

Juhani Junnila

VIRTUAALISET 3D-OPPIMISYMPÄRISTÖT ANATOMIAN OPETUKSESSA

Syventävien opintojen kirjallinen työ
Kevätlukukausi 2017

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

Juhani Junnila

VIRTUAALISET 3D-OPPIMISYMPÄRISTÖT ANATOMIAN OPETUKSESSA

Biolääketieteen laitos / Anatomia

Kevätlukukausi 2017

Vastuhenkilö: Niina Lopenen, Juha Peltonen

TURUN YLIOPISTO
Lääketieteellinen tiedekunta

JUNNILA, JUHANI: Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt anatomian opetuksessa

Syventävien opintojen kirjallinen työ, 39 s.
Anatomia
Tammikuu 2017

Viime vuosina anatomian oppimisen tueksi on kehitetty virtuaalisia 3D-oppimisympäristöjä. Niiden avulla käyttäjä voi vapaasti tutkia ja muokata anatomista 3D-mallia esimerkiksi tietokoneella tai älylaitteella. Nämä uudet työkalut ovat nousseet nopeasti perinteisten opetusmenetelmien kuten anatomisten piirrosten ja anatomisen ruumiinavauksen rinnalle. Tämän työn tarkoituksena on sekä esitellä näitä työkaluja että arvioida niiden hyödyllisyyttä anatomian opetuksessa.

Virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen hyödyllisyyttä arvioin tekemällä aiheesta kirjallisuuskatsauksen. Keskeisenä lähteenä käytin 2015 joulukuussa aiheesta julkaistua meta-analyysia. Kirjallisuuskatsauksen lisäksi keräsin ja analysoin työhön palautetta Turun yliopiston lääketieteen opiskelijoilta virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen käytöstä anatomian kursseilla. Vastauksia sain 47:ltä opiskelijalta.

Kirjallisuuskatsauksessa totesin, että tieteellinen kirjallisuus tukee virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen hyödyntämistä anatomisessa opetuksessa. Ne on todettu tehokkaiksi sekä rakenteiden nimien että erityisesti monimutkaisemman, avaruudellisen tiedon omaksumisessa. Lisäksi opiskelijat käyttävät niitä mielellään. Vastaavat löydökset totesin myös opiskelijapalautteessamme.

Johtopäätöksenä on, että virtuaalisia 3D-oppimisympäristöjä tulisi hyödyntää anatomian opetuksessa. Työn lopussa pohdin, kuinka tämä voitaisiin toteuttaa käytännössä. Hahmottelen myös sitä, millaista anatomian opetus voisi tulevaisuudessa olla teknologian kehittyessä edelleen.

Avainsanat: Anatomia, tietokoneavusteinen opetus, 3D-mallinnus

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
1.1 Anatomian opiskelu historiassa ja nykypäivänä	1
1.2 Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt	2
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	3
2.1 Tutkimuksen haasteita	3
2.2 Meta-analyysi	4
2.3 Yhteenveto	5
3 3D REAL-TIME HUMAN ANATOMY, PRIMAL PICTURES	6
3.1 Laitteistovaatimukset ja käyttö	6
3.2 Työkalut	7
3.3 Anatominen tarkkuus	10
3.4 Saatavuus ja yhteenveto	15
4 COMPLETE ANATOMY, 3D4MEDICAL	16
4.1 Työkalut	17
4.2 Luennot, nauhoitukset, tietovisat ja ryhmät	24
4.3 Anatominen tarkkuus	25
4.4 Yhteenveto	26
5 TURUN YLIOPISTON LÄÄKETIETEEN OPISKELIJOIDEN KOKEMUKSIA VIRTUAALISISTA 3D-OPPIMISYMPÄRISTÖISTÄ	27
6 POHDINTA	28
6.1 Subjektiiivinen arvio tämänhetkisistä virtuaalisista 3D-oppimisympäristöistä	28
6.2 Kuinka virtuaalisia 3D-oppimisympäristöjä tulisi hyödyntää opetuksessa?	30
6.3 Miltä anatomian opetuksen tulevaisuus voisi näyttää?	35
6.4 Yhteenveto	37
LÄHTEET	37

1 Johdanto

Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt ovat viime vuosina kasvattaneet suosiotaan anatomian opiskelussa ja opetuksessa. Nämä oppimisympäristöt ovat pääasiassa kaupallisten toimijoiden kehittämiä tuotteita, joita käytetään tietokoneella tai älylaitteella ja joissa anatomia esitetään kolmiulotteisessa ja interaktiivisessa muodossa. Tämän työn tarkoituksena on sekä esitellä näitä työkaluja että arvioida niiden hyödyllisyyttä kirjallisuuden ja lääketieteen opiskelijoiden kokemusten perusteella. Työn näkökulma on erityisesti lääkärien peruskoulutuksessa, mutta huomiot ovat sovellettavissa myös muille anatomian tuntemuksesta hyötyville.

