzo ym. 2005). Samanlaisia tuloksia on esitetty muissa vastaavissa tutkimuksissa mm. Simonne ym. 1996, Wood & Enser 1997, Enser ym. 1998, Yang ym. 2002, Duckett ym. 2009 (Taulukko 21).

**Taulukko 21.** Ruokinnan vaikutus  $\beta$ -karotenoidin/karoteenin määrä. Kaikki erot ovat tilastollisesti merkitseviä.

$\beta$ -karotenoidin määrä $\mu\text{g/g}$ lihaa			
Karkearehu/laidun ruokinta	Väkirehuruokinta	Eläin	Lähde
0,74	0,17	Risteytyshärkä	Insani ym. 2007
0,45	0,06	Risteytyshärkä	Descalzo ym. 2005
0,16	0,01	Risteytyshärkä	Yang ym. 2002

E-vitamiini kuuluu A-vitamiinin lisäksi rasvaliukoisiin vitamiineihin. E-vitamiinilla on antioksidanttisia vaikutuksia, jotka suojelevat soluja vapaiden radikaalien vaikutuksilta. Karkearehuvaltaisella ruokinnalla olleiden eläinten lihassa on todettu olevan enemmän  $\alpha$ -tokoferolia kuin väkirehuruokinnalla olleiden eläinten lihassa (Taulukko 22).  $\alpha$ -tokoferoli on E-vitamiinin muodoista voimakkain (Arnold ym. 1992, Yang ym. 2002, Realini ym. 2004, Descalzo ym. 2005, Descalzo & Sancho 2008, Insani ym. 2008, De la Fuente ym. 2009). Tyypillisesti lihan  $\alpha$ -tokoferolin määrä on voimakkaalla väkirehuruokinnalla 0,7–2,9  $\mu\text{g/g}$  lihaa. Karkearehuruokinnalla  $\alpha$ -tokoferolin määrä vaihtelee karkearehun laadun ja mahdollisen väkirehutäydennyksen mukaan välillä 2,1–7,7  $\mu\text{g/g}$  lihaa (Arnold ym. 1992, Yang ym. 2002, Realini ym. 2004, Descalzo ym. 2005, Descalzo & Sancho 2008, Insani ym. 2008, De la Fuente ym. 2009). Karkearehuvaltaisella ruokinnalla olleiden eläinten E-vitamiinin saanti yleensä riittää hyvin, jotta E-vitamiini konsentraatioista on hyötyä lihan kokonaissäilyvyyteen ja värin pysyvyyteen kuluttajapakkauksissa (3–4  $\mu\text{g/g}$  lihaa) (Daley ym. 2010).

**Taulukko 22.** Ruokinnan vaikutus  $\alpha$ -tokoferolin määrään. Kaikki erot ovat tilastollisesti merkittäviä.

$\alpha$ -tokoferolin määrä $\mu\text{g/g}$ lihaa			
Karkearehu/laidun ruokinta	Väkirehuruokinta	Rotu, eläin	Lähde
4,07	0,75	Risteytyshieho ja härkä	De la Fuente ym. 2009
3,08	1,50	Risteytyshärkä	Descalzo & Sancho 2008
2,1	0,8	Risteytyshärkä	Insani ym. 2007
4,6	2,2	Risteytyshärkä	Descalzo ym. 2005
3,91	2,92	Hereford-härkä	Realini ym. 2004
4,5	1,8	Risteytyshärkä	Yang ym. 2002

Glutathioni eli glutamyylikysteinyyliglysiini on valkuaisaine, jolla on antioksidanttisia vaikutuksia. Glutathioni on tripeptidi, joka koostuu kolmesta aminohaposta: glutamiinihaposta, kysteiinistä ja glysiinistä. Glutathionia on lähes kaikissa entsyymeissä, ja se imeytyy hyvin ohutsuolesta (Valencia ym. 2001a). Tuoreissa kasviksissa ja lihassa glutathionin määrä on korkeampi kuin muissa ruoka-aineissa (maito, kananmuna, omena ym.) (17–30 vs. <3,3 mg/100 g tuotetta) (Valencia ym. 2001b). Glutathionia on kuitenkin runsaasti nurmessa. Nurmidiетillä olleiden nautojen lihassa on todettu korkeita glutathionipitoisuuksia (Descalzo ym. 2007). Myös katalaasin ja superoksididismutaasin-pitoisuudet ovat olleet korkeampia nurmella ruokittujen eläinten lihassa kuin väkirehua saaneiden nautojen lihassa (Gatelleir ym. 2004). Katalaasi ja superoksididismutaasi ovat kummatkin antioksidantteja. Runsaalla karkearehudietillä olleiden nautojen lihan entsyymiaktiivisuus on runsaampaa, mikä suojaa lihan rasvojen hapettumista. Karkearehupitoisella dietillä tuotetusta naudanlihasta on mahdollista saada runsaammin antioksidantteja kuin runsaalla väkirehumäärällä tuotetusta naudanlihasta (Daley ym. 2010). Naudan dieetin pääkomponenttien lisäksi kivennäisruokinta voi vaikuttaa lihan sisältämi-

en antioksidanttien määrään. Kupari, mangaani, sinkki, seleeni ja rauta ovat tärkeitä entsyymien rakenneosia ja toimivat kofaktoreina entsyymaattisissa reaktioissa. Kivennäisruokinnan tasapaino voi vaikuttaa positiivisesti lihan antioksidanttipitoisuuteen. Liikasaannin vaikutus voi olla jopa päinvastainen (Papas 1999).

Karkearehuvaltainen ruokinta vähentää todennäköisesti lihan valmistukseen vaadittavaa aikaa, koska lihassa on tällöin vähemmän rasvaa ja runsaammin tyydyttämättömiä rasvahappoja (Daley ym. 2010). Karkearehuvaltaisen tai laitumella kasvatuksen onnistuminen vaatii, että karkearehu on hyvälaatuista ja sulavaa. Lopputuotteeseen eli lihaan muodostuu enemmän ihmisravitsemuksen kannalta suosiollisia ominaisuuksia, jos naudnan rehujen ominaisuudet edesauttavat hyvää kasvua (Marmer ym. 1984, Wood & Enser 1997). Tuoreessa nurmessa on eniten pitkäketjuisten rasvahappojen raaka-aineita. C18:3 rasvahapon määrä nurmessa on 10–12-kertainen väkirehuihin verrattuna (French ym. 2003). Nurmen säilöntä vähentää 5–10 % CLA- ja n-3 -rasvahapposynteesiin vaadittavia lähtöaineita. Vaatii noin 30 päivää, että väkirehujen vähentäminen tai pois jättäminen ruokinnasta muuttaa naudnanlihan rasvahappo- ja antioksidanttisisältöä (Duckett ym. 1993).

Kasvunopeus vaikuttaa positiivisesti lihan mureuteen. Nopeammin kasvavien eläinten liha on mureempaa kuin hitaammin kasvavien eläinten liha (Perry ym. 2002, Perry & Thompson 2005). Kasvun manipulointi ei todennäköisesti tuo etuja lihan syöntilaadun osalta. Syöntilaadullisesti tasaisista lopputuotteista saadaan varmimmin kasvatusryhmistä, joiden eläimet ovat kasvaneet tasaisesti (Wood 2013). Sinclairin ym. (2001) tutkimuksessa kasvun vaihtelut eivät kuitenkaan vaikuttaneet mureuteen. Maltin ym. (2003) eivät havainneet kompensatorisen kasvun tuovan etuja lihan mureuden osalta brittiläisessä kasvatusmallissa, vaan tilanne oli pikemminkin päinvastainen. Oury ym. (2007) vertasivat eri tuotantoyksikköjen lihan mureutta Ranskassa. Heidän havaintonsa oli, että mureinta lihaa muodostuu tuotannosta, jossa eläimet kasvavat nopeimmin ja teurastetaan alhaisissa teurasiässä.

Eläinten kasvu ennen vieroitusta voi vaikuttaa lihan syöntilaatuun. MLA-järjestelmä suosittelee, ettei luokitusjärjestelmään hyväksyttäisi alle 0,9 kg päivässä emon alla kasvaneita eläimiä. Loppukasvatuvaiheessa kasvussa voi olla enemmän vaihtelua (MLA 2014). Iso-Britanniassa ollaan samoilla linjoilla. Heidän minimi rajansa on 1,0 kg/päivä ennen vieroitusta ja loppukasvatuksessa (EBLEX 2014).

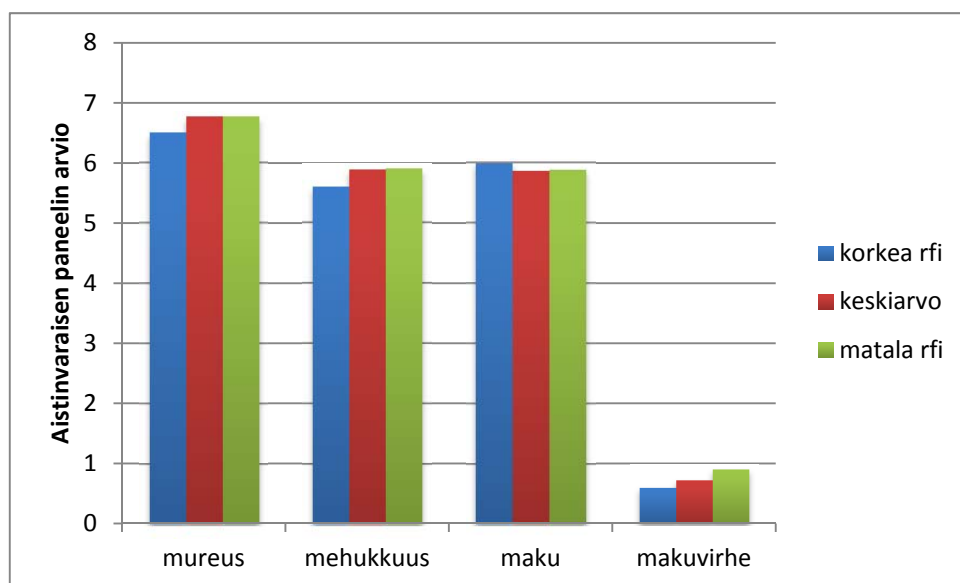
#### *Rehuhyötysuhde/residuaalinen syönti ja lihan syöntilaatu*

Rehuhyötysuhteen (residuaalisen syönnin) eläinkohtaisesta vaihtelusta 5 % johtuu ruho-ominaisuuksien eroista, ruhon rasva- ja lihaskudoksen suhteesta (Richardson & Herd 2004). Ruhon pinta-rasvan ja marmoroitumisen määrällä on yleensä rehuhyötysuhdetta heikentävä vaikutus. Jos jalostusjärjestelmässä on huomioitu kummatkin ominaisuudet, on mahdollista valita sonneja, jotka ovat kummassakin ominaisuudessa keskimääräistä parempia (Exton ym. 2004).

Naudan dieetin koostumus vaikuttaa rehuhyötysuhteeseen. Rehuhyötysuhde muodostuu paremmaksi sulavimmilla dieeteillä ja yleensä tällöin myös kasvu muodostuu nopeammaksi, jolloin tuotteen laatu on helpommin hallittavissa (Hill 2012). Dieetin sisältämät rasvat ovat eräs tekijä, joka vaikuttaa sekä tuotteen syöntilaatuun että rehuhyötysuhteeseen. Kohtuullinen rasvamäärä (<10 % dieetin kuiva-aineesta) dieetissä parantaa rehuhyötysuhdetta 2–4 % (Scollan ym. 2006, Hess ym. 2008, Hill 2012).

Parempi rehuhyötysuhde ja matalampi residuaalinen syönti eivät todennäköisesti vaikuta lihan syöntilaatuominaisuuksiin (Kuva 18). Aholan ym. (2011) tutkimuksessa ei havaittu eroja naudnanlihan syöntilaadussa tai leikkuuvoimatestissä loppukasvatettavilla angus-härillä, joilla oli erilainen residuaalisen syönnin tulos. Behrens ym. (2011) saivat samanlaisen tuloksen hiehojen lihan osalta: residuaalisen syönnin tuloksella ei ollut vaikutusta leikkuuvoimatestiin. Bakerin ym. (2006) kokeessa tilastollisesti merkitsevät erot muodostuivat lihan mehukkuuden ja makuvirheen osalta. Aistinvaraisen paneelin arvioissa korkean residuaalisen syönnin eläinten (heikko rehun hyväksikäyttö) liha oli vähem-

män mehukasta kuin matalan residuaalisen syönnin eläinten (hyvä rehun hyväksikäyttö). Toisaalta makuvirheitä löytyi tilastollisesti eniten matalan residuaalisen syönnin eläimiltä (Kuva 18).



**Kuva 18.** Aistinvaraisen paneelin arvio eri residuaalisen syönnin omaavien nautojen lihan syöntilaudusta. Aistinvarainen arvio tehtiin asteikolla 1–10, jossa korkeampi luku osoittaa suurempaa miellyttävyyttä (Baker ym. 2006).

Residuaalisen syönnin mittaustuloksella ei todennäköisesti ole vaikutusta lihan syöntilaatuun (Hill 2012). Jos rehuhyötysuhdetta mitataan rehuuntuosuhteella (kasvu/syönti), on huomioitava mahdollinen jalostuksellinen vaikutus aikuiskoon kasvuun. Eläinten aikuiskoon kasvaessa samanlaisen lihan laadun saavuttaminen vaatii erilaisia teurasoptimeita (Hill 2012). Rasvahappokoostumuksen muuttaminen vähemmän tyydyttyneitä rasvahappoja sisältävään suuntaan yhdistettynä parempaan rehuhyötysuhteeseen voi olla tekijä, jota kannattaa tulevaisuudessa tarkastella yhä tarkemmin (Scolan ym. 2006, Hess ym. 2008).

#### 5.1.4. Ultraäänitekniikka

Ultraäänitekniikkaa on käytetty eläinten kudosten arviointiin jo lähes 50 vuotta. Viimeisten 30 vuoden aikana kudosten mittaus on tullut yksinkertaisemmaksi tekniikan ja laitteiden kehittymisen myötä. Mittaustulos antaa objektiivisen arvion kudosten paksuudesta ja/tai pinta-alasta. Tyypilliset ultraäänimittauskohteet ovat pintarasvan paksuus kylkiviivasta ja/tai paistien päältä sekä selkälihaksen pinta-ala ja/tai paksuus. Lisäksi ultraäänimittauksella voidaan arvioida lihaksen sisäisen rasvakudoksen määrää (Field 2007, Aass ym. 2009, Phillips 2009, Warriss 2010).

Jalostusjärjestelmät hyödyntävät useissa maissa ultraäänimittauksien antamia tuloksia. Mittaajan tulee suorittaa sertifioitu koulutus, jotta mittaustuloksia voidaan käyttää eläinten indeksien laskemiseen. Indeksien muodostamiseen tarvitaan lukuisia mittauksia ja laaja aineisto, jotta tulokset ovat luotettavia (Field 2007, Aass ym. 2009, Phillips 2009, Warriss 2010). Ultraäänimittauksella tehdyn marmoroitumisen perityvyys on sonneilla 0,18 ja hiehoilla 0,30 (MacNeil & Northcutt 2008). Toisaalta esimerkiksi lihaksen sisäisen rasvan (marmoroitumisen) osalta tulisi ensin selvittää haluttu taso, jota teollisuus tavoittelee. Marmoroituminen voi vaikuttaa merkittävästi kuluttajatytyvyyteen. Edellytyksenä on kuitenkin, että kuluttajat ovat tottuneet marmoroituneeseen naudanlihaan (Corbin ym. 2015). Sappin ym. (2002) mukaan ultraäänimittauksen perusteella muodostettu jalostusindeksi antaa mahdollisuuden valita marmoroitumispotentiaalin kannalta erilaisia eläimiä. Marmoroitumisen lisääminen jalostusvalinnan ja indeksin perusteella ei lisää pintarasvan määrää. Indeksissä otetaan huomioon myös pintarasvan paksuus.

Ultraäänimittausta voidaan myös käyttää teuraskypsyyden arviointiin. Eläimiä voidaan jakaa ultraäänimittaustulosten perusteella kasvutaipumusryhmiin esimerkiksi marmoroitumisen tai pintaraskan perusteella. Tasaisen syöntilaadun tavoittelussa ultraäänimittaustuloksella voidaan mitata tietty lihas sisäisen rasvan osuus ja selkälihaksen pinta-ala, jossa eläimet teurastetaan (Bruns ym. 2004, Wall ym. 2004, Albrecht ym. 2006, Aass ym. 2009). Jos mittaustulokset ovat riittävän luotettavia, ultraäänimittauksen tulos voi olla hyödyllinen apu eläinten lajitteluun jo melko aikaisessa kasvatuksen vaiheessa, esimerkiksi erän saapuessa kasvatukseen. Toisaalta on havaittu, että ainoastaan yksi mittaustulos ei ole riittävä. Parhaat tulokset saataisiin todennäköisesti silloin, jos ultraäänitekniikka yhdistettäisiin muihin tuotannonseurantajärjestelmiin esimerkiksi punnituksiin (Dean 2006).

### 5.1.5. Geneettiset markkerit

Geenien erilaisen ekspresion profilointi antaa mahdollisuuden tutkia, kuinka eri geenit vaikuttavat tuotanto-ominaisuuksiin. Jos tuotanto-ominaisuuksien ja geeniekspresion välillä löydetään vahvoja korrelaatioita, voidaan tuotanto-ominaisuudelle muodostaa erilaisia geenimarkkereita, jotka voidaan kaupallistaa geenitesteiksi. Geneettiset markkerit antavat mahdollisuuden sellaisten ominaisuuksien valintaa, jotka ovat kalliita mitata, joita pystytään arvioimaan vasta teurastuksen jälkeen ja/tai vanhemmilta eläimiltä. Akannon ym. (2014) mukaan genomisen (geenitesteistä muodostuneen) tiedon yhdistäminen jalostusarvoihin on kannattavaa, kun pyritään parantamaan lihan syöntilaatua ja ruhon laatua. Perinnöllistä edistymistä saavutetaan, kun genomisen tiedon luotettavuus on korkeampi kuin 20 % ( $> 0,2$ ). Tietoa voidaan kerätä myös pienillä SNP-paneelilla. Tämä mahdollistaa nuorien sonnien edullisen testaamisen mm. mureuden osalta.

Naudanlihan mureusominaisuuksien QTL-paikkoja perimässä on selvitetty lukuisissa tutkimuksissa (Casas ym. 2000, 2001, 2003, Drinkwater ym. 2006, Alexander ym. 2007, Davis ym. 2007, Gutiérrez-Gil ym. 2008). Casas ym. (2006) paikansivat  $\mu$ -kalpaiinin (CAPN1) BTA29- ja kalpastatiini-geenit. Myostatiini-geenin muunnoksia F94L BTA2-geenissä ovat tutkineet mm. Morris ym. (2006) ja Esmailizadeh ym. (2008). Marmoroitumiseen, mureuteen ja naudanlihan värin vaaleuteen vaikuttavat muuttamat samat geenit, mutta toisaalta ominaisuuksien vaikutukset löytyvät useilta eri geenipaikoilta (Taulukko 23). Uusimmat tutkimukset ovat keskittyneet yhdistämään mureuden geneettisiä markkereita, leikkuuvoimatestillä tehtyjä mureuden arviointeja ja eri raakakypsytyksaikoja (Zhou ym. 2010, Fan ym. 2011, Ujan ym. 2011a,b, Aslan ym. 2012, Chung & Davis 2012, Chang ym. 2014). Leikkuuvoimatestin tuloksen periytyvyys ( $h^2$ ) on 0,14-0,29 (Mateescu 2014).

Geenien eri variantit voivat vaikuttaa mureutumiseen tarvittavaan aikaan. Jos eläimellä on suotuinen geneettinen muoto, mureutumiseen vaadittava aika on vähäisempi (Hui 2012, Cottle & Kahn 2014). Mureutumiseen vaadittavan ajan muutos vaikuttaa mureutumisen alussa erityisesti nopeasti mureutuviin ruhon osiin. Selän alueen lihakset mureutuvat noin 7–10 % nopeammin kuin paistit. Selvin mureuteen ja raakakypsytyksaikaan vaikuttava geneettinen tekijä näyttäisi olevan kalpaiini (CAPN1) (Chan ym. 2014).

Useimmat naudanlihan syöntilaatua määrittävät ominaisuudet ovat keskinkertaisesti tai hyvin perityviä ominaisuuksia. Mureus ja marmoroituminen periytyvät vaihteluvälillä  $h^2=0,3-0,5$  (Warriss 2010, EBLEX 2014, MLA 2014). Jalostusvalinnalla voidaan vaikuttaa lihan laatuominaisuuksien parantamiseen. Edellytyksenä kuitenkin on tieto. Ennen jalostusvalintoja tulee tunnistaa ne yksilöt, joiden perimä puoltaa parempaa lihan laatua (Bernard ym. 2007). Jalostajan ja kasvattajan kannalta asian tekee haasteelliseksi se, ettei eläimistä, jotka tuottavat parempilaatuista lihaa, saa taloudellista korvausta (Christensen & Therkildsen 2006).

**Taulukko 23.** Naudanlihan syöntilaatuun vaikuttavia kandidaattigeenejä kirjallisuudesta.

Ominaisuus	Geeni	Lähde
Marmoroituminen	SST; Somatostatin	Morsci ym. 2006
	GDF8; myostatiini	Allais ym. 2010
	RORC; retinoic acid receptor-related orphan receptor C	Barendse ym. 2007, 2010
	LEP; leptiini	Haegeman ym. 2000, Buchanan ym. 2002, Lagonigro ym. 2003
	DGAT1; diacylglycerol O-acytranferaasi	Grisart ym. 2002, Winter ym. 2002, Thaller ym. 2003
	TG; tyroglobuliini	Barendse 1999, Thaller ym. 2003
	CRH; kortikotropiinia vapauttava hormonireseptori	Wibowo ym. 2007
	FABP4; rasvahappoa sitova proteiini 4	Cho ym. 2008
	GHR; kasvuhormonireseptori	Han ym. 2009
	Ankyrin 1	Aslan ym. 2010
Väri (vaaleus)	IGF2; Insuliinin kaltainen kasvutekijä	Schmutz & Goodall 2005
	GDF8; myostatiini	Allais ym. 2010
	CAST; kalpastatiini	Reardon ym. 2010
Mureus	GHR; kasvuhormoni reseptori	Reardon ym. 2010
	SCD; stearolyli CoA desaturaasi delta 9	Reardon ym. 2010
	HGD; homogentisate 1,2 dioksygenaasi	Zhou ym. 2010
	GDF8; myostatiini	Allais ym. 2010
	CAST; kalpastatiini	Barendse 2002
	LOX; lysyl-oksidaasi	Barendse 2002
	DNAJA1; (HSP40)	Bernard ym. 2007
	CAPN3; kalpaiini 3	Barendse ym. 2008
ACAD8; acyl-CoA dehydrogenaasiperhe; member 8	Li ym. 2007b	
Ankyrin 1 erythrocytic	Aslan ym. 2010	
CAPN1; kalpaiini 1	Page ym. 2002	

**Marmoroituminen**

Lihaksen sisäisen rasvan määrään vaikuttaa tutkimusten mukaan moni eri geeni. Geenien alleelien frekvenssi on merkittävä, kun halutaan tietää, miten geeni vaikuttaa tuotannossa. Toisin sanoen ilmenekö ominaisuus ja miten helposti.

**DGAT1-geeni**

DGAT on entsyymi, joka katalysoi triglyseridisynteesin viimeistä vaihetta. Thaller ym. (2003) havaitsivat, että DGAT1-geenin muoto K232A oli yhteydessä runsaampaan marmoroitumiseen. A-alleeli näyttää olevan nautapopulaatiossa yleisempi. On todennäköistä, K-alleeli vaikuttaa runsaampaan marmoroitumiseen. Tutkimuksissa K-alleelin esiintyminen on ollut runsainta Jersey-rodulla. Liharotuisilla naudoilla A-alleeli on huomattavasti yleisempi (Taulukot 24 ja 25). Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan KA-alleeli osoittautui eniten marmoroitumista tuottavaksi. AA-muoto oli kuitenkin huomattavasti yleisempi kaikilla roduilla (Ekerlung 2012).

**Taulukko 24.** K232A Alleelin frekvenssi eri roduilla.

Rotu	K-alleeli	A-alleeli	Lähde
Holstein	0,42	0,58	Kaupe ym. 2004
Jersey	0,65	0,35	Ripoli ym. 2006
	0,69	0,31	Kaupe ym. 2004
Angus	0,09	0,91	Ripoli ym. 2004
	0,13	0,87	Kaupe ym. 2004
Charolais	0,15	0,85	Ripoli ym. 2006
	0,11	0,89	Thaller ym. 2003
	0,08	0,92	Kaupe ym. 2004
Hereford	0	1	Ripoli ym. 2006
	0	1	Kaupe ym. 2004

**Taulukko 25.** DGAT1 esiintyminen ruotsalaisessa lihanautapopulaatioissa, % (Ekerljung 2012).

Rotu	Genotyyppi			Alleeli	
	KK	KA	AA	K	A
Angus	2	33	65	19	81
Charolais	0	21	79	11	89
Hereford	0	0	100	0	100
Limousin	0	11	89	6	94
Simmental	0	0	100	0	100

*Leptiini*

Leptiini-geeni vaikuttaa eläimen aineenvaihduntaan. Leptiinin määrän lisääntyessä kylläisyyden tunne kasvaa. Leptiiniä muodostuu rasvasoluista. Naudalla veren seerumin leptiinin määrä on yhdistetty marmoroitumiseen ja kehon rasvapitoisuuteen (Geary ym. 2003). Leptiini-geeni sijaitsee BTA 4 geenissä. Buchanan ym. (2002) löysivät yhteyden pintarasvan määrän ja leptiinin välillä. Gill ym. (2009) havaitsivat yhteyden nautanlihan kokonaismiellyttävyyden ja leptiini-geenin välillä. Geenin TT-muoto on yhdistetty runsaampaan marmoroitumiseen ja aikaisempaan teuraskypsyyteen (Taulukot 26 ja 27) (Buchanan ym. 2002, Kononoff ym. 2005, Schenkel ym. 2005, Gill ym. 2009). Yhdistetyn TT/TT -muodon eläimillä on suuri marmoroitumispotentiaali ja pintarasvan paksuus (Nkrumah ym. 2004). C-alleeli on kuitenkin yleisempi kaikilla nautaroduilla (Taulukot 26 ja 27). Ruotsalaisessa tutkimuksessa leptiini-geeni oli yhteydessä mureuteen ja väriin. Alleelien muotojen esiintyminen ruotsalaisessa nautapopulaatioissa peilasi muualla tehtyjä tutkimuksia (Ekerljung 2012) (Taulukko 27).

**Taulukko 26.** Leptiini-geenin alleelien esiintyminen UASMS2-markkerilla muutamilla nautaroduilla.

Rotu	C	T	Lähde
Angus	0,89	0,11	Nkrumah ym. 2004
	0,73	0,27	Schenkel ym. 2005
Hereford	0,74	0,26	Nkrumah ym. 2004
	0,66	0,35	Schenkel ym. 2005
Limousin	0,77	0,23	Schenkel ym. 2005
	0,75	0,25	Nkrumah ym. 2004
Charolais	0,70	0,30	Schenkel ym. 2005
	0,79	0,21	Nkrumah ym. 2004
Risteytys (Ab × Ch)	0,79	0,21	Nkrumah ym. 2004
Risteytys (Ab × CH × Si × Li)	0,74	0,26	Schenkel ym. 2005

**Taulukko 27.** UASMS2 (leptiini) esiintyminen ruotsalaisessa lihanautapopulaatiossa (Ekerljung 2012).

Rotu	Genotyyppi			Alleeli	
	CC	CT	TT	C	T
Angus	37	42	21	58	42
Charolais	76	23	1	88	12
Hereford	54	29	17	69	31
Limousin	31	63	6	63	37
Simmental	43	48	9	67	33

### SCD1

Stearoyl-CoA desaturaasi 1 (SCD1) on entsyymi, joka osallistuu rasvasolujen toiminnan säätelyyn ja rasvahappojen tyydyttyneisyysasteen lisääntymiseen (Milanesi ym. 2008). Wu ym. (2012) osoittivat, että SCD1 SNP-merkki on yhteydessä marmoroitumiseen. Tutkimuksien perusteella C/T-alleelit esiintyvät lähes samassa suhteessa charolais-, limousin- ja simmental-roduilla (Taulukko 28).

**Taulukko 28.** SCD1 entsyymien muotojen esiintyminen C/T-alleelien perusteella muutamissa nautaroduissa.

Rotu	C	T	Lähde
Charolais	0,61	0,58	Aviles ym. 2013
Limousin	0,58	0,42	Aviles ym. 2013
Simmental	0,48	0,52	Orru ym. 2011

Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan SCD1-geeni on erityisesti yhteydessä naudanlihan värin pysyvyyteen. G-alleeli lisäsi värin intensiteettiä, A-alleeli lisäsi punaisuutta ja vaaleutta. G-alleeli näyttäisi esiintyvän hieman yleisemmin ruotsalaisessa lihanautapopulaatiossa (Ekerljung 2012) (Taulukko 29).

**Taulukko 29.** SCD1 esiintyminen G/A-alleelien mukaan ruotsalaisessa lihanautapopulaatiossa (Ekerljung 2012).

Rotu	Genotyyppi			Alleeli	
	GG	GA	AA	G	A
Angus	51	47	2	74	26
Charolais	39	50	11	64	36
Hereford	60	34	6	77	23
Limousin	31	54	14	59	41
Simmental	38	38	24	57	43

Marmoroitumiseen vaikuttavat yleisimmät tutkitut geenivaikutukset esiintyvät lihanautapopulaatioissa hyvin tasaisesti. Yllättävästi niiden rotujen genomi, joita pidetään helposti marmoroituvina, ei poikkea tutkimuksissa merkittävästi muiden rotujen geenien alleeleista. Ruotsalaisessa tutkimuksessa on tosin nähtävissä angus-rodun TT-alleelin pieni dominanssi muihin rotuihin verrattuna. Tämä voi olla osoitus rodun suuremmasta marmoroitumispotentiaalista.

### Mureus

Lihan mureus on syöntilaatuominaisuuksista tärkein. Mureuteen vaikuttavia geneejiä on yritetty selvittää lukuisia, yleisimpinä kalpaiini ja kalpastatiini.

