



Teo Lundberg

Reaaliaikainen Lihassimulaatio

Nelijalkaisen 3D-hahmon lihassimulaatio

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Muotoilija (AMK)

Muotoilu

Opinnäytetyö

12.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä(t): Teo Lundberg
Otsikko: Nelijalkaisen 3D-hahmon lihassimulaatio
Sivumäärä: 37 sivua + 2 liitettä
Aika: 12.4.2022

Tutkinto: Muotoilija AMK
Tutkinto-ohjelma: Muotoilu
Suuntautumisvaihtoehto: 3D-animointi ja -visualisointi
Ohjaaja(t): Lehtori Jaro Lehtonen

Opinnäytetyön tarkoituksena on esitellä ja tutkia realistisesti mallinnetun suurelaimen lihaksiston ja jänteiden simulointia reaaliajassa. Tutkielmassa käytetyt esimerkit pohjautuvat Ziva VFX -nimiseen lisäohjelmaan, joka mahdollistaa 3D-mallin geometrian realistisia muutoksia. Pyrin myös esittelemään tärkeimmät anatomiset kohdat, joihin kiinnittää huomiota työskennellessä nelijalkaisten nisäkkäiden kanssa.

Opinnäytetyö tulee keskittymään Ziva-ohjelmiston ympärille ja pyrkii esittämään tekniikoita eläimen eri osien simuloinnissa. Käytän esimerkeissä kuvia omista ja ulkopuolisista lähteistä, sekä itse tuotetuista 3D-malleista. Työn anatominen informaatio rajautuu pääosin nisäkkäisiin ja simulointiesimerkeissä tulen käyttämään pääosin itse mallintamaani sapelihammastiikeriä.

Avainsanat; Eläimen anatomia, simulointi, lihakset, 3D

Abstract

Author(s): Teo Lundberg
Title: Muscle simulation in a quadruped 3D character
Number of Pages: 37 pages + 2 appendices
Date: 12.4.2022

Degree: Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme: Media
Specialisation option: 3D Animation and Visualization
Instructor(s): Jaro Lehtonen, Senior Lecturer

The purpose of the thesis is to present and study the real-time simulated deformation of the muscles and tendons of a realistically modeled Large Animal in real time. The examples used in the dissertation are based on an add-on program called Ziva VFX, which enables realistic changes in the geometry mass of a 3D model.

The thesis will focus around Ziva software and aim to present techniques for simulating different parts of an animal. In the examples I use images from my own and external sources, as well as self-produced 3D models. The anatomical information of the work is mainly limited to mammals and in the simulation examples I will mainly use the tests I did with the tiger model.

Keywords: Animal anatomy, 3D, simulation, muscle

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Nisäkkäiden anatomia	2
3	Tiikerin anatomia	5
3.1	Etuvartalon luusto ja lihaksisto	7
3.2	Keskivartalon luusto ja lihaksisto	11
3.3	Takavartalon luusto ja lihaksisto	14
4	3D-mallin yleiskatsaus/valmistelu	17
4.1	Referenssimateriaali	17
4.2	Luuranko	18
4.3	Lihakset	21
4.4	Optimointi	24
4.5	Rigi	26
4.6	Animaatio	26
5	Simulointi Ziva VFX	29
5.1	Yleiskatsaus Zivaan	29
5.2	Luurangon ja animaation yhdistys	29
5.3	Lihasten yhdistäminen	31
6	Jatkoa	34
7	Yhteenveto	36
	Lähteet	1

1 Johdanto

Siitä lähtien kun 3D-grafiikka saapui ensimmäistä kertaa osaksi viihdeteollisuuden rattaistoa varhain 90-luvulla teknikot ja artistit ympäri maailmaa ovat yrittäneet kaventaa kuilua CGI:n ja todellisuuden välillä. Se mikä enne rakennettiin muovimassasta ja styroksista, on pikkuhiljaa korvautunut 3D-malleilla. Ympäristöt, jotka ennen jouduttiin rakentamaan pienoismalleina ja valaisemaan oikeassa studiossa, kyetään tekemään nopeammin 3D-ohjelmissa tai pelimoottoreissa. Tietokonegrafiikka on ottanut valtavia harppauksia eteenpäin viimeisen 20 vuoden aikana ja tästä on seurannut suuri kasvu myös realististen hahmojen, niin ihmisten, kuin kuviteltujen otusten määrässä eri viihdeteollisuuden projekteissa. Iso tekijä näiden hahmojen uskottavuuden luomisessa valaisun ja teksturoinnin ohella on 3D-geometrian realistinen deformaatio, eli hahmomallin massan muuttuminen realistisella tavalla. Esimerkiksi kuinka ja sen tilavuus säilyy, sen supistuessa tai rentoutuessa eri liikkeissä. Elokuva- ja animaatioteollisuudessa kyseen ongelmaa on keksitty erilaisia ratkaisuja vuosien varrella, mutta peliteollisuudessa teknologia on vasta viime vuosina päässyt vauhtiin. Tämä johtuu paljolti itse peligrafiikan olemuksesta, sen täytyy olla interaktiivinen reaaliajassa ja mukautua pelaajan tekemiin päätöksiin. Tähän tietokoneiden laskentateho ei vain kyennyt aiemmin.

Kun puhutaan hahmojen realistisesta olemuksesta, on ymmärrettävä, mitkä elementit luovat hahmosta uskottavan. Traditionaalisessa taiteessa suuret kuvan "realismiin" vaikuttavat tekijät on pitkään ymmärretty, kuvattavan asian valaisu ja pinnan tekstuuri. Näillä on kyetty luomaan illuusio "aidosta elämästä", mutta liikegrafiikassa on kaksi muuta elementtiä, joita ilman illuusio elämästä romahtaa: itse hahmon liike ja sen pinnallisten ja pinnanalaisten muotojen muuttuminen liikkeiden aikana, jotta voisi luoda toimivia ja realistisia malleja on tärkeä ymmärtää kohteen anatomisia ja fysiologisia rakenteita, sekä taustalla vaikuttavia ja sitä muokkaavia tekijöitä. Tulevassa kappaleessa tulen avaamaan 3D-tiikerimallia käyttäen juuri nelijalkaisille nisäkkäille ominaisia anatomisia ja fysiologisia piirteitä.

Tavoite opinnäytetyössä on tutkia ja esitellä realistisen hahmon deformaation simulointia 3D-ohjelmassa Autodesk Maya, hyödyntäen ZIVA.VFX -lisäohjelmaa lihassysteemin luomisessa. Käytän esimerkeissä itse mallinnettua sapelilihamastiikeriä ja ulkoisia lähdemateriaaleja eläinten anatomiasta. Malli on veistetty Zbrush:ssa ja optimoitu simulointia varten Maya:ssa.

2 Nisäkkäiden anatomia

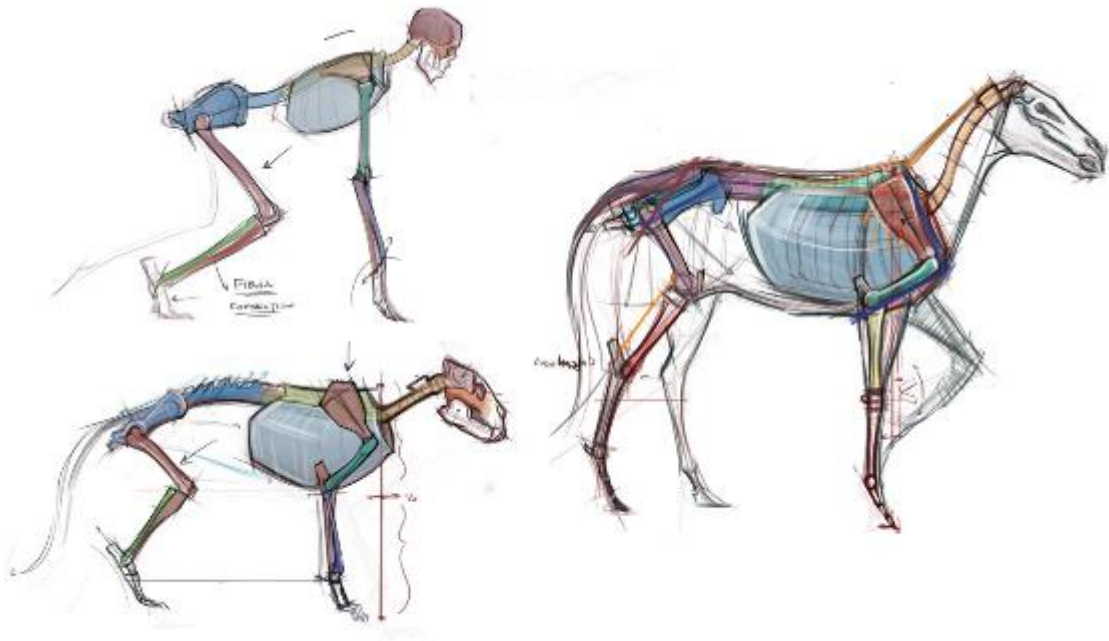
Ymmärtääkseen lihaksistoa, sen liikeratoja ja deformaatiota on ymmärrettävä nisäkkään lajityypille ominaisia anatomisia rakenteita, jotka mahdollistavat niiden liikkeet. Nisäkkäät ovat tasalämpöisiä ja selkärangallisia eläimiä, jotka muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta synnyttävät poikasensa suoraan elävänä. Kaikki nisäkkäät myös jakavat keskenään muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta täysin saman anatomisen rakenteen, mutta eri mittasuhteissa. Näiden eroavaisuuksien ja mittasuhteiden takana vaikuttavat vahvasti eläimen biologiset tarpeet, toimintatavat ja elinympäristö, jotka ovat muotoutuneet evoluution kautta. Nisäkkäille tyypillisiä tunnusmerkkejä ovat vahva selkäydintä suojaava selkäranka, neljä raajaa, ihoa peittävä karvapeite ja yhdestä luusta koostuva leukaluu (Wund, M. ja P. Myers 2005). Eläimen fysiologiset ominaisuudet on helpompi ymmärtää tietämällä eläimen liikkumismenetelmä, ruokavalio ja elinympäristö.

Esimerkiksi sorkkaeläimet ovat nelijalkaisia kasvissyöjiä ja imeyttääkseen tarpeeksi ravintoaineita kasvimassasta ne tarvitsevat pitkän suoliston. Suuri suolisto puolestaan kasvattaa vatsan kokoa ja massaa, jonka painoa kantamaan on kehittynyt erityisen vahva ja paksu selkäranka. Paksu selkäranka puolestaan rajoittaa tiettyjä liikeratoja, jotka taas ovat mahdollisia muun lahkoon eläimillä kuten pe-toeläimillä. Tämän eroavaisuuden voi helposti nähdä eläimen mittasuhteista ja ulkoisista muodoista (kuva 1).



Kuva 1. Esimerkki vatsan ja muiden pinnallisesti havaittavien fysiologisten tekijöiden eroista kahdella eri nelijalkaisella nisäkkäällä.

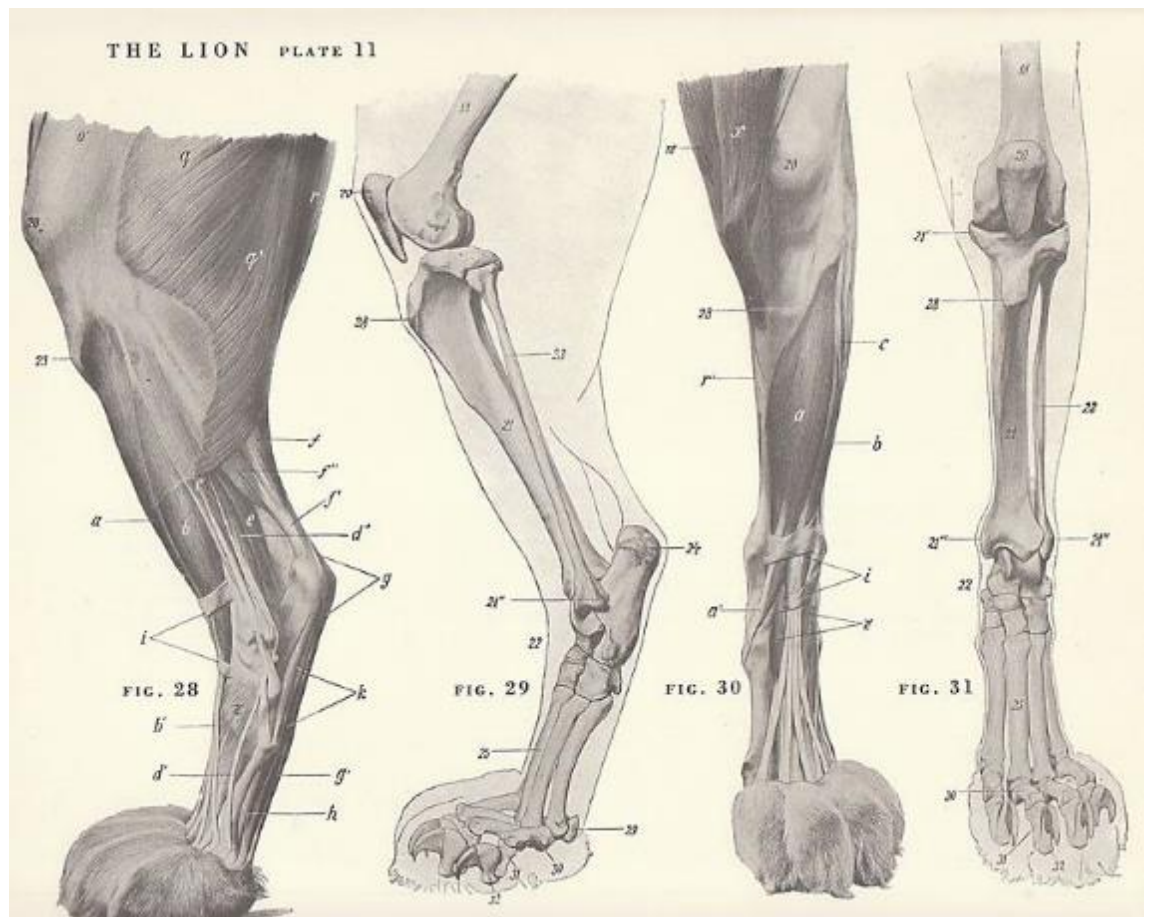
Eläimen luurankoja vertaillessa voi myös nähdä selvästi lajityypille ominaisia eroavaisuuksia, kuten liikeradat, massan jakautuminen ja samojen luiden eri sijoitukset. Esimerkkinä lapaluiden paikka eri eläimillä (kuva 2.). Samassa kuvassa voi myös nähdä eroja nelijalkaisten ja kaksijalkaisten luurankojen anatomian jakautumisessa ja mittasuhteissa. Esimerkissä ihminen on laitettu kävelemään neljällä raajalla ja on havaittavissa, kuinka sen mittasuhteet, etenkin selkärangan pituus ja kaari, tekevät tästä asennosta epäluonnollisen ja kuormittavan.