Tämä projektityö sai alkunsa vuonna 2012, kun professori Juha Peltonen mainitsi anatomisen ruumiinavauksen luennolla, että aiheesta voisi tehdä syventävien opintojen projektityön. Koin aiheen mielekkääksi, sillä olin opintojen alusta asti ollut kiinnostunut virtuaalisista 3D-oppimisympäristöistä anatomian opetuksessa. Ilmaisinkin kiinnostukseni aiheetta kohtaan ja laadin tutkimussuunnitelman. Työskentelyni koostui virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen käytöstä, vertailusta, opiskelijapalautteen keräämisestä, tieteelliseen kirjallisuuteen perehtymisestä sekä kirjallisen työn kirjoittamisesta. Projektityön ohessa olen ollut asian parissa aktiivinen tiedekunnassa esitellen kyseisiä työkaluja opetushenkilökunnalle sekä opiskelijoille. Lisäksi olen toiminut neuvonantajana Turun yliopiston kirjaston henkilökunnalle virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen hankintaprosessissa.

1.1 Anatomian opiskelu historiassa ja nykypäivänä

Ihmisen anatomian opetus on ollut keskeinen osa lääkärien koulutusta satojen vuosien ajan. Anatomian merkitys korostui erityisesti anestesiologian ja kirurgian kehittymisen myötä myöhään 1800-luvulla. Toimenpiteiden kehittymisen myötä anatomisella osaamisella alkoi olla yhä suurempi käytännöllinen merkitys lääkäreille. Perinteisesti keskeisiä anatomian opetusmenetelmiä ovat olleet luennot ja anatomiset ruumiinavaukset (dissektiot). Erityisesti dissektiot on nähty 1900-luvulla eräänlaisena lääketieteen opiskelijoiden initiaatoriittinä. (Shaffer 2004.)

Lääkäri tarvitsee anatomiaa lukuisissa erilaisissa työtehtävissä. Kirurgiassa pyritään usein palauttamaan ihmisen normaali anatomia, jonka tuntemus on siksi kaiken kirurgisen toiminnan edellytys. Anatomisen osaamisen hyödyt eivät rajoitu pelkästään kirurgiaan ja pientoimenpiteisiin, vaan sitä tarvitaan myös potilaan tutkimisessa, radiologisten kuvien

tulkinnassa, konsultoitaessa, lähetteen kirjoittamisessa tai silloin, kun potilaalle selitetään hoitotoimenpide tai jonkin sairauden synty (engl. patient education) (Turney 2007).

Viime aikoina lääketieteen opiskelijoiden anatomian osaamisen heikko taso on herättänyt huolta länsimaissa, erityisesti Euroopassa. Tutkijat tekivät Aberdeenin yliopistosairaalan erikoislääkäreille kyselytutkimuksen lääketieteen opiskelijoiden anatomian osaamista koskien. Suurin osa vastanneista koki sen olevan riittämätöntä lääkärintoimen turvalliseen harjoittamiseen (Waterston ja Stewart 2005). Myös vastavalmistuneet lääkärit Englannissa ovat itse arvioineet anatomian opetuksen olleen riittämätöntä (Fitzgerald ym. 2008).

Keskeisenä syynä tähän pidetään anatomian opetusmäärien vähenemistä, mikä taas johtuu prekliinisten opintojen paisumisesta, kun lääketieteen opintoihin yritetään mahduttaa yhä suurempi määrä uutta tietoa molekyylibiologiasta ja genetiikasta (General Medical Council 2009). Myös pätevien anatomian kouluttajien puute on nähty syynä (Sugand ym. 2010). Lisäksi monissa paikoissa ja juuri nyt (2016) ajankohtaisesti Suomessa koulutusmäärärahoja vähennetään. Tämä aiheuttaa anatomian opetuksessa haastavan tilanteen: hyvä osaamistaso tulisi saavuttaa yhä pienenevin ajallisin ja rahallisin resurssein. Haasteeseen tulee pystyä vastaamaan, sillä anatomian keskeisyyden takia sen heikko osaaminen vaarantaa viime kädessä potilasturvallisuuden (Moore ym. 2012).