### Kalpaiini

Kalpaiini on *Bos Tauruksen* kromosomissa 29 (BTA 29). Barendse ym. (2007) raportoivat yhteydestä kalpaiini 1-geenin (CAPN1) yhden aminohapon muutoksen vaikutuksesta mureuteen (G → C). CC-tyyppi on osoittautunut tutkimuksissa olevan paras mureuden, värin pysyvyyden ja marmoroitumisen suhteen (Page ym. 2002, Barendse ym. 2007, Ekerljung 2012). Angus-rodulla tehdyissä tutkimuksissa C-alleelin esiintyminen on ollut suhteellisen runsasta (Taulukko 30).

**Taulukko 30.** Kalpaiini-alleelien esiintyvyys markerilla 4571 angus-rodulla.

Rotu	C	T	Lähde
Angus	0,84	0,16	White ym. 2005
Angus NSW	0,98	0,02	Robinson ym. 2012
Angus WA	1	0	Robinson ym. 2012
Risteytys (hf × ab × rab × si × gv × li × ch)	0,58	0,42	White ym. 2005

Jalostuksellinen valinta kalpaiini-geenin suosiollisen muodon puolesta on tuonut alueellisesti merkittäviä parannuksia angus-rodun lihan laatuominaisuuksiin (Robinson ym. 2012). Kalpaiinin eri muotojen avulla olisi mahdollista jakaa teurasnaudat jo teuraslinjalla eri raakakypsytysmuotoihin ja aikoihin (Robinson ym. 2012). C/G-alleelin esiintyvyyttä kartoittaneissa tutkimuksissa on G-alleeli ollut yleisempi. Esiintyvyyden suhde on kuitenkin ollut tutkimuksissa samansuuntainen (Taulukko 31).

**Taulukko 31.** Kalpaiini-alleelien esiintyvyys markerilla 361 risteytseläimillä.

Rotu	C	G	Lähde
Ristetyt (Hf × Ab × Rab × Si × Gv × Li × Ch)	0,2	0,8	White ym. 2005
Risteytys (Si × Ab)	0,17	0,83	Costello ym. 2007
Risteytys (Si × Ab)	0,17	0,83	Page ym. 2004
Risteytys (Si × Ab)	0,20	0,80	Page ym. 2004

Ruotsalaisessa tutkimuksessa CAPN-geenin variantit olivat yhteydessä enemmän marmoroitumiseen kuin mureuteen. Ruotsalaisessa tutkimuksessa G-alleelin esiintyminen oli yleisempää kaikissa tutkituissa lihanautaroduissa. C-alleelia ja CC-muotoa esiintyi kuitenkin eniten angus-rodulla (Taulukko 32) (Ekerljung 2012).

**Taulukko 32.** CAPN1 esiintyminen ruotsalaisessa lihanautapopulaatioissa (Ekerljung 2012).

Rotu	Genotyyppi			Alleeli	
	CC	CG	GG	C	G
Angus	11	49	40	36	64
Charolais	4	21	75	14	86
Hereford	0	6	94	3	97
Limousin	0	31	69	16	84
Simmental	0	33	67	17	83

### Kalpastatiini

Kalpastatiini toimii kalpaiinin vastavaikuttajana. Kalpastaatiini sijaitsee BTA 7 geenissä. Yhden aminohapon muutos (C → T) vaikuttaa kalpastaatiinin toimintaan (Barendse ym. 2007). Geenin TT-muoto on yhdistetty mureampaan lihaan. T-alleeli on ollut yleisempi tutkituissa nautapopulaatioissa (Taulukot 33 ja 34) (Schenkel ym. 2006b, Barendse ym. 2007, Ekerljung 2012). C/G-alleelien osalta C-alleeli tuottaa mureampaa lihaa. C-alleelin esiintymien on Schenkelin ym. (2006a) tutkimuksen mukaan yleisintä limousin-rodulla (Taulukko 33).

**Taulukko 33.** C/T alleelin esiintyminen risteytysnaudoilla ja C/G alleelin esiintyminen risteytys- ja angus-, limousin- ja charolais-naudoilla.

Rotu	C	T	G	Lähde
Ristetytys ( <i>Bos indicus</i> × <i>Bos taurus</i> )	0,17	0,83		Casas ym. 2006
Ristetytys ( <i>Bos indicus</i> × <i>Bos taurus</i> )	0,2	0,8		Casas ym. 2006
Risteytys (Ab × Ch × Si × Li)	0,63		0,37	Schenkel ym. 2006a
Angus	0,64		0,36	Schenkel ym. 2006a
Limousin	0,73		0,27	Schenkel ym. 2006a
Charolais	0,69		0,31	Schenkel ym. 2006a

Ruotsalaisessa tutkimuksessa CAST-geenin variantit olivat merkitsevästi yhteydessä naudanlihan mureuteen. TT-variantti tuotti mureinta lihaa, CT-keskimääräistä ja CC-variantin leikkuuvaste oli korkein. TT-alleelia esiintyi merkitsevästi eniten angus-rodulla (Ekerjlung 2012) (Taulukko 32).

**Taulukko 34.** CAST-geenin varianttien esiintyminen ruotsalaisessa lihanautapopulaatiossa (Ekerjlung 2012).

Rotu	Genotyyppi			Alleeli	
	CC	CT	TT	C	T
Angus	5	32	63	21	79
Charolais	18	50	32	43	57
Hereford	14	54	31	41	59
Limousin	17	52	31	43	57
Simmental	52	48	0	76	24

Kalpaiinin eri alleelit vaikuttavat merkittävästi angus-rodun ja usean rodun risteytyseläinten lihan mureusominaisuuksiin. Jalostusvalintaa tulisi tehdä myös ottaen huomioon lihan syöntilaatuun vaikuttavien geenien eri muodot (Taulukko 35) (Tait ym. 2014a). Jalostusvalinnalla voidaan vaikuttaa mureusominaisuuksien kehittymiseen. Jos tunnistetaan pelkkä geeniominaisuuden olemassaolo tai sen puuttuminen, vaikutus lihan mureusominaisuuksien kehittymiseen on vähäisempi kuin tapauksissa, joissa pystytään tunnistamaan geenin alleellien eri muodot (Taulukko 35). Taitin (2014 a,b) tutkimuksessa CAST-geenin enemmän mureutta aiheuttava alleeli vaikutti lihan väriin positiivisesti. Tait ym. (2014a,b) laskivat eri kalpaiini ja kalpastatiinin alleelien vaikutukset angus-rotuisten eläinten lihan mureuteen. Valinta tiettyjen tarkkojen geenien perusteella ei näytä tutkimuksen mukaan vaikuttavan negatiivisesti muihin emolehmätuotantoon vaikuttaviin ominaisuuksiin (Tait ym. 2014a,b). Kalpaiini (CAPN1) haplotyyppi CC:CC nosti ensimmäistä kertaa poikivien hiehojen vasikoiden syntymäpainoa merkitsevästi verrattuna GT:GT haplotyyppiin. Keskimäärin syntymäpaino nousi 1,5 kg. Cushman ym. (2015) kehoittaakin varovaisuuteen, jos jalostusvalintoja tehdään vain yhden uuden ominaisuuden perusteella. Kaikkien emolehmätuotantoon vaikuttavien ominaisuuksien yhdysvaikutusten selvittämiseen tarvitaan lisää tutkimusta.

**Taulukko 35.** Kalpaiinin ja kalpastatiinin haplotyyppien tunnistamisen vaikutus angus ja risteytyseläinten leikkuuvasteeseen (Tait ym. 2014a,b)

	Rotu: risteytys		Rotu: angus	
	CAPN1	CAST	CAPN1	CAST
	GT-CC-alleelit	T-alleeli	GT-CC-alleelit	T-alleeli
Tunnistetaan geeni onko/ei				
Leikkuuvaste, kg	1,153±0,483	-0,902±0,464	1,049 ±0,246	-1,257±0,261
CAPN1 tyyppi				
Leikkuuvaste, kg	1,138 ±0,477	-0,610±0,424	1,040±0,279	-1,209±0,251
CAST tyyppi				
Leikkuuvaste, kg	1,081±0,465	-0,940±0,553	1,080±0,224	-1,204±0,341

Tutkimusten perusteella lihan syöntilaatuun vaikuttavien geenien esiintyminen ja geenien alleelit vaihtelevat vain vähän eri lihanautapopulaatioissa. Muutamien lihan syöntilaatuun vaikuttavien yleisesti tunnettujen geenien esiintyminen on kuitenkin yleisempää angus-rodulla kuin muilla roduilla. Tämä voi aiheuttaa pienen edun angus-rodun syöntilaatuominaisuuksien esiintymiseen. Syöntilaatu muodostuu kuitenkin aina eniten siitä, miten geeneihin vaikutetaan eli ruokinnalla ja olosuhteilla. Pelkkä rotu ei koskaan ole hyvän syöntilaadun tae.



Kuva: Maiju Pesonen.

### *Ranskalaiset rodut*

Vuosikymmenien ajan ranskalaiset jalostusorganisaatiot ovat käyttäneet keinosiemennystä ja erilaisia jalostusindeksejä eläinten valinnassa. Ranskalaiset valintakriteerit ovat painottuneet kasvu- ja teurasominaisuuksiin (Bouquet ym. 2010). Ranskalaisen lihanautajalostuksen haaste on tällä hetkellä naudanlihan laatuominaisuudet. Kuluttajat vaativat enenevässä määrin markkinoilta naudanlihaa, joka on tasalaatuista (Allais ym. 2014). Geay'n ym. (2001) mukaan kuluttajalle naudanlihan tärkeimmät ominaisuudet ovat mureus, marmoroituminen ja väri.

Ranskalaisten rotujen lihan syöntilaadun selvittäminen on lähtenyt liikkeelle kuluttajälhtöisesti (Allais ym. 2014). Ranskassa ei mitata rutiininomaisesti edellä mainittuja naudanlihan syöntilaadullisia ominaisuuksia. Tästä johtuen näiden ominaisuuksien geneettisten markkereiden löytymistä ranskalaisista roduista pidetään tärkeänä ja toisaalta jalostusta nopeuttavana ja edistävänä tekijänä (Barendse 1999, 2002, 2007, 2008, Haegeman ym. 2000, Grisart ym. 2002, Page ym. 2002, Bernard ym. 2007, Cho ym. 2008, Allais ym. 2010, Reardon ym. 2010). Allaisin ym. (2011) tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, ettei kaikilla Bos Taurus-roduilla ole samat geenimarkkerit naudanlihan syöntilaadun osal-

ta. Erityisesti naudanlihan mureuden kalpaiini 1- ja kalpastatiini-geenien esiintyvyys vaihteli blonde d'Aquitaine- ja charolais-roduilla.

Allaisin ym. (2014) tutkimuksessa löytyi charolais- ja blonde d'Aquitaine-roduilla 200 sekä limousinilla 29 eri autosomaalisesta kromosomista 78 merkitsevää geenipaikkaa, jotka vaikuttivat naudanlihan syöntilaatuun (Taulukko 36). Kolmelle rodulle yhteisiä QTL-paikkoja oli vain muutama. Charolais- ja blonde d'Aquitaine-roduilla löytyi kaksi yhteistä QTL-paikkaa, jotka vaikuttavat marmoroitumiseen. Nämä QTL-paikat olivat lähellä myostatiini- tai GDF8-geeniä (Allais ym. 2014). Yksilöillä, jotka kantavat homotsygoottisesti mutatoitunutta GDF8-geeniä, on fenotyyppisesti kaksoislihas (Grobet ym. 1997, Kambadur ym. 1997, McPherron & Lee 1997).

Allaisin ym. (2010) tutkimuksessa havaittiin, että 17 % keinosiemennykseen käytetyistä charolais-nuorsonneista kantaa myostatiini-geenin muunnosta Q204X. Tällä muunnoksella on merkittävä negatiivinen korrelaatio marmoroitumiseen (-0.47). Tätä muunnosta ei kuitenkaan havaittu blonde d'Aquitaine-rodulla. Limousin-rodulla vastaava keskinkertaisesti marmoroitumiseen vaikuttava muunnos on GDF8-geenissä. Esmailizadeh ym. (2008) löysivät kasvutekijä-geenin variantin F94L. Noin 3 % ranskalaisista limousin-rodun eläimistä kantaa homotsygootti-muunnosta GDF8 F94L-geenistä (Dunner ym. 2003). Limousin-rodulla homotsygootti-muunnos F94L-geenistä vaikuttaa lihan mureusominaisuuksiin. F94L-geenin AA variantin eläinten liha on mureampaa kuin CC variantin. Paisteissa mureusominaisuudet lisääntyvät AA variantilla 15 % ja fileissä 5 % verrattuna CC varianttiin (Chang ym. 2014). Changin ym. (2014) mukaan mureuden lisääntyminen erityisesti paisteissa johtuu geenin lihassmassaa lisäävästä vaikutuksesta erityisesti paistien alueella. Myostatiini-geenin, jonka variantti siis F94L on, vaikutus mureuteen johtuu lihassyrakenteen muutoksista. Myostatiini-geeni variantti F94L:llä voi olla negatiivisia vaikutuksia emolehämähiehojen hedelmällisyysominaisuuksiin. Myostatiini-geenin ollessa Leu:Leu homotsygoottinen hiehojen sukukypsyyksiä saavuttaminen oli viivästynyt verrattuna Phe:Phe homotsygoottiseen alleelliin (Cushman ym. 2015). Allais ym. (2011) havaitsivat, että 2 kalpaiini 1 geeni haplotyyppit ovat charolais-rodulla yhteydessä lihan mureusominaisuuksiin.

**Taulukko 36.** Ranskalaisilta roduilta löydettyjen syöntilaatuun vaikuttavien geenipaikkojen lukumäärä, kun käytetty kynnyksäraja oli  $5 \times 10^{-4}$  (Allais ym. 2014).

Rotu	Marmoroituminen	Väri (vaaleus)	Leikkuuvoima	Mureus	Yhteensä
Charolais	25	69	33	86	213
Limousin	14	14	39	11	78
Blonde d'Aquitaine	21	30	120	69	240

Chaze ym. (2009) suorittivat tutkimuksen kolmella ranskalaisella päärodulla. Tutkimukseen valittujen eläinten lihan mureusominaisuudet olivat keskimääräistä korkeammalla tasolla. Heidän tutkimukseen ainoastaan kaksi kandidaattigeeniä olivat samat jokaisella kolmella rodulla. Charolais-rodulla havaittiin kahdeksan mureuteen vaikuttavaa kandidaattigeeniä, limousinilla 11 ja blonde D'Aquitainella 13 (Taulukko 37). Tutkimuksessa käytettiin ns. mureus indeksiä, jossa aistinvaraisen mureusarvioinnin tuli olla positiivinen ja leikkuuvoimatestin tuloksen negatiivinen.

**Taulukko 37.** Kolmen eri ranskalaisen rodun kandidaattigeenit mureuden osalta (Chaze ym. 2009).

Kandidaattigeeni	Charolais	Limousin	Blonde d'Aquitaine
F-actin capping protein subunit $\beta$	X	X	x
NADH-ubiquinone oxidoreductase 75 kDa subunit			x
Phosphoglucomutase 1 (PGM)	X		
Proteasome subunit $\beta 2$	X		
Capping protein muscle Z-line $\alpha 2$		X	
Glyceraldehyde-3-phosphoate dehydrogenase (GAPDH)		X	
WD repeat-containing protein 1			x
Geranylgeranyl transferase type2 subunit $\alpha$		X	
Rab GDP dissociation inhibitor $\beta$		X	
$\alpha$ crystallin B chain		X	x
$\alpha$ Enolase		X	
Protein DJ-1	x	X	
Heat shock protein $\beta 6$ (HSP20)		X	x
Creatine kinase M-type			x
Slow troponin T			x
14-3-3 protein epsilon			x
$\beta$ enolase		X	x
Myosin light chain 3			x
Myosin regulatory light chain 2	x		x
Actin $\alpha$	x	X	x
Glutathione S-transferase P	x		
Fast troponin T	x		x

Tutkittujen ranskalaisten rotujen geneettisenä haasteena on, ettei mureuteen ja kokonaissyöntilaa- tuun vaikuttavien geenipaikkojen vaikutus näytä olevan kovin vahva. Mureuteen vaikuttaa useita eri geenejä, jotka eivät ole läheskään kaikki rotujen välillä samoja (Chaze ym. 2009, Allais ym. 2011, 2014, Chang ym. 2014).

#### *Rasva ja geenit*

Rasvan, lihaksen sisäisen rasvan ja rasvan ominaisuuksien genomia on tutkittu runsaasti. Ihmisravitsemuksellisesti naudanlihan rasvan koostumus voi olla hyödyllinen selvitettävä. Naudanlihan rasvan koostumuksen manipuloinnilla voi olla mahdollista saavuttaa kansanterveydellistä hyötyä (Givens & Gibbs 2008, McAfee ym. 2010). Genominen vaikutus tulee merkitykselliseksi silloin, kun manipulointia halutaan täsmentää, tehostaa ja helpottaa (Hocquette ym. 2012a).

Dunner ym. (2013) ja Sevane ym. (2013) havaitsivat, että alleelifrekvensseistä yhdellätoista polymorfismilla oli vaikutusta erilaisiin rasvan ominaisuuksiin naudoilla. Jos eläimellä oli homozygoottinen alleeli, geneettinen vaikutus lisäsi ominaisuutta 3,3–19 % verrattuina muihin homozygoottisiin alleeleihin (Taulukko 38).

**Taulukko 38.** Alleelifrekvenssit ja polymorfia 11 eri geenin osalta (Dunner ym. 2013, Sevane ym. 2013, Sevane ym. 2014b). Rodut: Je = Jersey, Ab = Angus, Hc = Highland cattle, Ho = Holstein, Si = Simmental, Li = Limousin, Ch = Charolais.

Lokuksen symboli	Alleeli <sup>1</sup>	Vaikutus (homozygoottinen alleeli)	Je	Ab	Hc	Ho	Si	Li	Ch
CAST*	A/C	+ 5 % rasvaluokka	0,77	0,88	0,94	0,69	0,78	0,68	0,65
CFL1*	C/T	+ 8 % 18:2/18:3	0,48	0,12	0,09	0,14	0,29	0,47	0,61
CRI1*	G/T	+ 13,4 % Neutraalirasvahapot ja 22:4n-6	0,95	1	0,67	0,75	0,75	0,90	0,91
GDF8*	G/del	+ 15 % rasvaluokka	1	1	1	1	1	1	1
IGF2R*	A/G	+ 4,4 % maku	0,04	0,32	0,52	0,06	0,3	0,18	0,44
LPL*	T/C	+ neutraalirasvahapot ja n-6 <sup>2</sup>	0	0,06	0	0,1	0,06	0	0,10
MMP1*	A/G	+ 3,3 % CLA	1	0,79	0,76	0,82	1	0,97	0,95
MMP1b	T/C	+ 14 % 22:6n-3	0,5	0,55	0,44	0,50	0,5	0,5	0,48
MYOZ1*	C/T	+ 8 % 18:2/18:3	0,48	1	0,44	0,63	0,91	0,80	0,90
PLTP*	G/A	+ 8 % n-6/n-3	0,5	0,58	0,25	0,27	0,38	0,71	0,40
PPARG*	G/A	+ n-3 <sup>3</sup>	0,13	0,28	0,04	0,12	0,14	0,18	0,25

\* geenit, joiden alleelifrekvenssin vaihtelu on tilastollisesti merkittävä ( $p < 0,0001$ )

<sup>1</sup> Lihavoitu on ominaisuuden kannalta suotuisa muoto

<sup>2</sup> +16 % 20:3 n-6 ja + 19 % 20:4 n-6

<sup>3</sup> + 9 % 22:5 n-3 ja + 15 20:5 n-3 ja + 18 % 22:6 n-3

Sevanen ym. (2014a) tutkimuksessa havaittiin, että rodut voidaan jakaa lihan kokonaisrasvapitoisuuden mukaan kolmeen ryhmään:

1. runsaasti rasvaa (danish red ja holstein > jersey > angus > highland)
2. keskinkertaisesti rasvaa (charolais)
3. vähän rasvaa (simmental > limousin)

Angus- ja highland-rodulla n-6/n-3 suhde oli merkitsevästi matalampi kuin charolais- ja limousin-rodulla. Yhdistettäessä rasvapitoisuus syöntilaatuominaisuuksiin charolais-rodun liha koettiin mehukaimmaksi ja angus- ja highland-eläinten lihan maku oli voimakkain. Sevane ym. (2014b) yhdisti taulukon geenivaikutukset syöntilaatuun ja muodosti eri geenien muotojen esiintymisen perusteella roduista kartan (Taulukko 38):

1. PPARG-geenin A-alleelin muoto esiintyy suuremmalla todennäköisyydellä angus- ja charolais-roduilla kuin muilla roduilla. Geeni vaikuttaa suotuisasti naudanlihan rasvahappokoostumukseen.
2. CFL1, PLTP ja MYOZ1, jotka on yhdistetty n-6/n-3 suhteeseen. Esiintyvät melko tasaisesti rodusta riippumatta.
3. IGF2R, joka on yhdistetty makuominaisuuksien muodostumiseen. G-alleeli esiintyi selvästi enemmän angus-, highland- ja charolais-rodulla.
4. CAST, joka on yhdistetty korkeampaan rasvaluokkaan. A-alleelin muoto esiintyi selvästi enemmän angus- ja highland-rodulla.

Tutkimuksen tuloksia on mahdollista käyttää kaupallisen geenitestin muodostamisessa. Geenitestillä pystyttäisiin arvioimaan taloudellisesti merkittäviä ominaisuuksia. Toisaalta pystyttäisiin tunnistamaan yksilöt, joiden lihan rasvan koostumus olisi ihmisravitsemuksellisesti hyvälaatuisia (Sevane ym. 2014b).

## 6. Mahdollisuudet parantaa lihan syöntilaatua teurastuksen jälkeen

Teurastuksen jälkeisten tapahtumien hallinta ja samankaltaistaminen on yleensä huomattavasti yksinkertaisempaa kuin eläinten kasvatuksen yhdenmukaistaminen. Merkittävimmät lihan syöntilaatuun vaikuttavat, teurastuksen jälkeiset tapahtumat ovat valkuaisaineiden hajoaminen ja lihassyiden supistumisen aste. Kolmas vaikuttava tekijä on ns. taustasitkeys, johon vaikuttaa ennen kaikkea lihan sisältämä sidekudoksen määrä. Taustasitkeyteen ei pystytä vaikuttamaan ruhon käsittelyllä (paitsi mekaaninen jauhaminen). Taustasitkeys muodostuu eläimen iästä ja/tai lihassyypistä (Cottle & Kahn 2014). Ruhon ja lihan käsittely voi vaikuttaa ulkonäköön ja teknologisiin ominaisuuksiin. Ulkonäöllisistä ominaisuuksista naudanlihan väri on herkin muutoksille ja teknisistä ominaisuuksista muutokset huomataan mureudessa ja maussa. Maku, mehukkuus ja mureus vaikuttavat lihan maittavuuteen. Naudanlihan ominaisuuksista mureus on tärkein (Thompson 2002).

Mureuteen vaikuttavat eniten lihasten supistuminen ja lihan pH teurastuksen jälkeen. Toisaalta lihan valmistustekniikka ja valmistuksen taso ovat aina merkittävässä osassa (Cottle & Kahn 2014). Sidekudoksen vetolujuuteen tai sitkeyteen ei voida vaikuttaa teurastukseen liittyvillä toimenpiteillä. Sidekudoksen ominaisuuksiin vaikuttaa eniten eläimen ikä (Shorthose & Harris 1990). Yksittäisten lihasten mureus vaihtelee suuresti. Mureusominaisuuksiin voidaan vaikuttaa ennen ja jälkeen teurastuksen tehtävillä toimenpiteillä (Belew ym. 2003).

Lihan mureutumistapahtuma alkaa heti eläimen teurastuksen jälkeen. Lihassoluissa olevat entsyymit aloittavat proteolyysin eli lihaskudoksen hajotuksen. Mureutumisprosessi on osittain aktiivinen *rigor mortis* -tapahtuman aikana. *Rigor mortis* -tapahtuma lyhentää lihassyitä ja tekee lihasta sitkeää. Entsyymiaktiivisuus ja lihaskudosta hajottavat tekijät ovat vastavaikuttajia tälle prosessille. Entsyymiaktiivisuuden huippu saavutetaan vasta *rigor mortis* -tapahtuman päätyttyä (Devine & Graafhuis 1995, Hopkins & Thompson 2002a). Jäähdyttämässä lihakset ja lihassyitä, jotka ovat pitempää korkeammassa lämpötiloissa, saavuttavat mureutumisprosessin aikaisemmin (Hwang & Thompson 2001a). Vähärasvaisten eläinten ruhojen jäähdyttäminen vaatii enemmän huolellisuutta kuin enemmän pintarasvaa sisältävien ruhojen jäähdyttäminen. Vähärasvaiset ruhot altistuvat kylmäsupistumiselle (Troy 1995).

Viimeaikaiset teurastuksen jälkeisten tekniikoiden tutkimukset ovat keskittyneet mureuteen vaikuttavien tekijöiden keinotekoiseen lisäämiseen. Tällaisia tekniikoita ovat ruhojen ultraääni-, korkea hydrostaattinen paine- ja erilaiset paineaalto-käsittelyt. Paineaaltoja on muodostettu joko räjähteillä tai sähkövirralla (Arroyo ym. 2015). Ultraäänikäsittelyn tulokset ovat olleet vaihtelevia (Jayasooriya ym. 2004). Vastaavasti korkean hydrostaattisen paineen käyttö on osoittautunut haastavaksi, ja se voi jopa heikentää ruhojen laatua (Simonin ym. 2012). Erilaisten paineaaltojen muodostaminen on osoittautunut käytännössä haastavaksi järjestää. Varsinkin räjähteiden käytöstä pelätään jäävän jäämiä ruhoihin, ja sen pelätään myös aiheuttavan työturvallisuuden heikkenemistä (Solomon ym. 2011).

### 6.1. Sähkö

Sähkön johtaminen ruhon läpi pian teurastuksen jälkeen aiheuttaa lihaksien supistumisen. Lihaksien supistuminen hajottaa lihaksissa olevaa glykoosia eli glykolyyttinen aktiivisuus lihaksessa nousee. Glykolyyttisen aktiivisuuden noustessa lihaksen pH laskee nopeammin. pH:n muutos saadaan aikaiseksi 97 kJ/mol energialla (Chrystall & Devine 1980). Suunnilleen yhtä paljon energiaa tarvitsee kalsium-aktivoitu aktinomyosiini ATP-aasi (Lawrence ym. 2012). Lihaksen pH:n muutos aiheuttaa lämpötilasta johtuvan glykolyysin lisääntymisen, jolloin *rigor mortis* -tapahtuma aikaistuu. Pääasiallinen sähkön käytön tarkoitus on laskea ruhon pH nopeasti alle 6, kun lämpötilat ovat alle +12 °C. Kun tähän pH/lämpötilasuhteeseen päästään, ruho voidaan jäähdyttää nopeasti alhaisempiin lämpötiloihin (Hui

2012). MSA-laatu järjestelmässä ruhon lämpötilan tulee olla alle +35 ja yli +12 °C ennen kuin pH 6 on saavutettu.

Sähkö vaikuttaa mureutumisprosessiin kolmella eri tavalla (Hui 2012):

1. lysomaalien membraanit hajoavat ja vapauttavat katepsaanit lihassoluihin
2. sähkö aiheuttaa lihassolujen fysikaalinen hajoamisen
3. sähkö voi vähentää sidekudoksen ristsidoksia

Sähkökäsittelyn vaikutukset jäävät kuitenkin usein vaillinaiseksi, koska kaikki kolme yllämainittua kohtaa eivät toteudu. Sähkön vaikutus mureutumisprosessiin on usein hyvin vaihtelevaa (Kerth 2013). Sähkökäsittelyn ajoitus on olennainen mureusominaisuuksien kehittymisen kannalta. Hwang & Thompson (2001b) havaitsivat, että sähkökäsittely 3 minuuttia teurastuksen jälkeen tuotti sitkeämpää lihaa kuin sähkökäsittely 40 minuutin kuluttua teurastuksen jälkeen.

Eräs ongelma, joka voi aiheutua sähkökäsittelystä, on ns. lämmin supistuminen. Lihan mureusominaisuudet heikkenevät, koska veden sidontakyky lisääntyy (proteiinien denaturoituminen) ja värin pysyvyys heikkenee (proteiinien denaturoituminen ja lisääntynyt vesipitoisuus aiheuttaa heijastuksia) (Simmons ym. 2008). Matthews (2008) tutkimuksessa korkea lämpötila takaosan syvissä lihaksissa tuotti vaaleaa vetistä lihaa, joka muistutti sikojen PSE-lihaa (pale, soft exudative eli vaalea, pehmeä, vetinen). Paistien on osoitettu olevan herkimpää lämpösupistumiselle (Huff-Lonergan ym. 2010, Kim ym. 2010a). Rosenvold ym. (2008) havaitsivat, että lämpimänä leikatut palat eivät altistuisi lämminsupistumiselle. Lämminsupistumista voidaan yrittää palauttaa hidastamalla jäähdetysopeutta (Strydom ym. 2005).

Paloitellun naudanlihan käsittely sykäyksittäin muodostuvalla sähkövirralla voi olla edullista mureusominaisuuksille. Sykäyksittäin muodostuvassa sähkökenttäkäsittelystä (PEF Pulsed Electric Fields) voimakasta sähkövirtaa johdetaan mikrosekuntien välein halutun materiaalin läpi. PEF-tekniikka on uusi elintarviketeollisuuden prosessointitekniikka. PEF-tekniikassa nähdään mahdollisuuksia mm. erilaisten nesteiden ja viskoosien aineiden pastoroimisessa (Elez-Martínez ym. 2012). Arroyon ym. (2015) kokeessa käsiteltiin ulkoselkäliahasta (*longissimus thoracis et lumborum*) joko 300 tai 600 neliöaaltopulssin sykäyksillä, 20 µs intervallilla. Sähköpulsin voimakkuus oli 8400 V ja tajuus 10 Hz. Käsitteletyt suoritettiin päivinä 2, 10, 18 ja 26 jälkeen teurastuksen. Sähkökäsittelyillä ei ollut negatiivisia vaikutuksia lihansyöntilaatuun, tekniisiin ominaisuuksiin tai ulkonäköön. Sähkökäsittely lisäsi kypsennyksen lihan kypsennyshävikkiä, mutta näytti vaikuttavan positiivisesti mureusominaisuuksiin. Raakakypsytyksiaikaa ei kuitenkaan saatu tällä käsittelyllä lyhennettyä.