Kuva 2. Nisäkkäiden luurangon anatomian vertailua. Kuvassa ihminen, kissaeläin ja hevonen.

Nelijalkaiset nimensä mukaan määritellään eläimiksi, jotka käyttävät kaikkia neljää raajaansa liikkukseen ja kannatellakseen painonsa. Liikkuminen käyttäen neljää raajaa on merkittävä tekijä, kun tarkastellaan eläimen fysiologisia ominaisuuksia ja anatomista rakennetta. Johtuen siitä, että nelijalkaiset kannattelevat painoaan pääosin etujaloillaan on niille tyypillistä alaspäin kallistuneet lapaluut, jotka solisluiden puuttumisen takia eivät suoraan kiinnity rintakehään ja selkärankaan, vaan “kelluvat” niiden pinnalla lihasten, jänteiden ja faskian avulla. Toisin kuin esimerkiksi ihmisillä, joilla lapaluut sijaitsevat suoraan rintakehän selkäpuolella ja ovat yhteydessä selkärankaan solisluilla, nelijalkaisilla ne sijaitsevat selkeästi rintakehän sivuilla mahdollistaen eturaajojen pysymisen suoraan ylävartalon painopisteen alla. Tämän takia nelijalkaisten rintakehä on myös huomattavasti kapeampi, mutta syvempi kuin esimerkiksi ihmisellä. Luuston rakenteesta johtuen nelijalkaisten raajat eivät ole kehittyneet suuriin sivuttaisiin liikkeisiin muuta, kuin liikettä tai tasapainoa korjaavissa tilanteissa, vaan niiden pääasiallinen liike tapahtuu vartalon suuntaisesti

(Blaise, Aaron, 2015). Tämä puolestaan pakottaa raajojen suuret lihasmassat keskittymään enemmän suoran luun etu- ja takapuolelle. Tästä syystä takaraajojen siluetti edestä tai takaa päin on usein enemmän ka-pea ja sivulta leveä (kuva 3).



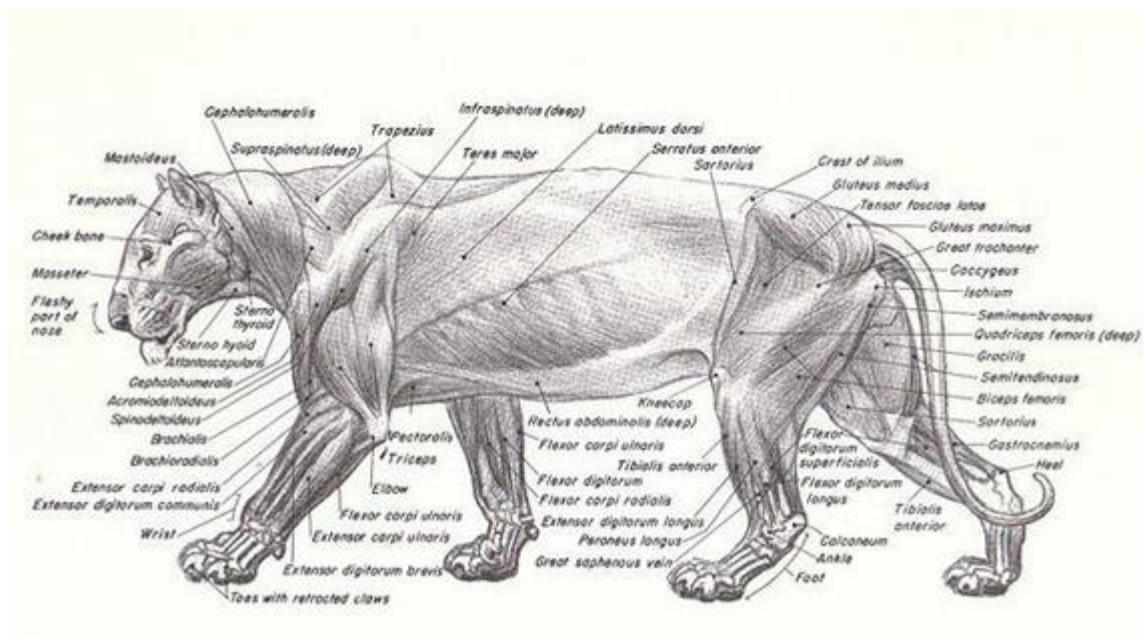
Kuva 3. Kissaeläimen (leijona) takajalan mittasuhteen/siluetti edestä ja sivulta.

3 Tiikerin anatomia

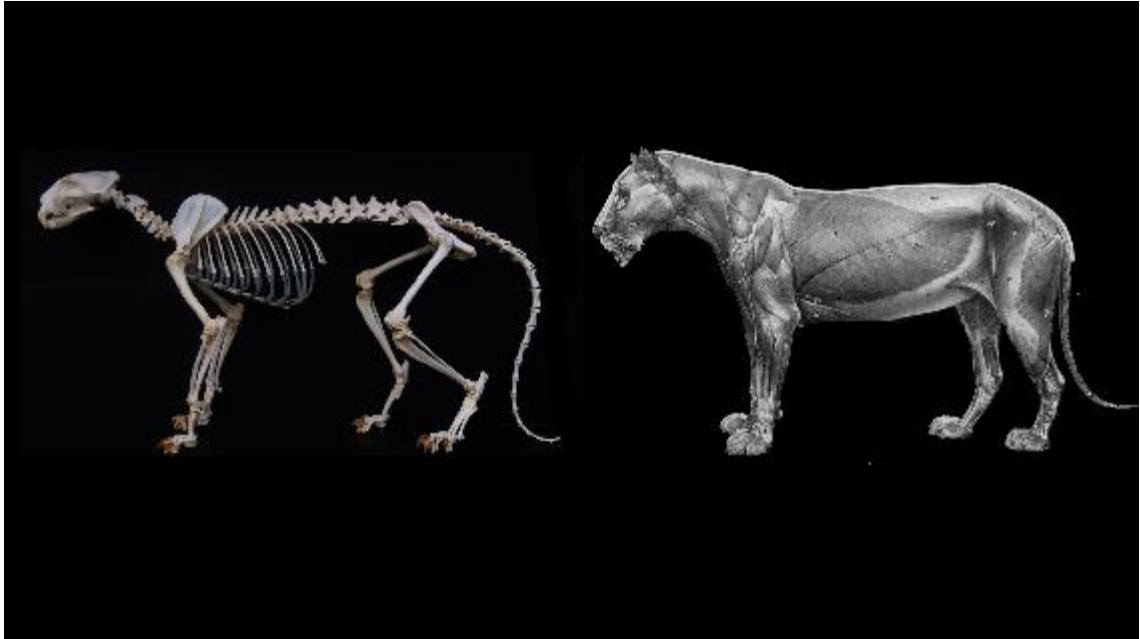
Tiikeri on nisäkäs ja nykyisistä kissoista suurin kissaeläimien heimoon kuuluva eläin. Naaraat voivat painaa 100 - 170 kg, kun taas suurimmat urokset voivat ylittää jopa 270 kg (SeaWorld, luettu 1.12.2021). Tiikeri on petoeläin ja saalistaessaan vaanii tyypillisesti matalana laukaistakseen itsensä kohti saalista, sen jahtaamisen ja väsyttämisen sijaan. Lihan-

syöjänä tiikeri ei tarvitse pitkää suolistoa ruoan sulattamiseen ja imeyttämiseen kuten kasvissyöjät, vaan sen massa on keskittynyt vahvoihin eturaajoihin ja suuriin vetäviin lihaksiin. Nämä mahdollistavat sen pitämään kiinni saaliistaan ja vetämään sen lähemmäs itseään. Vahvat selkälihaksset auttavat sitä myös liikkumaan ja kiipeämään haastavissa ympäristöissä. Tiikerin selkäranka vastaa noin 20 prosenttia sen koko painosta, mutta on tästä huolimatta kykeneväinen taipumaan äärimmäisiin asentoihin.

Saadakseen paremman käsityksen tiikerin liikeradoista ja lihasten toiminnasta, sekä kuinka implementoida niitä 3D-mallissa ja simuloinnissa, on tarkasteltava syvällisemmin etu-, keski- ja takavartalon anatomisia rakenteita. Havainnoimisen helpottamiseksi alla olevista kaavioista on nähtävissä tiikerin ja tyypillisesti muiden suurten kissaeläinten pinnalliset lihakset (kuva 4.) ja niiden peilautuminen luuston rakenteeseen (kuva 5).



Kuva 4. Lääketieteellinen kuvitus tiikerin pinnallisista lihaksista.



Kuva 5. Tiikerin luusto ja pinnalliset lihakset.

3.1 Etuvartalon luusto ja lihaksisto

Tarkasteltaessa tiikerin etuvartalon anatomiaa on tärkeää tiedostaa kaikille nelijalkaisille yleisiä toimintatapoja. Syy miksi eturaajat ovat kehittyneet kannatteleviksi pylväiksi ja takaraajat puolestaan työntäväksi voimaksi on si-dottu faktaan, että kaksi kolmasosaa eläimen painosta kannattelee eturaajat ja yksi kolmasosaa takaraajat. (Bammes 1994, 12.) Nelijalkaisilla on myös muita ominaispiirteitä, kuten edestäpäin kapea, mutta pitkä rintakehä ja alaspäin kallistuneet lapaluut. Siinä missä eroja alkaa ilmentyä enemmän on miten ja mistä eläin saa ravintonsa. Tiikerille väijyvänä petoeläimenä ominaista on lyhyt kallo ja niska, sekä huomattavasti matalampi säkäkorkeus kuin vastaavan massan omaavilla nisäkkäillä. Tämä mahdollistaa sen liikkumisen matalana ruohikossa, päästäkseen yllättämään saaliinsa. Saa-dessaan saaliinsa kiinni se käyttää vahvoja eturaajojen ja niskan lihaksia pitääkseen saaliinsa maassa, vahvoilla selkälihaksilla (suurimpana latissimus dorsi: kuva 10.) se vetää eläimen lähemmäs itseään.

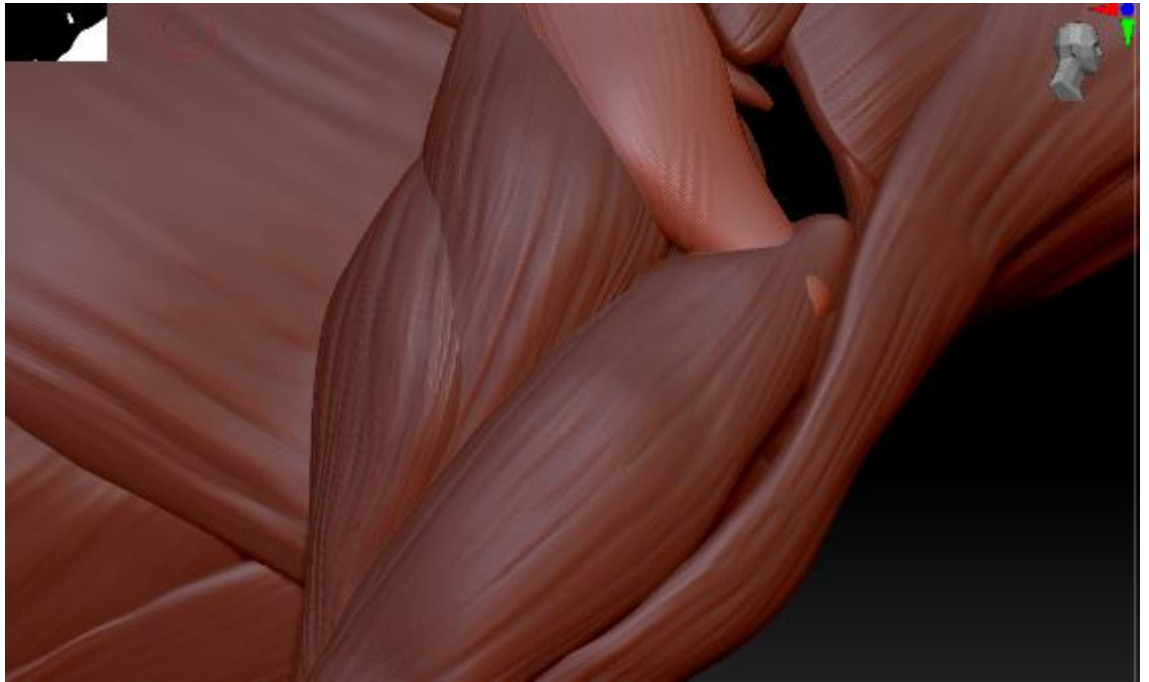
Muita suuria lihaksia ovat kolmipäinen ojentajalihas, joka vastaa vartalon kannattelusta ja eturaajojen ojentamisesta. Eturaajan “käsivarren” flexor- ja extensor-lihakset (kuva 9.), jotka mahdollistavat tassun voimakkaan koukistuksen ja sitä kautta terävien kynsien käytön saaliin repimisessä tai kontrolloinnissa. Tiikerille ominaista ovat myös vahvat rintalihakset, jotka vastaavat eturaajojen lähentämisestä. Eturaajojen tehtävä on pitkälti kannatella painoa staattisessa asennossa tai liikkeen aikana ja toimia kontrolloivana voimana saaliin metsästyksessä.

3D-mallia mallinnettaessa on tärkeä tiedostaa suurimpien ja näkyvimpien lihasten toiminta ja niiden eri muodot eri liikkeissä ja asennoissa. Esimerkkinä ojentajalihakset eläimen seistessä lepoasennossa, ovat jännittyneet raajan toimiessa kannattelevana pylväänä loppu massalle. Ojentajien päämassa sijoittuu olkaluun takapuoleiselle yläkolmannekselle ja jännittyneenä muodostaa selvästi havaittavat kaksi suurta ja joskus yhden pienemmän “pallomaisen” muodon. Ojentuessa lihas rentoutuu ja lihaksen massa muuttuu enemmän suipommaksi ja tasaisemmin jakautuneeksi (kuva 6.).