1.2 Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt

Anatomisten piirrosten ja ruumiinavausten rinnalle on viime vuosina alettu kehittämään muitakin pedagogisia työkaluja. Tämän työn aiheena ovat virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt. Termi ei ole vakiintunut, vaan se on luotu tämän projektityön tarkoituksia varten. Sanalla 'virtuaalinen' rajaan tutkimuskohteeni koskemaan tietokoneella tai älylaitteella käytettäviä sovelluksia. Kolmiulotteisuus eli 3D viittaa siihen, että anatomia esitetään näissä sovelluksissa kahden ulottuvuuden (esimerkiksi anatomiset piirrookset) sijaan kolmessa. Lisäksi yhdistän sen sanaan oppimisympäristö, sillä tutkin nimenomaan pedagogisia sovelluksia, jotka on luotu opiskelua ja opettamista varten. Näin ollen olen rajannut pois esimerkiksi konkreettiset, fyysiset 3D-mallit (poissulkevana kriteerinä virtuaalisuus), opetusvideot (poissulkevana kriteerinä oppimisympäristö) sekä 2D-kuviin perustuvat virtuaaliset oppimisympäristöt (poissulkevana kriteerinä kolmiulotteisuus). Tarkoitukseen olisi voinut käyttää myös muita sopivia termejä, kuten interaktiivinen, anatominen ja visualisaatio, mutta käytännöllisyyden vuoksi olen jättänyt ne pois.

Parhaan käsityksen tutkimukseni kohteesta saa konkreettisen esimerkin avulla. Kehittyneissä virtuaalisissa 3D-oppimisympäristöissä ihmisen anatomista mallia voi tietokoneella tai älylaitteella vapaasti ja vaivattomasti liikutella, kiertää, lähentää sekä loitontaa ruudulla. Yksittäisiä rakenteita tai elinjärjestelmiä (luusto, verisuonet, lihaksisto, hermosto, imukudos) voi helposti lisätä tai poistaa näkymästä. Rakenteen nimen saa esiin klikkaamalla tai siirtämällä osoittimen sen kohdalle. Parhaissa sovelluksissa on lisäksi saatavilla myös esimerkiksi lihasten lähtö- ja kiinnityskohdat, hermotus sekä kliinistä lisätietoa. Rakenteiden toimintaa voidaan esittää 3D-animaatioiden avulla. Sovellukset tarjoavat valmiita kirjanmerkeiksi tallennettuja näkymiä helpottamaan esimerkiksi jonkin hermon kulun tai purentaelimistön hahmottamista. Parhaimmillaan sovellukset mahdollistavat ikään kuin virtuaalisen ruumiinavauksen, johon yhdistyy anatomian oppikirjan sisältämä kirjallinen informaatio. Monesti lisätoimintona on tietovisa, joilla voi testata tietojaan.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Tutkimuksen haasteita

Tutkimuksia virtuaalisista 3D-oppimisympäristöistä löytyy Pubmedista kohtalaisen paljon. Kovin tarkkaa ja järjestelmällistä hakua on vaikea suorittaa, sillä alan termistö ei ole lainkaan vakiintunutta. Hyvän termin löytäminen on hankalaa, sillä vaaroina ovat joko liian löyhät, epätarkat ja jopa harhaanjohtavat termit, kuten 'virtual reality', tai toisaalta tarkat, liiankin rajaavat ja epäkäytännöllisen pitkät termit, kuten 'three-dimensional anatomy mobile software application'. Käyttämällä mm. hakutermejä anatomy, 3D ja education sekä jäljittämällä lähdeviittauksia saavutin kuitenkin varsin laajan määrän kelvollisia, aihetta koskettavia tutkimuksia.

Aihepiirin tutkimuksen merkittävänä haasteena on pysyä ajan tasalla. Kuten kaikki teknologia myös 3D-oppimisympäristöt ovat kehittyneet ja kehittyvät edelleen kiihtyvällä vauhdilla. Näin ollen kaikkeen aiheesta tehtyyn tutkimukseen on suhtauduttava huomioiden, että tulokset eivät välttämättä ole yleistettävissä muutamaa vuotta kauemmas.

Yksi keskeinen haaste tällaisen teknologian tutkimuksessa on se, että anatomista osaamista ei ole selkeästi määritetty. Myöskään sen mittaamiseen ei ole olemassa mitään yleisesti hyväksyttyä standardia. Anatomista tietoa voidaan mitata hyvin erilaisilla tavoilla, esimerkiksi rakenteiden nimien tunnistaminen monivalintatestissä tai miniesseellä jonkin rakenteen toiminnasta. Miten osaamista testataan, on perusteltua kysyä, kertooko kyseinen

testi käytännön työssä hyödyllisestä anatomisesta osaamisesta. Lähes kaikissa tutkimuksissa oli erilaiset testausmenetelmät ja niiden kelvollisuuteen on tämän työn puitteissa mahdotonta ottaa kantaa. Ilman seurantatutkimuksia jää myöskin pimentoon, kuinka suuri osa anatomisesta osaamisesta säilyy työelämään saakka (Marks 2000).