Sähkökäsittely voi vaikuttaa naudanlihan väriominaisuuksiin raakakypsytyksen aikana. Arroyon ym. (2015) mukaan PEF-käsittely stabiloi naudanlihan väriominaisuudet: värissä ei tapahtunut muutoksia raakakypsytyksen aikana. Toisaalta O'Dowd ym. (2013) havaitsivat PEF-käsitellyn lihan vaaleuden olevan vähäisempää kuin käsittelemättömien näytteiden. Muissa väriparametreissa ei havaittu muutoksia. Värin muutoksen oletettiin aiheutuvan PEF-käsittelyn aiheuttamasta lämpötilan noususta. Lihan lämpötilan nousu tekee naudanlihan väriominaisuudet epästabiileiksi (Kerth 2013).

Ruhojen sähkökäsittelyä on kokeellisesti suoritettu myös veden alla. Etuna voidaan pitää mm. sähkön jakautumista tasaisesti koko ruhon alueelle samanaikaisesti (Bolmar ym. 2013).

Sähkökäsittely on yksi työväline mureen lihan tavoittelussa, mutta se ei takaa mureusominaisuuksia. Sähkökäsittely tulisi nähdä ennen kaikkea työvälineenä laskea pH riittävän alas. Toisaalta on huomioitava, että sähkökäsittelyllä voidaan menettää olemassa oleva mureus (Kerth 2013).

## 6.2. Riiputustekniikat

Ruho riiputukseen teurastuksen jälkeen on kaksi pääasiallista tekniikkaa:

1. Akillesjänne
2. Tender stretch

Perinteisesti ruho riiputetaan teurastuksessa akillesjännetekniikalla. Akillesjänneriiputus vetää takajalkaa taaksepäin. Lihaksi ei ole tällaisessa asennossa elävissä eläimessä. Akillesjänneriipusta käy-

tään, koska tässä asennossa ruhon luustoon kohdistuu vähiten jännitystä. Toisaalta käytettäessä akillesjänneriiputusta ruhojen tilavaatimus ruhovarastossa on kohtuullinen (Cottle & Kahn 2014).

Akillesjänneriiputuksessa selkälinja muodostaa pienen kaaren, jolloin selän lihaksissa tapahtuu lihaksen lyhenemistä. Lihaksen sarkomeerien haarat voivat lihaksen lyhetessä tarttua toisiinsa kiinni, mikä voi aiheuttaa sitkeämpää lihaa (Hostetler ym. 1970). Lihan mureusominaisuuksien takaamiseksi sarkomeerit tulisi saada venymään/pidentymään (Troy 1995).

Ruho voidaan riiputtaa myös lantioluusta. Tässä nk. tender stretch -tekniikassa lantioluusta tai lantion kannattavista jänteistä (illiosarkaali) pujotetaan S-kirjaimen muotoinen koukku. Koukun sijaan voidaan käyttää myös esimerkiksi narua (Ahnström ym. 2012). Suositus on, että tender stretch -tekniikkaa hyödynnetään ennen kuin ruhon pH laskee alle 6,0 (*rigor mortis*) (Cottle & Kahn 2014). Tender stretch -tekniikassa ruhon jalat riippuvat enemmän eteenpäin, mikä aiheuttaa selkälinjan kaartumisen ulospäin. Tässä tekniikassa selkärankaan kohdistuu enemmän jännitystä, jolloin selänlihaksisto joutuu venytykseen.

Tender stretch -tekniikassa ruho on luonnollisemmassa asennossa kuin akillesjänne-riiputuksessa (Hostetler ym. 1970, 1972, 1975). Sarkomeerien pituus lisääntyy merkittävästi tender stretch-tekniikalla riiputettaessa seuraavissa lihaksissa: *Longissimus*, *Semimembranosus*, *Adductor*, *Gluteus medius* kaikkien muiden sukupuolien ruhoilla paitsi hiehoilla (Bouton ym. 1973, Barnier & Smulders 1994, Eikelenboom ym. 1998, Ahnström ym. 2006a). Tender stretch -tekniikka ei kuitenkaan vaikuttanut *Psoas major* -lihakseen. Leikkuuvaste ja sarkomeerien pituus ei eroa tender stretch -tekniikalla riiputetuilla ruhoilla verrattuna akillesjänneriiputukseen (Hostetler ym. 1970, Bouton ym. 1973, Hostetler ym. 1975, Ahnström ym. 2012). Tender stretch -tekniikan on osoitettu lisäävän lihan mureutta 15–40 % niiden lihasten osalta, joihin riiputus kohdistuu (Bouton ym. 1973, Aberle & Judge 1979, Wahlgren ym. 2002, Ahnström ym. 2006a, Derbyshire ym. 2007, Ahnström ym. 2012, Cottle & Kahn 2014). Livelyn ym. (2009) tutkimuksessa tender stretch -tekniikka vaikutti enemmän charolais-härkien kuin holstein-härkien leikkuuvasteeseen. Aikaisemmassa Troyn (1999) tutkimuksessa sarkomeerien pituudet lisääntyivät tender stretch -tekniikalla eri lihaksissa seuraavasti:

- longissimus dorsi +15 %
- semimembranosus +30 %
- biceps femoris +33 %
- gluteus medius +30%

Sarkomeerin pidentyminen vaikutti aistinvaraisen arvion tulokseen. Aistinvaraisen analyysin tulokset olivat 20 % paremmat tender stretch -tekniikalla riiputetuissa kuin tavanomaisesti riiputetusta ruhoista (Troy 1999). Sorheimin ym. (2001) tutkimuksessa kylmäsupistumista tapahtui vähemmän tender stretch -tekniikalla riiputetuissa ruhoissa.

Tender stretch -tekniikka todennäköisesti vaikuttaa myös lihan veden sidontakykyyn. Valuma on pienempi tender stretch -tekniikalla riiputetuissa ruhoissa (Joseph & Connolly 1977, Ahnström ym. 2006a, Derbyshire ym. 2007). Ahnströmin ym. (2012) tekemässä tutkimuksessa valuma väheni keskimäärin 0,37 % (vaihteluväli 0,4-3,6 %) seitsemän päivän vakuumiraakakypsytyksen aikana tender stretch -tekniikalla verrattuna akillesjänneriiputukseen (1,8 % vs. 1,43 %). Suurin ero muodostui lehmän lihan valumassa. Tender stretch -tekniikalla valuma muodostui 0,82 % pienemmäksi kuin akillesjänneriiputuksessa (Ahnström ym. 2012).

Tender stretch -tekniikan haaste on ruhojen vaatima lisätila ruhovarastossa. Toisaalta ruhojen kiinnittäminen ja siirtely vaativat enemmän aikaa ja työtä. Myös lihasten muoto voi olla hieman erilainen verrattuna akillesjänne-riiputuksessa (Ahnström ym. 2012). Tender stretch -tekniikalla pystytään lyhentämään raakakypsytyksiaikaa. Ahnström ym. (2009) ja O'Halloran ym. (1998) osoittivat, ettei raakakypsytyksajan pidentäminen seitsemästä päivästä 14:sta päivään lisännyt murean lihan osuutta leikkuuvastetestauksessa.

Tender stretch -tekniikalla riiputettua naudanlihaa käytetään laaduntaejärjestelmissä muutamiin kauppaketjujen erikoislihamyynnissä mm. Isossa Britanniassa ja Pohjois-Irlannissa. Lisäksi suurin

osa Irlannin vientiin suuntautuneesta naudanlihasta riiputetaan tender stretch -tekniikalla. Ruotsissa 3 % ja Pohjois-Amerikassa 1 % ruhoista on tender stretch -riiputettuja (Ahnström ym. 2012). Australiassa suositellaan kaikille *Bos Indicus* -ruhoille käytettävän tender stretch -tekniikkaa (Cottle & Kahn 2014).

Tender stretch -tekniikkaa voidaan hyödyntää erityisesti niissä markkinointijärjestelmissä, joissa tavoitellaan syöntilaadullisesti ensiluokkaista lihaa. Tender stretch -tekniikalla naudanlihan mureusominaisuuksien vaihtelu voidaan saada pienemmäksi (Ahnström ym. 2012, Hui 2012, Cottle & Kahn 2014). Todennäköisesti paras hyöty saavutettaisiin yhdistämällä tavanomaista pitempi raakakypsytysaika ja tender stretch -tekniikka sellaisiin ruhoihin, joiden mureusominaisuuksien oletetaan olevan keskimääräistä heikommalla tasolla. Teollisuus voi lisäksi saada merkittäviä hyötyjä valuman vähentyessä ja suurempina ruhojen lihasaantoina (Ahnström ym. 2012, Cottle & Kahn 2014). Tender stretch -tekniikan rinnalle on kehitetty TenderCut -tekniikka, jossa ruho leikataan ja pakataan vakuumiin siten, ettei isoja lihaksia pilkota ennen vakuumiraakakypsytystä (Marriot & Claus 1994, Cottle & Kahn 2014). Shanks ym. (2002a) raportoivat, että tulokset TenderCut -tekniikalla ovat vaihtelevia. Filho ym. (2005) riiputtivat ruhoa etujaloista. Etuosan ja selän lihaksiston mureusominaisuudet parantuivat merkittävästi. Tekniikkaa ei ole kuitenkaan vielä tutkittu kovin paljoa.

### 6.3. Raakakypsytytys

Raakakypsytytys on teollisuudessa käytetyin naudanlihan mureus- ja makuominaisuuksiin vaikuttava toimenpide (Sitz ym. 2006, DeGeer ym. 2009). Raakakypsytyksen hyöty syöntilaatuun on usein havaittavissa 14 tai 21 päivän raakakypsytytys ajoilla (Prado & de Felicio 2010). Raakakypsytytys on myös tärkeä tekijä mureuden vaihtelun vähentämisessä. Raakakypsytytys vähentää tai poistaa esimerkiksi rodun ja/tai ruokinnan aiheuttaman vaihtelun mureusominaisuuksissa (Monsón ym. 2005, Ibrahim ym. 2008). Raakakypsytysaika tulisi pitää kohtuullisessa pituudessa. Raakakypsytyksajan pidentyessä riskinä on naudanlihan maun heikkeneminen ja virhemakujen muodostuminen (Spanier ym. 1997). Huomion arvoista on, että raakakypsytytys vaikuttaa eri lihaksiin eri tavalla (Wood 2013).

Raakakypsytyksajalla vaikutetaan lihan syöntilaatuun proteolyysin aiheuttaman mureutumisprosessin kautta. Naudalla raakakypsytyksen prosessi on hidaskäyttöinen ja aiheuttaa teollisuudelle merkittäviä kustannuksia (Bertram ym. 2004). Raakakypsytyksaika on yleensä  $\leq 28$  vuorokautta (Kerth 2013). Lisääntynyt raakakypsytyksaika hidastaa lihan kiertoa, koska lihaa joudutaan pitämään tietyissä olosuhteissa ennen markkinoille pääsyä (Hui 2012). Toisaalta raakakypsytytys ei aina vaikuta kaikkiin ruhonosiin samalla tavalla. Teollisuus kaipaaisikin menetelmiä, jotka nopeuttaisivat prosessia ja tekisivät lopputuotteesta tasalaatuista (Bertram ym. 2004).

Raakakypsytyksen prosessi on voimakkainta ensimmäisten seitsemän päivän ajan, jonka jälkeen vähäistä mureutumista tapahtuu 12 päivään saakka. Tämän jälkeen raakakypsytyksellä ei saada merkittäviä vaikutuksia aikaiseksi (Kerth 2013, Kern ym. 2014). Selkälihaksien ollessa jo valmiiksi mureita, raakakypsytyksen aikana ei tapahdu kovinkaan paljon lisämureutumista. Gruber ym. (2006) havaitsivat jopa mureusominaisuuksien heikkenemistä raakakypsytyksen pidentyessä, jos filepihvi oli keskimääräistä mureampi. Toisaalta, jos filepihvi oli keskimääräistä sitkeämpi, raakakypsytytys lisäsi mureutta. Novakofskin & Brewerin (2006) mukaan syöntilaadultaan tasaisen naudanlihan tavoittelussa voidaan yllä mainittujen tekijöiden perusteella menettää raakakypsytyksellä saavutetut edut, jos teurasruhosta ei pystytä etukäteen arvioimaan mahdollisia mureusominaisuuksien ääripäitä. Raakakypsytyksen prosessi ei vaikuta sidekudokseen (Hui 2012). Raakakypsytyksen haasteena on eri lihasten erilaiset ominaisuudet, minkä seurauksena eri lihakset vaativat eripituisia raakakypsytyksiaikoja (Tornberg 1996, Hui 2012). Nykykäsityksen mukaan lisähyötyä mureutumisesta ei saavuteta, jos naudanlihan raakakypsytyksiaikaa pidennetään yli 10–12 päivän 0–2 °C asteen lämpötilassa. Lihassyiden haajoamisen aste ei lisääntynyt, eikä makuominaisuuksissa saavuteta vastaavaa hyötyä (Hui 2012, Kerth 2013, Cottle & Kahn 2014).

Eläimen rotu vaikuttaa merkittävästi lihan vaatimaan raakakypsytysaikaan ja kuluttajien mieltymyksiin (pureskeluvoima, maku, haju) (Monsón ym. 2005, Hui 2012, Kerth 2013). Pitkä, yli seitsemän päivän raakakypsytysaika vähentää rotujen eroja kuluttaja-arvioissa. Limousin-rotuisten sonnien liha vaatii merkittävästi lyhyemmän raakakypsytysajan kuin blonde d'Aquitaine-, holstein- ja brown swiss-sonnien. Limousin-sonnien liha oli maittavaa ja mureaa 7 päivän raakakypsytyksen jälkeen, kun muut rodut vaativat 14–21 päivän raakakypsytyksen (Monsón ym. 2005).

Raakakypsytysmenetelminä käytetään perinteistä raakakypsytystä (dry ageing), jossa ruhoa ei suojata tai erilaisia raakakypsytysmenetelmiä, joissa ruho tai ruhon osat suojataan (vakuumpakkaus tai kookkaammat ruhojen suojat) (Hui 2012). Perinteinen raakakypsytytys vaatii tarkan raakakypsytysolosuhteiden hallinnan (kosteus, lämpötila) (DeGeer ym. 2009, Hui 2012). Perinteisen raakakypsytyksen tulos voi olla heikompi erittäin vähärasvaisilla ruhoilla verrattuna hieman enemmän pintarasvaa sisältäviin ruhoihin, koska ruhon pinta voi vähärasvaisilla ruhoilla kuivua liikaa (Sitz ym. 2006, Laster ym. 2008, Smith ym. 2008a). Toisaalta mikrobikasvu voi aiheuttaa huomattavia ruhotappiota perinteisessä raakakypsytyksessä (Hui 2012, Li ym. 2014). Vähärasvaisissa ruhoissa mikrobikasvu on runsaampaa kuin enemmän pintarasvaa sisältävissä ruhoissa (Ahnström ym. 2006). Kaikista toimenpiteistä huolimatta perinteinen raakakypsytytys aiheuttaa ruhotappiota ja lisää kustannuksia (Hui 2012, Li ym. 2014) (Taulukko 39).

Vakuumiraakakypsytytys (wet dry ageing) kehitettiin 1960-luvulla. Menetelmä yleistyi nopeasti, koska vakuumiin pakattu naudanliha voidaan helposti pakata pienempiin osiin. Raakakypsytytys vaatii näin huomattavasti vähemmän tilaa kuin perinteinen raakakypsytytys. Toisaalta vakuumpakettien kuljetus onnistuu jo raakakypsytysvaiheessa, ja mikrobimäärät pysyvät helpommin hallinnassa (Ahnström ym. 2006, DeGeer ym. 2009, Hui 2012, Li ym. 2014) (Taulukko 37). Vakuumiraakakypsytytys suoritetaan alle +3 °C asteen lämpötilassa vakuumpusseissa yleensä 7–21 päivää (Wood 2013).

Raakakypsytytys voidaan suorittaa myös ns. isommissa raakakypsytyspusseissa (dry ageing bags, mm. Tublin<sup>®</sup>). Raakakypsytyspussit on valmistettu materiaaleista, jotka läpäisevät vesihöyryä. Raakakypsytyspussien tarkoituksena on tuottaa naudanlihaan sama maku kuin perinteisellä raakakypsytyksellä. Raakakypsytyspussien etuna ovat pienemmät ruhon painohävikit ja raakakypsytysolosuhteiden helpompi hallinta kuin perinteisessä raakakypsytyksessä (Ahnström ym. 2006b) (Taulukko 39).



Kuva. Susanna Jansson.

**Taulukko 39.** Raakakypsytysmenetelmien vertailu kahdella eri raakakypsytysajalla naudanlihan laatuominaisuuksiin (Li ym. 2014).

Mitattu ominaisuus	Raakakypsytysaika, vrk	Raakakypsytysmenetelmä			<i>p</i> -arvo		
		Pussi	Tavanomainen	Vakuumi	Menetelmä	Aika	Menetelmä × Aika
pH	8	5,60	5,58	5,57	0,002	0,04	0,084
	19	5,61	5,63	5,57			
	<i>p</i> -arvo	0,702	0,004	0,848			
Hävikki, %	8	26,7	27,5	20,2	<0,001	<0,001	<0,001
	19	37,1	40,7	18,8			
	<i>p</i> -arvo	<0,001	<0,001	0,44			
Haju	8	1	1	2	<0,001	<0,001	<0,001
	19	1	4	2			
	<i>p</i> -arvo						
Valuma	8	38,8	38,7	38,7	0,934	<0,001	0,893
	19	40,4	40,3	40,6			
	<i>p</i> -arvo	0,013	0,011	0,003			
Bakteerit Rasva	8	4,66	5,22	4,44	0,003	<0,001	0,783
	19	6,23	6,91	5,76			
	<i>p</i> -arvo	<0,001	<0,001	<0,001			
Liha	8	5,34	6,39	3,28	<0,001	<0,001	0,001
	19	6,57	8,75	5,87			
	<i>p</i> -arvo	<0,001	<0,001	<0,001			
Hiivat Rasva	8	2,32	2,54	1,11	<0,001	<0,001	<0,001
	19	3,93	4,24	0,67			
	<i>p</i> -arvo	<0,001	<0,001	0,135			
Liha	8	2,71	3,69	0,37	<0,001	<0,001	<0,001
	19	4,88	5,68	0,51			
	<i>p</i> -arvo	<0,001	<0,001	0,583			
Homeet Rasva	8	0,11	0,16	0,21	0,745	0,802	0,477
	19	0,26	0,31	0,01			
	<i>p</i> -arvo	0,523	0,520	0,396			
Liha	8	0,11	0,01	0,24	0,194	0,214	0,011
	19	0,11	0,72	0,01			
	<i>p</i> -arvo	1	0,002	0,303			

Raakakypsytysaika lisää lihan mikrobimäärää. Raakakypsytystapa vaikuttaa siihen, kuinka korkeaksi bakteerien, hiivojen ja homeiden määrä kasvaa. Suurimmat mikrobimäärät muodostuvat perinteisellä raakakypsytysmenetelmällä (Taulukko 39) (Hui 2012, Li ym. 2014).

Lihan valmistusprosessi aloitetaan yleensä avaamalla pakkaus, johon liha on sijoitettu. Haju, joka muodostuu pakkausta avattaessa, on merkittävä tekijä, jolla ruuanvalmistaja arvio lihan käyttökelpoisuutta. Paremmat hajuarvioit ovat yleensä olleet yhteydessä korkeampiin aistinvaraisen arvioinnin tuloksiin (Hui 2012, Li ym. 2014). Perinteisellä menetelmällä raakakypsytyksessä lihassa on yleensä voimakkaampi haju kuin muissa raakakypsytysmenetelmissä. Haju myös lisääntyy raakakypsytysajan pidentyessä (Taulukko 39) (Li ym. 2014).

Raakakypsytyksessä voi vähentää mehukkuusominaisuuksia kypsennyksessä lihassa. Raakakypsytyksen aiheuttamat lihaksen rakenteelliset muutokset voivat aiheuttaa lisääntyneen nestehävikin yli 16 päivän raakakypsytyksessä, mikä vähentää kypsennetyin lihan mehukkuutta (Boakye & Mittal 1993, Bertam ym. 2004).

Raakakypsytyksessä voi vaikuttaa lihan väriin. Kingin ym. (2012) tutkimuksessa raakakypsytyksessä ei vaikuttanut lihan värin vaaleuteen (L). Toisaalta aikaisemmissa tutkimuksissa lihan värin vaaleus (L) ja keltaisuus (b) ovat merkitsevästi lisääntyneet vakuumpakatussa naudanlihassa koko raakakypsytysajan (Joseph & Connolly 1977, Boakye & Mittal 1996). Beriain ym. (2009) havaitsivat lihan punaisu-

den (a) ja keltaisuuden lisääntyvän merkitsevästi 24 tunnin ja 14 päivän välisenä raakakypsytysaikana. Tämä johtunee oksimyoglobiini-konsentraation lisääntymisestä lihan pinnassa (Kerth 2013).

Raakakypsytyksessä vaikuttaa naudanlihan maun muodostumiseen. Perinteisen ja vakuumiraakakypsytyksen aiheuttamia eroja naudanlihan makuominaisuuksiin on tutkittu runsaasti. Perinteisessä raakakypsytyksessä makuominaisuudet ovat keskimääräistä hieman paremmat verrattuna vakuumiraakakypsytykseen (Laster ym. 2008, Smith ym. 2008a). Vakuumiraakakypsytyksessä lisää hieman hapan maun esiintymistä verrattuna muihin raakakypsytysmetodeihin. Raakakypsytyksessä raakakypsytetty liha on koettu kuluttajaarvioinneissa kokonaislaadultaan miellyttävämmäksi kuin vakuumiraakakypsytetty naudanliha. Varsinkin naudanlihan maun intensiteetin kannalta tärkeät voissapaistetun maku ja umamin maku jäävät vakuumipakatussa lihassa vähäisemmiksi (Taulukko 40) (Li ym. 2014).

**Taulukko 40.** Kuluttajalaaduntestauksen (n=264) tulos 21 päivän raakakypsytyksen jälkeen (Li ym. 2014).

Ominaisuus	Raakakypsytysspussi	Vakuumi	Ei eroja	p-arvo
Miellyttävyyden, %	57,6 (152)	37,9 (100)	4,5 (12)	0,001
Mureus, %	61,7 (163)	31,1 (82)	7,2 (19)	<0,001
Mehukkuus, %	61,0 (161)	34,1 (90)	4,9 (13)	<0,001

Raakakypsytysaika vaikuttaa naudanlihan makuominaisuuksiin. Raakakypsytyksen pidentyessä proteolyyysin määrä kasvaa. Lihan proteolyyysin lisääntyessä vapaiden aminohappojen ja muiden naudanlihaan makuamuodostavien aineiden määrä lihassa kasvaa (Koutsidis ym. 2008). Toisaalta Ahnström ym. (2006) ja DeGeer ym. (2009) eivät havainneet mitään eroa maun intensiteetin ja raakakypsytyksen välillä. Kuluttajien havainnoima kokonaismiellyttävyyden (maku, mureus, mehukkuus) on kuitenkin lisääntynyt raakakypsytyksen pidentyessä (Laster ym. 2008, Smith ym. 2008a). Raakakypsytysaika ei tule venyttää turhaan (yli 14 vrk), jos siihen ei ole erityistä syytä (Wood 2013). Pitkät raakakypsytyksajat vähentävät lihan makua ja lisäävät virhemakujen muodostumista (Spanier ym. 1997). Vähärasvaisilla ruhoilla on kiinnitettävä huomiota raakakypsytyksimetodiin enemmän. Raakakypsytysaika olisi pidettävä vähärasvaisilla ruhoilla enintään noin 20 päivässä (Ahnström ym. 2006, Li ym. 2014).

## 6.4. Kuluttajapakkaukset

Yleinen oletus on, että raakakypsytyksistä (mureutumista) tapahtuu aina siihen saakka, kunnes liha valmistetaan. Suurin osa (80 %) lihasta myydään suojakaasupakkauksissa (80 % O<sub>2</sub> / 20 % CO<sub>2</sub>) (Wood 2013). Suojakaasupakkaus voi heikentää naudanlihan syöntilaatuominaisuuksia verrattuna vakuumiin tai suojakelmuun. Suojakaasupakkauksessa mureus- ja makuominaisuudet olivat useissa tutkimuksissa heikkoja (Torngren 2003, Madsen & Claussen 2006, Lagerstedt ym. 2011, Zakrys-Waliwander ym. 2011). Suojakaasupakkaus pysäyttää mureutumisprosessin tai jopa tekee lihasta sitkeämpää (Wood 2013). Suojakaasu (happi) estää proteolyyysin (Maddock Carlin ym. 2006), tekee lihasta sitkeämpää valkuaisen hapettuessa (Kim ym. 2010b) ja pilaa lihan maun hapettumisella (rasva härskiintyy) (Campo ym. 2006).

Vakuumipakkauksen käyttö vähentäisi pakkaustilaa ja ylimääräistä pakkausmateriaalin käyttöä. Toisaalta vakuumipakkauksessa normaali raakakypsyminen (mureutuminen) jatkuu aina valmistukseen saakka (Wood 2013). Negatiivisena puolena voi olla värin säilymisen ongelmat (Carpenter ym. 2001). Jäädetyssä tuotteessa ei tapahdu entsyymien aiheuttamaa raakakypsytyksistä (Wood 2013). Kuluttajapakkaus vaikuttaa myös lihan väriin. Suojakaasupakkaus suojaa lihan myoglobiinin, jolloin väri pysyy kauemmin kauniin, kirkaan punaisena (Carpenter ym. 2001). Suojakaasun värin säilymistä pidentävä vaikutus on keskimäärin 7 päivää (Richardson 2003). Kingin ym. (2011) tutkimuksen mukaan lihasten erilaiset ominaisuudet johtavat siihen, että kaikissa tapauksissa pitkä värin säilyminen on mahdotonta.

## 6.5. NIR-tekniikka syöntilaadun mittaajana

Tasaisen laadun tavoittelussa on helpompi kontrolloida ketjun loppupäätä kuin ketjun alkupäätä. Tuotantoketjun lopussa on yleensä vähemmän toimijoita kuin alussa. Naudanlihantuotannossa teurastamolinjalle tulee eläimiä lukuisilta eri tiloilta ja erilaisista tuotanto-olosuhteista. Tilojen olosuhteiden vakiominen on mahdotonta, mutta lopputuotteen eli ruhon arviointiin voi olla mahdollisia välineitä. Teuraslinjalla tapahtuvaan laadunarviointiin tarvitaan paljon mittauksia ja työtä. Prieto ym. (2009a,b) käyttivät NIR-tekniikkaa menestyksekkäästi ruhon koostumuksen arviointiin. Syöntilaadun osalta tulokset ovat olleet vaihtelevia. Herrero (2008) esitti, että Raman spektroskopiolla olisi muutamia etuja naudanlihan laadun arvioimisessa. Beattie ym. (2004b) saivat lupaavia tuloksia naudanlihan laadun arvioinnissa, kun taas Moss ym. (2010a) eivät pystyneet osoittamaan yhteyttä spektroskopian tuloksien ja leikkuuvoimatestin välillä. Beattie ym. (2004a) saivat lupaavia tuloksia Raman spektrillä mm. *rigor mortis* -tapahtuman alkamisesta. Hyperspekrikuvantaminen (HIS) on antanut lupaavia tuloksia teuraslinja-analysoinnissa (Ren ym. 2012, Sun ym. 2012).

Naudanlihan laadun laitteellisen mittauksen esitietoina tulisi huomioida yleisiä mittaustekniikkaan liittyviä tekijöitä mutta myös eläinten ominaisuuksiin liittyviä tekijöitä (Taulukko 41) Monin (1998) esitteli peruseriaatteet, miten lihan laatua voidaan arvioida spektroskopisin ja ei-spektroskopisin menetelmin. Spektroskopia on epäsuoramenetelmä syöntilaadun arviointiin, joten vertailu/referenssiryhmä on tehtävä instrumentaalisin tai aistinvaraisin mittauksin. Leikkuuvoimatesti on paras mureuden arvioinnin perusta. Leikkuuvoimatestin lisäksi voidaan referenssinä käyttää aistinvaraista arviota. Aistinvaraisen arvion etuna on kokonaisnäkemys lihan syöntilaadusta. Tulokset tulee testata tilastollisesti. Menetelmällä voidaan jakaa ruhot erilaisiin ryhmiin, kuten paras, keskinertainen ja heikko. Leikkuuvoimatestin tulos ja rajat tulisi testata kohteen/kulttuurin/kuluttajan mukaan. Moss ym. (2010a) havaitsivat, että 70 % pohjois-irantilaisista kuluttajista piti mureana lihaa, jonka liekkuuvaste oli alle 5,4 kg tai vähemmän. Pohjois-Amerikassa vastaava luku on 3,6 kg tai alle (Platter ym. 2003). Tuloksia ei selittänyt erilainen leikkuutekniikka tai leikkuukohta (Moss ym. 2010a).



Kuva: Leena Tuomisto.

**Taulukko 41.** Yleisiä tekijöitä, jotka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa lihan laadun mittausta spektroskopian avulla (Monin 1998).

1) Mittausalue
<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittausalueen koko</li> <li>• mitattava lihas</li> <li>• mitattavan lihaksen edustavuus ruho/kuluttajatarve</li> <li>• toistettavuus (laite)</li> <li>• toistettavuus (laitteen käyttäjä)</li> <li>• heijastuvuus/mittausgeometria</li> </ul>
2) Tapahtumat ennen teurastusta
<ul style="list-style-type: none"> <li>• perimä</li> <li>• stressi</li> <li>• dieetti</li> </ul>
3) Teurastuksen jälkeiset tapahtumat
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ruhon riiputus</li> <li>• jäähdystahti</li> <li>• mittausajankohta: teurastusajankohta</li> </ul>

NIR-tekniikan käytön pitäisi tapahtua mahdollisimman pian teurastuksen jälkeen (1–2 päivää), jotta tulosta voitaisiin käyttää raakakypsytyksajan määrittämisessä (Cottle & Kahn 2014). NIR-tekniikka perustuu valon eri aallonpituuksien tunnistamiseen. Pääosin NIR-laitteet toimivat 800–2500 nm alueella (Gordon & McRae 1987). Raman spektroskopia perustuu valon sirontavaikutukseen (Monin 1998). Spektroskopisten tekniikoiden hyödyntäminen vaatii, että laitteet ovat nopeita ja helppoja käyttää tuotantolinjoilla (Wood 2013).



Kuva: Maiju Pesonen.