Kuva 6. Ojentajalihasten pinnallisten muotojen muutos eturaajan eri asennoissa.

Mallintaessa on hyvä huomioida jo etukäteen asennosta riippuvaisten massojen sijainti ja volyymi ja välttää lihasten liiallista korostusta, joka voi puolestaan johtaa virheelliseen deformaatioon simuloidessa. 3D-mallissa on erityisen tärkeää myös huomioida lihasten väliset kontaktit ja kuinka ne liukuvat ja jäsentyvät keskenään. Simuloidessa tämä fakta korostuu, sillä meshien läpivuoto (kuva 7.) vaikeuttaa ja usein hajottaa simulaation laskennan. Meshien läpivuodolla tarkoitetaan kahden tai useamman eri 3D-objektin työntymistä toistensa sisään tai läpi. Lihakset usein myötäilevät alla olevia muotoja, niin muita lihaksia kuin luurankoa. Esimerkkinä tiikerin yksi suurimmista lihaksista latissimus dorsi on hyvin ohut ja myötäilee vahvasti rintakehän kylkiluita ja syviä vatsalihaksia (kuva 10).



Kuva 7. Esimerkki takaolkapään ja ojentajan meshien läpi vuodosta.

Toinen mallinnettaessa huomioitava kiintopiste etuvartalossa ovat lapaluut. Lapaluut toimivat usean lihaksen kiinnityspisteinä:

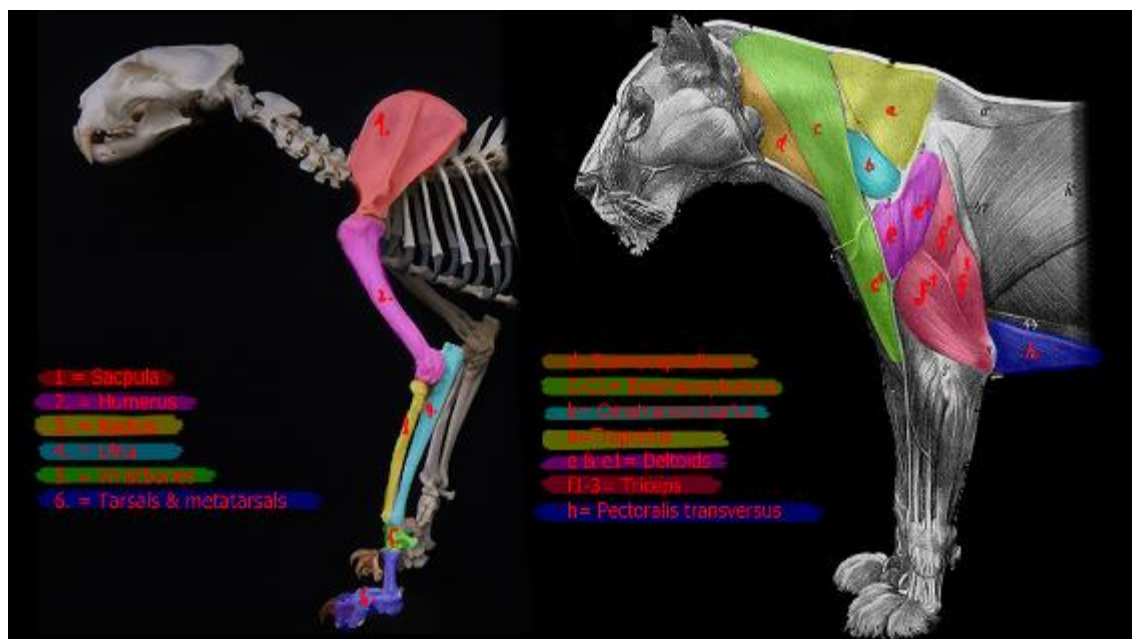
- Kaulan omotransversarius kiinnitys: lapaluun luisen harjanteen alempaan loppupäähän (Goldfinger, 2004, 45).
- Rhomboid Kiinnitys: lapaluun yläkulmaan. (Goldfinger, 2004, 51).

- Trapezius Kiinnitys: Niskan osio: lapaluun ylempi kolme neljäsosaa (Goldfinger, 2004, 58).

Lapaluut ovat liikkeessä ja eri asennoissa merkittävä kiintopiste etenkin niiden aiheuttamat muodonmuutokset on helppo havaita riippuen kummalle eturaajalle eläimen paino varautuu. Painoa kantavan eturaajan ollessa suorassa se pakottaa kyseisen puolen lapaluun nousemaan korkealle ja näin vaikuttaa suuresti sen pinnallisiin muotoihin (kuva 8).



Kuva 8. Lapaluiden nousemisen ja laskemisen aiheuttama muutos pinnallisissa muodoissa.



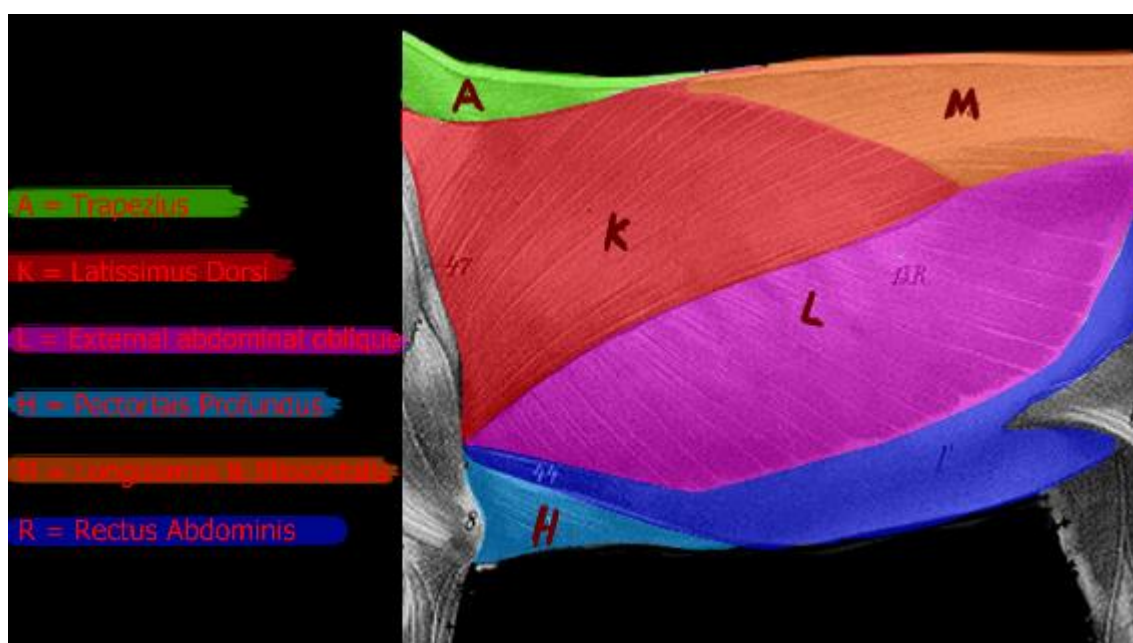
Kuva 9. Tiikerin etuvartalon luusto ja ympäröivät merkittävimmät pinnalliset lihakset sivultapäin.

3.2 Keskivartalon luusto ja lihaksisto

Keskivartaloa tarkasteltaessa monet merkittävät lihakset eivät ole suoraan näkyvissä pinnalla, vaan muun lihasmassan alla esimerkkinä “Longissimus ja Iliocostalis”, jotka vastaavat keskivartalon koukistumisesta ja stabilisoinnista (kuva 10). Monet pinnanalaiset lihakset ovat havaittavissa vain muiden pinnallisten lihasten muotojen vaihtelusta, kuten aikaisemmin mainitun Longissimuksen aiheuttama kohouma Latissimus Dorsin faskian kohdalla (Kohta M, Kuva 10). Tiikerin merkittävimpiä keskivartalosta löytyviä pinnallisia lihaksia ovat suuret “latissimus dorsi” lihakset. Ne löytyvät molemmilta puolilta vartaloa ja ovat muodoltaan leveät, mutta ohuet sillä ne ovat tyypiltään levylihaksia. “Kaksi yleisintä lihastyyppeä ovat tilavuuslihakset täydellä tilavuudella, kuten ojentajat, pohjelihakset tai pitkät kapeat kyynärvarren lihakset ja levylihaksset, kuten ohuet latissimus dorsi tai trapezius” (Goldfinger, 2004, 26). Latissimus dorsit kiinnittyvät edessä “olkaluun sisäpintaan, noin kolmasosa olkaluuta pitkin, kuten teres major. Myös jänteväksi kaareksi, joka alkaa edellisestä lisäyksestä, kaareutuu hauislihasten yli ja laajenee kiinnittyäkseen olkaluun sisäisen puoliskon yläosan etukulmaan.” ja takana faskian välityksellä lonkkaluun kaareen (Goldfinger, 2004, 59). Tämä lihas pääosin

vastaa eturaajojen taakse vetämisestä ja on vartaloa tukeva elementti eläimen ollessa kyyryssä. Tiikereillä latissimus dorsi on hyvin kehittynyt verrattuna muihin saalistajiin ja on yksi merkittävä fysiologinen tekijä, joka tekee tiikeristä yhden maailman fyysisesti vahvimista saalistajista.

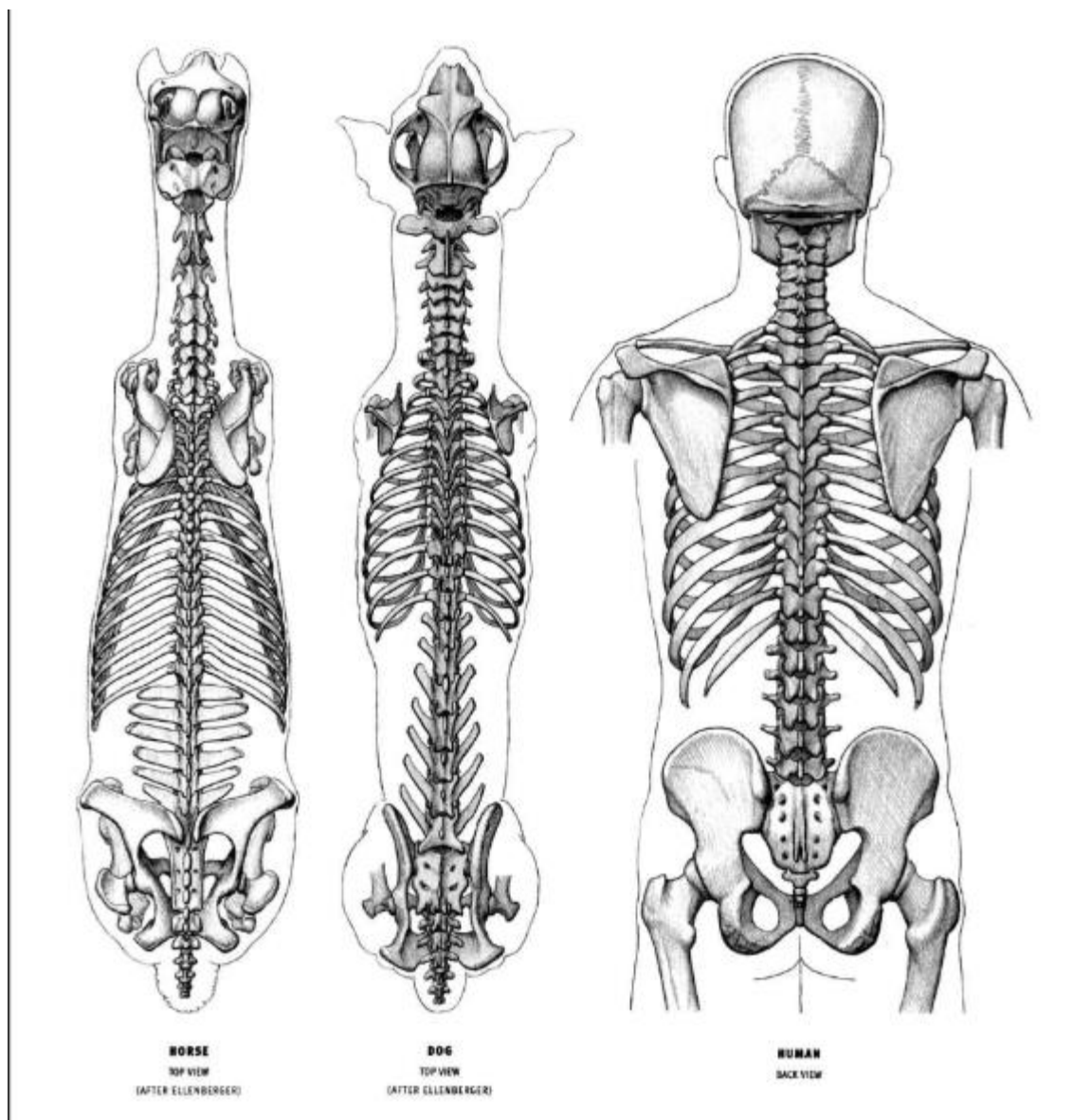
Niin kuin muilla eläimillä keskivartalo vastaa pitkälti etu- ja takavartalon voimien jakamisesta ja yhdistämisestä ja on siksi muodoltaan ja lihaksistoltaan pitkä ja tukeva. Sen tehtävänä on myös suojella keskivartalosta löytyviä sisäelimiä ja selkärankaa.



Kuva 10. Tiikerin keskivartalon pinnalliset lihakset sivultapäin.

Mallinnettaessa tiikerin keskivartalosta löytyviä lihaksia yksi huomioitavista asioista on kuinka pinnalliset lihakset myötäilevät alla olevia anatomisia rakenteita. Jo aikaisemmin mainittu latissimus dorsi on yksi dominoivista pinnallisista muodoista keskivartalossa ja myötäilee vahvasti ohuen levyrakenteensa takia alla olevia muotoja, kuten rintakehän kylkiluita ja alaselässä "Longissimus ja Illiocostalis" lihaksia. Nämä elementit ja niiden pinnalliset ja pinnanalaiset muodot ja toiminnot on hyvä huomioida jo veisto vaiheessa, sillä näiden massojen kanssa aikaisemmin mainittua läpivuotoa tapahtuu helposti.