2.2 Meta-analyysi

Keskeinen lähde tämän aihepiirin kannalta on Anatomical Sciences Education -lehdessä hiljattain julkaistu meta-analyysi (Yammine & Violato 2015). Siinä pyrittiin arvioimaan 3D-visualisaatioteknologioiden (3DVT) tehokkuutta anatomian opetuksessa ja opiskelussa sekä vertaamaan niitä muihin opetusmenetelmiin. Pääasialliset mitatut suureet olivat erot faktuaalisen tiedon (rakenteiden tunnistaminen ja nimeäminen) ja avaruudellisen tiedon (monimutkaisten anatomisten rakenteiden suhteet) testeissä standardoidulla keskihajonnalla (d) mitattuna. Toissijaisena suureena oli muiden muassa oppijoiden näkemys käytetyn menetelmän tehokkuudesta.

Analyysiin hyväksyttiin 36 tutkimusta, joihin otti osaa yhteensä 2226 opiskelijaa. 3DVT:lla saavutettiin parempi osaaminen sekä faktuaalisessa ($d = 0,30$, 95%:n luottamusväli: 0,02–0,62) että erityisesti avaruudellisessa tiedossa ($d = 0,50$, 95%:n luottamusväli: 0,20–0,80). Lisäksi opiskelijoiden käyttäjätyytyväisyys oli suurempi ($d = 0,28$, 95%:n luottamusväli = 0,12–0,44) ja he kokivat 3D-työkalut tehokkaammiksi kuin muut opiskelumenetelmät ($d = 0,28$, 95%:n luottamusväli = 0,14–0,43). Tuloksilla oli suuri sisäinen validiteetti, eli näyttö syy-seuraussuhteesta on vahva.

Meta-analyysissä huomioitiin myös avaruudellisten kykyjen, sukupuolen, videopelikokemuksen, aiemman anatomian tuntemuksen ja iän vaikutusta tuloksiin. Millään näistä ei huomattu olevan systemaattista vaikutusta tuloksiin.

On huomioitava, että Yamminen ja Violaton tutkimuskohteeseen (3DVT) hyväksyttiin kehittyneiden interaktiivisten sovellusten lisäksi esimerkiksi pelkkiä 3D-kuvia ja -animaatioita. Toisin sanoen tutkimuskohde ei ollut erityisen rajattu, vaan hyvin erilaisia 3D-teknologioita kelpuutettiin. Tässä meta-analyysin tutkimuskohde eroaa keskeisellä tavalla tämän projektityön kiinnostuksen kohteesta. Esimerkiksi 3D-animaatiosta puuttuu lukuisia mielestäni keskeisiä interaktiivisia toimintoja, joita esittelin antamassani esimerkissä virtuaalisesta 3D-oppimisympäristöstä (ks. johdantokappaleen loppu).

Toisekseen monet tutkimuksissa käytetyistä 3DVT:stä olivat arvioni mukaan hyvinkin alkeellisia. Tämä on ymmärrettävää, sillä työkalut olivat monesti varta vasten tutkimuskäyttöön rakennettuja. On vahvasti perusteltu oletus, että nykyisiä kaupallisten toimijoiden tuotteita on rakennettu satoja henkilötyövuosia enemmän ja että siksi ne myös onnistuvat tehtävässään merkittävästi paremmin. Lisäksi suuri osa tutkimuksista oli julkaistu ennen vuotta 2010 (Applen iPadin julkaisuvuosi), minkä jälkeen kehitys on ollut erityisen vauhdikasta.

Näiden seikkojen valossa meta-analyysi voidaan tulkita konseptin todennuksena (engl. proof of concept), joka osoittaa, että jo hyvin erilaiset, suhteellisen kehittymättömätkin 3D-teknologiat ovat varteenotettava vaihtoehto anatomian opiskelussa. Myös tutkijat itse huomauttavat, että 3DVT:n nopea kehitys voi edelleen muuttaa niiden koulutuksellista tehokkuutta. Tutkijat ehdottavat, että 3DVT:t voisivat olla mahdollinen ratkaisu riittämättömän anatomian opetuksen ongelmaan.

2.3 Yhteenveto

Tieteellinen kirjallisuus tukee virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen hyödyntämistä anatomisessa koulutuksessa. Ne on todettu tehokkaiksi sekä rakenteiden nimien opiskelussa että erityisesti monimutkaisemman, avaruudellisen tiedon omaksumisessa. Lisäksi opiskelijat käyttävät niitä mielellään.