## 7. Mahdollisuudet Euroopassa

Naudanlihan syöntilaatua voidaan parantaa luomalla järjestelmä, jossa muodostetaan käsitys naudanlihan syöntilaadun nykytilasta ja luodaan toimenpiteet laadun parantamiseksi. Syöntilaadun parantamisen tarkoitus tulee olla kuluttajalähtöinen ja koko ketjulle lisäarvoa tuova. Syöntilaadun parantamisella voidaan myös luoda brändejä (Wood 2013, Cottle & Kahn 2014).

Syöntilaadun parantaminen vaatii teollisuudelta muutoksia nykyisiin käytäntöihin. Toimenpiteiden tulee ulottua tilatasolle. Ohjauksellisin toimenpitein voidaan luoda enemmän tarjontaa sellaiselle eläinainekselle, jolla voidaan saavuttaa korkeammat lihan syöntilaatuominaisuudet helpoimmin. Järjestelmän luominen yhdessä tutkimuksen kanssa synnyttää hyödyllisiä työvälineitä laadun ja/tai brändin rajojen muodostamiseen. Ideaalisessa maailmassa syöntilaadun parantamisen yhteydessä muodostetaan mittatyöväline, jolla voidaan tarkkailla ja määrittää koko ruhon laatua (Wood 2013).

Isoissa-Britanniassa on käytössä Quality Standard Mark, jota käytetään noin 25 % myydystä naudan- ja karitsanlihasta. QSM-merkki on käytössä kaikessa kuluttajamyödyssä naudan- ja karitsanlihasa (kauppa, ravintolat yms.). Standardilla pyritään tarjoamaan kuluttajille parempilaatuista lihaa (EBLEX 2014).

Kriteerit standardin saamiseksi ovat seuraavat (EBLEX 2014):

- Hiehojen ja härkien teurasiän yläraja on 36 kuukautta
- EUROP-rasvaluokka: 2–4H. EUROP-lihakkuusluokka: (O+) – (E)
- Raakakypsytyksajan minimi alle 30 kuukauden ikäisille naudoille: 7 päivää (leikkuupalat paistamiseen, grillaamiseen tai paahtamiseen)
- Raakakypsytyksajan pidentäminen eläimille, jotka ovat 30–36 kuukauden ikäisiä: 14 päivän raakakypsytyksaika (leikkuupalat paistamiseen, grillaamiseen tai paahtamiseen). Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää 7 päivän raakakypsytyksä ja yhtä toimenpidettä, jonka oletetaan lisäävän mureutta esimerkiksi tenderstretch tai sähkökäsittely
- Sonnien teurasikä enintään 16 kuukautta. Raakakypsytyksaika 14 päivää (leikkuupalat paistamiseen, grillaamiseen tai paahtamiseen)

Matthewsin (2011) mukaan naudanlihan syöntilaadun parantamiseksi tulee kiinnittää eläimen kasvatuksessa seuraaviin seikkoihin huomiota:

1. Naudanlihan tasainen laatu on helpommin tavoitettavissa, jos eläimet ovat yhdestä rodusta. Järjestelmällinen risteytys voi olla mahdollisuus. Ensiluokkainen syöntilaatu on helpoimmin saavutettavissa angus- ja hereford-rotuisilla eläimillä tai näiden ristytyksillä.
2. Tasainen laatu on helpompi saavuttaa, jos eläimet polveutuvat tiukasta ja järjestelmällisestä jalostusjärjestelmästä.
3. Mureusominaisuuksilta keskimääräistä parempaa naudanlihaa tuottavien yksilöiden valinta on mahdollista geenitestien perusteella. Geenitestien tulosten perusteella heikointa 25 % ei tulisi käyttää jalostukseen. Geenitestien validointi tulee tehdä tuotanto- ja markkinointilohuhteisiin sopivaksi. Leikkuuvoimatesti ja ultraäänimittaukset voivat olla hyödyllisiä validointi- ja indeksin luontiprosessissa
4. Syöntilaadultaan hyvää lihaa voidaan tuottaa kaikilla sukupuolilla. Sonnien teurasikä tulisi rajoittaa 15–16 kuukauteen ja hiehojen 30 kuukauteen. Sonnien ruhoihin tulisi kohdistaa erityistoimenpiteitä mureusominaisuuksien takaamiseksi.
5. Syöntilaadun kannalta eläinten tulisi saavuttaa teuraskypsyys nopeasti ja niiden teurasikä tulisi olla alhainen. Etuna on myös, että nopeasti kasvatettujen eläinten kasvatuskustannus ja ympäristövaikutus muodostuu pienemmäksi.
6. Tavoittele maksimaalista kasvua, tasapainoisella hyvällä ruokinnalla. Minimoi kasvun vaihtelet.
7. Vältä emojen keskitiineyden ruokinnan muutoksia.

8. Eläinten dieetin tulee sisältää riittävästi antioksidantteja (A, D, E-vitamiini, seleeni) lihan värin optimoimiseksi, maun pysyvyyden ja stabiiliuden kannalta. Korkeilla väkirehumäärillä (yli 50 % kuiva-aineesta) eläimille tulee tarjota E-vitamiinilisä 1000IU.
9. Vältä ruokinnan muutoksia vähintään 30-40 päivää ennen teurastusta. Kaikkien uusien rehujen lisääminen dieettiin tulisi arvioida kriittisesti punnitsemalla niiden mahdolliset vaikutukset lihan makuun.
10. Vältä eläinten ruokinnan rajoitusta/ruokkimatta jättämistä ennen teurastusta (energiavaje voi johtaa tervalihaan).
11. Älä sekoita eläinryhmiä kasvatuksen aikana. Jos eläinryhmiä pitää yhdistää, yhdistäminen tulee tehdä vähintään kaksi kuukautta ennen teurastusta.
12. Käsittele eläimiä johdonmukaisesti. Vältä ylimääräistä voimaa ja eläinten hermostumista. Voimakeinot ja eläinten hermostuminen heikentää mureusominaisuuksia ja lisäävät tervalihan esiintymistä. Tavoittele helposti käsiteltäviä ja rauhallisia eläimiä.
13. Tavoittele vähintään lihakkuusluokkaa O+ ja rasvaluokkaa 3. Heikommat EUROP-luokat ovat epäedullisia hyvän syöntilaadun kannalta.
14. Tuotannon tulisi olla mahdollisimman järjestelmällistä ja dokumentoitua. Jos syöntilaadussa tapahtuu muutoksia, tuotantomenetelmä pystytään arvioimaan muistiinpanojen perusteella.

Matthewsin (2011) listaus jatkuu teurastamokäytäntöjen osalta seuraavasti:

1. Odottaminen teuraslinjalla heikentää sonnien lihan syöntilaatua.
2. Pisto ja verenlasku tulisi tehdä välittömästi tainnuksen jälkeen.
3. Tenderstretch-tekniikalla voidaan saavuttaa optimaalinen syöntilaatu selän lihaksien ja paistien osalta. Jos ei ole mahdollista tenderstretch-tekniikkaa, vaihtoehtona voi olla sähkökäsitely.
4. Erytishuomio tulee kiinnittää ruhojen jäähtymykseen, jos ruhoja ei sähkökäsitellä.
5. Raakakypsyttä lihaa joku "pussissa" tai luullisena.
6. Perinteinen raakakypsytyks vain, jos markkina on ns. valmiina.
7. Vältä suojaakaasua pakkauksia.
8. pH- ja lämpötilaseuranta teurastuksen jälkeen. Jäähdytys tai sähköstimulaatio tulisi ajoittaa pH:n ja lämpötilan muutoksen mukaan. pH 6 tulisi saavuttaa, kun ruhon lämpötila on alle +35°C ja yli +12°C astetta.
9. Seuraa pH:n muutosta (pH 5,5-5,8). Jos ruho ei saavuta tätä pH tavoitetta, ruhoille tulee järjestää erilainen lopputuote.

## 8. Yhteenveto ja johtopäätökset

Naudanlihan syöntilaadun tärkeimpiä ominaisuuksia ovat mureus, mehukkuus ja maku. Kuluttajan toive on, että ostopäätöksen tehdessään mielikuva hyvästä pihvistä täytyisi. Valitettavasti naudanlihan syöntilaatu on hyvin vaihtelevaa. Murean naudanlihan ja tasaisen laadun edellytyksenä on järjestelmällisyys ja tieto. Eläinten ominaisuudet, ruokinta ja olosuhteet vaikuttavat aina lopputuotteen. Tilaolosuhteiden vakioiminen on haastavaa. Olemassa olevat järjestelmät voivat kuitenkin antaa mahdollisuuden erilaisten kasvatusolosuhteiden tarkempaan huomioon ottamiseen. Ruokinnan ja eläintyyppin tietäminen antaa itsessään jo lisäarvoa teurastamossa tehtävälle ruhon loppukäsittelylle. Toimenpiteitä voidaan kohdistaa tiettyihin ruhoihin.

Karkearehuvaltainen ruokinta on tuotannon valttikortti, jota ei sovi menettää. Karkearehun, jota käytetään naudanlihan tuottamiseen, tulisi olla hyvälaatuista sulavuudeltaan (D-arvo yli 670 g/kg ka) ja säilönnälliseltä laadultaan. Rehua tulee myös olla koko ajan riittävästi eläimille tarjolla. Eläinten tulee kasvaa hyvin ja tasaisesti, jotta lihan syöntilaatu säilyy.

Tasainen laatu muodostuu tasaisesta eläinaineksesta. Keskimääräistä parempi luokittuminen ja riittävä rasvaluokka ovat ensi askeleita hyvä syöntilaadun tavoittelussa. On arvioitu, että rasvaluokan tulisi olla noin 3, jotta lihan syöntilaatu olisi hyvä. Korkeat teuraspainot (yli 400 kg) eivät ole lihan syöntilaadun kannalta tavoiteltavia. Biologinen teuraskypsyys saavutetaan yleensä, kun eläin on noin 75 % aikuispainostaan. Valitettavasti haasteeksi muodostuu se, ettei syöntilaadusta makseta. Teurastili ja tulos muodostuvat ainoastaan tuotetuista kilogrammoista.

Sukupuolien mureusominaisuudet ovat erilaisia. Hiehot tuottavat mureampaa lihaa kuin sonnit. Sonnien lihan mureusominaisuudet ovat heikommat, ja ne heikkenevät eläinten ikääntyessä nopeammin kuin hiehoilla. Tasaisen syöntilaadun tavoittelu edellyttäisi, että sonnien teurasikä olisi noin 16 kuukautta. Hiehojen lihan syöntilaatu alkaa heiketä vasta noin 36 kuukauden iässä. Useissa maisissa, joissa syöntilaatua arvostetaan, markkinoitavaa palalihaa tuottavien eläinten maksimi-ikä on 40 kuukautta. Vanhempien eläinten lihasta jauhetaan jauhelihaa. Jauhelihan raaka-aineen tuleekin olla hieman voimakkaamman makuista ja hyvin vettä sitovaa.

Eläinten stressi ja sairastaminen vaikuttavat negatiivisesti lihan syöntilaatuun. Eläinten hyvinvointia tulisi vaalia kasvatuksen aikana. Rauhallinen, helposti käsiteltävä eläin on koko tuotantokejun ja kuluttajan etu. Jalostuksella voidaan vaikuttaa eläinten luonneominaisuuksiin. Syöntilaadun kannalta olisi eduksi, jos eläimen mukana kulkisi tieto mahdollisista sairauksista tai ongelmista ja tehdyistä toimenpiteistä.

Tasaisen laadun tavoittelussa tulee ottaa huomioon teurastuksen jälkeiset tapahtumat. Murean lihan edellytyksenä on mahdollisimman kattava proteolyysi. pH:n lasku ja jäähdytys vaikuttavat siihen, kuinka mureaa lihasta muodostuu. Vähärasvaisilla ruhoilla jäähdytystekniikkaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Lihan mureutuminen jatkuu teurastuksen jälkeen raakakypsytyksessä. Yleensä raakakypsytyisaika voidaan pitää 10–12 päivässä. Tender stretch -tekniikkaa voidaan hyödyntää erityisesti niissä markkinointijärjestelmissä, joissa tavoitellaan syöntilaadullisesti tasaista ja ensiluokasta lihaa.

Naudanlihan ominaisuudet tulevat olemaan tulevaisuudessa yhä tärkeämmässä roolissa. On nähtävissä, että tällä hetkellä etsitään keinoja, kuinka naudanlihasta saadaan tuotettua ihmisravitsemuksellisesti terveellisempää ja miellyttävämpää. Karkearehuvaltainen ruokinta muuttaa lihan rasvahappokoostumusta ihmisravitsemuksellisesti terveellisempään suuntaan. Toisaalta karkearehulla ruokittujen eläinten ruhot ovat yleensä aina vähemmän rasvaa sisältäviä kuin korkeilla väkirehudeeillä ruokittujen eläinten ruhot. Naudanlihan terveysominaisuudet voivat olla tulevaisuudessa se tapa, jolla tuotteelle saadaan lisäarvoa. Tämä kuitenkin vaatii järjestelmän kehittämistä ja rasvahappokoostumuksen selvittämistä suunnitellulla ruokinnalla. Jatkossa tuotanto-olosuhteet ja ruokinta tulee vakioida tutkittuihin toimenpiteisiin.

Eläinten genomien tunnistaminen naudanlihan laatuun vaikuttavilta osilta antaa mahdollisuuksia tasaisen syöntilaadun tavoittelussa ja naudanlihan terveellisyys saavuttamisessa. Nyky menetelmil-

lä voidaan tunnistaa ne eläimet ja ruhot, jotka tuottavat mureaa lihaa. Lähitulevaisuudessa geeniteillä voidaan selvittää myös ne yksilöt, joiden rasvahappokoostumus on ihmisravimukseksi parempaa. Ultraäänitekniikan yhdistäminen genomitietoon antaisi mahdollisuuden nopeaan etenemiseen lihan syöntilaadun parantamisessa. Kummatkin vaihtoehdot (ultraäänimittaus ja geenitesti) vaativat rajojen muodostamista sen osalta, mitä halutaan ja mitä tavoitellaan. Teurastamon linjalla käytettävillä laitteilla tai eläinten genomisen lihan syöntilaadun testauksella voidaan jakaa ruhot jo teuraslinjalla syöntilaadun perusteella. Syöntilaadun perusteella tehty ruhojen jako vähentää vaadittavaa raakakypsytyisaikaa, tehostaa tuotantolinjaa ja tuo lisäarvoa parempana laatuna. Kaikki edellä mainitut menetelmät tarvitsevat laajoja vertailuaineistoja, joilla testataan mitattua laatua ja lihan ominaisuuksia (instrumentaalinen mittaus tai sensorinen mittaus).

Järjestelmän kehittämiseen tarvitaan tietoa naudanlihan syöntilaadun nykytasosta. Kuluttaja-auditointien avulla tulisi selvittää, mikä on kuluttajien mieltymys ja tarve. Alkutietojen perusteella tulisi luoda rajat ja toimintamalli syöntilaadun parantamiseksi, takaamiseksi, seuraamiseksi ja laatu- vaihteluiden tasoittamiseksi. Sekä lihan instrumentaalista syöntilaatua että kuluttajayytyvääsyä tulee tarkkailla suunnitelmallisesti. Lihateollisuudella ei ole kovinkaan suurta historiaa lihan laadullisten ominaisuuksien selvittämisestä yhdessä tutkimuksen kanssa. Laadullisten parametrien löytäminen, kuluttajahyväksyntä ja standardien muodostaminen kuitenkin vaativat objektiivista arviointia, jolla voidaan parantaa ja luoda naudanlihasta laadullisesti tasainen tuote. Tulevaisuudessa tutkimuksen olisi keskityttävä selvittämään, kuinka saadaan mahdollisimman tarkasti selvitettyä naudan tuottaman lihan laatu, kuinka syöntilaadusta saadaan lisäarvoa tuottajalle ja kuinka syöntilaatu säilytetään kuluttajalle. Syöntilaatu vaatii koko ketjulta periksi antamatonta omistautumista asialle.



Kuva: Leena Tuomisto.

## 9. Kirjallisuus

- Aass, L., Fristedt, C.-G. & Gresham, J.D. 2009. Ultrasound prediction of intramuscular fat content in lean cattle. *Livestock Science* 125: 177–186.
- Aberle, E.D. & Judge, M.D. 1979. Consumer acceptability and retail yield in beef after pelvic suspension and delayed chilling. *Journal of Food Science* 44: 859–861.
- Aberle, E.D., Reeves, E.S., Judge, M.D., Hunsley, R.E. & Perry, T.W. 1981. Palatability and muscle characteristics of cattle with controlled weight gain: Time on a high energy diet. *Journal of Animal Science* 52: 757–763.
- Ahnström, M.L., Hessele, A., Johansson, L., Hunt, M.C. & Lundström, K. 2009. Influence of carcass suspension on meat quality of Charolais heifers from two sustainable feeding regimes. *Animal* 3: 906–913.
- Ahnström, M.L., Enfält, A.-C., Hansson, I. & Lundström, K. 2006a. Pelvic suspension improves quality characteristics in *M. semimembranosus* from Swedish dual purpose young bulls. *Meat Science* 72: 555–559.
- Ahnström, M.L., Seyfert, M., Hunt, M.C. & Johnson, D.E. 2006. Dry aging of beef in bag highly permeable to water vapour. *Meat Science* 73: 674–679.
- Ahnström, M., Lundesjö, M., Hunt, M.C. & Lundström, K. 2012. Effects of pelvic suspension of beef carcasses on quality and physical traits of five muscles from four gender-age groups. *Meat Science* 90: 528–535.
- Ahola, J.K., Skow, T.A., Hunt, C.W. & Hil, R.A. 2011. Relationship between residual feed intake and end product palatability in longissimus steaks from steers sired by Angus bulls divergent for intramuscular fat expected progeny difference. *Professional Animal Scientist* 27: 109–115.
- Akanno, E.C., Plastow, G., Woodward, B.W., Bauck, S., Okut, H., Wu, X.-L., Sun, C., Aalhus, J.L., Moore, S.S., Miller, S.P., Wang, Z. & Basarab, J.A. 2014. Reliability of molecular breeding values for Warner-Bratzler shear force and carcass traits of beef cattle – An independent validation study. *Journal of Animal Science* 92: 2896–2904.
- Albertí, P., Panea, B., Sañudo, C., Olleta, J.L., Ripoll, G., Ertbjerg, P., Christensen, M. 2008. Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livestock Science* 114: 19–30.
- Albrecht, E., Teuscher, F., Ender, K. & Wegner, J. 2006. Growth- and breed-related changes of marbling characteristics in cattle. *Journal of Animal Science* 84: 1067–1075.
- Aldai, C.P.M., Dugan, M.E.R., Kramer, J.K.G., Martinez, A. & Osoro, K. 2010. Double-muscling character influences the trans 18:1 and conjugated linoleic acid profiles in concentrate-fed yearling bulls. *Meat Science* 85: 59–65.
- Alfaia, C.P.M., Alves, S.P., Martins, S.I.V., Costa, A.S.H., Fontes, C.M.G.A., Lemos, J.P.C., Bessa, R.J.B. & Prates, J.A.M. 2009. Effect of the feeding system on intramuscular fatty acids and conjugated linoleic acid isomers of beef cattle, with emphasis on their nutritional value and discriminatory ability. *Food Chemistry* 114: 939–946.
- Alfaia, C.P.M., Castro, M.L.F., Martins, S.I.V., Portugal, A.P.V., Alves, S.P.A. & Fontes, C.M.G.A. 2007. Influence of slaughter season and muscle type on fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomeric distribution and nutritional quality of intramuscular quality of intramuscular fat in Arouquesa-PDO veal. *Meat Science* 76: 787–795.
- Alfnes, F., Rickerten, K. & Ueland, O. 2005. Experimental evidence of risk aversion in consumer markets: the case of beef tenderness. 11<sup>th</sup> International Congress of European Association of Agricultural Economists. s. 1–12.
- Allais, S., Journaux, L., Levéziel, H., Payet-Duprat, N., Hocquette, J.F., Lepetit, J., Rousset, S., Denoyelle, C., Bernard-Capel, C. & Renand, G. 2011. Effects of polymorphisms in the calpastatin and  $\mu$ -calpain genes on the meat tenderness in 3 French beef breeds, *Journal of Animal Science* 89: 1–11.
- Allais, S., Levéziel, H., Hocquette, J.F., Rousset, S., Denoyelle, C., Journaux, L. & Renand, G. 2014. Fine mapping of quantitative trait loci underlying sensory meat quality traits in three French beef cattle breeds. *Journal of Animal Science* 92: 4329–4341.
- Allais, S., Levéziel, H., Payet-Duprat, N., Hocquette, J.F., Lepetit, J., Rousset, S., Denoyelle, C., Bernard-Capel, C., Journaux, L., Bonnot, A. & Renand, G. 2010. The two mutations Q204X and nt821 of the myostatin gene affect carcass and meat quality in heterozygous young bulls of French beef breeds. *Journal of Animal Science* 88: 446–454.

- Allen, P. 2009. Automated grading of beef carcasses. Teoksessa: toim. Kerry, J.P. & Ledward, D. Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat. CRC Press, Boca Raton. s. 481–492.
- Allen, R.E. & Goll, D.E. 2003. Cellular and developmental biology of skeletal muscle as related to muscle growth. Teoksessa: toim. Scanes, C.G. & Ames, I.A. Biology of Growth of Domestic Animals. Iowa State Press. s. 148–169.
- Alviles, C., Polvillo, O., Pena, F., Juarez, M., Martinez, A.L. & Molina, A. 2013. Associations between DGAT1, FABP4, LEP, RORC, and SCD1 gene polymorphisms and fat deposition in Spanish commercial beef. *Journal of Animal Science* 91: 4571–4577.
- Alexander, L.J., MacNeil, M.D., Geary, T.W., Snelling, W.M., Rule, D.C. & Scanga, J.A. 2007. Quantitative trait loci with additive effects on palatability and fatty acid composition of meat in a Wagyu-Limousin F<sub>2</sub> population. *Animal Genetics* 38: 506–513.
- Andreas, B., Carsten, M., Hans, S., Manfred, K. & Frieder, J.S. 1995. Pyridinoline crosslinks in bovine muscle collagen. *Journal of Food Science* 60: 953–958.
- Anonymous. 1981. Trading by specification. Department of Agriculture, Tasmania. Australia. 15 s.
- Anonymous. 1988. Meat evaluation handbook. National Livestock and Meat Board. Chicago, USA. Saatavilla internetistä: <[www.iml-ag.missouri.edu](http://www.iml-ag.missouri.edu)> Viitattu 11/2014.
- Anonymous. 2005. Handbook of Australian meat. 7<sup>th</sup> edition. Authority for Uniform Specification Meat and Livestock. Brisbane, Australia. Saatavilla: <[www.ausmeat.com.au/custom-content/cdrom/Handbook-7th-edition/English/909627B8-F68A-11DA-AA4B-000A95D14B6E.html](http://www.ausmeat.com.au/custom-content/cdrom/Handbook-7th-edition/English/909627B8-F68A-11DA-AA4B-000A95D14B6E.html)> Luettu 11/2014.
- Anonymous. 2006. Guideline to Over-the-hooks Trading of Livestock. Authority for Uniform Specification Meat and Livestock, Brisbane, Australia. Saatavilla internetistä: <[http://www.ausmeat.com.au/media/44247/othbrochure\\_08\\_lr.pdf](http://www.ausmeat.com.au/media/44247/othbrochure_08_lr.pdf)> Luettu 10/2014.
- Anonymous. 2008. Flowline: big time value adding. Australian Meat News. February 2008. s. 34–35.
- Anonymous. 2010. Beef & Veal Language. Authority for Uniform Specification Meat and Livestock, Brisbane, Australia. Saatavilla: <<http://www.ausmeat.com.au/media/1756/BV-Lang%2010%20LR.pdf>> Luettu 10/2014.
- Apple, J.K., Watson, H.B., Coffrey, K.P., Kegley, E.B. & Rakes, L.K. 2000. Comparison of different magnesium sources on lamb muscle quality. *Meat Science* 55: 443–449.
- Archile-Contreras, A.C., Mandell, I.B. & Purslow, P.P. 2010. Disparity of dietary effects on collagen characteristics and toughness between beef muscles. *Meat Science* 86: 491–497.
- Arnold, R.N., Scheller, N., Arp, K.K., Williams, S.C., Beuge, D.R. & Schaefer, D.M. 1992. Affect of long and short term feeding of alfa-tocopherol acetate to Holstein and crossbred beef steers on performance, carcass characteristics, and beef color stability. *Journal of Animal Science* 70: 3055–3065.
- Arroyo, C., Lascorz, D., O'Dowd, L., Noci, F., Arimi, J. & Lyng, J.G. 2015. Effect of pulsed electric field treatments at various stages during conditioning on quality attributes of beef *longissimus thoracis et lumborum* muscle. *Meat Science* 99: 52–59.
- Arthur, P.F. 1995. Double muscling in cattle: a review. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 1493–1515.
- Asbun, J., Manso, A.M. & Villarreal, F.J. 2005. Profibrotic influence of high glucose concentration on cardiac fibroblast functions: Effects of losartan and vitamin E. *American Journal of Physiology – Heart and Circulation Physiology* 288: H227–H234.
- Aslan, O., Sweeney, T., Mullen, A.M. & Hamill, R.M. 2010. Regulatory polymorphism in the bovine Ankyrin 1 gene promoter are associated with tenderness and intramuscular fat content. *BMC Genetics* 11: 111. Saatavilla internetistä: <<http://www.biomedcentral.com/1471-2156/11/111>>
- Baker, S.D., Szasz, J.I., Klein, T.A., Kuber, P.S., Hunt, C.W., Glaze Jr., J.B., Falk, D., Richard, R., Miller, J.C., Battaglia, R.A. & Hill, R.A. 2006. Residual feed intake of purebred Angus steers: effects on meat quality and palatability. *Journal of Animal Science* 84: 938–945.
- Ball, B. & Johnson, E.R. 1989. The influence of breed and sex on saleable beef yield. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 29: 483–487.
- Bailey, A.J. & Sims, T.J. 1977. Meat tenderness: Distribution of molecular species of collagen in bovine muscle. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 28: 565–570.
- Barker, D.J., Eriksson, J.G., Forsen, T. & Osmond, C. 2002. Fetal origins of adult disease: Strength of effects and biological basis. *International Journal of Epidemiology* 31: 1235–1239.
- Barendse, W.J. 1999. Assessing lipid metabolism. International patent application PCT/AU98/00882. International patent application number WO 99/23248. 14.5.1999.

- Barendse, W.J. 2002. DNA markers for meat tenderness. International patent application PCT/AU02/00122. International patent publication WO 02/064820 A1. 22.8.2002.
- Barendse, W., Bunch, R.J. & Harrison, B.E. 2010. The effect of variation at the retinoic acid receptor receptor-related orphan receptor C gene on intramuscular fat percent and marbling score in Australian cattle. *Journal of Animal Science* 88: 47–51.
- Barendse, W., Bunch, R., Kijas, J. & Thomas, M. 2007. The effect of genetic variation of the retinoic acid receptor-related orphan receptor C gene on fatness in cattle. *Genetics* 175: 843–853.
- Barendse, W., Harrison, B.E., Bunch, R.J. & Thomas, M.B. 2008. Variation at the Calpain 3 gene is associated with meat tenderness in zebu and composite breeds of cattle. *BMC Genetics* 9: 41. Saataavilla internetistä: <<http://www.biomedcentral.com/1471-2156/9/41>> Luettu 11/2014.
- Barendse, W., Harrison, B.E., Hawken, R.J., Ferguson, D.M., Thompson, J.M., Thomas, M.B. & Bunch, R.J. 2007. Epistasis between calpain 1 and its inhibitor calpastatin within breeds of cattle. *Genetics* 176: 2601–2610.
- Barnier, V.M.H. & Smulders, F.J.M. 1994. The effect of pelvic suspension of shear force values in various beef muscles. Proceedings of the 40<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology. 28.8.-2.9. The Netherlands. The Hague. ICoMST.
- Behrens, J.W., Miller, R.K., Bailey, J.C., Walter, J.T., Hafla, A.N., Mendes, E.D., Hale, D.S., Machado, T., Tedeschi, L.O. & Carstens, G.E. 2011. Effects of residual feed intake classification and breed type on carcass characteristics, tenderness and value in feedlot heifers. *Journal of Animal Science* 89 (Supplement 1): 858.
- Behrens, S.M., Miller, R.K., Rouquette, F.M., Randel, R.d., Warrington, B.G., Forbes, T.D.a., Welsh, T.H., Lippke, H., Behrens, J.M., Carstens, G.E. & Holloway, J.R. 2009. Relationship of temperament, growth, carcass characteristics and tenderness in beef steers. *Meat Science* 81: 433–438.
- Beitz, D.C. 1985. Physiological and metabolic systems important to animal growth: An overview. *Journal of Animal Science* 61: 1–20.
- Beriain, M.J., Goñi, M.V., Indurain, G., Sarriés, M.V. & Insausti, K. 2009. Predicting *Longissimus dorsi* myoglobin oxidation in aged beef based on early *post-mortem* colour measurements on the carcass as a colour stability index. *Meat Science* 81: 439–445.
- Bernand, C., Cassar-Malek, I., Le Cunff, M., Dubroeuq, H., Renand, G. & Hocquette, J.F. 2007. New indicators of beef sensory quality revealed by expression of specific genes. *Journal of Agriculture, Food & Chemistry* 55: 5229–5237.
- Bernand, C., Cassar-Malek, I., Renand, G. & Hocquette, J.F. 2009. Changes in muscle gene expression related to metabolism according to growth potential in young bulls. *Meat Science* 82: 205–212.
- Bertram, H.C., Whittaker, A.K., Shorthose, W.R., Andersen, H.J. & Karlsson, A.H. 2004. Water characteristics in cooked beef as influenced by ageing and high-pressure treatment-An NMR micro imaging study. *Meat Science* 66: 301–306.
- Beattie, J.R., Bell, S.J., Farmer, L.J., Moss, B.W. & Patterson, D.C. 2004. Preliminary investigation of the application of Raman spectroscopy to the prediction of sensory quality of beef silverside. *Meat Science* 66: 903–913.
- Bickerstaffe, R., Bekhit, A.E.D., Robertson, J.L., Roberts, N. & Geesink, G.H. 2001. Impact of introductory specifications on the tenderness of retail meat. *Meat Science* 59: 303–315.
- Biesalski, H.K. 2005. Meat as a component of a healthy diet – are there any risks or benefits if meat is avoided? *Meat Science* 70: 509–524.
- Biressi, S., Molinaro, M. & Cossu, G. 2007. Cellular heterogeneity during vertebrate skeletal muscle development. *Developmental Biology* 308: 281–293.
- Blair, R. 2011. Nutrition and feeding of organic cattle. CAB International, Chippenham, UK. 293 s.
- Boakye, K. & Mittal, G.S. 1993. Changes in pH and water holding properties of *longissimus dorsi* muscle during beef aging. *Meat Science* 34: 335–349.
- Boakye, K. & Mittal, G.S. 1996. Changes in colour of beef *M. longissimus dorsi* muscle during ageing. *Meat Science* 42: 347–354.
- Boatright, K.M. & Salvesen, G.S. 2003. Mechanisms of caspase activation. *Current Opinion Cell Biology* 15: 725–731.
- Boehm, M.L., Kendall, T.L., Thompson, V.F. & Goll, D.E. 1998. Changes in the calpains and calpastatin during postmortem storage of bovine muscle. *Journal of Animal Science* 76: 2415–2434.
- Bolumar, T., Enneking, M., Toepfl, S. & Heinz, V. 2013. New developments in shockwave technology intended for meat tenderization: Opportunities and challenges. A review. *Meat Science* 95: 931–939.