Johtuen siitä, että keskivartaloa peittävät lihakset ovat pääosin aikaisemmin määriteltäviä levylihaksia, löytyy yksi muoto, joka keskivartalossa kaikkia muita dominoivampi, rintakehä. "Rintakehä, joka muodostaa rintakehän seinämän, on tärkeä tilavuus. Se on kartion muotoinen ja muodostuu yksittäisistä kylkiluista, jotka liittyvät selkärangan yläpuolelle ja rintalastan alapuolelle. Se pienenee eteenpäin ja nelijalkaisissa eläimissä litistetty sivusuunnassa. Takaosa on leveä ja avoin. Rintakehä on leveämpi ylhäältä (läheltä selkärankaa) ja kapeampi alta (rintalastan kohdalla)" (Goldfinger, 2004, 11). Rintakehän tarkoitus on lihasten kiinnityspisteiden lisäksi toimia sen sisältä löytyvien sisäelinten suojana. Rintakehä dominoi kaikilla eläimillä sen keskivartalon muotoja ja sitä ympäröivät lihakset saavat pääasiallisen muotonsa usein mukailemalla kylkiluiden kaaria.

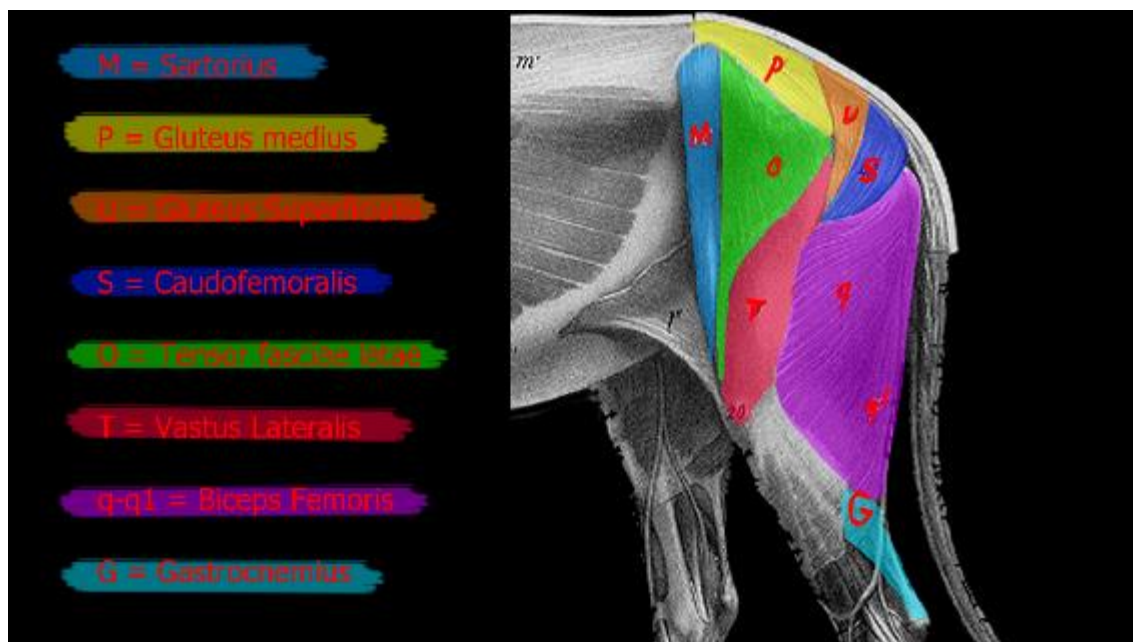


Kuva 11. Havainnollistava kuva eri nisäkkäiden rintakehien muodosta, ja vaikutuksesta pinnallisiin muotoihin.

3.3 Takavartalon luusto ja lihaksisto

Jos etuvartalo ja sen lihaksisto oli pääosin kannatteleva ja saalista kontrolloiva elementti, takavartalo toimii työntävänä ja liikevoimaa tuottavana kokonaisuutena. Tiikeri saa liikkuessaan varsinkin saalistuksessa tarvittavan työntövoiman sen vahvoista takaraajoista. Nopeimmat kissaeläimet kykenevät kiihdyttämään kävelystä 70 km tuntinopeuteen parissa sekunnissa (Klevansky 2000, 20). Sen

takaraajoista löytyy kymmeniä lihaksia, mutta suurimmat ja näkyvimvät ovat nelipäinen quadriceps lihas, tensor fasciae latae, gluteus medius ja maximus, biceps femoris ja semitendinosus (Hudson 1995, 69). Usein karvapeite ja rasva-kerros vaikeuttavat erottamista, mutta suurimpien lihasten muodot ovat nähtävissä jopa niiden alta. Niin kuin ihmisillä nelipäinen quadriceps lihas on suurin helposti erottuvin lihas varsinkin sen ulkopuolisin pää “vastus lateralis” (kuva 12.).



Kuva 12. Tiikerin takavartalon pinnalliset lihakset sivultapäin.

Eläimen pinnallisiin muotoihin vaikuttava ja selvästi havaittava kiintopiste takavartalossa on lantio. “Lantio koostuu kahdesta lonkkaluusta molemmin puolin varraloa” (Goldfinger 2004, 15) ja sen etupää levenee leveäksi lituskaksi nimeltä “ilium” eli suoliluu. Sen etureunama on nimeltään suoliluun harja ja sen loppupää toimii lantion seudun luisena kiintopisteenä, jonka näkyvyys vaihtelee lajeittain (kuva 13.). Lonkkaluut ovat myös tärkeä alue lihaksiston kannalta, sillä monet suuret lihakset kiinnittyvät sen eri alueisiin kuten lonkkaa koukistava sartorius, ja tukevat gluteus medius ja superficialis (kuva 12).



Kuva 13. Suoliluun kaaren kärki muodostaa pinnallisesti havaittavan muodon, näkyvyys vaihdellen eri eläimillä. Kuvassa härkä ja tiikeri.

Mallintaessa takavartalon ja raajojen lihaksistoa ja luustoa on tärkeä ymmärtää niiden yhteistoiminta, sillä simulointia helpottaakseen on hyvä yhdistää useampi pienempi lihas, jotka jakavat saman funktion kehon hallinnassa. Esimerkkinä takajalkojen alaosasta löytyvät "Gastrocnemius" ja "Soleus" lihakset voidaan mallintaa yhdeksi massaksi kahden erillisen sijaan, sillä niiden muoto ja deformaatio liikkeessä ei eroa suuresti toisistaan (kuva.13). Gastrocnemius "Koukistaa polviniveltä; ojentaa voimakkaasti nilkkaniveltä työntäen eläintä eteenpäin. Soleus avustaa gastrocnemiusta nilkkanivelen ojentamisessa" (Goldfinger, 2004, 106-107). Näin voidaan säästää mahdollisia virheitä simulaation laskennasta ja yleisesti keventää 3D-mallia ja skeneä. Yhdistämällä eri lihaksia yhdeksi meshiksi auttaa havainnoimaan simuloitaessa lihasten toimintaa ja saavuttaako lihaksisto liikkeillään realistisen kokonaisuuden. Niin kuin yksinkertainen luuranko auttaa päälle mallinnettavaa ja simuloitavaa lihaskerrosta, auttaa yksinkertainen lihaksisto sitä seuraavia välivaiheita, jos tarkoituksena on luoda mallille rasva-, nahka- ja karvapeite. Myös huomionarvoista takavartalon luurankoa mallintaessa on fakta, että tiikerien takajalat ovat pidemmät kuin sen etujalat. Tämä auttaa tiikeriä tuottamaan enemmän voimaa hyppyihin ja muihin ponnistaviin liikkeisiin ([Tigers-World](#), 2014).

4 3D-mallin yleiskatsaus/valmistelu

4.1 Referenssimateriaali

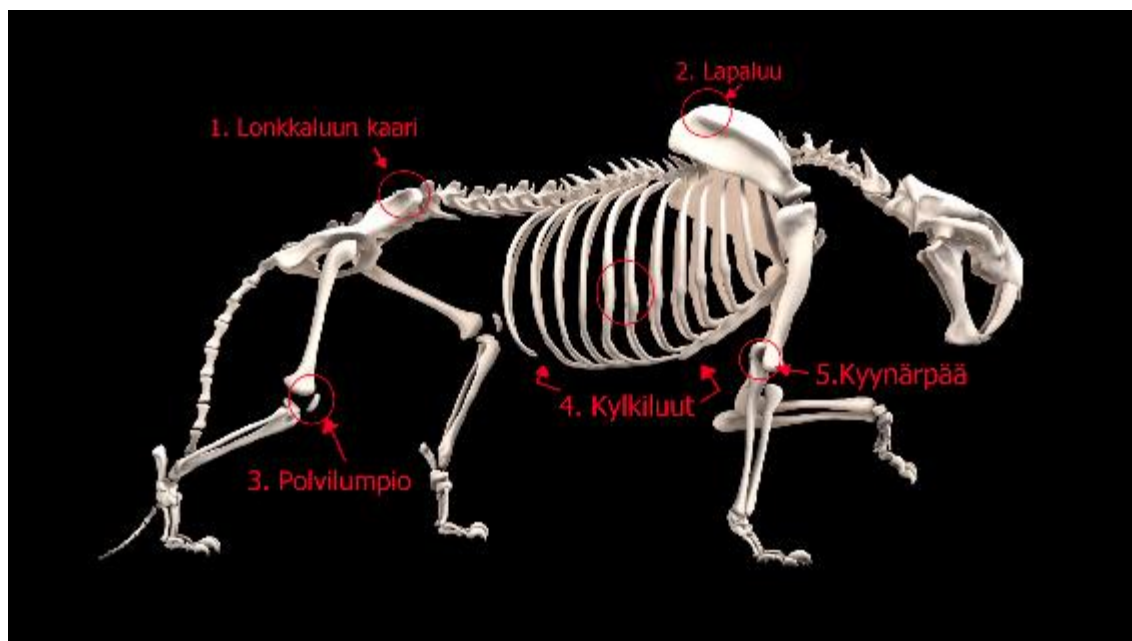
Tavoiteltaessa realistista liikettä ja fysiologiaa on erityisen tärkeää, että pinnanlaiset rakenteet ovat toteutettu pieteetillä. Luuranko toimii perustana kaikille eläimen toiminnoille ja täten on lähtökohta realismia tavoitellessa. Mallinnuksen aloittamisessa on hyvä jakaa luuranko edellisessä kappaleessa käsiteltyihin osioihin (etu-, keski- ja takavartaloon). Selkäranka jakautuu kaula-, rinta-, lanne- ja ristiniikamiin, joilla kaikilla on omanlainen muotoilu johtuen niiden eri vartalon toimintaa tukevista funktioista. Korrektien mittasuhteiden saavuttamiseksi on hyvä käyttää eläimen päätä mittana. Mallinnuksen alkuvaiheessa on tärkeä käyttää hyviä ja tarkkoja referenssikuvia, saadakseen korrekrit mittasuhteet ja välttääkseen tätä myöten mahdolliset virheelliset mittasuhteet lihasten ja niiden kiinnityspisteiden välillä. Esimerkeissä näkyvässä 3D- mallissa on lähdetty käyttämään oikean maailman luurangoista koottua referenssikuvia ja videomateriaalia. Käytetyt kuvat olivat lähtökohtaisesti suoraan sivulta, edestä ja takaa noin 90 asteen kulmissa. Linssivääristymää välttääkseen vertailtiin useita eri kuvia ja niiden välistä vääristymän eroa. Toinen tärkeä asia hyvää referenssimateriaalia etsiessä on kuvien/videon laadukas valaistus. Liian voimakas tai heikko valaistus saattaa jättää tärkeitä muotoja luista ja lihaksista piiloon tai vääristää mittasuhteita, litistämällä kuvattua kohdetta. Olennaista on myös välttää käyttämästä tärhtäneitä tai matala laatuksia kuvalähteitä.



Kuva 14. Esimerkki referenssikollaasi nelijalkaisten anatomiasta.

4.2 Luuranko

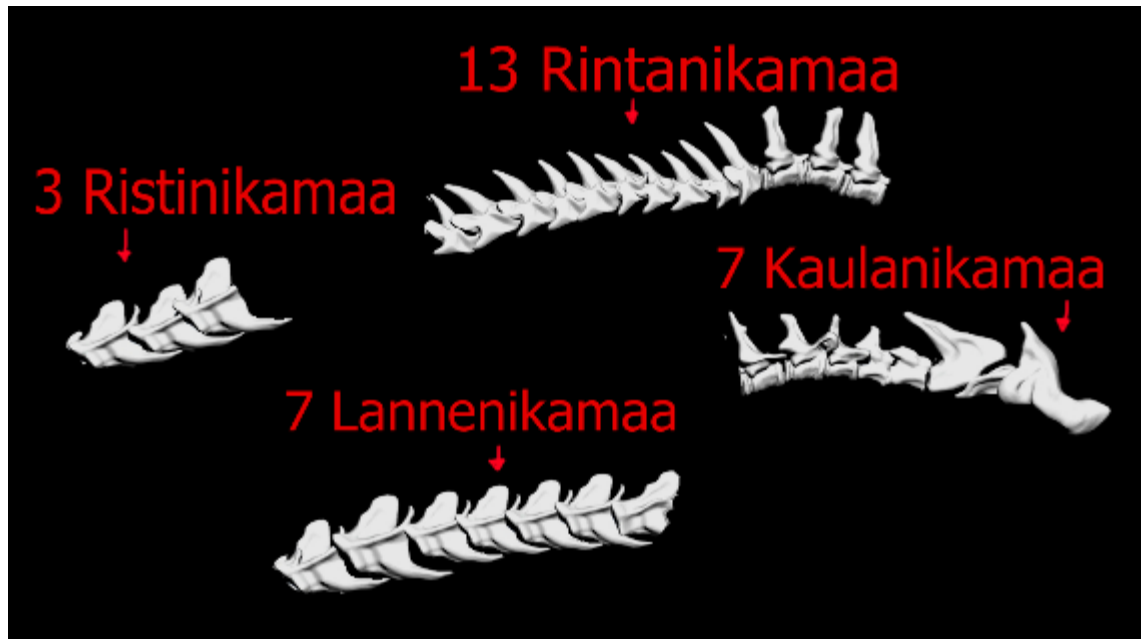
Luurangon veistämistä aloittaessa on hyvä jakaa edellisessä kappaleessa käytyihin osioihin. Tarkemmin tarkasteltuna etuvartalon voi jakaa päähän, kaulaan, etupään ylä- ja alaraajoihin ja tassuihin (kämmeniin). Keskivartalo voidaan jakaa rintakehään ja sen alueen selkärankaan. Takavartalo voidaan puolestaan jakaa lantioon, takaraajoihin, tassuihin ja häntään. Esimerkkikuvissa ja käytännön työssä käytetyssä 3D-mallissa ensimmäiseksi veistettiin/mallinnettiin pääkallo tulevien mittasuhteiden tarkastuksen helpottamiseksi. Mallinnuksen aikana olennainen tekijä onnistumiseen oli käyttää useista eri kuvakulmista otettuja referenssikuvia pelkkien sivu ja etu kulmien sijaan. Kallon ollessa valmis muiden osien mallintaminen helpottuu huomattavasti, sillä kallo toimii erinomaisena kiintopisteenä mittasuhteiden ja yleisen designin tarkastelussa. Luuranko mallintaessa on hyvä pitää mielessä yleisesti tunnetut "luiset kiintopisteet" (kuva 15), joita ovat lapaluut, kyynärpää, lonkkaluun kaari, polvilumpio ja kylkiluut.