Oletukseni on, että nykyiset kaupallisten toimijoiden luomat virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt (esimerkiksi Visible Body, 3D4Medicalin sovellukset ja Primal 3D Real-time Human Anatomy) ovat merkittävästi kehittyneempiä interaktiivisia työkaluja, jotka tuottaisivat edelleen parempia oppimistuloksia. Näitä esittelen seuraavassa kahdessa kappaleessa. Valitsin kaksi eri virtuaalista 3D-oppimisympäristöä eri vuosilta mahdollistaakseni uuden ja vanhan vertailun. Ensimmäinen on Primal Picturesin 3D Real-time Human Anatomy, josta käytin vuoden 2012 versiota. Vertailukohtana on 3D4Medicalin Complete Anatomy, jonka uusinta versiota käytin vuonna 2016. Se on tämän hetken sovelluksista uusin ja mielestäni kehittynein. Tämä tarjoaa kiinnostavan näkökulman siihen, kuinka virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt ovat kehittyneet neljän vuoden aikana.

3 3D Real-time Human Anatomy, Primal Pictures

Primal Pictures-yrityksen 3D Real-time Human Anatomy-ohjelmiston (jatkossa: Primal) lisenssi hankittiin Turun yliopiston lääketieteellisen kirjaston toimesta vuoden 2012 loppupuolella. Tuote on toistaiseksi lisensoitu kymmenelle samanaikaiselle käyttäjälle. Primal tarjoaa monipuolisen ja helppokäyttöisen virtuaalisen 3D-oppimisympäristön anatomian opiskelua ja opetusta varten. Primalin perustoiminnot on kuvattu johdantokappaleen lopussa olevassa esimerkissä. Käyn tässä kappaleessa läpi tarkemmin joitakin keskeisiä toimintoja. Tarkoitukseni ei ole esitellä työkalua läpikotaisin, vaan käsitellä esimerkin kautta mihin moderni virtuaalinen 3D-oppimisympäristö pystyy. Luon näin myös vertailukohdan seuraavassa kappaleessa esittelemälleni 3D4Medicalin sovellukselle.

3.1 Laitteistovaatimukset ja käyttö

Tuottajan ilmoittamat minimivaatimukset:

Käyttöjärjestelmät:	Microsoft® Windows XP, Vista, Windows 7 tai Windows 8, ja Mac (Intel) OS X 10.4 tai uudempi
Tuetut selaimet:	Internet Explorer 7+, Firefox, Google Chrome ja Safari.
Graafinen ympäristö:	DirectX 9.0c Windowsille tai OpenGL 2.0 Macille. Suositeltu miniminäytönohjain: GMA X3000.
Prosessointiteho:	2GHz, 2Gb RAM-muistia, 50MB vapaata kovalevytilaa
Näyttö:	1024x768 näyttö
Muut:	Unity Web Player-lisäosa tulee olla asennettuna.

Näitä minimivaatimuksia tulkiten Primal toimii sekä yliopiston että opiskelijoiden henkilökohtaisilla tietokoneilla ongelmitta. Erityishuomiota tulee kiinnittää lähinnä Unity Web Player-lisäosaan, joka pitää asentaa tietokoneille erikseen. Tästä tuleekin ohjeistaa sekä opetushenkilökuntaa että opiskelijoita. Jos käyttöä halutaan edelleen helpottaa, niin yliopiston tietohallinnon kanssa voisi tulisi keskustella mahdollisuudesta esiasentaa kyseinen lisäosa tiettyihin yliopiston tietokoneisiin. Näitä olisivat anatomian opetushenkilökunnan käyttämät päätteet sekä lääketieteen opiskelijoita varten tarkoitettut päätteet.

Primaliin pääsee yliopiston Nelliportaali-palvelun kautta suorittamalla Pika-aineistonhaun nimellä Primal. Nelliportaaliin tulee ensin kirjautua yliopistotunnuksilla. Pidempiaikaista käyttöä ajatellen Primal on myös mahdollista tallentaa selaimen kirjanmerkkeihin valitsemalla

Nelliportaalista valikon Toiminnot ja kopioimalla pysyvän linkin tietokantaan. Toimiva URL-osoite on <http://www.nelliportaali.fi/link/FIN41098>. Tämä on suositeltavaa erityisesti, jos käyttää tuotetta samalla laitteella jatkuvasti, sillä silloin välttää turhan välivaiheen Nelliportaalissa.

Kirjautumisen jälkeen avautuu Primalin aloitusikkuna, josta voi valita tuotteen kielen sekä avata eri anatomisia alueita vastaavat 3D-työkalut. Työkalu on jaettu seuraaviin anatomisiin alueisiin: Head, Shoulder, Spine, Hand, Thorax, Abdomen, Male Pelvis, Female Pelvis, Knee, Hip, Foot ja Whole Body.