- Bouquet, A., Fouilloux, M.N., Renand, G. & Phocas, F. 2010. Genetic parameters for growth, muscularity, feed efficiency and carcass traits of young beef bulls. *Livestock Science* 129: 38–48.
- Bouton, P.E., Fisher, A.L., Harris, P.V. & Baxter, R.I.. 1973. A comparison of the effects of some post-slaughter treatments on the tenderness of beef. *International Journal of Food Science and Technology* 8: 39–49.
- Bouton, P.E., Harris, P.V., Shorthose, W.R. & Ellis, R.W. 1978. Comparison of some properties of meat normal steers and heterozygous for muscular hypertrophy. *Meat Science* 2: 161–167.
- Bowling, R.A.J., Riggs, J.K., Smith, G.C., Carpenter, Z.L., Reddish, R.L. & Butler, O.D. 1978. Production, carcass, and palatability characteristics of steers produced by different, management systems. *Journal of Animal Science* 46: 333–340.
- Brooks, J.C. & Savell, J.W. 2004. Perimysium thickness as an indicator of beef tenderness. *Meat Science* 67: 329–334.
- Bruns, K.W., Pritchard, R.H. & Boggs, D.L. 2004. The relationship among body weight, body composition, and intramuscular fat content in steers. *Journal of Animal Science* 82: 1315–1322.
- Buchanan, F., Fitzsimmons, C., Van Kessel, A., Thue, T., Winkelman-Sim, D. & Schmutz, S. 2002. Association of a missense mutation in the bovine leptine gene with carcass fat content and leptin mRNA levels. *Genetics, Selection, Evolution* 34: 105–116.
- Buckingham, M., Bajard, L., Chang, T., Daubas, P., Hadchouel, J., Meilhac, S., Montarras, D., Rocancourt, D. & Relaix, F. 2003. The information of skeletal muscle: From somite to limb. *Journal of Anatomy* 202: 59–68.
- Bulgerin, L.E., Williams, J.E., Liao, T.H., Ebro, L.L., Guenther, J.J., Walters, L.E. & Wagner, D.G. 1981. A comparison of collagen content and organoleptin attributes of grainfinished vs. forage-finished cattle. *Oklahoma Agricultural Experiment Station Publication* 108: 54–56. Saatavilla internetistä: <[http://www.beefextension.com/research\\_reports/research\\_56\\_94/rr81/rr81\\_16.pdf](http://www.beefextension.com/research_reports/research_56_94/rr81/rr81_16.pdf)> Luettu 11/2014.
- Burson, D.E. & Hunt, M.C. 1986. Proportion of collagen types I and III in four bovine muscles differing in tenderness. *Journal of Food Science* 51: 51–53.
- Burrow, H.M., Seifert, G.M. & Corbet, N.J. 1988. A new technique for measuring temperament in cattle. *Proceedings of Australian Society of Animal Science* 17: 154–157.
- Butler, G., Stergiadis, S., Seal, C., Eyre, M. & Leifert, C. 2011. Fat composition of organic and conventional retail milk in northeast England. *Journal of Dairy Science* 94: 24–36.
- Café, L.M., McIntyre, B.L., Robinson, D.L., Geesing, G.h., Barendse, W., Pethick, D.W., Thompson, J.M. & Greenwood, P.L. 2010. Production and processing studies on calpain-system gene markers for tenderness in Brahman cattle: 2. Objective meat quality. *Journal of Animal Science* 88: 3059–3069.
- Caine, W.R., Aalhus, J.L., Best, D.R., Dugan, M.E.R. & Jeremiah, L.E. 2003. Relationship of texture profile analysis and Warner-Blatzer shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Science* 64: 333–339.
- Calder, P.C. 2004. n-3 fatty acids and cardiovascular disease: Evidence explained and mechanisms explored. *Clinical Science* 107: 1–11.
- Calkins, C.R. & Hodgen, J.M. 2007. A fresh look at meat flavor. *Meat Science* 77: 63–80.
- Calkins, C.R. & Sullivan, G. 2007. Ranking of beef muscle for tenderness. Saatavilla internetistä: <[www.beefresearch.org](http://www.beefresearch.org)> Luettu 12/2014.
- Campo, M.M., Sanudo, C., Panea, B., Alberti, P. & Santolaria, P. 1999. Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. *Meat Science* 51: 383–390.
- Campo, M.M., Nute, G.R., Hughes, S.I., Enser, M., Wood, J.D. & Richardson, R.I. 2006. Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science* 72: 303–311.
- Cannell, R.C., Tatum, J.D., Belk, K.E., Wise, J.W., Clayton, R.P. & Smith, G.C. 1999. Dual-component video image analysis (VIASCAN) as a predictor of beef carcass red meat yield percentage and for augmenting application of USDA yield grades. *Journal of Animal Science* 77: 2942–2950.
- Carmichael, D.J. & Lawrie, R.A. 1967. Bovine collagen. I. Changes in collagen solubility with animal age. *International Journal of Food Science and Technology* 2: 299–311.
- Carpenter, C.E., Cornforth, D.P. & Whittier, D. 2001. Consumer preferences for beef colour and packaging did not affect eating satisfaction. *Meat Science* 57: 359–363.
- Casas, E., Shackelford, S.D., Keele, J.W., Koohmaraie, M., Smith, T.P.L. & Stone, R.T. 2003. Detection of quantitative trait loci for growth and carcass composition in cattle. *Journal of Animal Science* 81: 2976–2983.

- Casas, E., Shackelford, S.D., Keele, J.W., Stone, R.T., Kappes, S.M. & Koohmaraie, M. 2000. Quantitative trait loci affecting growth and carcass composition of cattle segregating alternate forms of myostatin. *Journal of Animal Science* 78: 560–569.
- Casas, E., Stone, R.T., Keele, J.W., Shackelford, S.D., Kappes, S.M. & Koohmaraie, M. 2001. A comprehensive search for quantitative trait loci affecting growth and carcass composition of cattle segregating alternative forms of the myostatin gene. *Journal of Animal Science* 79: 854–860.
- Casas, E., White, S.N., Wheeler, T.L., Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., Riley, D.G., Chase Jr., C.C., Johnson, D.D. & Smith, T.P.L. 2006. Effects of *calpastatin* and  $\mu$ -*calpain* markers in beef cattle on tenderness traits. *Journal of Animal Science* 84: 520–525.
- Cassar-Malek, I., Hocquette, J.F., Jurie, C., Listrat, A., Jailler, R., Bauchart, D. & 2004. Muscle-specific metabolic, histochemical and biochemical responses to a nutritionally induced discontinuous growth path. *Animal Science* 79: 49–59.
- Cassar-Malek, I., Jurie, C., Bernard, C., Barnola, I., Micol, D. & Hocquette, J.F. 2009. Pasture-feeding of charolais steers influences skeletal muscle metabolism and gene expression. *Journal of Physiology and Pharmacology* 60: 83–90.
- Chang, L.Y., Pitchford, W.S. & Bottema, C.D.K. 2014. Modeling tenderness for genetic and quantitative trait loci analyses. *Journal of Animal Science* 92: 39–47.
- Chaze, T., Hocquette, J.F., Meunier, B., Renand, G., Journaux, L., Capel, C. & Picard, B. 2009. Recherche de marqueurs de tendreté de la viande de jeunes bovins de races à viande par analyse protéomique. 16 èmes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants. Paris 2.-3.12.2009. s. 151–154.
- Cho, S., Park, T., Yoon, D., Cheong, H., Namgoong, S., Park, B., Lee, H., Han, C., Kim, E., Cheong, H., Kim, H. & Shin, H. 2008. Identification of genetic polymorphisms in FABP3 and FABP4 and putative association with back fat thickness in Korean native cattle. *BMB Reports* 41: 29–34.
- Christensen, M., Ertbjerg, P., Faulla, S., Sañudo, C., Richardson, R.I., Nute, G.R., Olleta, J.L. 2011. Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds. *Meat Science* 87: 61–65.
- Christensen, M. & Therkildsen, M. 2006. Brug af DNA-markører til at forbedre køkvaliteten hos kæg – nye muligheder. Rapport: Den Kgl. Veterinær- og landbohøjskole & Danmarks Jordbrugs Forskning.
- Chrystall, B.B. & Devine, C.E. 1980. Electrical stimulation developments in New Zealand. Teoksessa: Proceeding of the 26<sup>th</sup> European Meat Research Workers Conference. Colorado Springs, USA. s. 104–107.
- Chung, H. & Davis, M. 2012. Effects of genetic variants for the calpastatin gene on calpastatin activity and meat tenderness in Hanwoo Korean cattle. *Meat Science* 90: 711–714.
- Corbin, C.H., O’Quinn, T.G., Garmyn, A.J., Legako, J.F., Hunt, M.R., Dinh, T.T.N., Rathmann, R.J., Brooks, J.C. & Miller, M.F. 2015. Sensory evaluation of tender beef strip loin steaks of varying marbling levels and quality treatments. *Meat Science* 100: 24–31.
- Cornelison, D. 2008. Context matters: *In vivo* and *in vitro* influences on muscle satellite cell activity. *Journal of Cell Biochemistry* 105: 663–669.
- Costello, S., O’Doherty, E., Troy, D.J., Ernst, C.W., Kim, K.-S., Stapleton, P., Sweeney, T. & Mullen, A.M. 2007. Association of polymorphism in the calpain I, calpain II and growth hormone genes with tenderness in bovine *M. longissimus dorsi*. *Meat Science* 75: 551–557.
- Cottle, D. & Kahn, L. 2014. Beef cattle production and trade. CSIRO Publishing, Collingwood Victoria, Australia. 574 s.
- Coux, O., Tanaka, K. & Goldberg, A.L. 1996. Structure and functions of the 20S and 26S proteasome. *Annual Review of Biochemistry* 65: 801–847.
- Cox, R.B., Kerth, C.R., Gentry, J.G., Prevatt, J.W., Braden, K.W. & Jones, W.R. 2006. Determining acceptance of domestic forage- or grain-finished beef by consumers from three southeastern US states. *Journal of Food Science* 71: S542–S546.
- Cross, H.R., Carpenter, Z.L. & Smith, G.C. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. *Journal of Food Science* 38: 998–1003.
- Crouse, J.D., Dikeman, M.E., Koch, R.M. & Murphey, C.E. 1975. Evaluation of traits in the USDA yield grade equation for predicting beef carcass cutability in breed groups differing in growth and fattening characteristics. *Journal of Animal Science* 41: 548–553.
- Curley, K.O., Paschal, J.C., Welsh, T.H. & Randel, R.D. 2006. Technical note: exit velocity as a measure of cattle temperament is repeatable and associated with serum concentration of cortisol in Brahman bulls. *Journal of Animal Science* 84: 3100–3103.

- Cushman, R.A., Tait Jr., R.G., McNeel, A.K., Forbes, E.D., Amundson, O.L., Lents, C.A., Lindholm-Perry, A.K., Perry, G.A., Wood, J.R., Cupp, A.S., Smith, T.P.L., Freetly, H.C. & Bennett, G.I. 2015. A polymorphism in myostatin influences puberty but not fertility in beef heifers, whereas  $\mu$ -calpain affects first calf birth weight. *Journal of Animal Science* 93: 117-126.
- Dahlmann, B., Ruppert, T., Kloetzel, P.M. & Kuehn, L. 2001. Subtypes of 20S proteasomes from skeletal muscle. *Biochemie* 83: 295–299.
- Daley, C.A., Abbott, A., Doyle, P.S., Nader, G.A. & Larson, S. 2010. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutrition Journal* 9: 10. Saatavilla internetistä: <<http://www.nutritionj.com/content/9/1/10>> Luettu 12/2014.
- Dannenberger, D., Nuernberg, K., Herdmann, A., Nurenberg, G., Hagemann, E. & Kienast, W. 2013. Dietary PUFA intervention affects fatty acid- and micronutrient profiles of beef and related beef products. *Foods* 2: 295–309.
- Dannenberger, D., Nuernberg, K., Nuernberg, G., Scollan, N., Steinhart, H. & Ender, K. 2005. Effect of pasture vs. concentrate diet on CLA isomer distribution in different tissue lipids of beef cattle. *Lipids* 40: 589–598.
- Davis, G.P., Moore, S.S., Drinkwater, R.D., Shorthose, W.R., Loxton, I.D., Barendse, W. & Hetzel, D.J.S. 2007. QTL for meat tenderness in the *M. longissimus lumborum* of cattle. *Animal Genetics* 39: 40–45.
- Dean, D.T. 2006. Evaluation of ultrasound and other sources of information to predict beef carcass traits and final carcass value. PhD dissertation, Texas A&M University, College Station, TX.
- De Boer, H. 1992. EC standards: carcass classification in Europe; history and actual position. *Meat Focus International* 1: 365–368.
- Del Campo, M., Brito, G., de Lima, J.M.S., Martins, D.V., Sañudo, C., Julián, R.S., Hernández, P. & Montossi, F. 2008. Effects of feeding strategies including different proportion of pasture and concentrate, on carcassa and meat quality traits in Uruguayan steers. *Meat Science* 80: 753–760.
- DeGeer, S.L., Hunt, M., Bratcher, C.L., Crozier-Dodson, B.A., Johnson, D.E. & Stika, J.F. 2009. Effects of dry ageing of bone-in and boneless strip loins using two aging processes for two aging times. *Meat Science* 83: 768–774.
- De la Fuente, J., Diaz, M.T., Alvarez, I., Oliver, M.A., Font I Furnols, M., Sanudo, C., Campo, M.M., Montossi, F., Nute, G.R. & Caneque, V. 2009. Fatty acid and vitamin E composition of intramuscular fat in cattle reared in different production systems. *Meat Science* 82: 331–337.
- Deming, W.E. 1994. The new economics for industry, government, education. 2<sup>nd</sup> edition. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA. 265 s.
- Denoyelle, C. 1995. Evolution de la flaveur de la viande bovine en fonction de la teneur en lipides intramusculaires. *Viandes et produit carnes* 16: 89–92.
- Derbyshire, W., Lues, J.F.R., Jourbert, G., Shale, K., Jacoby, A. & Hugo, A. 2007. Effect of electrical stimulation, suspension method and aging on beef tenderness of the Bonsmara breed. *Journal of Muscle Foods* 18: 207–225.
- Descalzo, A.M., Insani, E.M., Biolatto, A., Sancho, A.M., García, P.T., Pensel, N.A. & Josifovich, J.A. 2005. Influence of pasture or grain-based diets supplemented with vitamin E on antioxidant/oxidative balance of Argentine beef. *Meat Science* 70: 35–44.
- Descalzo, A.M., Rosetti, L., Grigioni, G., Irurueta, M., Sancho, A.M., Carrete, J. & Pensel, N.A. 2007. Antioxidant status and odor profile in fresh beef from pasture or grain-fed cattle. *Meat Science* 75: 299–307.
- Descalzo, A.M. & Sancho, A.M. 2008. A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef in Argentina. *Meat Science* 79: 423–436.
- De Smet, S., Raes, K. & Demeyer, D. 2004. Meat fatty acid composition as affected by genetic factors. *Animal Research* 53: 81–88.
- Devine, C.E. & Graafhuis, A.E. 1995. The basal tenderness of unaged lamb. *Meat Science* 39: 285–291.
- Devine, C.E., Hopkins, D.L., Hwang, I.H., Ferguson, D.M. & Richards, I. 2004. Electrical stimulation. Teoksessa: toim. Jensen, W., Devine, C. & Dikeman, M. *Encyclopedia of Meat Sciences*. Elsevier, Oxford, UK. s. 413–423.
- Devine, C.E., Payne, S.R., Peachey, B.M., Lowe, T.E., Ingram, J.R. & Cook, C.J. 2002. High and low rigour temperature effects on sheep meat tenderness and aging. *Meat Science* 60: 141–146.
- DeVuyst, E.A., Lusk, J.L. & DeVust, M.A. 2014. The USDA quality grades may mislead consumers. *Journal of Animal Science* 92: 3142–3148.

- Dikeman, M.E. 1987. Fat reduction in animals and the effects on palatability and consumer acceptance of meat products. *Proceedings of the Reciprocal Meat Conference* 40: 93–103.
- Dikeman, M.E. 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Science* 77: 121–135.
- Dikeman, M.E., Pollak, E.J., Zhang, Z., Moser, D.W., Gill, C.A. & Dressler, E.A. 2005. Phenotypic ranges and relationships among carcass and meat palatability traits for fourteen cattle breeds, and heritabilities and expected progeny differences for Warner-Bratzler shear force in three cattle breeds. *Journal of Animal Science* 83: 2461–2467.
- Dierking, R.M., Kallenbach, R.L. & Grun, I.U. 2010. Effect of forage species on fatty acid content and performance of pasture-finished steers. *Meat Science* 85: 597–605.
- Dolezal, H.G., Smith, G.C., Savell, J.W. & Carpenter, Z.L. 1982. Effect of time-on-feed on the palatability of rib steaks from steers and heifers. *Journal of Food Science* 47: 368–374.
- Dransfield, E., Roncales, P., Joseph, R.L. & Troy, D.J. 1998. Very fast chilling in beef. 2. Muscle to Meat. Vol 2. Concerted action CT94-1881. University of Bristol Press, Bristol, UK.
- Drinkwater, R.D., Li, Y., Lenane, I., Davis, G.P., Shorthose, R.P., Harrison, B.E., Richardson, K., Ferguson, D., Steveson, R., Renaud, J., Loxton, I., Hawken, R.J., Thomas, M.B., Newman, S., Hetzel, D.J.S. & Barendse, W. 2006. Detecting quantitative trait loci affecting beef tenderness on bovine chromosome 7 near calapstatin and lysyl oxidase. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46: 159–164.
- Du, M., Tong, J., Zhao, J., Underwood, K.R., Zhu, M., Ford, S.P. & Nathanielsz, P.W. 2010. Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. *Journal of Animal Science* 88: E51–E60.
- Duckett, S.K., Fernandez Rosso, C., Volpi Lagreca, G., Miller, M.C., Neel, J.P.S., Lewis, R.M., Swecker, W.S. & Fontenot, J.P. 2014. Effect of frame size and time-on-pasture on steer performance, longissimus muscle fatty acid composition, and tenderness in forage-finishing system. *Journal of Animal Science* 92: 4767–4774.
- Duckett, S.K., Neel, J.P.S., Lewis, R.M., Fontenot, J.P. & Clapham, W.M. 2013. Effects of forage species or concentrate finishing on animal performance, carcass and meat quality. *Journal of Animal Science* 91: 1454–1467.
- Duckett, S.K., Neel, J.P.S., Sonon Jr., R.N., Fontenot, J.P., Clapham, W.M. & Scaglia, G. 2007. Effects of winter stocker growth rate and finishing system on: II. Ninth-tenth-eleventh-rib composition, muscle color, and palatability. *Journal of Animal Science* 85: 2691–2698.
- Duckett, S.K., Pratt, S.L. & Pavan, E. 2009. Corn oil or corn grain supplementation to steer grazing endophyte-free tall fescue. II. Effects on subcutaneous fatty acid content and lipogenic gene expression. *Journal of Animal Science* 87: 1120–1128.
- Duckett, S.K., Wagner, D.G., Yates, L.D., Dolezal, H.G. & May, S.G. 1993. Effects of time on feed on beef nutrient composition. *Journal of Animal Science* 71: 2079–2088.
- Dunne, P.G., Monahan, F.J., O'Mara, F.P. & Moloney, A.P. 2009. Colour of bovine subcutaneous adipose tissue: A review of contributory factors, associations with carcass and meat quality and its potential utility in authentication of dietary history. *Meat Science* 81: 28–45.
- Dunner, S., Miranda, M.E., Amigues, Y., Canon, J., Goerges, M., Hanset, R., Williams, J. & Menissier, F. 2003. Haplotype diversity of myostatin gene among beef cattle breeds. *Genetics Selection Evolution* 35: 103–118.
- Dunner, S., Sevane, N., Garcia, D., Leveziel, H., Williams, J.L., Mangin, B., Valentini, A. & GeMQual Consortium. 2013. Genes involved in muscle lipid composition in 15 European *Bos Taurus* breeds. *Animal Genetics* 44: 493–501.
- Dunsha, F.R., D'Souza, D.N., Pethick, D.W., Harper, G.S. & Warner, R.D. 2005. Effects of dietary factors and their metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Science* 71: 8–38.
- Dutaud, D., Aubry, L., Sentandreu, M.A. & Ouali, A. 2006. Bovine muscle 20S proteasome: 1. Simple purification procedure and enzymatic characterization in relation with postmortem conditions. *Meat Science* 74: 327–336.
- Earnshaw, W.C., Martins, L.M. & Kaufmann, S.H. 1999. Mammalian caspases: Structure, activation, substrates, and functions during apoptosis. *Annual Review of Biochemistry* 68: 383–424.
- EBLEX. 2014. Saatavilla internetistä: <[www.eblextrade.co.uk/quality-standard-mark](http://www.eblextrade.co.uk/quality-standard-mark)> Luettu 12/2014.
- EFSA (European Food Safety Authority). 2010. Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal* 8: 3.

- Eggen, A. & Hocquette, J.F. 2004. Genomic approaches to economic trait loci and tissue expression profiling: Application to muscle biochemistry and beef quality. *Meat Science* 66: 1–9.
- Eikelenboom, G., Barnier, V.M.H., Hoving-Bolink, A.H., Smulders, F.J.M. & Culioli, J. 1998. Effect of pelvic suspension and cooking temperature on the tenderness of electrically stimulated and aged beef, assessed with shear and compression tests. *Meat Science* 49: 89–99.
- Ekerljung, M. 2012. Candidate gene effects on beef quality. Licentiate thesis. SLU. Uppsala. Rapport 148. 44 s.
- Elez-Martínez, P., Sobrino-López, A., Soliva-Fortuny, R. & Martín-Belloso, O. 2012. Pulsed Electric Field processing of fluid foods. Teoksessa: toim. Cullen, P.J., Tiwari, B.K. & Valdramidis, V.P. Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods. London, Elsevier Inc. s. 63–108.
- Enfält, A.C., Lundesjö Ahnström, M., Svensson, K., Hanson, I. & Lundström, K. 2004. Tenderness in *M. longissimus dorsi* from cows—effect of pelvic suspension and ageing time. 50<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology. Helsinki, Finland. s. 82.
- Elmore, J.S., Warren, H.E., Mottram, D.S., Scollan, N.D., Enser, M., Richardson, R.I. & Wood, J.D. 2004. A comparison of the aroma volatiles and fatty acid compositions of grilled beef muscle from Aberdeen Angus and Holstein-Friesian steers fed diets based on silage or concentrates. *Meat Science* 68: 27–33.
- Enser, M., Hallett, K.G., Hewett, B., Fursey, G.A.J., Wood, J.D. & Harrington, G. 1998. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. *Meat Science* 49: 329–341.
- Esmailizadeh, A.K., Bottema, C.D., Sellick, G.S., Verbyla, A.P., Morris, C.A., Cullen, N.G. & Pitchford, W.S. 2008. Effects of myostatin F94L substitution on beef traits. *Journal of Animal Science* 86: 1038–1046.
- Evira. 2014. Luonnonmukaisen tuotannon ehdot. Saatavilla internetistä: <<http://www.evira.fi/portal/fi/tietoa+evirasta/lomakkeet+ja+ohjeet/luomu/>> Luettu 12/2014.
- Exton, S.C., Herd, R.M. & Arthur, P.F. 2004. Identifying bulls superior for net feed intake, intramuscular fat and subcutaneous fat. *Animal Production Australia* 25: 57–60.
- Fan, Y.Y., Zan, L.S., Fu, C.Z., Tian, W.Q., Wang, H.B., Liu, Y.Y. & Xin, Y.P. 2011. Three novel SNPs in the coding region of PPARY gene and their associations with meat quality traits in cattle. *Molecular Biology Reports* 38: 131–137.
- Fell, L.R., Colditz, I.G., Walker, K.H. & Watson, D.L. 1999. Associations between temperament, performance and immune function in cattle entering a commercial feedlot. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39: 795–802.
- Ferguson, D.M., Thompson, J.M., Barrrett-Lennard, D. & Sorensen, B. 1995. Prediction of beef carcass yield using whole carcass VIAscan®. Proceedings of the 41<sup>st</sup> International Congress of Meat Science and Technology. San Antonio, USA. s. 183–184.
- Ferguson, D.M. & Warner, R.D. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science* 80: 12–19.
- Field, G.F. 2007. Beef production and management decisions. Prentice Hall. 718 s.
- Field, R., McCormick, R., Balasubramanian, V., Sanson, D., Wise, J., Hixon, D., Riley, M. & Russell, W. 1997. Tenderness variation among loin steaks from A and C maturity carcasses of heifers similar in chronological age. *Journal of Animal science* 75: 693–699.
- Filho, A.I., Macedo, R.P., Pereira, A.S.C., da Luz e Silva, S., Leme, R.P. & Feitosa, G. 2005. Hanging beef carcass by the forequarter to improve tenderness of the *Longissimus dorsi* and *Biceps femoris* muscles. *Science Agriculture* 62: 483–486.
- Fishell, V.K., Aberle, E.D., Judge, M.D. & Perry, T.W. 1985. Palatability and muscle properties of beef as influenced by preslaughter growth rate. *Journal of Animal Science* 61: 151–157.
- Fraser, M.D., Davies, D.A., Wright, I.A., Vale, J.E., Nute, G.R., Hallett, K.G. & Richardson, R.I. 2007. Effect on upland beef production of incorporation winter feeding of red clover silage or summer grazing of Molinia-dominated semi-natural pastures. *Grass and Forage Science* 62: 284–300.
- Frazer, A.E. 1997. New Zealand tenderness and local meat quality marl programmes. Proceedings of Meat Quality and Technology Transfer Workshops. Auckland, New Zealand. s. 37–47.
- Fredriksson Eriksson, S. & Pickova, J. 2007. Fatty acids and tocopherol levels in *M. longissimus dorsi* of beef cattle in Sweden – A comparison between seasonal diets. *Meat Science* 76: 746–754.
- French, P., O’Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffrey, P.J., Vidal, M., Mooney, M.T., Troy, D.J., Moloney, A.P. 2000a. Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Science* 56: 173–180.

- French, P., O'Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffery, P.J. & Moloney, A.P. 2003. Fatty acid composition of intra-muscular tricylglycerols of steers fed autumn grass and concentrates. *Livestock Production Science* 81: 307–317.
- French, P., O'Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffery, P.J., Mooney, M.T., Troy, D.J. & Moloney, A.P. 2001. The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Science* 57: 379–386.
- French, P., Staton, C., Lawless, F., O'Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffery, P.J. & Moloney, A.P. 2000b. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage or concentrate-based diets. *Journal of Animal Science* 78: 2849–2855.
- Fuentes-Prior, P. & Salvesen, G.S. 2004. The protein structures that shape caspase activity, specificity, activation and inhibition. *Biochemistry Journal* 384: 201–232.
- Garcia, P.T., Pensel, N.A., Sancho, A.M., Latimori, N.J., Kloster, A.M., Amigone, M.A. & Casal, J.J. 2008. Beef lipids in relation to animal breed and nutrition in Argentina. *Meat Science* 79: 500–508.
- Gardner, G.E., Jacob, R.H. & Pethick, D.W. 2001. The effect of magnesium oxide supplementation on muscle glycogen metabolism before and after exercise and at slaughter in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 723–729.
- Gatellier, P., Mercier, Y. & Renner, M. 2004. Effect of diet finishing mode (pasture or mixed diet) on antioxidant status of Charolais bovine meat. *Meat Science* 67: 385–394.
- Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette, J.F. & Culioli, J. 2001. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reproduction, Nutrition, Development* 41: 1–26.
- Geary, T.W., McFadin, E.L., MacNeil, M.D., Grings, E.E., Short, R.E., Funston, R.N. & Keisler, D.H. 2003. Leptin as a predictor of carcass composition in beef cattle. *Journal of Animal Science* 81: 1–8.
- Geesink, G. & Thompson, J. 2008. Utilising the “Boa” stretching technology to improve the quality of hot boned striploins. Report No. RE-221941. School of Environmental and Rural Science, University of New England, Armidale. 169 s.
- George, M.H., Tatum, J.D., Belk, K.E. & Smith, G.C. 1999. An audit of retail beef loin steak tenderness conducted in eight U.S. cities. *Journal of Animal Science* 77: 1735–1741.
- Gerrard, D.E. & Grant, A.L. 2003. Principles of animal growth and development. Kendall/Hunt Publications. 264 s.
- Gill, J.L., Bishop, S.C., McCorquodale, C., Williams, J.L. & Wiener, P. 2009. Association of selected SNP with carcass and taste panel assessed meat quality traits in a commercial population of Aberdeen Angus-sired beef cattle. *Genetics Selection Evolution* 41: 36.
- Gill, C.O., Yang, X., Uttaro, B., Badoni, M. & Liu, T. 2013. Effects on survival of *Escherichia coli* O157:H7 in non-intact steaks of the frequency of turning over steaks during grilling. *Journal of Food Research* 2: 77–89.
- Givens, D.I. 2010. Milk and meat in our diet: Good or bad for health? *Animal* 4: 1941–1952.
- Givens, D.I. & Gibbs, R.A. 2008. Current intakes of EPA and DHA in European populations and the potential of animal-derived foods to increase them. *Proceedings of the Nutrition Society* 67: 273–280.
- Goll, D.E., Thompson, V.F., Li, H., Wei, W. & Cong, J. 2003. The calpain system. *Physiological Reviews* 83: 731–801.
- Gotoh, T., Terada, K., Oyadomari, S. & Mori, M. 2004. Hsp70-DNAJA chaperone pair prevents mitric oxide- and CHOP-induced apoptosis by inhibiting translocation of Bax to mitochondria. *Cell Death Differentiation* 11: 390–402.
- Gracey, C.A. 2014. Beef carcass grading: The common language of the industry. Beef carcass grading in Canada-A review. ALMA, Alberta Livestock and Meat Agency Ltd. 55 s.
- Grandin, T. 1993. Behavioral agitation during handling of cattle is persistent over time. *Applied Animal Behaviour Science* 36: 1–9.
- Grandin, T. 2003. Solving livestock handling problems in slaughter plants. *Teoksessa: Animal welfare and meat science*. CAB Publishing, Oxon, UK. s. 42–68.
- Granit, R., Angel, S., Akiri, B., Holzer, Z., Aharoni, Y., Orlov, A. & Kanner, J. 2001. Effects of vitamin E supplementation on lipid peroxidation and color retention of salted calf muscle from a diet rich in polyunsaturated fatty acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 5951–5956.