Kuva 15. Luiset kiintopisteet.

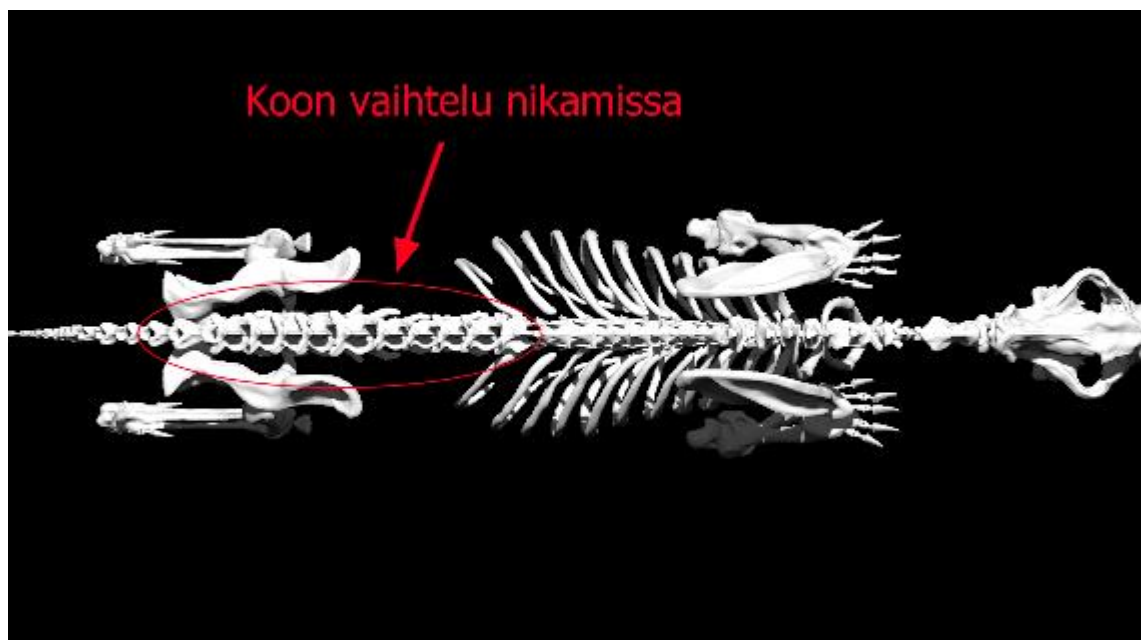
Lapaluut ovat kaikin puolin dominoivat muoto ja toimija tiikerin liikkeessä ja pinnallisesti havaittavissa muodoissa. Niiden oikeaan mittasuhteeseen ja kulmaan mallintaminen on merkittävä tekijä realistisen lopputuloksen saamiseksi. Lapaluihin kiinnittyvät monet tärkeät pinnalliset ja syvät lihakset merkittävimpinä ojenta- ja pitkä pää, trapezius ja olkalihakset. Ne ovat myös selkeä kiintopiste mallia animoitaessa johtuen lapaluiden suuresta liikkeestä eläimen eri liikeradoissa.

Selkärankaa mallintaessa on tärkeä muistaa sen jakautuvan kaula, rinta, lanne ja risti nikamiin. Ne ovat muodoltaan hyvin erityyppisiä johtuen niiden eri vartaloa tukevista funktioista sekä niihin kiinnittyvistä lihaksista ja luista (kuva 16).



Kuva 16. Eri selkärangan osien nikamien vertailua.

Tarkemmin jokainen nikama on hieman erilainen, mutta mallinnus ajan säästämiseksi voi neljän eri alueen nikamat olla alueittain kopioita toisistaan, huomioiden kuitenkin lanne ja risti nikamissa tapahtuvan levenemisen (kuva 17).



Kuva 17. 3D mallissa nähtävä lannenikamien leveneminen ennen ristinikamia.

Etu- ja takaraajojen mallintamisessa on olennaista huomioida monille kissaeläimille neutraali asento. Eturaajat ovat suoraan ylävartalon painopisteen alla ja takaraajat puolestaan pienessä koukussa. Välttääkseen muiden luiden ja jälkeenpäin lihasten mallintamista väärään mittasuhteeseen liioiteltuihin tai virheellisiin raajojen asentoihin on hyvä kiinnittää huomiota jo alkuvaiheessa. Jalkojen luut ovat peilattu identtisiksi kopioiksi toisistaan vasemmalla ja oikealla puolella.

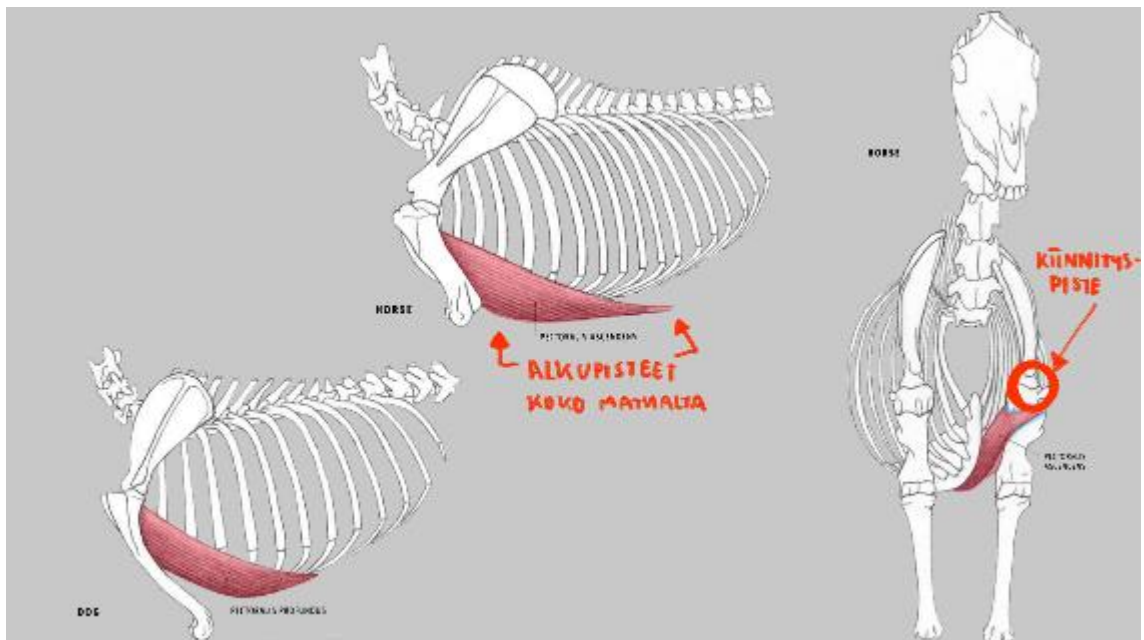
Tassut koostuvat ranneluista (edessä carpals ja takana tarsals), joiden määrä vaihtelee kuudesta kahdeksaan kissoilla (Goldfinger, 2004, 13). "Kissoilla on viisi varvasta (phalanges) etujalassa, yksi näistä varpaista on kastekynsi, joka istuu korkeammalla jalassa ja ei kosketa maata. Takaosassa (takajalassa) on neljä varvasta. Jokaisessa kissan varpaassa on kolme luuta, distaalinen, keskimmäinen ja proksimaalinen sormi" (Julia Wilson, <https://cat-world.com/bones-of-the-cat/>). Näitä luita mallintaessa simulointia varten, voidaan ranneluut yhdistää yhdeksi massaksi edessä ja takana. Muut tassujen luut voivat olla kopioita toisistaan. Jos tavoitteena olisi erittäin läheltä tarkastelua kestävän mallin luominen esimerkiksi staattinen lääketieteellinen malli, tulisi jokainen luu edessä ja takana mallintaa eri pituisiksi ja muotoisiksi.

4.3 Lihakset

Lihasten mallinnusprosessi myötäilee pitkälti luurangon prosessia, mutta lihaksia työstäessä mahdolliset läpivuodot ja toisia penetroivat meshit ovat suuremmissa riskissä tapahtua kuin luurankoa mallintaessa. Luurankoon verrattuna lihaksissa on huomattavasti enemmän työskentelyä muotojen tasapainoon saamisessa, sillä yksittäisten kovien luiden sijaan lihakset muuttavat muotoaan, liukuvat toistensa lomitse ja kiinnittyvät eri paikkoihin faskian välityksellä. Tämä vaikeuttaa referenssikuvien käyttöä, sillä usein niissä näkyvät muodot ovat hyvin pinnallisia ja toimivat vain indikaattoreina suurimmille lihaksille. Yksittäisten pienempien lihasten mallintamisessa ruumiinavaus kuvat ja taulukot osoittautuvat erittäin hyödyllisiksi. Lisäksi täytyy huomioida missä asennossa aikaisemmin mallinnettu

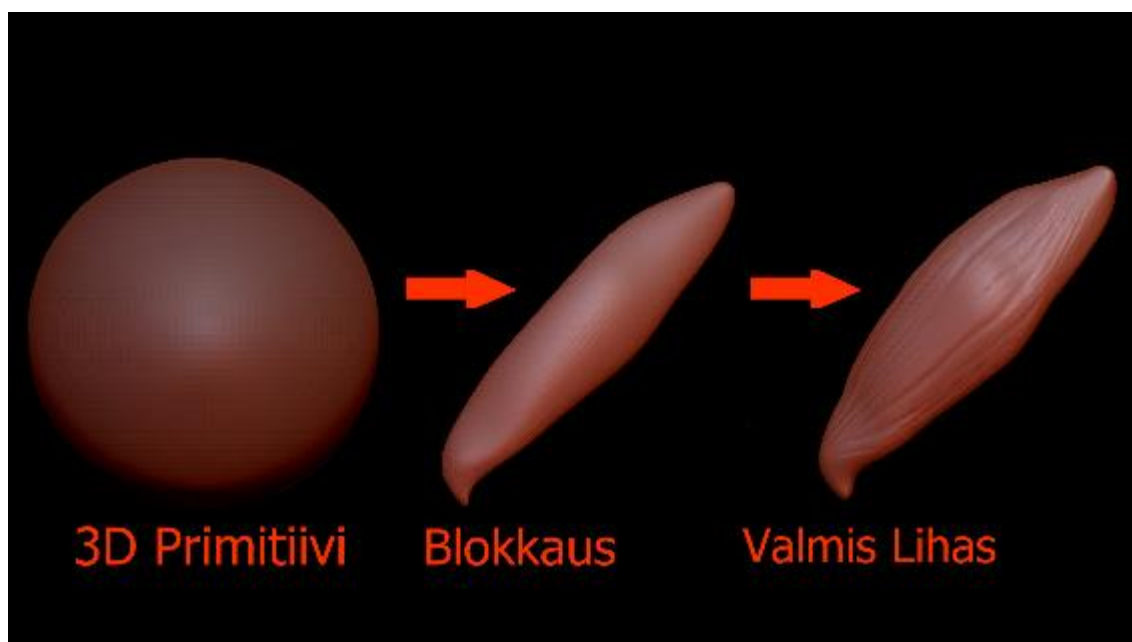
luuranko on, sillä tämä vaikuttaa suoraan onko lihas jännittynyt tai rentoutunut ja tätä myöten sen muotoon.

Erona luiden mallinnukseen lihasten mallintamisessa suuri tekijä on niiden toimintaan vaikuttavat alku- ja päätepisteet, eli missä ne kiinnittyvät muiden lihasten ja luiden kanssa. Nämä pisteet usein ovat eri luiden välillä, mutta voivat myös olla toisia lihaksia tai rustoja. Esimerkiksi rintalihaksen alaosan (pectoralis profunduksen) “alkupiste on suurin osa rintalasta (paitsi sen etukärki) ja pinta vatsan etupäästä (xiphoid-prosessin alueella). Päätepiste on olkaluun yläsisäpinta ja pystysuora viiva olkaluun etuosan yläkolmanneksen yläpuolella” (Goldfinger, 2004, 63). Sen toiminto “vetää raajaa kohti vartalon keskiviivaa; vetää raajaa taaksepäin. Jos raaja on edennyt ja tukevasti maassa, se vetää kehoa eteenpäin kävellessä tai juostessa” (Goldfinger, 2004, 63). Nämä eri toiminnot on huomioitava mallintaessa, sillä ne vaikuttavat vahvasti lihaksen senhetkiseen muotoon ja massan jakautumiseen pisteiden välillä. Väärään asentoon mallinnettu lihas murtaa illuusion realistisesta 3D-mallista ja pilaa anatomisesti tarkan pohjan, jolle simulointi tulee perustumaan.



Kuva 18. “Pectoralis Profunduksen” alku- ja päätepisteet kuvattuna hevosella ja koiralla.

Lihasten veistäminen Zbrush-ohjelmassa tapahtuu perus primitiivejä käyttäen. Suurin osa lihaksista aloitettiin veistämään käyttäen perus 3D-pallo tai sylinteri objektia. Tämä työtapa helpottaa mittasuhteiden ja muotojen kontrollointia, sillä yksinkertainen muoto ei lähde ohjaamaan prosessia ja designia liian vahvasti mihinkään tiettyyn suuntaan kuin esimerkiksi puolivalmis anatominen lowpoly-malli. Tietty lihasryhmät, kuten eturaajan extensor ja flexor lihakset on nopeampi mallintaa käyttäen pohjana ensimmäisenä mallinnettua ja näkyvintä extensor lihasta "Extensor Carpi Radialista". Ajan säästämiseksi lihakset mallinnetaan luiden tavoin aluksi vain toiselle puolelle, jonka jälkeen ne on mahdollista kopioida peilamalla vastakkaiselle puolelle.