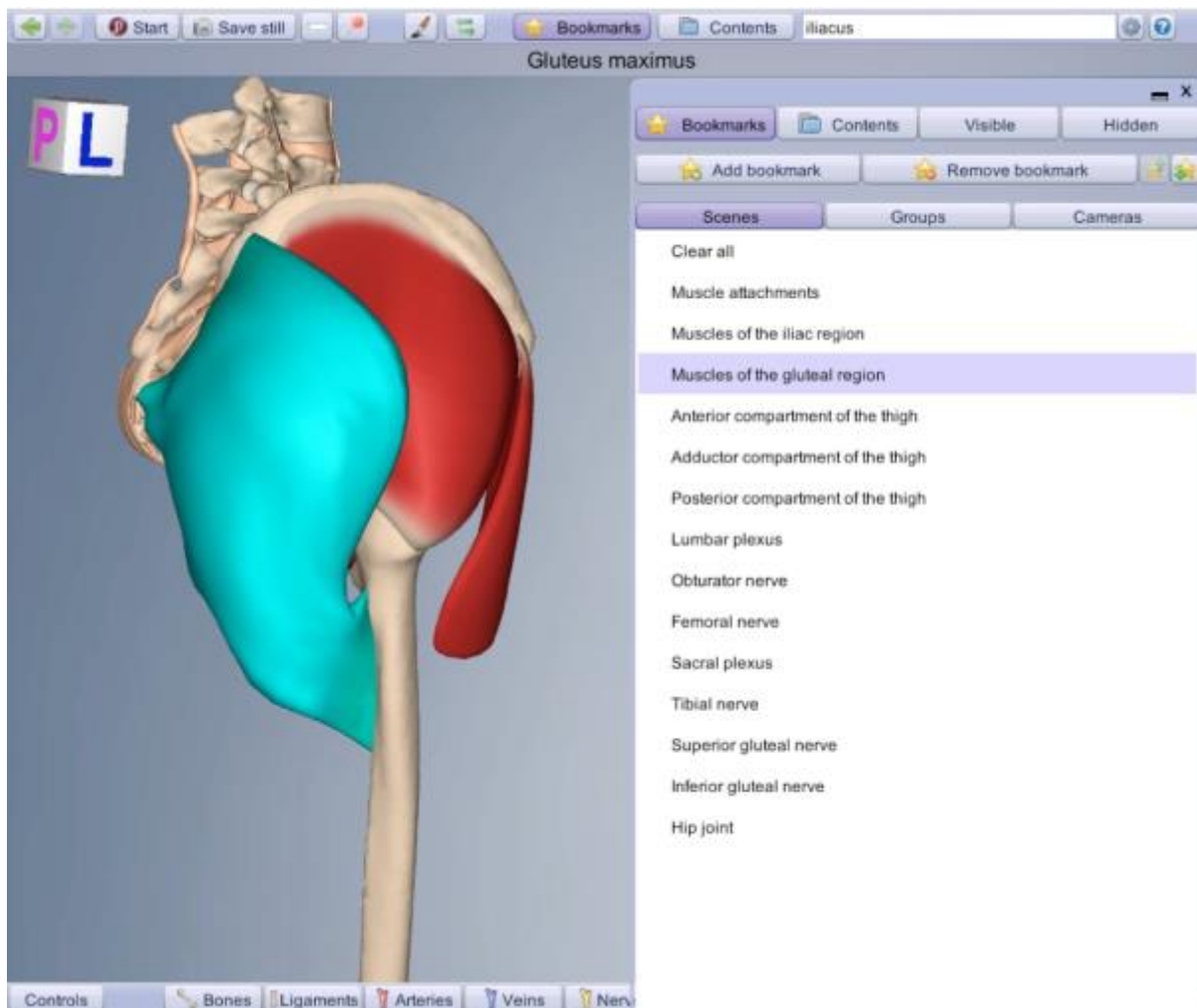
Hiiri on olennainen työkalu Primalin käytössä ja tuote on selvästi suunniteltu nimenomaan hiiren kanssa käytettäväksi. Tämä on tärkeää huomioida siksi, että varsinkin useissa opiskelijoiden suosimissa kannettavissa tietokoneissa ei ole erikseen hiirtä, vaan ohjauslevy, jolla Primalia on merkittävästi hankalampi käyttää.

3.2 Työkalut

Kirjanmerkit, ryhmät ja hakutoiminto

Kirjanmerkkitoiminto on Primalissa keskeinen. Sen avulla käyttäjä pääsee käsiksi Primalin kehittäjien luomiin näkymiin, joiden avulla jonkin tietyn anatomisen kokonaisuuden tarkastelu on helpompaa kuin kokonaisesta mallista. Kirjanmerkkejä voisi verrata prosektoioon, jossa kokenut anatomisti on valmiiksi dissektoinut ruumiin opiskelua varten esitelläkseen jotain tiettyä anatomista rakennetta. Toisaalta niitä voisi myös verrata anatomisiin piirroksiin, joissa usein kuvataan rakenteita valiten hahmottamista helpottava prosektoitu näkymä. Esimerkiksi lonkan ja reiden alueen kohdalla valmiita kirjanmerkkejä ovat lonkkanivel, pakaraseudun lihakset, reiden etummainen lihasaitio, reiden lähentäjien lihasaitio, takimmainen lihasaitio, lanne- ja ristipunos, n. obturatorius, n. femoralis, n. tibialis.