- Grayson, A.L., King, D.A., Shackelford, S.D., Koohmaraie, M. & Wheeler, T.L. 2014 Freezing and thawing or freezing, thawing, and aging on beef tenderness. *Journal of Animal Science* 92: 2735–2740.
- Greiner, S.P. 2002. Beef cattle breeds and biological types. Virginia Cooperative Extension Publication. N:o 400-803. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, USA.
- Grisart, B., Coppeters, W., Farnir, F., Karim, L., Ford, C., Berzi, P., Cambisano, N., Mni, M., Reid, S., Simon, P., Spelman, R., Georges, M. & Snell, R. 2002. Positional candidate cloning of QTL in dairy cattle: Identification of a missense mutation in bovine DGAT1 gene with major effect on milk yield and composition. *Genome Research* 12: 222–231.
- Grobet, L., Royo Martin, L.J., Poncelet, D., Pirottin, D., Brouwers, B., Riquet, J., Schoeberlein, A., Dunner, S., Menissier, F., Massabanda, J., Fries, R., Hanset, R. & Georges, M. 1997. A deletion in the myostatin gene causes double-muscling in cattle. *Nature Genetics* 17: 71–74.
- Groth, I., Wielgosz-Groth, Z., Kijak, Z., Pogorzelska, J. & Wronski, M. 1999. Comparison of meat quality in young black and white breed bulls and their hybrids with beef breed. *Journal of Animal and Feed Sciences* 8: 145–156.
- Gruber, S.L., Tatum, J.D., Scanga, J.A., Chapman, P.L., Smith, G.C. & Belk, K.E. 2006. Effects of postmortem aging and USDA quality grade on Warner-Bratzler shear force values of seventeen individual beef muscles. *Journal of Animal Science* 84: 3387–3396.
- Grunert, K.G., Bredahl, L. & Brunsø, K. 2004. Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector—a review. *Meat Science* 66: 259–272.
- Grunert, K. 2005. Food quality and safety: consumer perception and demand. *European Review of Agricultural Economics* 32: 369–391.
- Gustafsson, A.B. & Gottlieb, R.A. 2003. Mechanisms of apoptosis in the heart. *Journal of Clinical Immunology* 23: 447–459.
- Gutiérrez-Gill, B., Wiene, P., Nute, G.R., Burton, D., Gill, J.L., Wood, J.D. & Williams, J. 2008. Detection of quantitative trait loci for meat quality traits in cattle. *Animal Genetics* 39: 51–61.
- Haegeman, A., Van Zeveren, A. & Peelman, L.J. 2000. New mutation in exon 2 of the bovine leptin gene. *Animal Genetics* 31: 79.
- Hall, J.B. & Hunt, M.C. 1982. Collagen solubility of A-maturity bovine longissimus muscle as affected by nutritional regimen. *Journal of Animal Science* 55: 321–328.
- Han, S.H., Cho, I.C., Kim, J.H., Ko, M.S., Jeong, H.Y., Oh, H.S. & Lee, S.S. 2009. A GHR polymorphism and its associations with carcass traits in Hanwoo cattle. *Genes Genomics* 31: 35–41.
- Hanna, R.A., Campbell, R.L. & Davies, P.L. 2008. Calcium-bound structure of calpain and its mechanism of inhibition by calpastatin. *Nature* 456: 409–412.
- Harper, G.S. 1999. Trends in skeletal muscle biology and the understanding of toughness in beef. *Australian Journal of Agricultural Research* 50: 1105–1129.
- Hawke, T.J. & Garry, D.J. 2001. Myogenic satellite cells: Physiology to molecular biology. *Journal of Applied Physiology* 91: 534–551.
- Hedrick, H.B. & Krause, G.F. 1975. Comparisons of predicted and actual retail yields from steer and heifer carcasses and equations for estimating retail yield. *Journal of Animal Science* 41: 508–512.
- Hedrick, H.B., Paterson, J.A., Matches, A.G., Thomas, J.D., Morrow, R.E., Stringer, W.G. & Lipsey, R.J. 1983. Carcass and palatability of beef produced on pasture, corn silage and corn grain. *Journal of Animal Science* 57: 791–801.
- Herrero, A.M. 2008. Raman spectroscopy a promising technique for quality assessment of meat and fish: A review. *Food Chemistry* 107: 1642–1651.
- Hess, B.W., Moss, G.E. & Rule, D.C. 2008. A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *Journal of Animal Science* 86: E188–E204.
- Higgs, J.D. 2000. The changing nature of red meat: 20 years improving nutritional quality. *Trends in Food Science and Technology* 11: 85–95.
- Hill, R.A. 2012. Feed efficiency in the beef industry. 1<sup>st</sup> edition. Wiley Blackwell. s.311.
- Hiner, R.L. & Hankins, O.G. 1950. The tenderness of beef in relation to different muscles and age in the animal. *Journal of Animal Science* 9: 347–353.
- Hocquette, J.F., Botreau, R., Picard, B., Jacquet, A., Pethick, D.W. & Scollan, N.D. 2012a. Opportunities for predicting and manipulating beef quality. *Meat Science* 92: 197–209.
- Hocquette, J.F., Cassar-Malek, I., Jurie, C., Bauchart, D., Picard, B. & Renand, G. 2012b. Relationships between muscle growth potential, intramuscular fat content and different indicators of muscle fibre types in young Charolais bulls. *Animal Science Journal* 83: 750–758.

- Hocquette, J.F., Gondret, F., Baza, E., Mdale, F., Jurie, C. & Pethick, D.W. 2010. Intramuscular fat content in meat-producing animals: Development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers. *Animal* 4: 303–319.
- Holmes, J.H.G., Ashmore, C.R. & Robinson, D.W. 1973. Effects of stress on cattle with hereditary muscular hypertrophy. *Journal of Animal Science* 36: 684–694.
- Homer, D.B., Cuthbertson, A., Homer, D.L.M. & McMenamin, P. 1997. Eating quality of beef from different sire breeds. *Animal Science* 64: 403–408.
- Hopkins, D.L. 1989a. Reliability of three sites for measuring fat depth on the beef carcass. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 29: 165–168.
- Hopkins, D.L. 1989b. An evaluation of Hennessy Grading Probe for measuring fat depth in beef carcasses. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 29: 781–784.
- Hopkins, D.L. 2004. Tenderizing mechanisms: Mechanical. Teoksessa: Toim. Jensen, W.K., Devine, C. & Dikeman, M. *Encyclopedia of Meat Sciences*. Oxford, Elsevier. s. 1355–1363.
- Hopkins, D.L., Littlefield, P.J. & Thompson, J.M. 2000. The effect on tenderness of super tenderstretching. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 13 (Supplement C): 240.
- Hopkins, D.L. & Roberts, A.H.K. 1993. Australian grass-fed beef for Japan. I. Carcass quality characteristics, saleable meat yield and value of various carcass measurements for predicting yield. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 33: 685–691.
- Hopkins, D.L. & Thompson, J.M. 2002a. Factors contributing to proteolysis and disruption of myofibrillar proteins and impact on tenderization in beef and sheep meat. *Australian Journal of Agricultural Research* 53: 149–166.
- Hopkins, D.L. & Thompson, J.M. 2002b. The degradation of myofibrillar proteins in beef and lamb using denaturing electrophoresis-An overview. *Journal of Muscle Foods* 13: 81–102.
- Hopkins, D.L., Toohey, E.S., Kerr, M.J. & van de Ven, R. 2011. Comparison of the G2 Tenderometer and Lloyd Texture Analyser for measuring shear force in sheep and beef meats. *Animal Production Science* 51: 71–76.
- Hostetler, R.L., Carpenter, Z.L., Smith, G.C. & Dutson, T.R. 1975. Comparison of *post mortem* treatments for improving tenderness of beef. *Journal of Food Science* 40: 223–226.
- Hostetler, R.L., Landmann, W.A., Link, B.A. & Fitzhugh Jr., H.A. 1970. Influence of carcass position during rigor mortis on tenderness of beef muscles: Comparison of two treatments. *Journal of Animal Science* 31: 47–50.
- Hostetler, R.L., Link, B.A., Landmann, W.A. & Fitzhugh Jr., H.A. 1972. Effect of carcass suspension on sarcomere length and shear force of some major bovine muscles. *Journal of Food Science* 37: 132–135.
- Houbak, M.B., Ertbjerg, P. & Therkildsen, M. 2008. In vitro study to evaluate the degradation of bovine muscle proteins post-mortem by proteasome and  $\mu$ -calpain. *Meat Science* 79: 77–85.
- Howe, P., Meyer, B., Record, S. & Baghurst, K. 2006. Dietary intake of long-chain  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids: contribution of meat sources. *Nutrition* 22: 47–53.
- Huff-Lonergan, E., Mitsuhashi, T., Beekman, D.D., Parrish Jr, F.C., Olsson, D.G. & Robson, R.M. 1996. Proteolysis of specific muscle structural proteins by  $\mu$ -calpain at low pH and temperature is similar to degradation in postmortem bovine muscle. *Journal of Animal Science* 71: 993–1008.
- Huff-Lonergan, E., Zhang, W. & Lonergan, S.M. 2001. Biochemistry of postmortem muscle – Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science* 86: 184–195.
- Huffman, K.L., Miller, M.F., Hoover, L.C., Wu, C.K., Brittin, H.C. & Ramsey, C.B. 1996. Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. *Journal of Animal Science* 74: 91–97.
- Hui, Y.H. 2012. Handbook of meat and meat processing. eBook 978-1-4398-3684-2.
- Huuskonen, A. 2012. Pihvirotuisten nautojen teurasominaisuudet ja lihan laatu. MTT Raportti 46. MTT Jokioinen. 98 s.
- Huuskonen, A., Jansson, S., Honkavaara, M., Tuomisto, L. & Kauppinen, R. 2010a. Performance, meat fatty acid profile and meat colour of dairy bulls finished on grazed pasture or grass silage-based diets with similar concentrate allowances. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A, Animal Science* 60: 104–111.
- Huuskonen, A., Jansson, S., Honkavaara, M., Tuomisto, L., Kauppinen, R. & Joki-Tokola, E. 2010b. Meat colour, fatty acid profile and carcass characteristics of Hereford bulls finished on grazed pasture or grass silage-based diets with similar concentrate allowance. *Livestock Science* 131: 125–129.

- Hwang, I.H., Devine, C.E. & Hopkins, D.L. 2003. Review: the biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep tenderness. *Meat Science* 65: 677–691.
- Hwang, I.H. & Thompson, J.M. 2001a. The interaction between pH and temperature decline early postmortem on the calpain system and objective tenderness in electrically stimulated beef *longissimus dorsi* muscle. *Meat Science* 58: 167–174.
- Hwang, I.H. & Thompson, J.M. 2001b. The effect of time and type of electrical stimulation on the calpain system and meat tenderness in beef *longissimus dorsi* muscle. *Meat Science* 58: 135–144.
- Ibrahim, R.M., Goll, D.E., Marchello, J.A., Duff, G.C., Thompson, V.F., Mares, S.W. & Ahmad, H.A. 2008. Effect of two dietary concentrate levels on tenderness, calpain and calpastatin activities, and carcass merit in Waguli and Brahman steers. *Journal of Animal Science* 86: 1426–1433.
- Insani, E.M., Eyherabide, A., Grigoni, G., Sancho, A.M., Pensel, N.A. & Descalzo, A.M. 2008. Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated retail display of beef produced in Argentina. *Meat Science* 79: 423–436.
- Jayasooriya, S.D., Bhandari, B.R., Torley, P., D'Arcy, B.R. 2004. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: A review. *International Journal of Food Properties* 7: 301–319.
- Jeremiah, L.E., Dugan, M.E.R., Aalhus, J.L. & Gibson, L.L. 2003a. Assessment of the chemical and cooking properties of the major beef muscles and muscle groups. *Meat Science* 65: 985–992.
- Jeremiah, L.E., Dugan, M.E.R., Aalhus, J.L. & Gibson, L.L. 2003b. Assessment of the relationship between chemical components and palatability of major beef muscles and muscle groups. *Meat Science* 65: 1013–1019.
- Jeremiah, L.E., Schaefer, A.L. & Gibson, I.I. 1992. The effects of ante-mortem feed and water withdrawal, ante-mortem electrolyte supplementation, and post-mortem electrical stimulation on the palatability and consumer acceptance of bull beef after ageing (6 days at 1°C). *Meat Science* 32: 149–160.
- Jones, S.J., Calkins, C.R., Johnson, D.D. & Gwartney, B.L. 2005. Bovine myology. University of Nebraska. Saatavilla internetistä <: [www.bovine.unk.edu](http://www.bovine.unk.edu)> Luettu 12/2014.
- Jones, S.D.M., Richmond, R.J. & Roberts, W.M. 1995. Meat grading: instrument beef grading. *Meat Focus International* 4: 59–62.
- Jones, B.K. & Tatum, J.D. 1994. Predictors of beef tenderness among carcasses produced under commercial conditions. *Journal of Animal Science* 72: 1492–1501.
- Joseph, R.I. & Connolly, J. 1977. The effects of suspension method, chilling rates and post mortem ageing period on beef quality. *Journal of Food Technology* 12: 231–247.
- Juárez, M., Basarab, J.A., Baron, V.S., Valera, M., Larsen, I.L. & Aalhus, J.L. 2012. Quantifying the relative contribution of ante- and post-mortem factors to the variation in beef texture. *Animal* 6: 1878–1887.
- Juárez, M., Larsen, I.L., Gibson, L.L., Robertson, W.M., Dugan, M.E.R., Aldai, N. & Aalhus, J.L. 2010. Extended ageing time and temperature effects on quality of sub-primal cuts of boxed beef. *Canadian Journal of Animal Science* 90: 361–370.
- Juárez, M., Larsen, I.L., Klassen, M. & Aalhus, J.L. 2013. Canadian beef tenderness survey: 2001–2011. *Canadian Journal of Animal Science* 93: 89–97.
- Kallas, Z., Realini, C.E. & Gil, J.M. 2014. Health information impact on the relative importance of beef attributes including its enrichment with polyunsaturated fatty acids (omega-3 and conjugated linoleic acid). *Meat Science* 97: 497–503.
- Kambadur, R., Sharma, M., Smith, T.P. & Bass, J.J. 1997. Mutations in myostatin (GDF8) in double-muscling Belgian Blue and Piedmontese cattle. *Genome Research* 7: 910–916.
- Kamihiro, S., Stergiadis, S., Leifert, C., Eyre, M.D. & Butler, G. 2015. Meat quality and health implications of organic and conventional beef production. *Meat Science* 100: 306–318.
- Kaupe, B., Winter, A., Fries, R. & Erhardt, G. 2004. DGAT1 polymorphism in *Bos indicus* and *Bos Taurus* cattle breed. *Journal of Dairy Research* 71: 182–187.
- Kemp, C.M., Sensky, P.L., Bardsley, R.G., Buttery, P.J. & Parr, T. 2010. Tenderness—An enzymatic view. Review. *Meat Science* 84: 248–256.
- Kern, S.A., Pritchard, R.H., Blair, A.D., Scramlin, S.M. & Underwood, K.R. 2014. The influence of growth stage on carcass composition and factors associated with marbling development in beef cattle. *Journal of Animal Science* 92: 5275–5284.
- Kerth, C.R. 2013. *The science of meat quality*. Wiley-Blackwell. Oxford, UK. 293 s.
- Killinger, K.M., Calkins, C.R., Umberger, W.J., Feuz, D.M. & Eskridge, K.M. 2004. A comparison of consumer sensory acceptance and value of domestic beef steaks and steaks from branded, Argentine beef program. *Journal of Animal Science* 82: 3302–3307.

- Kim, E.J., Richardson, R.I., Gibson, K. & Scollan, N.D. 2011. Effect of feeding a plant oil rich in stearidonic acid on growth and meat quality of Charolais cross-bred steers. *Proceedings of the British Society of Animal Science. BSAS.* s. 90.
- Kim, E.J., Richardson, R.I., Lee, M.R.F., Gibson, K. & Scollan, N.D. 2010a. Effect of lipid-rich plant extract on the fatty acid composition and meat quality of Belgium-Blue cross bred steers. *Proceedings of the British Society of Animal Science. BSAS.* s. 131.
- Kim, Y.H.B., Lonergan, S.M., & Huff-Lonergan, E. 2010b. Influence of high-oxygen and lactate/phosphate enhancement on proteolysis, protein polymerization, and tenderness of post mortem beef muscle. *International Congress of Meat Science and Technology. Jeju, South Korea.* s. 87.
- King, D.A., Pfeiffer, C.E., Randel, R.D., Welsh, T.H., Oliphint, R.A. & Braird, B.E. 2006. Influence of animal temperament and stress responsiveness on the carcass quality and beef tenderness of feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 74: 546–556.
- King, D.A., Shackelford, S.D. & Wheeler, T.L. 2011. Relative contributions and muscle effects to variation in beef lean colour stability. *Meat Science* 85: 1434–1451.
- King, D.A., Shackelford, S.D., Kalchayanand, N. & Wheeler, T.L. 2012. Sampling and aging effects of beef longissimus color stability measurements. *Journal of Animal Science* 90: 3596–3605.
- Knight, T.W. & Death, A.F. 1997. Is beef yellow fat potentially healthier for you than beef with white fat? *Proceedings of New Zealand Society of Animal Production* 57: 134–136.
- Kohlbeck, K.S. 2013. Effect of temperament and growth rate on tenderness of beef steaks from Simmental cross steers. *Master Thesis. Montana State University.* 86 s.
- Koohmaraie, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization process of meat. *Meat Science* 43: 193–201.
- Koohmaraie, M., Doumit, M.E. & Weaver, T.L. 1996. Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. *Journal of Animal Science* 74: 2935–2942.
- Koohmaraie, M. & Geesink, G.H. 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science* 74: 34–43.
- Koohmaraie, M. Whipple, G. & Crouse, J.D. 1990. Acceleration of postmortem tenderization in lamb and Brahman-cross beef carcasses through infusion of calcium-chloride. *Journal of Animal Science* 68: 1278–1283.
- Koohmaraie, M. Whipple, G., Kretchmar, D.H., Crouse, J.D. & Mersmann, H.J. 1991. Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb and pork carcasses. *Journal of Animal Science* 69: 617–624.
- Koutsidis, G., Elmore, J.S., Oruna-Concha, M.J., Campo, M.M., Wood, J.D. & Mottram, D.S. 2008. Water-soluble precursors of beef flavor. Part II: Effect of post-mortem conditioning. *Meat Science* 79: 270–277.
- Koutsoumanis, K. & Sofos, J.N. 2004. Microbial contamination. *Teoksessa: Toim. Jensen, W., Devine, C. & Dikeman, M. Encyclopedia of Meat Sciences. Elsevier, Oxford, UK.* s. 1342–1348.
- Kraft, J., Kramer, J.K.G., Schoene, F., Chambers, J.R. & Jahreis, G. 2008. Extensive analysis of long-chain polyunsaturated fatty acids, CLA, trans-18:1 isomers, and plasmalogenic lipids in different retail beef types. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 4775–4782.
- Lagerstedt, Å, Enfält, L., Johansson, L. & Lundström, K. 2008. Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*. *Meat Science* 80: 457–461.
- Lagerstedt, Å., Lundström, K. and Lindhal, G. 2010. Influence of vacuum or high-oxygen modified atmosphere packaging on quality of beef *M. longissimus dorsi* steaks after different ageing times. *Meat Science*: 87: 101–106.
- Lagonigro, R., Wiener, P., Pilla, F., Woolliams, J. & Williams, J. 2003. A new mutation in the coding region of the bovine leptin gene associated with feed intake. *Animal Genetics* 34: 371–374.
- Lamare, M., Taylor, R.G., Farout, L., Briand, Y. & Briand, M. 2002. Changes in proteasome activity during postmortem aging of bovine muscle. *Meat Science* 61: 199–204.
- Larraín, R., Schaefer, D. & Reed, J. 2008. Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. *Food Research International* 41: 380–385.
- Laster, M.A., Smith, R.D., Nicholson, K.L., Nicholson, J.D.W., Miller, R.K., Griffin, D.B., Harris, K.B. & Savell, J.W. 2008. Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer sensory attribute evaluations of steaks from ribeyes, strip loins, and top sirloins from two quality grade groups. *Meat Science* 80: 795–804.

- Lawrence, T., Fowler, V. & Novakofski, J. 2012. Growth of farm animals. 3<sup>rd</sup> Edition. CAB International. Oxfordshire, UK. 352 s.
- Lee, M.R., Evan, P.R., Nute, G.R., Richardson, R.I. & Scollan, N.D. 2009. A comparison between red clover silage and grass silage feeding on fatty acid composition, meat stability and sensory quality of the M. longissimus muscle of dairy cull cows. *Meat Science* 81: 738–744.
- Lee, S., Stevenson-Barry, J.M., Kauffman, R.G. & Kim, B.C. 2000. Effect of ion fluid injection on beef tenderness in association with calpain activity. *Meat Science* 56: 301–310.
- Lefaucheur, L. 2010. A second look into fibre typing – Relation to meat quality. *Meat Science* 84: 257–270.
- Leheska, J.M., Thompson, L.D., Howe, J.C., Hentges, E., Boyce, J., Brooks, J.C., Shriver, B., Hoover, L. & Miller, M.F. 2008. Effects of conventional and grass-feeding systems on the nutrient composition of beef. *Journal of Animal Science* 86: 3575–3585.
- Li, C.B., Zhou, G.H. & Xu, X.I. 2007a. Comparisons of meat quality characteristics and intramuscular connective tissue between beef longissimus dorsi and semitendinosus muscles from chinese yellow bulls. *Journal of Muscle Foods* 18: 143–161.
- Li, H., Xu, S., Gao, X. & Ren, H. 2007b. Structure of the bovine ACAD8 gene and the association of its polymorphism with the production traits. *Journal of Genetics and Genomics* 34: 315–320.
- Li, X., Babol, J., Bredie, W.L.P., Nielsen, B., Tománková, J. & Lundström, K. 2014. A comparative study of beef quality after ageing longissimus muscle using a dry ageing bag, traditional dry ageing or vacuum package ageing. *Meat Science* 97: 433–442.
- Liu, Q., Lanari, M.C. & Schaefer, D.M. 1995. A review of dietary vitamin E supplementation for improvement of beef quality. *Journal of Animal Science* 73: 3131–3140.
- Lively, F.O., Keady, T.W.J., Moss, B.W., Farmer, L.J., Gault, N.F.S., Tolland, E.L.C., Patterson, D.C. & Gordon, A.W. 2006. The effect of beef genotype, pelvic hanging technique and aging period on the eating quality of some hindquarter muscles. *Advances in Animal Sciences. British Society of Animal Science* s. 20.
- Long, N.M., Tousley, C.B., Underwood, K.R., Paisley, S.I., Means, W.J., Hess, B.W., Du, M. & Ford, S.P. 2012. Effect of early- to mid-gestational undernutrition with or without protein supplementation on offspring growth, carcass characteristics, and adipocyte size in beef cattle. *Journal of Animal Science* 90: 197–206.
- López-Campos, Ó., Larsen, I., Prieto, N. Juárez, M. & Aalhus, J.L. 2015. Using Dual Energy X-Ray Absorptiometry technology for rapid and non-invasive fat and lean predictions in beef carcasses. *Meat Science* 99: 144.
- Lorenz, S., Buettner, A., Ender, K., Nuernberg, G., Papstein, H.J. & Schierberle, P. 2002. Influence of keeping system on the fatty acid composition in the longissimus muscle of bulls and odorants formed after pressure-cooking. *European Food Research and Technology* 214: 112–118.
- Lowe, T.E., Peachey, B.M. & Devine, C.E. 2002. The effect of nutritional supplements on growth rate, stress responsiveness, muscle glycogen and meat tenderness in pastoral lambs. *Meat Science* 62: 391–397.
- MacNeil, M.D. & Northcutt, S.L. 2008. National cattle evaluation system for combined analysis of carcass characteristics and indicator traits recorded by using ultrasound in Angus cattle. *Journal of Animal Science* 86: 2518–2524.
- Maddock Carlin, K.R., Huff-Lonergan, E., Rowe, L.J. & Lonergan, S.M. 2006. Effect of oxidation, pH and ionic strength on calpastatin inhibition of  $\mu$ - and m-calpain. *Journal of Animal Science* 84: 925–937.
- Madsen, N.T. & Claussen, I. 2006. Sensory evaluation of beef steaks stored in MA combinations of CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, and O<sub>2</sub>. *International Congress of Meat Science and Technology. Dublin, Ireland.* s. 405–406.
- Maher, S.C. 2003. Quantifying variation in the eating quality of beef-with an emphasis on tenderness. PhD Thesis, National University of Ireland. 87 s.
- Maher, S.C., Mullen, A.M., Keane, M.G., Buckley, D.G., Kerry, J.P. & Moloney, A.P. 2004. Decreasing variation in the eating quality of beef through homogeneously pre- and post slaughter. *Meat Science* 69: 215–224.
- Mahmood, S., Basarab, J., Dixon, W. & Bruce, H.L. 2015a. Can potential for dark cutting be predicted by phenotype? I. Relationships between gender, carcass characteristics and the incidence of dark cutting beef. *Meat Science* 99: 151.

- Mahmood, S., Basarab, J., Dixon, W. & Bruce, H.L. 2015b. Can potential for dark cutting be predicted by phenotype? II: Relationships between farm, phenotype, carcass characteristics and the incidence of dark cutting beef in heifers. *Meat Science* 99: 152.
- Maiorano, G., Cavone, C., McCormick, R.J., Ciarlariello, A., Gambacorta, M. & Manchisi, A. 2007. The effect of dietary energy and vitamin E administration on performance and intramuscular collagen properties of lambs. *Meat Science* 76: 182–188.
- Maltin, C., Balcerzak, D., Tilley, R. & Delday, M. 2003. Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society* 6: 337–347.
- Maltin, C.A., Sinclair, K.D., Warriss, P.D., Grant, C.M., Porter, A.D., Delday, M.I. & Warkup, C.C. 1998. The effects of age at slaughter, genotype and finishing system on the biochemical properties, muscle fibre type characteristics and eating quality of bull beef from suckled calves. *Animal Science* 66: 341–348.
- Mancini, R. & Hunt, M. 2005. Current research in meat color. *Meat Science* 71: 100–121.
- Mandell, I.B., Gullett, J.G., Buchanan-Smith, J.G. & Campbell, C.P. 1997. Effects of diet and slaughter endpoint on carcass composition and beef quality in Charolais cross steers fed alfalfa silage and (or) high concentrate diets. *Canadian Journal of Animal Science* 77: 403–414.
- Mapiye, C., Dugan, M.E., Juarez, M., Basarab, J.A., Baron, V.S., McAllister, T.A., Block, H.C., Uttaro, B., Aalhus, J.L. & Dugan, M.E.R. 2013. Adipose tissue and muscle fatty acid profiles of steers fed red clover silage with and without flaxseed. *Livestock Science* 151: 11–20.
- Marino, R., Albenzio, A., Braghieri, A., Muscio, A. & Sevi, A. 2006. Organic farming: effects of forage to concentrate ratio and ageing time on meat of Podolian young bulls. *Livestock Production Science* 102: 42–50.
- Marmer, W.N., Maxwell, R.J. & Williams, J.E. 1984. Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. *Journal of Animal Science* 59: 109–121.
- Marple, D. 2003. Fundamental concepts of growth. *Teoksessa: Toim. Scanes, C.G. Biology of Growth of Domestic Animals*. Ames, IA. Iowa State Press. s. 9–19.
- Marsh, B.B. 1977. The basis of tenderness in muscle. *Journal of Food Science* 42: 295–297.
- Marriot, N.G. & Claus, J.R. 1994. Meat tenderness revisited. *Meat Focus International* 4: 372–376.
- Mateescu, R.G. 2014. Genetics of meat quality. In: *The genetics of cattle*. Eds. Ruvinsky, D.J.G.A. CAB International. Wallingford, UK. s. 544–570.
- Mateescu, R.G., Garrick, D.J., Garmyn, A.J., VanOverbeke, D.L., Mafi, G.G. & Reecy, J.M. 2015. Genetic parameters for sensory traits in longissimus muscle and their association with tenderness, marbling score, and intramuscular fat in Angus cattle. *Journal of Animal Science* 93: 21–27.
- Matthews, K.R. 2008. Evaluation of the pH fall in English and Welsh beef abattoirs against the Meat Standards Australia pH/temperature window. Milton Keynes. EBLEX/HCC.
- Matthews, K.R. 2011. Review of published literature and unpublished research on factors influencing beef quality. EBLEX, UK. Saatavilla internetistä: <<http://www.eblex.org.uk/wp/wp-content/uploads/2013/04/meatqualityreview2010-beef.pdf>> Luettu 12/2014.
- May, S.G., Dolezal, H.G., Gill, D.R., Ray, F.K. & Buchanan. 1992. Effect of days fed, carcass grade traits, and subcutaneous fat removal on postmortem muscle characteristics and beef palatability. *Journal of Animal Science* 70: 444–453.
- McAfee, A.J., McSorley, E.M., Cuskelly, G.J., Fearon, A.M., Moss, B.W., Beattie, J.A.M., Wallace, J.M.W., Bonham, M.P. & Strain, J.J. 2011. Red meat from animals offered a grass diet increases plasma and patelet n-3 PUFA in healthy consumers. *British Journal of Nutrition* 105: 80–89.
- McAfee, A.J., McSorley, E.M., Cuskelly, G.J., Moss, B.W., Wallace, J.M.W., Bonham, M.P. & Fearon, A.M. 2010. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat Science* 84: 1–13.
- Mcbee, J.L. & Wiles, J.A. 1967. Influence of marbling and carcass grade on physical and chemical characteristics of beef. *Journal of Animal Science* 26: 701–704.
- McClain, P.E. 1977. Chemistry of collagen crosslinking. Relationship to aging and nutrition. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 86: 603–618.
- McCormick, R.J. 1994. The flexibility of the collagen compartment of muscle. *Meat Science* 36: 79–91.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D. & Morgan. 2004. *Animal Nutrition*. Longman. Essex, UK. 607 s.
- McPhail, N.G. 1995. Implementation of hot boning. *Teoksessa: Meat 95. The Australian Meat Industry Research Conference 10.-12.9.1995, Gold Coast, Australia*. s. 5–6.
- McPhee, M.J., Oltjen, J.W., Famula, T.R. & Sainz, R.D. 2006. Meta-analysis of factors affecting carcass characteristics of feedlot steers. *Journal of Animal Science* 84: 3143–3154.