Kuva 19. Ojentajaliuksen lateraalisen pään mallinnusprosessi, aloittaen 3D primitiivistä.

Mallinnettaessa lihaksia spesifisti tulevaa simulaatiota varten joidenkin ryhmien kohdalla on tehtävä niin kuin aikaisemmin ranneluiden kanssa, ne on sulautettava yhdeksi massaksi. Esimerkkinä takaraajoista löytyvät quadriceps lihakset. Nimensä "quad" mukaan ne koostuvat neljästä eri päästä; Vastus lateralis, medialis, ja intermedius, Rectus femoris. Ne kiinnittyvät ylempänä reisiluuhun, lonkkaan ja alempana polvilumpioon, josta eri jänteiden avulla ne vastaavat sääri- ja varttaluun suoristuksesta. Sillä nämä kaikki lihakset vastaavat samasta liikkeestä

vartalon toiminnassa, ne on mallinnettu yhdeksi massaksi huomioiden kuitenkin sen eri päiden sijainti ja massan jakautuminen näiden välillä.



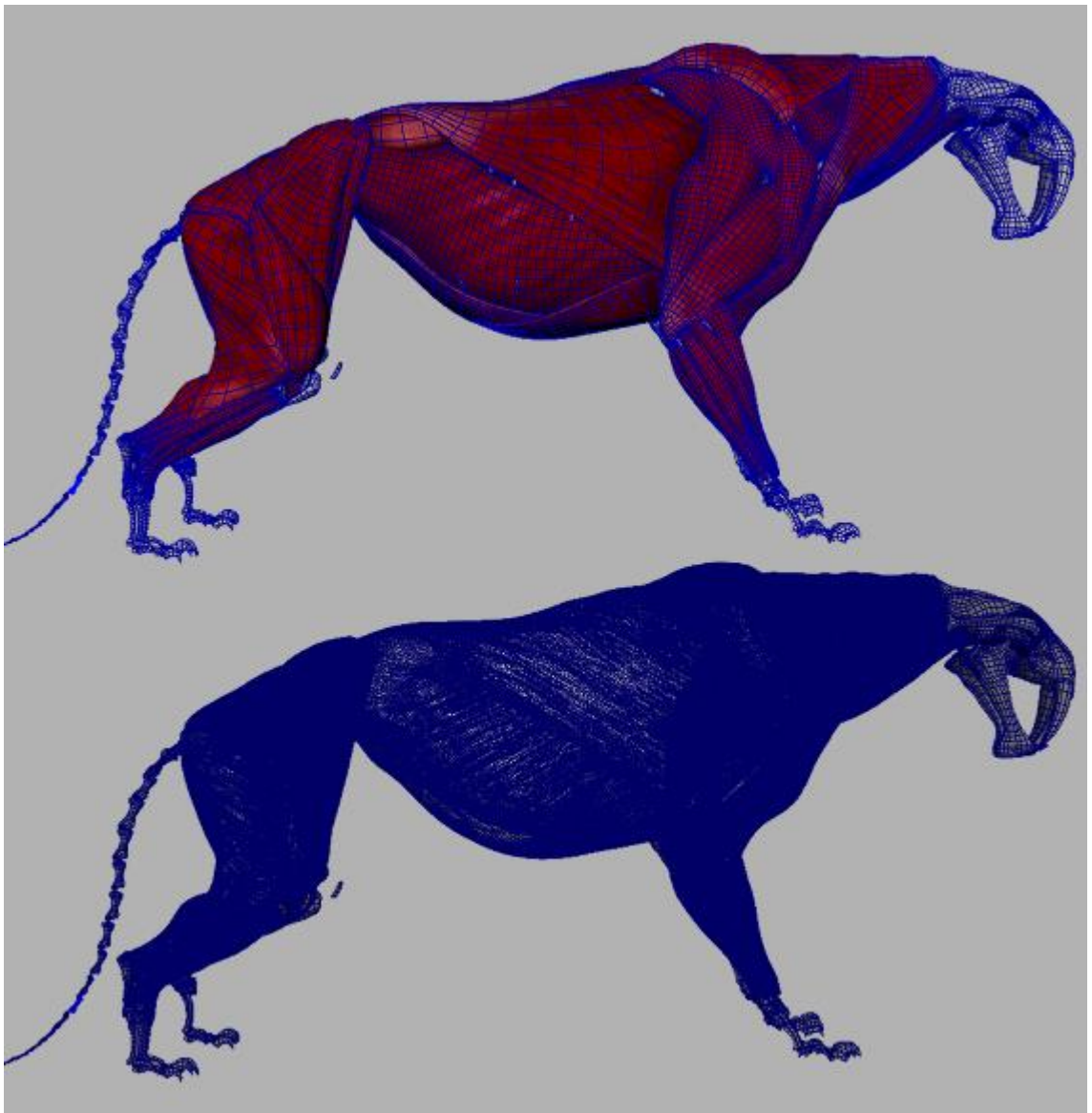
Kuva 20. 3D malli tiikerin pinnallisista lihaksista, paino oikealla eturaajalla.

4.4 Optimointi

Lihasten ja luurangon mallinnuksen jälkeen ne tuodaan Zbrush:sta toiseen 3D-ohjelmaan (tässä tapauksessa Autodesk Maya), jossa ne optimoidaan rigausta ja animointia varten. Tässä tapauksessa luille ja lihaksille rakennetaan uusi topologia eli polygoneista koostuva 3D-verkko, joka tulee olemaan vähemmän tiheä ja kevyempi laskea kuin alkuperäinen malli (kuva 21). Tässä työvaiheessa voi testata eri tekniikoita objektien optimoimiseen, kuten automaattista “remesh” työkalua tai muita automatisoituja tekniikoita. Monet automatisoidut työkalut tuottavat keskivertoisen ja joskus hyvän tuloksen staattisille objekteille, mutta animoituvien hahmojen kannalta tärkeät “edgeloopit” ja tasainen topologia eivät toteudu hyvin tai ollenkaan.

Eri kokeilujen jälkeen havainto oli, että käsintehty uusi polygoniverkko (kuva 21) antoi parhaan mahdollisen tuloksen ja suhteellisen lyhyessä ajassa. Käyttäen Mayan omaa quad draw -työkalua, polygoniverkko voidaan rakentaa yksi polygoni

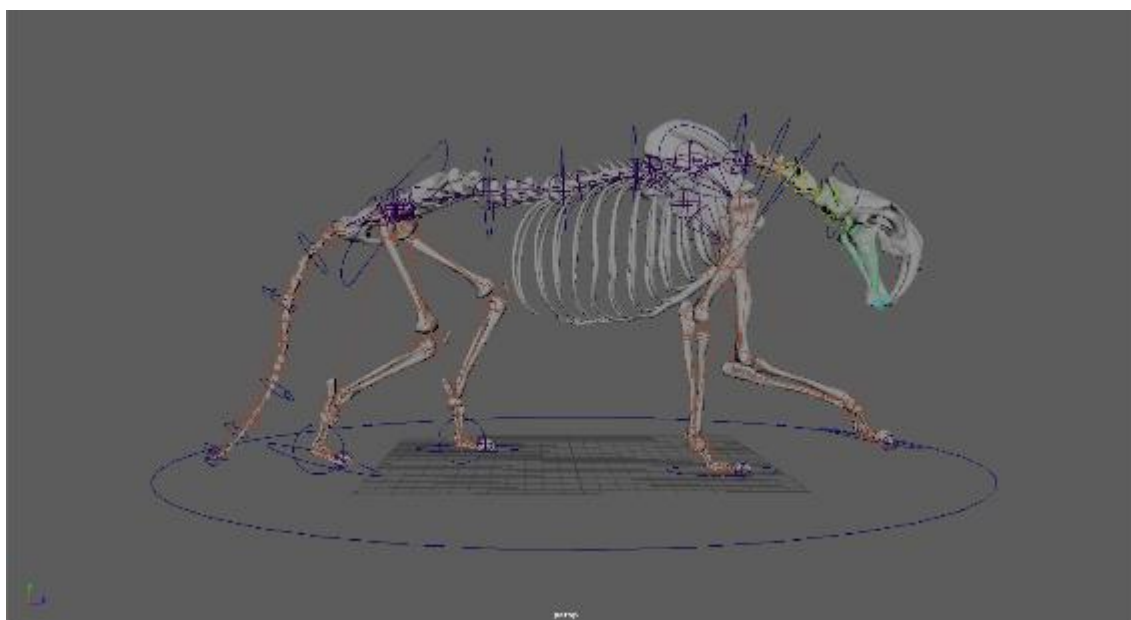
kerrallaan ja näin saavuttaa erittäin tarkka ja haluttu topologia, joka mahdollistaa seuraavien työvaiheiden onnistumisen. Hyvä topologia auttaa mallia deformatumaan paremmin, helpottaa rigin rakentajaa mallin käsittelyssä ja animaattoria saamaan malli haluttuihin asentoihin. Myös teksturointia varten luotavien UV-karttojen kannalta hyvä topologia on erityisen tärkeää. Tasainen verkko auttaa teksturointi ohjelmissa käytettäviä tekniikoita käyttäytymään paremmin ja ennalta arvattavammin etenkin, jos käytetään proseduraalisia teksturointimenetelmiä, kuten esimerkiksi smart -materiaaleja Substance Painter:ssa.



Kuva 21 Ylhäällä optimoitu polygoniverkko (27 059 polygonia) verrattuna alkuperäiseen malliin (6 milj.). Ylempi malli toteutettu Maya:n quad draw työkalua käyttäen.

4.5 Rigi

Optimoidun luurangon ja lihaksiston jälkeen on seuraavaksi vuorossa rigin, eli hahmoa tai sen eri osia liikuttavan “luurangon” luominen. Ilman hyvää rigiä uskottavan animaation ja deformatumisen edellytyksen ovat heikot. Rigi kontrolloi tapaa ja kykyä animoida ja posettaa hahmo eri asentoihin.



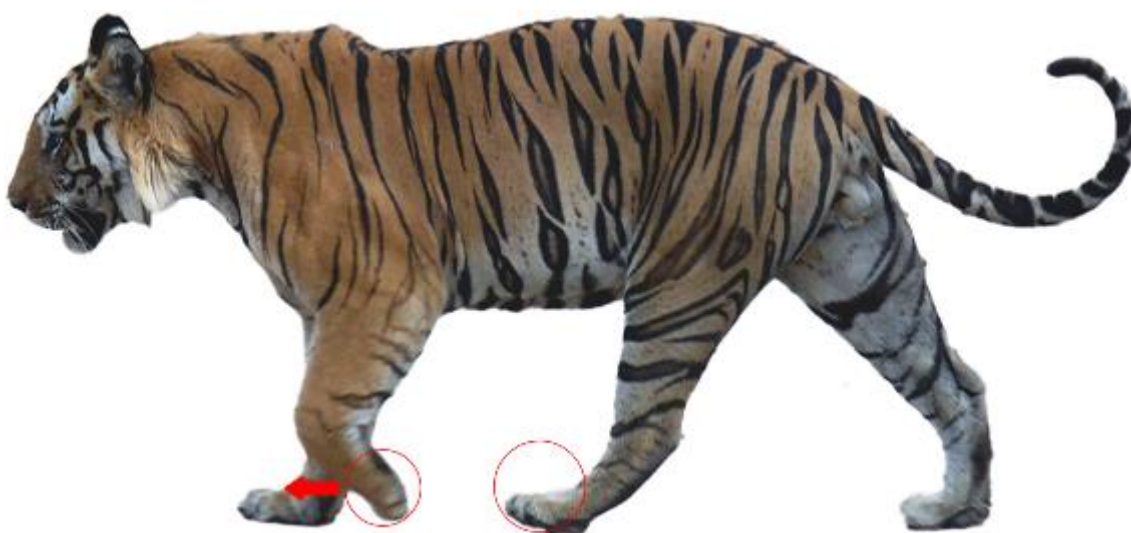
Kuva 22. Luurankoa liikuttava rigi.

4.6 Animaatio

Vaikka aikaisemmissa työvaiheissa käsitellyt ja toteutetut elementit lihaksisto ja luusto olisi toteutettu lähes täydellistä realismia hipoen ja malli olisi optimoitu viimeistä polygonia myöten, koko illuusio realistisesta hahmosta kaatuu ilman realistista animaatiota. Liike on orgaanisille asioille ja näihin vaikuttaville voimille avaintekijä, kun tarkastellaan niiden uskottavuutta ja kykyä luoda illuusio oikean maailman vastineista. Mikä murtaa monen elokuvan tai videopelivälikohtauksen taian aidosta ja uskottavasta maailmasta on epäuskottava liike. Oli liike eläimen

juoksua, lentoa, vesimassojen vyörymistä tai auton pysähtymisestä, ihmisen kyky havainnoida ja poimia poikkeavia elementtejä alitajuntaisesti on erittäin tarkka. Niinpä lähestyttäessä nelijalkaisen hahmon animointia etenkin, kun sen tavoitteena on kuvata niin tunnistettavaa asiaa kuin tiikeri täytyy liikkeenkin olla uskottavasti tehty. Kyseisissä esimerkeissä käsitellään tiikerille luotua rentoa kävely animaatiota, mutta monet lainalaisuudet pätevät myös muihin animaatioisykleihin.

Tiikeri on koostaan ja suuresta lihasmassastaan huolimatta erittäin ketterä ja notkea eläin. Se kykenee nopeisiin kiihdytyksiin, pitkiin loikkiin, vaanimaan matalana ruohikossa, uimaan voimakkaissa virtauksissa ja jopa kiipeämään korkeisiin latvustoihin. Vaikka se omaa paksun ja suhteellisen painavan selkärangan, mahdollistaa sen fysiologia ja anatomiset rakenteet suuriakin taivutuksia ja venymisiä. Nelijalkaisena eläimenä sen liike tapahtuu pitkälti ns. kolmipiste kävelynä, eli missä yksi raaja on tekemässä etenevää liikettä muiden kolmen pysyessä maassa tukien ja kannatellen loppua kehonpainoa (kuva 23). Molemmin puolin toistuu myös rytmi, jossa takaraaja korvaa saman puoleisen eturaajan painonsiirrossa. Sen pitkä häntä toimii eri liikkeissä tasapainottavana elementtinä ja näin pääosin vain seuraa muuta liikettä tasaisella maalla toteutetussa kävelysyklissä.