Valmiiden kirjanmerkkien lisäksi käyttäjä voi itse tallentaa omia kirjanmerkkejään. Tämän ominaisuuden avulla esimerkiksi kesken jäänyttä virtuaalista anatomista ruumiinavausta voi jatkaa myöhemmin. Se myös antaa opetushenkilökunnalle mahdollisuuden täydentää valmiita kirjanmerkkejä omilla tallennetuilla näkymillään.



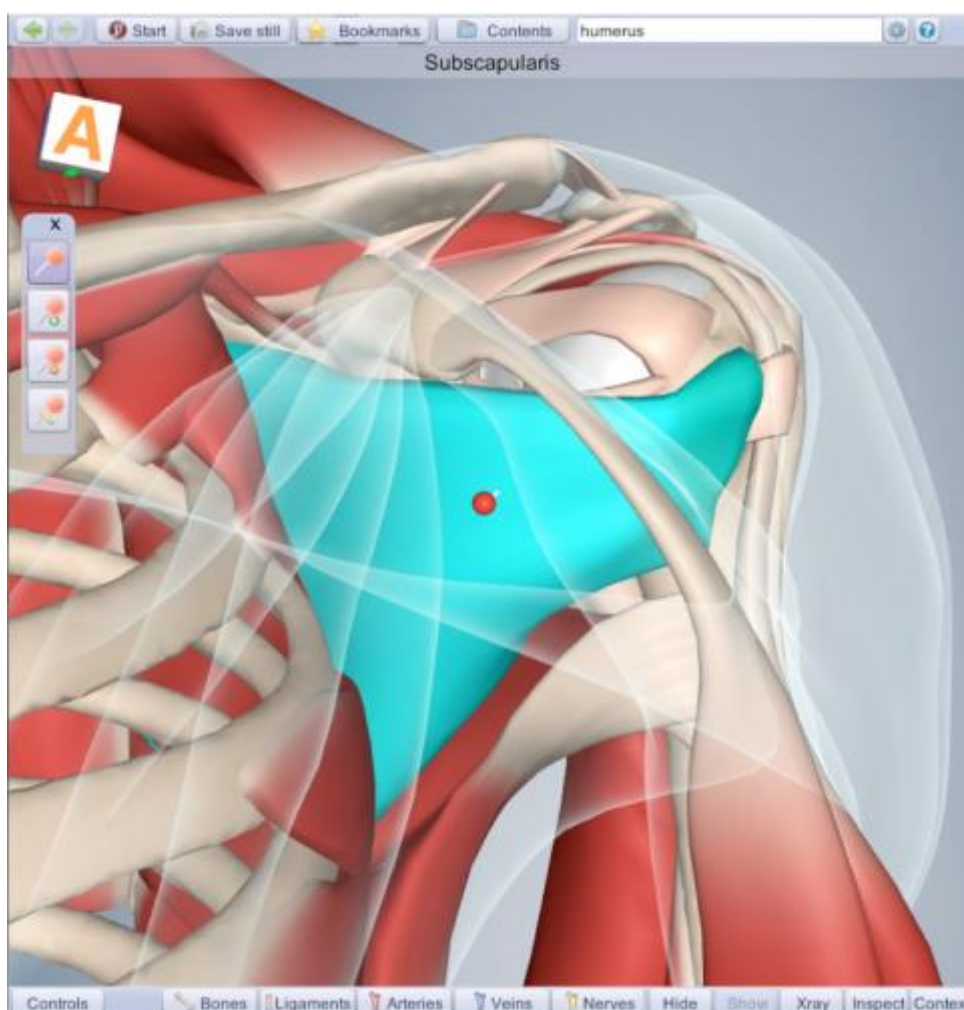
Kuva 1 Kirjanmerkkitoiminto, Primal

Contents-valikosta saa kaikki rakenteet elinjärjestelmittäin listana näkyviin. Sitä kautta rakenteita voi lisätä tai poistaa näkymästä yksitellen. Tämän lisäksi rakenteet on koottu ryhmiin. Reiden ja lonkan alueella niitä ovat esimerkiksi hamstring-lihakset, quadriceps-lihakset ja a. iliaca interna sekä sen haarat. Tämä on tärkeä ominaisuus, sillä muuten esimerkiksi kaikki a. iliaca internan haarat tulisi lisätä yksitellen, mikäli haluaisi saada ne kaikki näkyviin.