- McPherron, A.C. & Lee, S.J. 1997. Double muscling in cattle due to mutation in the myostatin gene. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*. 94: 12457–12461.
- Meyer, B., Mann, N., Lewis, J., Milligan, G., Sinclair, A. & Howe, P. 2003. Dietary intakes and food sources of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Lipids* 38: 391–398.
- Micke, G.C., Sullivan, T.M., Gatford, K.L., Owens, J.A. & Perry, V.E.A. 2010. Nutrient intake in the bovine during early and mid-gestation causes sex-specific changes in progeny plasma IGF-I, live-weight, height and carcass traits. *Animal Reproduction Science* 121: 208–217.
- Mikami, M., Whiting, A.H., Taylor, M.A.J., Maciewicz, R.A. & Etherington, D.J. 1987. Degradation of myofibrils from rabbit, chicken and beef by cathepsin 1 and lysosomal lysates. *Meat Science* 21: 81–97.
- Milanesi, E., Nicoloso, L. & Crepaldi, P. 2008. Stearoyl CoA desaturase (SCD) gene polymorphisms in Italian cattle breeds. *Journal on Animal Breeding and Genetics* 125: 63–67.
- Miller, R.K. 2002. Factors affecting the quality of raw meat. Teoksessa: Toim. Kerry, J.P., Kerry, J.F. & Ledward, D. *Meat processing-Improving quality*. Woodhead Publishing Co. Cambridge, England. s. 27–63.
- Miller, M.F., Carr, M.A., Ramsey, C.B., Crockett, K.L. & Hoover, L.C. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *Journal of Animal Science* 79: 3062–3068.
- Miller, M.F., Cross, H.R., Crouse, J.D. & Jenkins, T.G. 1987. Effect of feed energy intake on collagen characteristics and muscle quality of mature cows. *Meat Science* 21: 287–294.
- Miller, R.K., Tatum, J.D., Cross, H.R., Bowling, R.A. & Clayton, R.P. 1983. Effects of carcass maturity on collagen solubility and palatability of beef from grain-finished steers. *Journal of Food Science* 48: 484–486.
- MLA. 2014. Meat and Livestock Australia. Saatavilla internetistä: <www.mla.com.au> Luettu 12/2014.
- Mojto, J., Dubravicky, J., Palanska, O., Lahucky, R. & Zauiec, K. 1998. Comparison of physical activity of socially unstable bulls and steers before slaughter and its effect on meat quality. *Proceedings of International Congress of Meat Science Technology*. Barcelona, Spain. s. 1044–1045.
- Moldoveanu, T., Gehring, K. & Green, D.R. 2008. Concerted multi-pronged attack by calpastatin to occlude the catalytic cleft of heterodimeric calpains. *Nature* 456: 404–408.
- Moloney, A.D., Fievez, V., Martin, B., Nute, G.R. & Richardson, R.I. 2008. Botanically diverse forage-based rations for cattle: Implications for product composition and quality and consumer health. *Grassland Science in Europe* 13: 361–374.
- Moloney, A.D., McGilloway, D.A. & French, P. 2007. Fatty acid composition of muscle from cattle grazing perennial ryegrass/white clover swards prior to slaughter. *Proceedings of the Agricultural Research. Ireland. Tullamore*. s. 84.
- Moloney, A.D., Mooney, M.T., Kerry, J.P., Staton, C. & Troy, D.J. 2013. Colour of fat, and colour, fatty acid composition and sensory characteristics of muscle from heifers offered alternative forages to grass silage in a finishing ration. *Meat Science* 95: 608–615.
- Monin, G. 1998. Recent methods for predicting quality of whole meat. *Meat Science* 49: S231–S234.
- Monsón, F., Sañudo, C. & Sierra, I. 2005. Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Science* 71: 471–479.
- Moore, M.C., Gray, G.D., Hale, D.S., Kerth, C.R., Griffin, D.B., Savell, J.W., Raines, C.R., Belk, K.E., Woerner, D.R., Tatum, J.D., Igo, J.L., VanOverbeke, D.L., Mafi, G.G., Lawrence, T.E., Delmore, Jr., R.J., Christensen, L.M., Shackelford, S.D., King, D.A., Wheeler, T.L., Meadows, L.R. & O'Connor, M.E. 2012. National beef quality audit-2011: In-plant survey of targeted carcass characteristics related to quality, quantity, value, and marketing of fed steers and heifers. *Journal of Animal Science* 90: 5143–5151.
- Moss, B.W., Chau, A., Whitworth, M.B., Beattie, J.R., Fearon, A. & Gordon, A. 2010. Prediction of meat quality: application of hyperspectral imaging and Raman spectroscopy. *Eblex report*.
- Mottram, D.S. 1979. The flavor of cooked meats. *Agricultural Research Council Meat Research Institute (Bristol). Biennial Report 1977–1979*. s. 87–88.
- Mourot, B.P., Gruffat, D., Durand, D., Chesneau, G., Mairesse, G. & Andueza, D. 2015. Breeds and muscle types modulate performance of near-infrared reflectance spectroscopy to predict the fatty acid composition of bovine meat. *Meat Science* 99: 104–112.
- Morris, C.A., Cullen, N.G., Hickey, S.M., Dobbie, P.M., Veenvliet, B.A., Manley, T.R., Pitchford, W.S., Kruk, Z.A., Botema, C.D.K. & Wilson, T.R. 2006. Genotypic effects of calpain 1 and calpastatin on the tenderness of cooked *M. longissimus dorsi* steaks from Jersey x Limousin, Angus and Hereford-cross cattle. *Animal Genetics* 37: 411–414.

- Morsci, N.S., Schnabel, R.D. & Taylor, J.F. 2006. Association analysis of adiponectin and somatostatin polymorphisms on BTA1 with growth and carcass traits in Angus cattle. *Animal Genetics* 37: 554–562.
- Muir, P.D., Deaker, J.M. & Bown, M.D. 1998. Effects of forage- and grain-based feeding system on beef quality: A review. *New Zealand Journal of Agriculture Research* 41: 623–635.
- Muroya, S., Watanabe, K., Hayashi, S., Miyake, M., Konashi, S., Sato, Y., Takahashi, M., Kawahata, S., Yoshikawa, Y., Aso, K. & Yamaguchi, T. 2009. Muscle type-specific effect of myostatin deficiency on myogenic regulatory factor expression in adult double-muscled Japanese Shorthorn cattle. *Animal Science* 80: 678–685.
- Nassu, R.T., Dugan, M.E.R., Juarez, M., Basarab, J.A., Baron, V.S. & Aalhus, J.L. 2011. Effect of alpha-tocopherol tissue levels on beef quality. *Animal* 5: 2010–2018.
- Ngapo, T.M., Babare, I.H., Reynolds, J. & Mawson, R.F. 1999. A preliminary investigation technique to reduce the variability and improve tenderness of beef *longissimus dorsi*. *Proceedings of the 49<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology*. Campinas, Brazil. s. 513–514.
- Nielsen, B.K. & Thamsborg, S.M. 2005. Welfare, health and production quality of organic beef production: a Danish perspective. *Livestock Production Science* 94: 1–50.
- Nishimura, T., Hattori, A. & Takahashi, K. 1999. Structural changes in intramuscular connective tissue during the fattening of Japanese black cattle: Effect of marbling of beef tenderization. *Journal of Animal Science* 77: 93–104.
- Nkrumah, J.D., Li, C., Basarab, J.B., Guercio, S., Meng, Y., Murdoch, B., Hansen, C. & Moore, S.S. 2004. Association of a single nucleotide polymorphism in the bovine leptin gene with feed intake, feed efficiency, growth, feeding behavior, carcass quality and body composition. *Canadian Journal of Animal Science* 84: 211–219.
- Novakofski, J. & Brewer, S. 2006. The paradox of toughening during the aging of tender steaks. *Journal of Food Science* 71: S473–S479.
- Nuernberg, K.D., Dannenberger, D., Nuernberg, G., Ender, K., Voigt, J., Scollan, N.D., Wood, J.D., Nutec, G.R. & Richardson, R.I. 2005. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle. *Livestock Production Science* 94: 137–147.
- Oddy, V.H., Harper, G.S., Greenwood, P.L. & McDonagh, M.B. 2001. Nutritional and developmental effects on the intrinsic properties of muscles as they relate to the eating quality of beef. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 921–942.
- O’Dea, K., Traianedes, K., Chisholm, K., Leyden, H. & Sinclair, A.J. 1990. Cholesterol-lowering effect of a low-fat diet containing lean beef is reversed by the addition of beef fat. *American Journal of Clinical Nutrition* 52: 491–494.
- O’Dowd, L.P., Arimi, J.M., Noci, F., Cronin, D.A. & Lyng, J.G. 2013. An assessment of the effect of pulsed electrical fields on tenderness and selected quality attributes of post rigour beef muscle. *Meat Science* 93: 303–309.
- O’Halloran, G.R., Troy, D.J., Buckley, D.J. & Reville, W.J. 1997. The role of endogeneous proteases in the tenderization of fast glycolysing muscle. *Meat Science* 47: 187–210.
- O’Halloran, J.M., Ferguson, D.M., Perry, D. & Egan, A.F. 1998. Mechanism of tenderness improvement in tenderstretched beef carcasses. *Proceeding of the 44<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology 30.8.-4.9.1998, Barcelona Spain*. Institute for Food and Agricultural Research and Technology (IRTA). 1098 s.
- O’Kiely, P., McGee, M. & Moloney, A. 2014. Beef 2014 “The business of cattle”. Agriculture and food development authority. Teagasc. 160 s.
- Ono, Y., Kakinuma, K., Torii, F., Irie, A., Nakagawa, K., Labeit, S., Abe, K. & Sorimachi, H. 2004. Possible regulation of the conventional calpain system by skeletal muscle-specific calpain, p94/calpain3. *Journal of Biological Chemistry* 23: 2761–2771.
- O’Quinn, T.G., Brooks, J.C., Polkinghorne, R.J., Garmyn, A.J., Johnson, B.J., Starkey, J.D., Rathmann, R.J. & Miller, M.F. 2012. Consumer assessment of beef strip loin steaks of varying fat levels. *Journal of Animal Science* 90: 626–634.
- Orru, L., Cifuni, G.F., Piasentier, E., Corazzin, M., Bovolenta, S. & Moioli, B. 2011. Association analyses of single nucleotide polymorphisms in the LEP and SCD1 genes on the fatty acid profile of muscle fat in Simmental bulls. *Meat Science* 87: 344–348.
- O’Sullivan, A., Galvin, K., Moloney, A.P., Troy, D.J., O’Sullivan, K. & Kerry, J.P. 2003. Effect of pre-slaughter rations of forage and/or concentrates on the composition and quality of retail packaged beef. *Meat Science* 63: 279–286.

- O'Sullivan, A., Korzeniowska, M., White, A. & Troy, D.J. 2003. Using a novel intervention technique to reduce the variability and improve tenderness of beef longissimus dorsi. *Proceedings of the 49<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology*. Campinas, Brazil. s. 513–514.
- O'Sullivan, A., O'Sullivan, K., Galvin, K., Moloney, A.P., Troy, D.J. & Kerry, J.P. 2004. Influence of concentrate composition and forage type on retail packaged beef quality. *Journal of Animal Science* 82: 2384–2391.
- Ouali, A. 1992. Proteolytic and physicochemical mechanisms involved in meat texture development. *Biochimie* 74: 251–265.
- Ouali, A., Hernan-Mendez, C.H., Coulis, G., Beclia, S., Boudjellal, A., Aubury, L. & Sentandreu, M.A. 2006. Revisiting the conversion of muscle into meat and underlying mechanisms. *Meat Science* 74: 44–58.
- Oury, M.P., Agabriel, J., Agabriel, C., Micol, D., Picard, B., Blanquet, J., Labourne, H., Roux, M. & Dumont, R. 2007. Relationship between rearing practices and eating quality traits of the muscle rectus abdominis of Charolais heifers. *Livestock Science* 111: 242–254.
- Owens, F.N., Dubeski, P. & Hanson, C.F. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science* 71: 3138–3150.
- Pabiou, T. & Berry, D.P. 2009. Prediction of beef meat cuts using video image analysis in Ireland. *Proceedings of the 60<sup>th</sup> EAAP Conference*. Barcelona, Spain. s. 145.
- Page, J.K., Wulf, D.M. & Schwotzer, T.R. 2001. A survey of beef muscle color and pH. *Journal of Animal Science* 79: 678–687.
- Page, B., Casas, T.E., Heaton, M.P., Cullen, N.G., Hyndman, D.L., Morris, C.A., Crawford, A.M., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M., Keele, J.W. & Smith, T.P.L. 2002. Evaluation of single-nucleotide polymorphisms in *capn1* for association with meat tenderness in cattle. *Journal of Animal Science* 80: 3077–3085.
- Page, B.T., Casas, E., Quaas, R.L., Thallman, R.M., Wheeler, T.L., Schakelford, S.D., Koohmaraie, M., White, S.N., Bennet, G.L., Keele, J.W., Dikemann, M.E. & Smith, T.P.L. 2004. Association of markers in the bovine CAPN1 gene with meat tenderness in large crossbred populations that sample influential industry sires. *Journal of Animal Science* 82: 3474–3481.
- Papas, A.M. 1999. Diet and antioxidant status. *Food and Chemical Toxicology* 37: 999–1007.
- Parker, A.J., Hamlin, G.P., Coleman, C.J. & Fitzpatrick, L.A. 2003. Quantitative analysis of acid-base balance in *Bos indicus* steers subjected to transportation of long duration. *Journal of Animal Science* 81: 1434–1439.
- Parr, T., Jewell, K.K., Sensky, P.L., Brameld, J.M., Bardsley, R.G. & Buttery, P.J. 2004. Expression of calpastatin isoforms in muscle and functionality of multiple calpastatin isoforms in muscle and functionality of multiple calpastatin promoters. *Archive of Biochemistry and Biophysics* 427: 8–15.
- Parr, T., Sensky, P.L., Arnold, M.K., Bardsley, R.G. & Buttery, P.J. 2000. Effects of epinephrine infusion on expression of calpastatin in porcine cardiac and skeletal muscle. *Archive of Biochemistry and Biophysics* 374: 299–305.
- Parr, T., Sensky, P.L., Bardsley, R.G. & Buttery, P.J. 2001. Calpastatin expression in cardiac and skeletal muscle and partial gene structure. *Archive of Biochemistry and Biophysics* 395: 1–13.
- Partida, J.A., Olleta, J.L., Campo, M.M., Sanudo, C. & Maria, G.A. 2007. Effect of social dominance on the meat quality of young Friesian bulls. *Meat Science* 76: 266–273.
- Pearce, K.L., Rosenvold, K., Andersen, H.J. & Hopkins, D.L. 2011. Water distribution and mobility in meat during conversion of muscle to meat and ageing and the impacts of fresh meat quality attributes – A review. *Meat Science* 89: 111–124.
- Perry, R.L. & Rudnicki, M.A. 2000. Molecular mechanisms regulating myogenic determination and differentiation. *Frontiers in Bioscience* 5: d750–d767.
- Perry, D., Thompson, J.M., Reverter, A. & Johnston, D.J. 2002. Effect of growth rate on palatability in beef cattle. *Proceedings of the 48<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology*. Rome, Italy. s. 276–277.
- Perry, D. & Thompson, J.M. 2005. The effect of growth rate during backgrounding and finishing on meat quality traits in beef cattle. *Meat Science* 69: 691–602.
- Pesonen, M., Honkavaara, M., Kämäräinen, H., Tolonen, T., Jaakkola, M., Virtanen, V. & Huuskonen, A. 2013. Effects of concentrate level and rapeseed meal supplementation on performance, carcass characteristics, meat quality and valuable cuts of Hereford and Charolais bulls offered grass silage-barley-based rations. *Agricultural and Food Science* 22: 151–167.
- Pestana, J.M., Costa, A.S., Martins, S.V., Alfaia, C.M., Alves, S.P., Lopes, P.A., Bessa, R.J. & Prates, J.A. 2012. Effect of slaughter season and muscle type on the fatty acid composition, including

- conjugated linoleic acid isomers, and nutritional value of intramuscular fat in organic beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92: 2428–2435.
- Peters, T. 1987. *Thriving on chaos: Handbook for management revolution*. Alfred A. Knopf, New York. 219 s.
- Pethick, D.W., Barendse, W., Hocquette, J.F., Thompson, J.M. & Wang, Y.H. 2007. Regulation of marbling and body composition-Growth and development, gene markers and nutritional biochemistry. In: *Energy and protein metabolism and nutrition*. Vol. 124. Visny, France. Wageningen Academic Publishers. s. 75–88.
- Pethick, D.W., Harper, G.S. & Oddy, V.H. 2004. Growth, development and nutritional manipulation of marbling in cattle. A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44: 705–715.
- Pette, D. & Staron, R. 1990. Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibers. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology* 116: 1–76.
- Phillips, C.J.C. *Principles of cattle production*. 2<sup>nd</sup> edition. CAB International. Oxfordshire, UK. 233 s.
- Phillips, D., Herrod, W. & Schafer, R.J. 1987. The measurement of subcutaneous fat depth on hot carcasses with the Hennessy Grading Probe. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 27: 335–338.
- Pietrasik, Z., Aalhus, J.L., Gibson, I.L. & Shand, P.J. 2010. Influence of blade tenderization, moisture, enhancement and pancreatin enzyme treatment on the processing characteristics and tenderness of beef semitendinosus muscle. *Meat Science* 84: 512–517.
- Pisula, A. & Tyburcy, A. 1996. Hot processing of meat. *Meat Science* 43: 125–134.
- Platter, W.J., Tatum, J.D., Belk, K.E., Chapman, P.L., Scanga, J.A. & Smith, G.C. 2003. Relationships of consumer ratings, marbling score and shear force value to consumer acceptance of beef strip-loin. *Journal of Animal Science* 81: 2741–2750.
- Platter, W.J., Tatum, J.D., Belk, K.E., Koontz, S.R., Chapman, P.L. & Smith, G.C. 2005. Effects of marbling and shear force on consumers' willingness to pay for beef strip loin steaks. *Journal of Animal Science* 83: 890–899.
- Polkinghorne, R.J. 2006. Implementing palatability assured critical control point (PACCP) approach to satisfy consumer demands. *Meat Science* 74: 180–187.
- Polkinghorne, R.J., Philpot, J., Gee, A., Doljanin, A. & Innes, J. 2008a. Development of a commercial system to apply the Meat Standards Australia grading model to optimize the return on eating quality in a beef supply chain. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 1451–1458.
- Polkinhorne, R.J., Thompson, J.M., Watson, R., Gee, A. & Porter, M. 2008b. Evolution of the Meat Standards Australia (MSA) beef grading system. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 1351–1359.
- Ponnampalam, E.N., Mann, N.J. & Sinclair, A.J. 2006. Effect of feeding systems on omega-3 fatty acids, conjugated linoleic acid and trans fatty acids in Australian beef cuts, potential impact on human health. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 15: 21–29.
- Powell, I., Nicholson, K.L., Huerta-MONTauti, D., Miller, R.K. & Savell, J.W. 2011. Constrains on establishing threshold levels for Warner-Bratzler shear-force values based on consumer sensory ratings for seven beef muscles. *Animal Production Science* 51: 959–966.
- Pownall, M.E., Gustafsson, M.K. & Emerson Jr., C.P. Myogenic regulatory factors and the specification of muscle progenitors in vertebrate embryos. *Annual Reviews of Cell Development Biology* 18: 747–783.
- Prado, C.S. & de Felicio, P.E. 2010. Effects of chilling rate and spray-chilling on weight loss and tenderness in beef strip loin steaks. *Meat Science* 86: 430–435.
- Pratt, P.J., Moser, D.W., Thompson, L.D., Jackson, S.P., Johnson, B.J., Garmyn, A.J. & Miller, M.F. 2013. The heritabilities, phenotypic correlations, and genetic correlations of lean color and palatability measures from longissimus muscle in beef cattle. *Journal of Animal Science* 91: 2931–2937.
- Price, O.E. 2008. *Principles & Applications of Domestic Animal Behavior*. CAB International. London, UK. 332 s.
- Prieto, N., López-Campos, Ó., Aalhus, J.L., Dugan, M.E.R., Juárez, M. & Uttaro, B. 2014. Use of near infrared spectroscopy for estimating meat chemical composition, quality traits and fatty acid content from cattle fed sunflower or flaxseed. *Meat Science* 98: 279–288.
- Prieto, N., Roehe, R., Lavin, P., Batten, G. & Andres, S. 2009a. Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review article. *Meat Science* 83: 163–178.

- Prieto, N., Ross, D.W., Navajas, E.A., Nute, G.R., Richardson, R.I., Hyslop, J.J., Simm, G. & Roehe, R. 2009b. On-line application of visible and near infrared reflectance spectroscopy to predict chemical-physical and sensory characteristics of beef quality. *Meat Science* 83: 96–103.
- Prieto, N., López-Campos, Ó., Zijlstra, R.T. & Aalhus, J.L. 2015. Beef dark cutter segregation by visible and near infrared spectroscopy. *Meat Science* 99: 147.
- Prieto, N., Ross, D.W., Navajas, E.A., Richardson, R.I., Hyslop, J.J., Simm, G. & Roehe, R. 2011. Online prediction of fatty acid profiles in crossbred Limousin and Aberdeen Angus beef cattle using near infrared reflectance spectroscopy. *Animal* 5: 155–165.
- Purchas, R.W., Burnham, D.I. & Morris, S.T. 2002. Effects of growth potential and growth path on tenderness of beef longissimus muscle from bulls and steers. *Journal of Animal Science* 80: 3211–3221.
- Purslow, P.P. 2005. Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Science* 70: 435–447.
- Quigley, S.P., Kleeman, D.O., Karkar, M.A., Owens, J.A., Nattrass, G.S., Maddocks, S. & Walker, S.K. 2005. Myogenesis in sheep altered by maternal feed intake during peri-conception period. *Animal Reproduction Science* 87: 241–251.
- Raes, K., De Smet, S. & Demeyer, D. 2001. Effect of double-muscling in Belgian Blue young bulls on the intramuscular fatty acid composition with emphasis on conjugated linoleic acid and polyunsaturated fatty acids. *Animal Science* 73: 253–260.
- Raes, K., De Smet, S. & Demeyer, D. 2004. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: A review. *Animal Feed Science and Technology* 113: 199–221.
- Raynaud, P., Gillard, M., Parr, T., Bardsley, R., Amarger, V. & Leveziel, H. 2005. Correlation between bovine calpastatin mRNA transcripts and protein isoforms. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 440: 46–53.
- Razminowicz, R.H., Kreuzer, M. & Scheeder, M.R.L. 2006. Quality of retail beef from two grass-based production systems in comparison with conventional beef. *Meat Science* 73: 351–361.
- Realini, C.E., Duckett, S.K., Brito, G.W., Dalla Rizza, M. & De Mattos, D. 2004. Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Science* 66: 567–577.
- Realini, C.E., Font I Furnols, M., Guerrero, L., Montossi, F., Campo, M.M., Sañudo, C., Nute, G.R., Alvarez, I., Cañeque, V., Brito, G. & Oliver, M.A. 2009. Effect of finishing diet on consumer acceptability of Uruguayan beef in the European market. *Meat Science* 81: 499–506.
- Realini, C.E., Font I Furnols, M., Sañudo, C., Montossi, F., Oliver, M.A. & Guerrero, L. 2013. Spanish, French and British consumers' acceptability of Uruguayan beef, and consumers' beef choice associated with country of origin, finishing diet and meat price. *Meat Science* 95: 14–21.
- Reardon, W., Mullen, A.M., Sweeney, T. & Hamill, R.M. 2010. Association of polymorphisms in candidate genes with colour, water-holding capacity, and composition traits in bovine *M. longissimus* and *M. semimembranosus*. *Meat Science* 86: 270–275.
- Rehfeldt, C., Henning, M. & Fiedler, I. 2008. Consequences of pig domestication for skeletal muscle growth and cellularity. *Livestock Science* 116: 30–41.
- Rehfeldt, C., Stickland, N.C., Fiedler, I. & Wegner, J. 1999. Environmental and genetic factors as sources of variation in skeletal muscle fibre number. *Basic Applied Myology* 9: 235–253.
- Relaix, F. & Marcelle, C. 2009. Muscle stem cells. *Current Opinion of Cell Biology* 21: 748–753.
- Ren, J., Marshall, S., Craigie, C. & Maltin, C. 2012. Quantitative assessment of beef quality with hyperspectral imaging using machine learning techniques. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Annual Hyperspectral Imaging Conference*. Rome, Italy. s. 72–75.
- Rhee, M.S., Wheeler, T.L., Shackelford, S.D. & Koohmaraie, M. 2004. Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. *Journal of Animal Science* 82: 534–550.
- Richardson, I. 2003. Case ready red meat packing technology. *Brazilian Journal of Food Technology* 6: 148–155. (Special Issue for 49<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology. Sao Paulo, Brazil.)
- Richardson, E.C. & Herd, R.M. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44: 431–440.
- Ricke, S.V., Van Loo, E.J., Johnson, M.G. & O'Bryan, C.A. 2012. *Organic meat production and processing*. IFT Press. Wiley-Blackwell. Oxford, UK. 444 s.

- Riley, R.R., Savell, J.W., Murphy, C.E., Smith, G.C., Stiffler, D.M. & Cross, H.R. 1983. Palatability of beef from steer and young bull carcasses as influenced by electrical stimulation, subcutaneous fat thickness and marbling. *Journal of Animal Science* 56: 592–597.
- Rinne, M. 1996. Ruokinnan vaikutus naudanlihan laatuun. Teoksessa: Jokela, M. & Rinne, M. Sian ja naudan ruokinnan vaikutus lihan laatuun. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. s. 53–99.
- Ripoli, G., Alberti, P., Panea, B., Olleta, J.L. & Sañudo, C. 2008. Near-infrared reflectance spectroscopy for predicting chemical, instrumental and sensory quality of beef. *Meat Science* 80: 697–702.
- Ripoli, M.V., Corva, P. & Giovambattista, G. 2006. Analysis of a polymorphism in the DGAT1 gene 14 cattle breeds through PCR-SSCP methods. *Research in Veterinary Science* 80: 287–290.
- Robert, N., Briand, M., Taylor, R. & Briand, Y. 1999. The effect of proteasome on myofibrillar structures in bovine skeletal muscle. *Meat Science* 51: 149–153.
- Robinson, D.L., Café, L.M., McIntyre, B.L., Geesink, G.H., Barendse, W., Pethick, D.W., Thompson, J.M., Polkinghorne, R. & Greenwood, P.L. 2012. Production and processing studies on calpain-system gene markers for beef tenderness: Consumer assessments of eating quality. *Journal of Animal Science* 90: 2850–2860.
- Robinson, D.L., Café, L.M. & Greenwood, P.L. 2013. Meat Science and Muscle Biology Symposium: Developmental programming in cattle: Consequences for growth, efficiency, carcass, muscle, and beef quality characteristics. *Journal of Animal Science* 91: 1428–1442.
- Robison, D.L., Ferguson, D.M., Oddy, V.H., Perry, D. & Thompson, J.M. 2001. Genetic and environmental influences on beef tenderness. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 997–1003.
- Romans, J.R., Tuma, H.J. & Tucker, W.L. 1965. Influence of carcass maturity and marbling on the physical and chemical characteristics of beef. I. palatability, fiber diameter and proximate analysis. *Journal of Animal Science* 24: 681–685.
- Rosenvold, K., North, M., Devine, C., Micklander, E., Hnasen, P., Dobbie, P. & Wells, R. 2008. The protective effect of electrical stimulation and wrapping on beef tenderness at high pre rigor temperatures. *Meat Science* 79: 299–306.
- Roy, B.C., Aalhus, J.L., Basarab, J.A., Larsen, I.L. & Bruce, H.L. 2015. Relationship between meat quality and collagen crosslink concentrations in beef from calf-fed, yearling-fed and mature cattle. *Meat Science* 99: 142.
- Rowe, J.B., Choct, M. & Pethick, D.W. 1999. Processing cereal grain for animal feeding. *Australian Journal of Agricultural Research* 50: 721–736.
- Rule, D.C., Broughton, K.S., Shellito, S.M. & Maiorano, G. 2002. Comparison of muscle fatty acid profiles and cholesterol concentrations of bison, cattle, elk and chicken. *Journal of Animal Science* 80: 1202–1211.
- Ruxton, C.H.S., Reed, S.C., Simpson, J.A. & Millington, K.J. 2007. The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids: A review of the evidence. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* 20: 275–285.
- Sabournin, L.A. & Rudnicki, M.A. 2000. The molecular regulation of myogenesis. *Clinical Genetics* 57: 16–25.
- Salter, A.M. 2013. Dietary fatty acids and cardiovascular disease. *Animal* 7: 163–171.
- Sapp, P.H., Williams, S.E. & McCann, M.A. 1999. Sensory attributes and retail display characteristics of pasture and/or grain-fed beef aged 7, 14 or 21 days. *Journal of Food Quality* 22: 257–274.
- Sapp, R.L., Bertrand, J.K., Pringle, T.D. & Wilson, D.E. 2002. Effects of selection for ultrasound intramuscular fat percentage in Angus bulls on carcass traits of progeny. *Journal of Animal Science* 80: 2017–2022.
- Savell, J.W., Cross, H.R. & Smith, G.C. 1986. Percentage ether extractable fat and moisture content of beef *Longissimus* muscle related to USDA marbling score. *Journal of Food Science* 51: 838–839.
- Schaefer, A.L., Jones, S.D. & Stanley, R.W. 1997. The use of electrolyte solution for reduction transport stress. *Journal of Animal Science* 75: 258–265.
- Schaefer, A.L., Jones, S.D.M., Tong, A.K.W. & Young, B.A. 1990. Effects of transport and electrolyte supplementation on ion concentration, carcass yield and quality in bulls. *Canadian Journal of Animal Science* 70: 107–119.
- Schenkel, F.S., Miller, S.P., Moore, S.S., Nkrumah, J.D., Li, C., Yu, J., Mandell, I.B., Wilton, J.W. & Williams J.L. 2005. Association of single nucleotide polymorphism in the leptin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle. *Journal of Animal Science* 83: 2009–2020.