Kuva 23. Tiikerin kävelyssä tapahtuva painonsiirto. Takaraaja siirtynyt korvaamaan samanpuoleisen eturaajan, sen ollessa ilmassa ja edeten.

Animoitaessa aiempien työvaiheiden etenkin optimoinnin ja rigauksen merkitys korostuu. Hahmon avainasentoihin saaminen ja luonnollisten liikekaarien ja tasujen koukistusten saavuttamiseksi täytyy ensiksi luuranko olla oikeaan mittasuhteeseen mallinnettu. Väärän mittaiset luut tekevät mahdottomaksi luonnollisen ja realistisen liikkeen vaikuttaen muun vartalon toimintaan. Esimerkiksi liian pitkät takajalat puskevat lantiota liian ylös eläimen suoristaessa jalkaansa tai vaihtoehdoisesti se joutuu asettamaan jalkansa liian lähelle etuvartaloa kompensoidakseen tätä virhesuhdetta. Hyvä topologia auttaa skeneä toimimaan tasaisesti ja, jos kyseessä on orgaaninen ja deformoituva malli topologian merkitys korostuu entisestään sen vaikuttaessa mallin muodonmuutoksiin. Hyvä rigi puolestaan antaa mahdollisuudet kontrolloida mallia ja liikuttaa sitä eri asentoihin ilman, että syntyy luonnottomia liikeratoja tai mallin rikkoutumisia.

Animoinnin aikana referenssien käyttö on äärimmäisen tärkeää, sillä nelijalkaisten kävelyssä on paljon eroja ja liikkeen rytmiiä ja askellusta on hyvin haastavaa vain kuvitella. Aiemmin mainitut luiset kiintopisteet toimivat animoitaessa erinomaisina kohtina, joiden asentoihin ja liikkeeseen kiinnittää huomiota. Kenties merkittävin pinnallisten rakenteiden muodonmuutos ja luisten kiintopisteiden liikuminen tapahtuu lapaluissa ja niiden alueella. Lapaluut ajavat eturaajojen liikettä kohoten tiikerin varatessa painoa sille puolelle toisen puolen lapaluun laskeutuessa sen ojentaessaan vastakkaista raajaa ottamaan seuraavaa askelta. Tämä lapaluiden liike on nähtävissä kaikilla nelijalkaisilla, mutta on hyvin voimakas kissaeläimillä (kuva 8). Toinen liikkuva kiintopiste löytyy lantiosta, joka myötäilee ja tasapainottaa etuvartalossa tapahtuvia muutoksia. Riippuen yksilön iästä, ruumiinrakenteesta ja mahdollisista poikkeavista tekijöistä, kuten vammat ja epämuodostumat lantio kävelyn aikana kohoaa ja laskeutuu rytmikkäästi takajalkojen työntyessä sen alle ja taakse. Takajalat ovat kiinnittyneet lantioon ja niistä saatava työntövoima kulkeutuu sen kautta muuhun vartaloon, pakottaen sen nousemaan raajan ohittaessa sen massan keskipisteen (SD Animation Reference, 2021).

Animaation ollessa valmis skenessä tulisi löytyä hyvän topologian ja realistisen animaation omaava luuranko. Seuraava askel on tuoda animaatiota seuraava

luuranko alembic cachena uuteen Maya skeneen ja aloittaa työskentely Ziva:lla lihasten ja luurangon yhdistämiseksi.

5 Simulointi Ziva VFX

5.1 Yleiskatsaus Zivaan

Ziva Dynamics on 2015 perustettu yritys, jonka pääasiallinen tuote on Ziva VFX-lisäohjelma Autodesk Mayaan. Ziva kehitettiin alan tarpeisiin helpottamaan ja luomaan uskottavampia lihasten ja muun 3D-geometrian deformaatiota. Pohjatyö ennen simuloinnin aloittamista Ziva:lla on pitkälti täysin sama kuin valmisteltaessa mitä tahansa orgaanista 3D-mallia animointia varten. Puhtaan topologian ja toimivan rigin lisäksi erityisen tärkeää on hyvä ja oikeanlainen nimeäminen luiden, lihasten ja simulaatiota rakentaessa syntyvien nodejen välillä. Mallintaessa on tärkeä myös huomioida anatomiset rakenteet tarkkaan ja välttää 3D-meshien läpivuotoa, sillä tämä voi aiheuttaa suuria ongelmia yksittäisten lihasten toiminnassa ja käyttäytymisessä simulaation aikana. Aikaisemmin mainittu avainedelilytys realistiselle ja uskottavalle simulaatiolle on realistinen animaatiocykli.

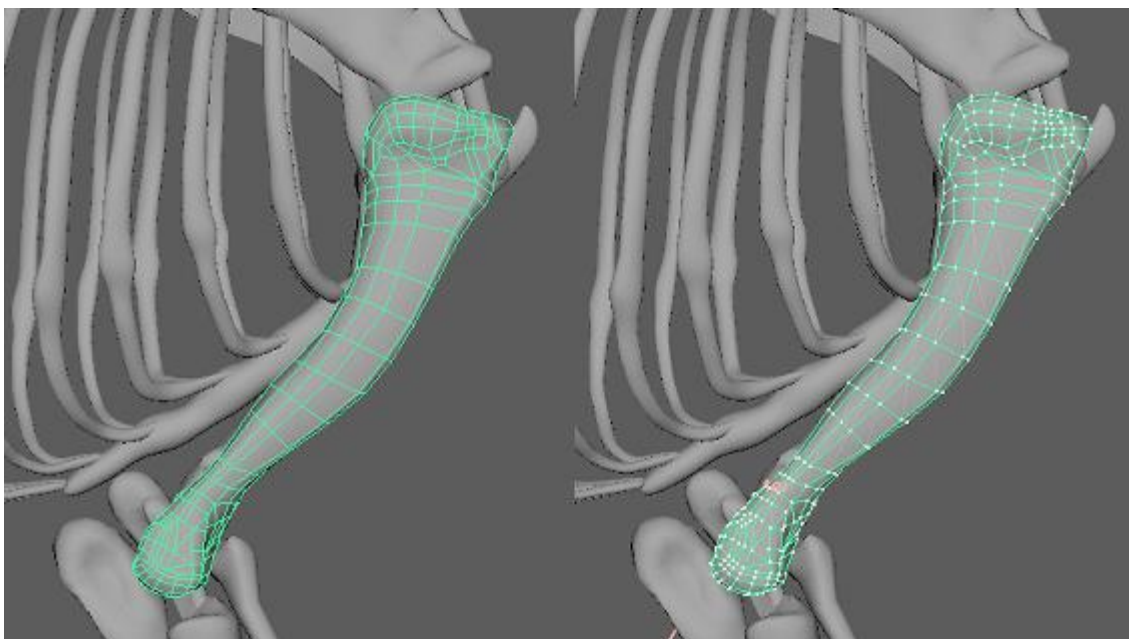
5.2 Luurangon ja animaation yhdistys

Simulaation rakentaminen lähtee liikkeelle tuomalla neutraalissa asennossa oleva luuranko ja sitä ympäröivät halutut pinnalliset lihakset Maya skeneen. Esimerkissä nämä on tuotu FBX formaatissa ja ohjelmalle ominaisesti poistettu historia, jäädytetty skaala ja transformaatiot. Aikaisemmin mainittu nimeämisjärjestelmä on myös tarkastettu, jotta se seuraa tiettyä nimeämiskaavaa. Luurangon ollessa paikalla ja oikeassa asennossa, tuodaan ekstra luuranko toisesta skenestä, jossa se on animoitu. Tämä vaihe on tärkeä suorittaa alembic cachena, sillä Ziva VFX ei siedä liikaa eri konnektioita lihassysteemiä luodessa tai sen simulointia laskettaessa, joten on hyvä välttää oikean rigin tai vastaavien kytkentöjä sisältävien asioiden tuomisesta skeneen. Nämä "cache animoidut luut" kytetään skenessä löytyviin neutraaleihin luihin ja määrätään seuraamaan animoituja luuta yksinkertaisella blend shape -nodella. Animaatiota voi näin päivittää ja

parannella toisessa skenessä ja tuomalla uuden alembic cachin animaatio on mahdollista vaihtaa, jota simuloitu meshi seuraa. Blend Shape kytkennät on suoritettava jokaiselle animoitavalle luulle erikseen, mutta netistä on mahdollista ladata tätä helpottavia skriptejä tai lisäohjelmia. Huomioitavia asioita on vaihtaa animaation toistonopeus Ziva- skenessä vastaamaan skeneä, jossa animaatio alunperin on luotu.

Blend shape yhdistämisen jälkeen voi animoidut "driver luut" voi piilottaa näkyvistä ja luoda neutraaleille luille zBone nimiset nodet. Tämä node mahdollistaa kaikkea kontrolloivan zSolverin laskennan luille ja muiden tulevien kytkentänodejen luomisen ja oikeanlaisen käyttäytymisen. Kaikille luille ei ole tarvetta antaa zBone-nodea, jos niihin ei ole kiinnittymässä muita zSolverin laskemia asioita ja, jos luu ei ole lähellä lihasten pintaa missä se voisi vahingossa puskea lihasobjektien läpi.

Luiden oikeanlainen nimeäminen on erityisen tärkeää, jotta Ziva ymmärtää generoida oikeat kytkennät oikeisiin objekteihin yhdistettynä. Kaavan tulisi noudattaa seuraavanlaista nimeämistä, jossa vasen väärtinäluu on nimetty l_radius. Ensimmäisenä mainitaan puoli ja lopuksi kyseisen objektin nimi, jonka tulee olla uniikki kaikkiin muihin nimiin verrattuna.



Kuva 24. Kuvassa vasemmalle olkaluulle luodaan zBone node, joka näkyy verteksin värin muuttumisella.

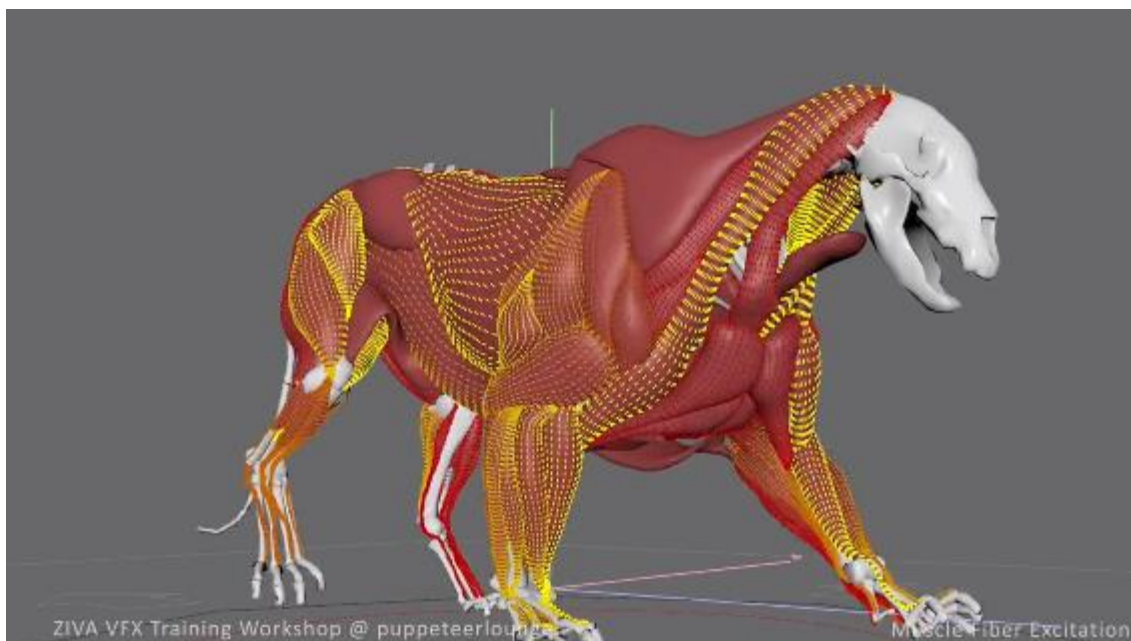
5.3 Lihasten yhdistäminen

Itse lihas systeemin rakentaminen aloitetaan tekemällä koko skeneä hallinnoiva zSolver. Tämä node laskee ja kontrolloi kaikkea Ziva VFX -pluginin mukana tulevia ominaisuuksia ja parametreja. Sen avulla on mahdollista muokata miten Ziva:lla simuloituvat objektit käyttäytyvät ja hienosäätää niiden eri ominaisuuksia, kuten esimerkiksi gravitaation vaikutusta tai kuinka monta iteraatiota eri lihasten läpivuodon havaitsemisessa käytetään. Lihasmassat on hyvä olla oikeilla paikoillaan, optimoitu ja oikeassa mittasuhteessa ennen varsinaisten lihasten kytkösten luomista, sillä muutokset meshiin tai niiden transformaatioihin vaativat kytkösten tekemisen uudelleen. Esimerkiksi ojentajalihaksen yksi kolmesta päästä pureutuu olkapään massan sisään (kuva 7.) ja aiheuttaa ongelmia simuloinnin aikana. Tämä ongelma tulisi ratkaista ennen kummankaan objektin kytkösten tekemistä.