- Schenkel, F.S., Miller, S.P., Jiang, Z., Mandell, I.B., Ye, X., Li, H. & Wilton, J.W. 2006a. Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits in beef cattle. *Journal of Animal Science* 84: 291–299.
- Schenkel, F.S., Miller, S.P., Moore, S.S., Li, C., Fu, A., Lobo, S., Mandell, I.B. & Wilton, J.W. 2006b. Association of SNPs in the leptin and leptin receptor genes with different fat depots in beef cattle. 8<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. 13.-18.8. 2006. Belo Horizonte, Brazil.
- Schmutz, S.M. & Goodall, J.J. 2005. Improving production characteristics of cattle. International patent application PCT/Ca2004/001039. International patent application number WO/2005/007881. 27.1.2005.
- Scollan, N.D., Costa, P., Hallett, K.G., Nute, G.R., Wood, J.D. Richardson, R.I. 2006b. The fatty acid composition of muscle fat and relationships to meat quality in Charolais steers: Influence of level of red clover in the diet. *Proceedings of the British Society of Animal Science, Winter. BSAS.* s. 23
- Scollan, N.D., Dannenberger, D., Nuernberg, K., Richardson, I., Mackintosh, S., Hocquette, J.-F. & Moloney, A. 2014. Enhancing the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science* 97: 384–394.
- Scollan, N.D., Gibson, K., Ball, R. & Richardson, R.I. 2008. Meat quality of Charolais steers: Influence of feeding grass versus red clover silage during winter followed by finish off grass. *Proceedings of the British Society of Animal Science* 52.
- Scollan, N.D., Hocquette, J.F., Nuernberg, K., Dannenberger, D., Richardson, L. & Moloney, A. 2006a. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science* 74: 17–33.
- Sentandreu, M.A., Coulis, G. & Ouali, A. 2002. Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends in Food Science and Technology* 13: 400–421.
- Sensky, P.L., Parr, T., Bardsley, R.G. & Buttery, P.J. 1996. The relationship between plasma epinephrine concentration and the activity of the calpain enzyme system in porcine longissimus muscle. *Journal of Animal Science* 74: 380–387.
- Sentandreu, M.A., Coulis, G. & Ouali, A. 2002. Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends in Food Science & Technology* 13: 400–421.
- Serrano, E., Pradel, P., Jailler, R., Dubroeuq, H., Bauchart, D., Hocquette, J.F., Listrat, A., Agabriel, J. & Micol, D. 2007. Young Salers suckled bull production: effect of diet on performance, carcass and muscle characteristics and meat quality. *Animal* 1: 1068–1079.
- Sevane, N., Armstrong, E., Cortes, O., Wiener, P., Pong Wong, R., Dunner, S. & GeMQual Consortium. 2013. Association of bovine meat quality traits with genes included in the PPARG and PPARG1A networks. *Meat Science* 94: 328–335.
- Sevane, N., Canon, J. & Dunner, S. 2014a. GeMQual Consortium: Muscle lipid composition in bulls from fifteen European breeds. *Livestock Science* 160: 1–11.
- Sevane, N., Leveziel, H., Nute, G.R., Sanudo, C., Valentini, A., Williams, J., Dunner, S. & GeMQual Consortium. 2014b. Phenotypic and genotypic background underlying variations in fatty acid composition and sensory parameters in European bovine breeds. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 5: 20.
- Shackelford, S.D., Koohmarie, M. & Wheeler, T.L. 1994. The efficacy of adding a minimum adjusted fat thickness requirement to the USDA Beef Quality Standards for Select grade beef. *Journal of Animal Science* 72: 1502–1507.
- Shanin, K.A. & Berg, R.T. 1985. Growth and distribution of individual muscles in double muscled and normal cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 65: 279–293.
- Shanks, B.C., Wulf, D.M., Reuter, B.J. & Maddock, R.J. 2002a. Increasing tenderness of beef round and sirloin muscles through prerigor skeletal separations. *Journal of Animal Science* 80: 123–128.
- Shanks, B.C., Wulf, D.M. & Maddock, R.J. 2002. Technical note: The effect of freezing on Warner-Bratzler shear force values of beef longissimus steaks across several postmortem aging times. *Journal of Animal Science* 80: 2122–2125.
- Shibata, M., Matsumoto, K., Aikawa, K., Muramoto, T., Fujimura, S. & Kadowaki, M. 2006. Gene expression of myostatin during development and regeneration of skeletal muscle in Japanese Black Cattle. *Journal of Animal Science* 84: 2983–2989.
- Shingfield, K.J., Bonnet, M. & Scollan, N.D. 2013. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. *Animal* 7: 132–162.
- Shorthose, W.R. & Harris, P.V. 1990. Effect of animal age on the tenderness of selected beef muscles. *Journal of Food Science* 55: 1–8.

- Simmons, N.J., Daly, C.C., Cummings, T.I., Morgan, S.K., Johnson, N.V. & Lombard, A. 2008. Reassessing principles of electrical stimulation. *Meat Science* 80: 110–122.
- Simonin, H., Duraton, F. & de Lamballerie, M. 2012. New insight into the high-pressure processing of meat and meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11: 285–306.
- Simopoulos, A.P. 2002. Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. *Journal of the American College of Nutrition* 21: 495–505.
- Simopoulos, A.P. 2004. Omega-6/Omega-3 essential fatty acid ratio and chronic diseases. *Food Reviews International* 20: 77–90.
- Sinclair, A.J., Johnson, L., O’Dea, K. & Holman, R.T. 1994. Diets rich in lean beef increase arachidonic acid and long-chain omega 3 polyunsaturated fatty acid levels in plasma phospholipids. *Lipids* 29: 337–343.
- Sinclair, K.D., Lobley, G.E., Horgan, G.W., Kyle, D.J., Porter, A.D., Matthews, K.R., Warkup, C.C. & Maltin, C.A. 2001. Factors influencing beef eating quality. 1. Effects of nutritional regimen and genotype on organoleptic properties and instrumental texture. *Animal Science* 72: 269–278.
- Sitz, B.M., Calkins, C.R., Feuz, D.M., Umberger, W.J. & Eskridge, K.M. 2005. Consumer sensory acceptance and value of domestic, Canadian, and Australian grass-fed beef steaks. *Journal of Animal Science* 83: 2863–2868.
- Sitz, B.M., Calkins, C.R., Feuz, D.M., Umberger, W.J. & Eskridge, K.M. 2006. Consumer sensory acceptance and value of wet-aged and dry-aged beef steaks. *Journal of Animal Science* 84: 1221–1226.
- Simonne, A.H., Green, N.R. & Bransby, D.I. 1996. Consumer acceptability and beta-carotene content of beef as related to cattle finishing diets. *Journal of Animal Science* 61: 1254–1256.
- Smith, G.C., Cross, H.R., Carpenter, Z.L., Murphey, C.E., Savell, J.W., Abraham, H.C. & Davis, G.W. 1982. Relationship of USDA maturity groups to palatability of cooked beef. *Journal of Food Science* 47: 1100–1107.
- Smith, G.C., Savell, J.W., Morgan, J.B. & Montgomery, T.H. 2000. Improving the quality, consistency, competitiveness and market-share of fed-beef. The final report of the third blueprint for total quality management in the fed-beef (slaughter steer/heifer) industry, National Beef Quality Audit-2000. National Cattlemen’s Beef Association, Centennials, Colorado. Saatavilla internetissä: <[www.meat.tamu.edu/files/2013/03/nbqa2000.pdf](http://www.meat.tamu.edu/files/2013/03/nbqa2000.pdf)> Luettu 12/2014.
- Smith, G.C., Tatum, J.D. & Belk, K.E. 2008. International perspective: characterization of United States Department of Agriculture and Meat Standards Australia systems for assessing beef quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 1465–1480.
- Smith, D.R., Wood, R., Tseng, S. & Smith, S.B. 2002. Increased beef consumption increases apolipoprotein A-1 but not serum cholesterol of mildly hypercholesterolemic men with different levels of habitual beef intake. *Experimental Biological Medicine* 227: 266–275.
- Smith, R.D., Nicholson, K.L., Nicholson, J.D.W., Harris, K.B., Miller, R.K., Griffin, D.B. & Savell, J.W. 2008a. Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US choice and US select short loins. *Meat Science* 79: 631–639.
- Solomon, M.B., Sharma, M. & Patel, J.R. 2011. Hydrodynamic pressure processing of meat products. Teoksessa: Toim. Zhang, H.Q., Barbosa-Cánovas, G.V., Balasubramaniam, V.M., Dunne, C.P., Farkas, D.F. & Yuan, J.T.C. *Nonthermal processing technologies for food*. IFT Press, Wiley-Blackwell. s. 98–108.
- Sørheim, O. & Hildrum, K.I. 2002. Muscle stretching techniques for improving meat tenderness. *Trends in Food Science and Technology* 13: 127–135.
- Sorheim, O., Idland, J., Halvorsen, E.C., Froystein, T., Lea, P. & Holdrum, K.I. 2001. Influence of beef carcass stretching and chilling rate on tenderness of m. longissimus dorsi. *Meat Science* 57: 79–85.
- Sorimachi, H., Imajoh-Ohmi, S., Emori, Y., Kawasaki, H., Ohno, S., Minami, Y. & Suzuki, K. 1989. Molecular cloning of a novel mammalian calcium-dependent protease distinct from both m- and mu-types. Specific expression of the mRNA in skeletal muscle. *Journal of Biological Chemistry* 264: 20106–20111.
- Sorimachi, H., Kinbara, K., Kimura, S., Takahashi, M., Ishiura, s., Sasagawa, N., Sorimachi, N., Shimada, H., Tagawa, K. Maruyama, K. & Suzuki, K. 1995. Muscle-specific calpain p94, responsible for limb girdle muscular dystrophy type 2a, associates with connectin through IS2, a p94-specific sequence. *Journal of Biological Chemistry* 270: 31158–31162.

- Spanier, A.M., Flores, M., McMillin, K.W. & Bidner, T.D. 1997. The effect of post-mortem aging on meat flavor quality in Brangus beef. Correlation of treatment, sensory, instrumental and chemical descriptors. *Food Chemistry* 59: 531–538.
- Spooncer, W.F. 1995. Options for hot boning. Teoksessa: *Meat 95. The Australian Meat Industry Research Conference. 10.-12.9.1995. Gold Coast, Australia.* s. 1–6.
- Stolowski, G.D., Baird, B.E., Miller, R.K., Savell, J.W., Sams, A.R., Taylor, J.F., Sanders, J.O. & Smith, S.B. 2006. Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses. *Meat Science* 73: 475–483.
- Stromer, M.H., Goll, D.E., Young, R.B., Robson, R.M. & Parrish Jr., F.C. 1974. Ultrastructural features of skeletal muscle differentiation and development. *Journal of Animal Science* 38: 1111–1141.
- Sun, X., Chen, K.J., Maddock-Carlin, K.R., Anderson, V.L., Lepper, A.N., Schwartz, C.A., Keller, W.L., Ilse, B.R., Magolski, J.D. & Berg, E.P. 2012. Predicting beef tenderness using color and multi-spectral image texture features. *Meat Science* 94: 386–393.
- Suttle, N. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock. 4<sup>th</sup> edition.* CAB International. London, UK. 587 s.
- Strydom, O.E., Frylinck, L. & Smith, M.F. 2005. Should electrical stimulation be applied when cold shortening is not a risk? *Meat Science* 70: 733–742.
- Tahara, K., Aso, H., Yamasaki, T., Rose, M.T., Takasuga, A., Sugimoto, Y., Yamaguchi, T., Tahara, K. & Takano, S. 2004. Cloning and expression of type XII collagen isoforms during bovine adipogenesis. *Differentiation* 72: 113–122.
- Taillandier, D., Combaret, L., Pouch, M.N., Samuels, S.E., Bechet, D. & Attaix, D. 2004. The role of ubiquitinproteasome-dependent proteolysis in the remodeling of skeletal muscle. *Proceedings of the Nutrition Society* 63: 357–361.
- Tait Jr., R.G., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., King, D.A., Casas, E., Thallman, R.M., Smith, T.P.L. & Bennett, G.L. 2014a.  $\mu$ -calpain, calpastatin, and growth hormone receptor genetic effects on pre-weaning performance, carcass quality traits, and residual variance of tenderness in Angus cattle selected to increase minor haplotype and allele frequencies. *Journal of Animal Science* 92: 456–466.
- Tait Jr., R.G., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., King, D.A., Keele, J.W., Casas, E., Smith, T.P.L. & Bennett, G.L. 2014b. CAPN1, CAST, and DGAT1 genetic effects on preweaning performance, carcass quality traits, and residual variance on tenderness in beef cattle population selected for haplotype and allele equalization. *Journal of Animal Science* 92: 5382–5393.
- Takahashi, G., Wang, S.M., Lochner, J.V. & Marsh, B.B. 1987. Effects of 2-Hz and 60-Hz electrical stimulation on the microstructure of beef. *Meat Science* 19: 65–76.
- Taniguchi, M., Mannen, H., Oyama, K., Shimakura, Y., Oka, A., Watanabe, H., Kojima, T., Komatsu, A., Harper, G.S. & Tsuji, S. 2004a. Differences in stearoyl-CoA desaturase mRNA levels between Japanese Black and Holstein cattle. *Livestock Production Science* 87: 215–220.
- Taniguchi, M., Utsugi, T., Oyama, K., Mannen, H., Kobayashi, M., Tanabe, Y., Ogino, A. & Tsuji, S. 2004b. Genotype of stearoyl-CoA desaturase is associated with fatty acid composition in Japanese Black cattle. *Mammalian Genome* 15: 142–148.
- Tanzer, M.L. 1973. Cross-linking of collagen. *Science* 180: 561–566.
- Tatum, J.D. 2006. Pre-harvest cattle management practices for enhancing beef tenderness. Executive summary. Department of Animal Sciences, Colorado State University. 22 s.
- Taylor, R.G., Geesink, G.H., Thompson, V.F., Koohmaraie, M. & Goll, D.E. 1995a. Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? *Journal of Animal Science* 73: 1351–1367.
- Taylor, J.M., Hopkins, D.L. & van de Ven, R. 2010. The effect of a meat stretching device on the tenderness of hot-boned beef topsides and rosbiffs. *Proceedings of the 56<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology. 15-20.8. Jeju, Korea. Session E. Paper E069.* s. 1–4.
- Taylor, R.G., Tassy, C., Briand, M., Robert, N., Briand, Y. & Ouali, A. 1995b. Proteolytic activity of proteasome on myofibrillar structures. *Molecular Biology Reports* 21: 71–73.
- Taylor, J., Toohey, E. & Hopkins, D. 2011. Outcomes of the SmartShape™/SmartStretch™ Meat science project. *AFBM Journal* 8: 1. Saatavilla internetissä: [http://www.csu.edu.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/178856/AFBM\\_Journal\\_Vol8\\_No1\\_07.pdf](http://www.csu.edu.au/__data/assets/pdf_file/0008/178856/AFBM_Journal_Vol8_No1_07.pdf) Luettu 12/2014.
- TePas, M.F.W., Everts, M.E. & Haagsman, H.P. 2004. *Muscle development of livestock animals; Physiology, genetics and meat quality.* CAB International Publications. Oxfordshire, UK. 411 s.
- Thaller, G., Kühn, C., Winter, A., Ewald, G., Bellmann, O., Wegner, J., Zühlke, H. & Fries, R. 2003. DGAT1, a new positional and functional candidate gene for intramuscular fat deposition in cattle. *Animal Genetics* 34: 354–357.

- Therkildsen, M., Houbak, M.B. & Byrne, D.V. 2008. Feeding strategy for improving tenderness has opposite effects in two different muscles. *Meat Science* 80: 1037–1045.
- Therkildsen, M. & Oksbjerg, N. 2009. Muscle protein turnover. Teoksessa: Toim. Du, M. & McCormick, R.J. *Applied Muscle Biology and Meat Science*. Boca Raton, FL. CRC Press. s. 115–128.
- Thompson, J.M. 2002. Managing meat tenderness. *Meat Science* 62: 295–308.
- Toohey, E.S., Kerr, M.J., van de Ven, R. & Hopkins, D.L. 2010. The effect of smartstretch technology on the tenderness of beef topsides and cube rolls. In: *Proceedings of the 56<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology*. 15-20.8. Jeju, Korea. Session E. Paper E072. s. 1–4.
- Tornberg, E. 1996. Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Science* 43: 175–191.
- Tornberg, E. 2005. Effects of heat on meat proteins-Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science* 70: 493–508.
- Torngren, M.A. 2003. Effect of packing method on colour and eating quality of beef loin steaks. *Proceedings of the International Congress of Meat Science and Technology*. Campinas, Brazil. s. 495–496.
- Trenkle, A. 1986. B. Regulation of protein synthesis in animals. *Journal of Animal Science* 1986 symposium: 80–91. Saatavilla internetistä: <<http://www.animal-science.org/content/1986/Symposium/80.full.pdf>> Luettu 12/2014.
- Trinderup, C.H., Dahl, A., Jensen, K., Carstensen, J.M. & Condradsen, K. 2015. Comparison of multi-spectral vision system and colorimeter for the assessment of meat color. *Meat Science* 102: 1–7.
- Troy, D.J. 1995. Modern methods to improve and control meat quality with special regard to the tenderisation process. *Proceedings of the International developments in process efficiency and quality in the meat industry*. Dublin, Ireland. s. 55–72.
- Troy, D.J. 1999. Enhancing the tenderness of beef. Research Report No. 11. Teagasc Publication, Ireland. Saatavilla internetissä: <<http://www.teagasc.ie/research/reports/foodprocessing/3916/eopr-3916.pdf>> Luettu 12/2014.
- Troy, D.J. 2006. Hot-boning of meat: a new perspective. Teoksessa: Toim. Nollet, L.M.L. & Toldra, F. *Advanced Technologies for Meat Processing*. CRC Press, Boca Raton. ss. 74–83.
- Troy, D.J. & Kerry, J.P. 2010. Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Science* 86: 214–226.
- Ujan, J.A., Zan, L.S., Ujan, S.A., Adoligbe, C. & Wang, H.B. 2011a. Back fat thickness and meat tenderness are associated with a 526 T -> A mutation in the exon 1 promoter region of the MyF-5 gene in Chinese *Bos Taurus*. *Genetics and Molecular Research* 10: 3070–3079.
- Ujan, J.A., Zan, L.S., Wei, S., Aboligbe, C. & Wang, H.B. 2011b. Meat tenderness and water holding capacity are associated with a 959 A -> G mutation in the MyoG gene of Chinese indigenous cattle. *African Journal of Biotechnology* 10(29): 5654–5660.
- Underwood, K.R., Means, W.J. & Du, M. 2008. Caspase 3 is not likely involved in the postmortem tenderization of beef muscle. *Journal of Animal Science* 86: 960–966.
- USDA. 1997. United States standards for grades of carcass beef. Livestock & Seed Division. USDA. Washington, DC.
- Valencia, E., Marin, A. & Hardy, G. 2001a. Nutritional and pharmacological viewpoints: Part II. *Nutraceuticals* 17: 485–486.
- Valencia, E., Marin, A. & Hardy, G. 2001b. Glutathione-Nutritional and pharmacological viewpoints: Part IV. *Nutraceuticals* 17: 783–784.
- Valin, C. 1995. Animal and muscle variability in tenderization: Possible causes. Teoksessa: Toim. Ouali, D., DeMeyer, I. & Smulders, F.J.M. *Expression of tissue proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality*. Utrecht, The Netherlands. ECCEAMST. s. 435–442.
- VanOverbeke, D.L. 2007. *Handbook of beef safety and quality*. Haworth Food & Agricultural Products PressTM. New York, London, Oxford. 240 s.
- Verbeke, W., Van Wezemael, L., de Barcellos, M.D., Kugler, M.D., Hocquette, J.F., Ueland, O. & Grunert, K.G. 2010. European beef consumers' interest in a beef eating-quality guarantee. Insights from a qualitative study in four EU countries. *Appetite* 54: 289–296.
- Vestergaard, M., Oksbjerg, N. & Henckel, P. 2000a. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, longissimus dorsi and supraspinatus muscles of young bulls. *Meat Science* 54: 177–185.
- Vestergaard, M., Therkildsen, M., Henckel, P., Jensen, L.R., Andersen, H.R. & Sejrsen, K. 2000b. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on meat and eating quality of young bulls and relationship between muscle fibre characteristics, fibre fragmentation and meat tenderness. *Meat Science* 54: 187–195.

- Villarroel, M., Maria, G.A., Sanudo, C., Olleta, J.L. & Gebresenbet, G. 2003. Effect of transport time on sensorial aspects of beef meat quality. *Meat Science* 63: 353–357.
- Voisinet, B.D., Grandin, T., O'connor, S.F., Tatum, J.D. & Deesing, M.J. 1997. *Bos Indicus*-cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Science* 4: 367–377.
- Von Seggern, D.D., Calkins, C.R., Johnson, D.D., Brickler, J.E. & Gwartney, B.L. 2005. Muscle profiling: characterizing the muscles of the beef chuck and round. *Meat Science* 71: 39–51.
- Walshe, B.E., Sheehan, E.M., Delahunty, C.M., Morrissey, P.A. & Kerry, J.P. 2006. Composition, sensory and self life stability analyses of Longissimus dorsi muscle from steers reared under organic and conventional production systems. *Meat Science* 73: 319–325.
- Wang, K.K., Postmantur, R., Nadimpalli, R., Nath, R., Mohan, P., Nixon, R.A., Talanian, R.V., Keegan, M., Herzog, L. & Allen, H. 1998. Caspase-mediated fragmentation of calpain inhibitor protein calpastatin during apoptosis. *Archive of Biochemistry and Biophysics* 356: 187–196.
- Wang, Y.H., Bower, N.I., Reverter, A., Tan, S.H., De Jager, N., Wang, R., McWilliam, S.M., Café, L.M., Greenwood, P.L. & Lehnert, S.A. 2009. Gene expression patterns during intramuscular fat development in cattle. *Journal of Animal Science* 87: 119–130.
- Wahlgren, N.M., Göransson, M., Linden, H. & Willhammar, O. 2002. Reducing the influence of animal variation and ageing on beef tenderness. 48<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology 25.-30.8. Rome, Italy. IcoMST. s. 240–241.
- Wall, P.B., Rouse, G.H., Wilson, D.E., Tait Jr., R.G. & Busby, W.D. 2004. Use of ultrasound to predict body composition changes in steers 100 and 65 days before slaughter. *Journal of Animal Science* 82: 1621–1629.
- Warner, R.D., Ferguson, D.M., Cottrell, J.J. & Knee, B. 2007. Acute stress induced by use of electric prodders pre-slaughter causes tougher beef meat. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47: 782–788.
- Warren, H.E., Scollan, N.D., Nute, G.R., Hughes, S.I., Wood, J.D. & Richardson, R.I. 2008. Effects of breed and concentrate or grass silage diet on beef quality in cattle of 3 ages. II: Meat stability and flavour. *Meat Science* 78: 270–278.
- Warriss, P.D. 2010. *Meat Science*, 2<sup>nd</sup> edition. CAB International. Cambridge University Press, Cambridge. 234 s.
- Watson, R., Polkinghorne, R. & Thompson, J.M. 2008. Development of the Meat Standards Australia (MSA) prediction model for beef palatability. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 1368–1379.
- Weaver, A.D., Bowker, B.C. & Gerrard, D.E. 2008. Sarcomere length influences postmortem proteolysis of excised bovine semitendinosus muscle. *Journal of Animal Science* 86: 1925–1932.
- Weaver, A.D., Bowker, B.C. & Gerrard, D.E. 2009. Sarcomere length influences u-calpain-mediated proteolysis of bovine myofibrils. *Journal of Animal Science* 87: 2096–2103.
- Wendt, A., Thompson, V.F. & Goll, D.E. 2004. Interaction of calpastatin with calpain: A review. *Biological Chemistry* 385: 465–472.
- Wegner, J., Albrecht, E., Fiedler, I., Teuscher, F., Papstein, H.J. & Ender, K. 2000. Growth-and breed-related changes of muscle fiber characteristics in cattle. *Journal of Animal Science* 78: 1485–1496.
- Wibowo, T.A., Michal, J.J. & Jiang, Z. 2007. Corticotropin releasing hormone is a promising candidate gene for marbling and subcutaneous fat depth in beef cattle. *Genome* 50: 939–945.
- Wheeler, T.L., Cundiff, L.V., Koch, R.M. & Crouse, J.D. 1996. Characterization of biological types of cattle (cycle IV). Carcass traits and longissimus palatability. *Journal of Animal Science* 66: 4871–4875.
- Wheeler, T.L., Shackelford, S.D. & Koohmaraie, M. 2002. Technical note: Sampling methodology for relating sarcomere length, collagen concentration, and the extent of postmortem proteolysis to beef and pork longissimus tenderness. *Journal of Animal Science* 80: 982–987.
- Whipple, G., Koohmaraie, M., Dikeman, M.E., Crouse J.D., Hunt, M.C. & Klemm, R.D. 1990. Evaluation of attributes that affect *longissimus* muscle tenderness in *Bos Taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science* 68: 2716–2728.
- White, S.N., Casas, E., Wheeler, T.L., Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., Riley, D.G., Chase, C.C., Johnson, D.D., Keele, J.W. & Smith, T.P.L. 2005. A new single nucleotide polymorphism in CAPN1 extends the current tenderness marker test to include cattle of *Bos indicus*, *Bos Taurus*, and crossbred descent. *Journal of Animal Science* 83: 2001–2008.

- Williams, P.E. & Goldspink, G. 1971. Longitudinal growth of striated muscle fibres. *Journal of Cell Science* 9: 751–767.
- Williamson, C.S., Foster, R.K., Stanner, S.A. & Buttriss, J.L. 2005. Red meat in the diet. British Nutrition Foundation. *Nutrition Bulletin* 30: 323–335.
- Winger, R. & Hagyard, C. 1999. Juiciness – Its importance and contributing factors. Teoksessa: Toim. Pearson, A.M. & Dutson, T.R. *Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products*. Aspen Publishing, Gaithersburg, MA. s. 94–116.
- Winter, A., Krämer, W., Werner, F.A.O., Kollers, S., Kata, S., Durstewitz, G., Buitkamp, J., Womack, J.E., Thaller, G. & Fries, R. 2002. Association of a lysine-232/alanine polymorphism in a bovine gene encoding acyl CoA:Diacylglycerol acyltransferase (*DGAT1*) with variation at a quantitative trait locus for milk fat content. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 99: 9300–9305.
- Wood, J.D. & Enser, M. 1997. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality *British Journal of Nutrition* 78: 549–560.
- Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Sheard, P.R., Richardson, R.I., Hughes, S.I. & Whittington, F.M. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science* 78: 343–358.
- Wood, J.D. 2013. *Developments in Beef Meat Quality*. Context Products. Leicestershire, UK. 115 s.
- Wood, J.D. & Richardson, R.I. 2004. Factors affecting flavour in beef: A literature review, with recommendations for the British beef industry on how flavour can be controlled. Langford, Bristol. University of Bristol. 51 s.
- Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R. & Enser, M. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: review. *Meat Science* 66: 21–32.
- Woods, V.B. & Fearon, A.M. 2009. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk, and eggs. A review. *Livestock Science* 126: 1–20.
- Wu, J.J., Kastner, C.L., Hunt, M.C., Kropf, D.H. & Allen, D.M. 1981. Nutritional effects on beef collagen characteristics and palatability. *Journal of Animal Science* 53: 1256–1261.
- Wu, X.X., Yang, Z.P., Shi, X.K., Li, J.Y., Ji, D.J., Mao, Y.J., Chang, L.L. & Gao, H.J. 2012. Association of SCD1 and DGAT1 SNPs with intramuscular fat traits in Chinese Simmental cattle and their distribution in eight Chinese cattle breeds. *Molecular Biology Reports* 39: 1065–1071.
- Wulf, D.M., Morgan, J.B., Tatum, J.D. & Smith, G.C. 1996. Effects of animal age, marbling score, calpastatin activity, subprimal cut, calcium injection, and degree of doneness on the palatability of steaks from Limousin steers. *Journal of Animal Science* 74: 569–576.
- Wyness, L. 2013. Nutritional aspects of red meat in the diet. Teoksessa: Toim. Wood, J.D. & Rowlings, C. *Nutrition and climate change: Major issues confronting the meat industry*. Nottingham University Press. s. 1–22.
- Yang, A., Brewster, M.J., Lanari, M.C. & Tume, R.K. 2002. Effect of vitamin E supplementation on alpha-tocopherol and beta-carotene concentrations in tissues from pasture and grain fed cattle. *Meat Science* 60: 35–40.
- Young, V.R. 1985. Muscle protein accretion. *Journal of Animal Science* 61: 39–56.
- Zakrys-Waliwander, P.I., O'Sullivan, M.G., Walsh, H., Allen, P. & Kerry, J.P. 2011. Sensory comparison of commercial low and high oxygen modified atmosphere packed sirloin beef steaks. *Meat Science* 88: 198–202.
- Zamora, F., Aubry, L., Sayd, T., Lepetit, J., Lebert, A., Sentandreu, M.A. & Ouali, A. 2005. Serine peptidase inhibitors, the best predictor of beef ageing amongst a large set of quantitative variables. *Meat Science* 71: 730–742.
- Zhou, G., Dudgeon, C., Li, M., Cao, Y., Zhang, L. & Jin, H. 2010. Molecular cloning of the HGD gene and association of SNPs with meat quality traits in Chinese red cattle. *Molecular Biology Reports* 37: 603–611.
- Zhu, M.J., Ford, S.P., Nathanielsz, P.W. & Du, M. 2004. Effect of maternal nutrient restriction in sheep on the development of fetal muscle. *Biological Reproduction* 71: 1968–1973.
- Zwambag, A., Kelly, M., Schenkel, F., Mandell, I., Wilton, J. & Miller, S. 2013. Heritability of beef tenderness at different aging times and across breed comparisons. *Canadian Journal of Animal Science* 93: 307–312.



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Viikinkaari 4  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000