Lihakset kytketään simulaatiota varten pitkälti miten ne anatomisesti yhdistyvät eläimessä, joko luihin ja toisiin lihaksiin. Lihaksille täytyy antaa yksitellen zTissue node, jonka säädettävillä parametreilla mahdollistetaan lihaksen realistinen käyttäytyminen. Lihas on tämän jälkeen käytännössä valmis simuloitavaksi, mutta tipuu tässä vaiheessa zSolverin hallinnoiman gravitaation vuoksi vain suoraan

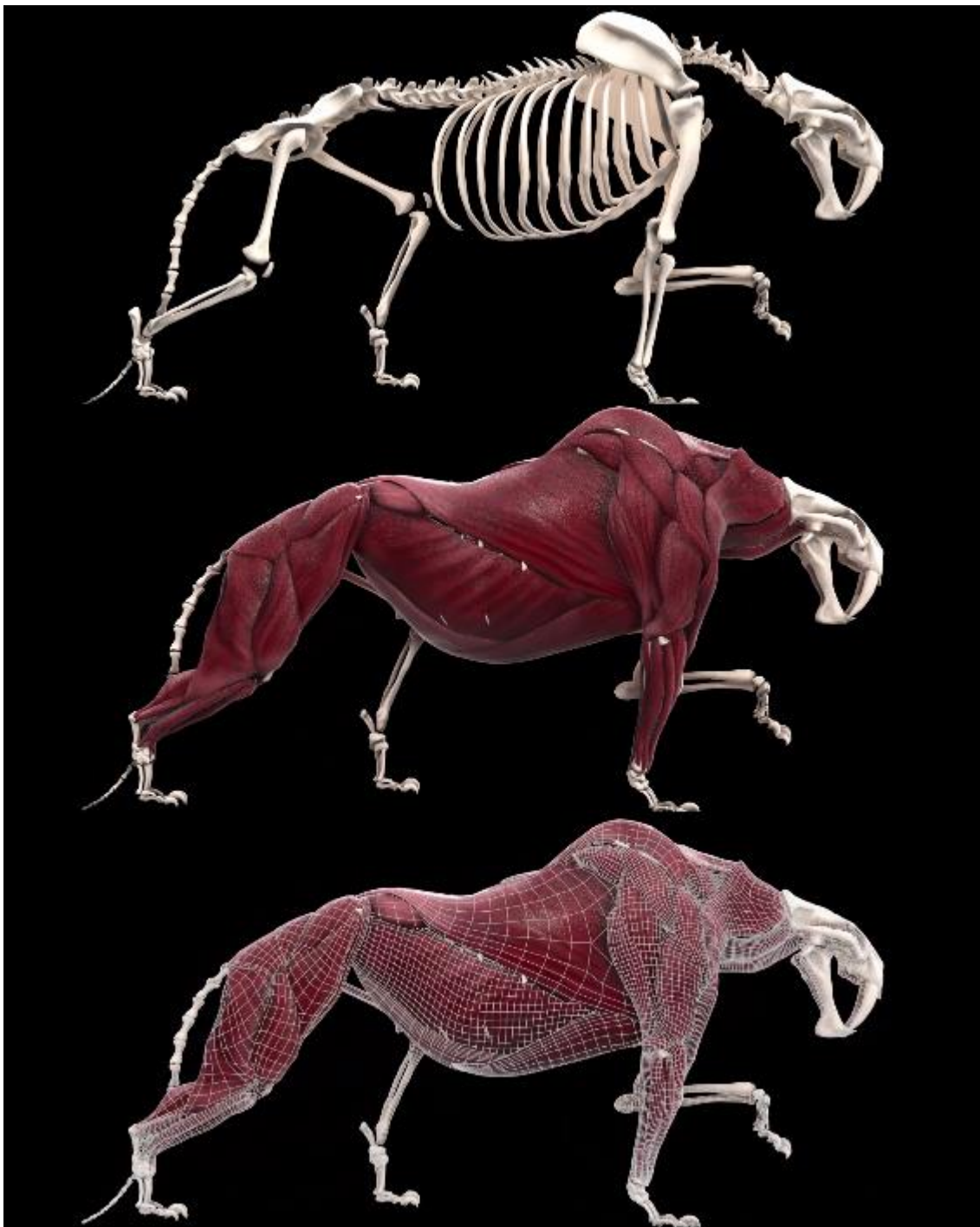
alaspäin. Lihaksille täytyy verteksimaalata niiden kiinnitys- ja päätepisteet, referoiden vahvasti eläimen oikeaa anatomiaa. Esimerkiksi hauislihaksen yläpäästä maalataan vertexejä kiinnittymään lapaluun etuosaan ja alapäästä varttinäluuhun. Kiinnityspisteet voivat olla lihas-luu kytkös, tai joissain tapauksissa useamman lihaksen välisiä “liukuvia” kytköksiä. Tässä vaiheessa lihas alkaa reagoida luurangon liikkeeseen heiluen mukana velttona massana.

Seuraavaksi lihakselle luodaan muscle fiber-node, joka antaa vielä tarkemmin, spesifisti lihaksille ominaisia attribuutteja ja auttaa zSolveria laskemaan niitä. Nodessa voi mm. säätää lihaksen jäykkyyttä ja kaikista tärkeimpänä, sitä milloin liikeradan aikana lihaksen tulisi olla jännittynyt tai rentoutunut. Tätä varten lihakselle luodaan nurbs-käyrä, jonka pituuden vaihdokset kertovat zSolverille milloin lihaksen tulisi aktivoitua ja kuinka voimakkaasti. Näiden lihaksille luotujen nodejen ja zSolverin parametreja säätämällä voidaan alkaa muokata ja hienosäätää simulointia. Simulaatio saadaan laskettua toistamalla animaatio Mayan aikajanaalla.



Kuva 25. Kuvassa keltaisella näkyvät verteksit osoittavat lihaksen aktivoitumista ja voimakkuutta.

Lopullinen simulaatio vaatii useita iteraatioita ja hienosäätämistä edellä mainittujen nodejen kanssa, sekä itse zSolver-noden globaalien parametrien muokkaamista. Huomioitavaa on myös, että simuloitua malli on oikeassa skaalassa, sillä mallin ollessa liian pieni simulaation laskenta ei tuota realistisesti käyttäytyviä massoja.



Kuva 26. Luut ja sen päällä simuloituvat pinnalliset lihakset.

6 Jatkoa

Tyydyttävän simulaation saavuttamisen jälkeen seuraava askel olisi luoda rasvakerros eläimelle. Tätä geometriaa ajamaan tuotaisiin aikaisemmin luotu ja simuloitu lihaksisto alembic cachena rasvakerroksen alle ja toistettaisiin aikaisemmat työvaiheet Zivalla pienin muutoksin. Rasvakerrosta seuraisi iho ja sen geometria toteutettaisiin aiemmin kuvatulla tavalla. Lopuksi luotaisiin turkki käyttäen joko Mayan omaa Xgen-systeemiä tai käyttäen mitä tahansa 3D-ohjelmaa. Tätä varten projekti tulisi aina siirtää ohjelmien tai skenejen välillä käyttäen alembic cacheja. Lopullisella mallilla tulisi siis olla animoitu luuranko, luurangon animaatiota seuraavat lihakset, lihaksia seuraava rasvakerros, rasvakerrosta ja lihaksia seuraava iho ja lopuksi ihoon upotettu karvapeite.



Kuva 27. Lihassimulaatiota seuraavat työvaiheet: rasvakerros ja nahka sekä karvapeite.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä nisäkkäiden, erityisesti tiikerin anatomiaan, fysiologiaan ja luoda Maya 3D-ohjelmassa realistisesti massan ja muotonsa säilyttävä lihassimulaatio hyödyntäen Ziva VFX -lisäohjelmaa. Käytin tutkielmassa apuna kuvattua videomateriaalia ja kuvia suurista kissaeläimistä sekä lääketieteellisiä kuvituksia. Kävin läpi kuvasarjoissa mitä missäkin vaiheessa tapahtuu. Käsittelin aluksi yleisesti nisäkkäiden anatomista rakennetta ennen sukeltamista nelijalkaisten ja tarkemmin tiikerin fysiologiaan. Jaoin anatomian etu-, keski- ja takavartaloon, sekä yleisiin koko eläimen liikkeisiin vaikuttaviin tekijöihin. Kävin läpi 3D-mallin luonnin ja tärkeimpiä huomioitavia seikkoja simulaatiota valmisteltaessa.

Projektin aloittaminen kävi suhteellisen vaivattomasti tuotantoputken ollessa jo entuudestaan tuttu. Ensimmäinen askel oli referenssimateriaalin kerääminen, minkä jälkeen tiikerin mallintaminen aloitettiin veistämällä luuranko ja pinnalliset lihakset Zbrush-ohjelmassa. Prosessin aikana suuria ongelmia ei ilmentynyt, mutta pieniä korjailuja täytyi suorittaa myöhempien työvaiheiden aikana. Seuraava askel, jossa malli vietiin uuteen 3D-ohjelmaan ei myöskään sisältänyt suuresti uuden oppimista. Optimoinnin jälkeen alkoi rigin rakentaminen, jossa tyytyen yksinkertaisempaan, mutta toimivaan rigiin saavutettiin ajallisia voittoja. Animaatio oli simulaation rakentamista lukuun ottamatta, haastavin ja aikaa vievin osio. Tietäen realistisen animaation merkityksen oli tavoitteet ja paine hyvälle animaatiolle korkealla, mutta aikataulussa pysyminen vaati kompromissien tekoja. Animaatio jäi yhdeksi ainoista vaiheista, jota mahdollisella lisäajalla olisi tärkeä hioa. Viimeisenä, mutta myöhemmin haastellisimmaksi todettuna työvaiheena oli lihassimulaation rakentaminen.

Lihassimulaatio alkoi Ziva-ohjelman opetusmateriaalin löytämisellä, jossa oli ajoittain suuriakin ongelmia ohjelman ja aiheen pienen käyttäjäkunnan takia. Apua löytyi eri videopalveluista ja Ziva Dynamics:n omilta foorumeilta, jotka olivat onneksi hyvin aktiiviset. Lihassyteemin rakentaminen oli haastavaa, mutta

antoi erittäin hyvän käsityksen eläimien anatomiasta, sen mallintamisesta, optimoinnista ja animaation tärkeydestä lihasten toimintaa simuloidessa. Vaikka välillä prosessi saattoi tuntua pienten yksityiskohtien hiomiselta, jotka eivät välttämättä edes olisi havaittavissa suurimmalle osalle katsojista, oli koko projektin läpikäyminen hyvää harjoitusta. Etenkin animaattoreille ja mallintajille koen tämän kaltaisen projektin toteuttamisen (tai ainakin osan siitä) antavan huomattavasti enemmän ymmärrystä hyvistä alan ja oman erikoistumisalueen käytännöistä. Esimerkiksi jo veistovaiheessa tehtävät päätökset on hyvä suorittaa tarkkuudella ja ajatuksella, säästääkseen aikaa ja ongelmia tulevaisuudessa. Luiden ja lihasten yhteistyö ja toimintamekanismien ymmärtäminen on erityisen hyödyllistä animaattoreille, varsinkin nelijalkaisten ja kuvitteellisten otusten kanssa. Se, että elokuva- ja videopelitalous ovat kovaa vauhtia siirtymässä ja osittain jo siirtyneet tämän kaltaisten mallien ja simulaatioiden hyödyntämiseen eri projekteissa, osoittaa jatkuvasti yhä pienempien yksityiskohtien ja realismin vaatimisen olevan uusi standardi viihdeteollisuudessa.

Työn haastavuutta lisäsi asiallisen ja informatiivisesti pätevän lähdemateriaalin löytäminen. Videomateriaalia on vuosien aikana kertynyt vapaaseen käyttöön hyvin runsaasti, mutta laadultaan suuri osa jättää parantamisen varaa. Luontodokumentit toimivat erinomaisina lähteinä, mutta niistä oikeiden kuvakulmien ja tapahtumien löytäminen vaati aikaa ja vaivaa. Eläimen anatomiaan liittyviä artikkeleita on suuri määrä, mutta tarkkuudeltaan ja aiheeltaan ne jäävät pintapuoliksi ja enemmän yleistietoa jakaviksi lähteiksi. Tarkemmin anatomiaan perehdyttäviä oppaita oli saatavilla Helsingin Yliopiston luonnontieteellisen puolen kirjastosta ja Elliot Goldfingerin anatomiakirja antoi parhaan käsityksen yksittäisten lihasten toiminnasta. Zivaan liittyvät opetus- ja infovideot olivat vanhentuneita ja lyhyitä esittelyvideoita, suurin osa avusta löytyi Ziva Dynamics foorumeilta.

Lähteet

Bammes, Gottfried 1994, The artist guide to animal anatomy - An illustrated reference to drawing animals. UK: Transedition Books a division of Andromeda Oxford Limited.

Blaise, Aaron 2015. How to draw animals course: Big cats. <https://creatureart-teacher.com/product/how-to-draw-animals-course-big-cats/>

Goldfinger, Eliot 2004. Animal anatomy for artists - The elements of form. New York: Oxford University Press, Inc.

Puppeteer Lounge, 2018 (Katsottu 12.12.2021)

https://vimeo.com/235303165?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=12132249

SeaWorld,[Verkkodokumentti] Luettavissa: <<https://seaworld.org/animals/all-about/tiger/characteristics/>> (Luettu 1.12 2021).

SD_Animation_Reference, 2021 (Katsottu 1.1.2022)

<https://www.youtube.com/watch?v=MIBAT6BGE6U>

Szunyogy, Andras, György, Feher 2010, Anatomian piirustusopas eläin, Budapest: h.f.ullmann is an imprint of Tandem Verlag GmbHAva

Tigers-world.com. 2014. *Tiger Facts and Information*. [Verkkodokumentti] Luettavissa: <<https://www.tigers-world.com/tiger-anatomy/>> (Luettu 11.2. 2022).

Wilsom, Julia, Cat-World. 2022. *Bones of the Cat-All About The Cat's Skeleton - Cat-World*. [Verkkodokumentti] Luettavissa: <<https://cat-world.com/bones-of-the-cat/>> (Luettu 11.2.2022).

Wund, M. ja P. Myers 2005, "Mammalia" (verkkodokumentti) Luettavissa: <https://animaldiversity.org/site/accounts/information/Mammalia.html> (Luettu 30.12.2021)

Ziva Dynamics, (luettu 5.4.2022)

<https://docs.zivadynamics.com/vfx/index.htm>

Zug, George R. "locomotion". *Encyclopedia Britannica*, (Verkkodokumentti) Luettavissa: <https://www.britannica.com/topic/locomotion>. (Luettu 2.2 2022).

Kuvalähteet

Kuva 1.

Vasen:

<https://www.agriland.ie/farming-news/cows-ie-sees-100-clearance-at-unique-dairy-heifer-sale/>

Oikea:

<https://texaslife.com/outdoors/a-tiger-was-on-the-loose-recently-in-san-antonio/>

Kuva 2. <http://figuredrawingdotinfo.blogspot.com/2016/>

Kuva 3. Ellenberg, W, Dittrich, H, Baum; H 1949. An Atlas of Animal Anatomy for Artists.

Kuva 8. Nature Footage, 2019.

<https://www.youtube.com/watch?v=Ld9SRe-fQ50>

Kuva 12.

<https://thedestinyformula.com/wp-content/uploads/2017/03/Ox.jpg>

Thomas, 2018.

<https://walkthewilderness.net/wp-content/uploads/2018/06/Tiger-in-Ranthambor3.jpg>

Kuva 18. Goldfinger, Eliot, 2004. Animal anatomy for artists.

Kuva 27. Zeke the lion, <https://zivadynamics.com/ziva-character>