Hakutoiminnolla voi hakea mitä tahansa anatomisia rakenteita nimellä. Näin minkä tahansa rakenteen voi nopeasti löytää ja lisätä näkymään. Toiminto täydentää hyvin kirjanmerkkitoimintoa ja kudosvalikkoa, jotka käsittelevät useiden rakenteiden kokonaisuuksia. Niiden avulla on helppo lisätä näkymään kaikki lihakset tai palata tiettyyn kirjanmerkkiin, mutta hakutoiminnolla löytää nopeasti yksittäisen mielenkiinnon kohteena olevan rakenteen.

Xray-, Context- työkalut ja 3D Stereo anaglyph-moodi

Sen lisäksi, että rakenteita voi vapaasti poistaa ja lisätä näkyviin, niitä voi muuttaa Xray-työkalulla läpinäkyviksi. Tämän olen todennut erittäin hyödylliseksi työkaluksi, sillä oikein käytettynä se helpottaa rakenteiden keskinäisten suhteiden hahmottamista merkittävästi. Nimittäin jos rakenteen poistaa kokonaan näkyvistä, on vaikea enää hahmottaa, miten sen alle jäävät rakenteet rakentuivat suhteessa pinnallisempaan rakenteeseen. Xray-työkalulla voi kirjaimellisesti nähdä valitsemiensa rakenteiden läpi, kuitenkin säilyttäen läpinäkyvien rakenteiden ääriviivat ja muodon.

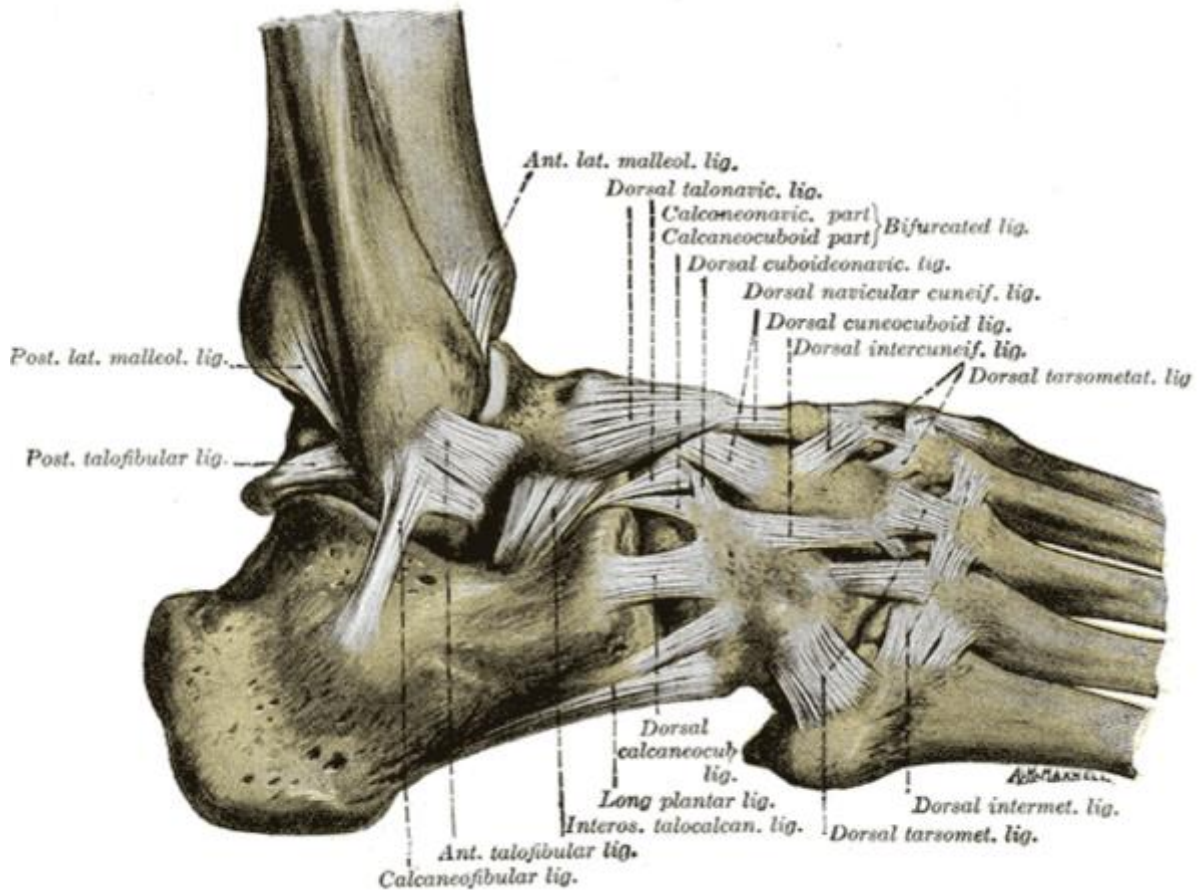


Kuva 2 X-ray-työkalu, Primal

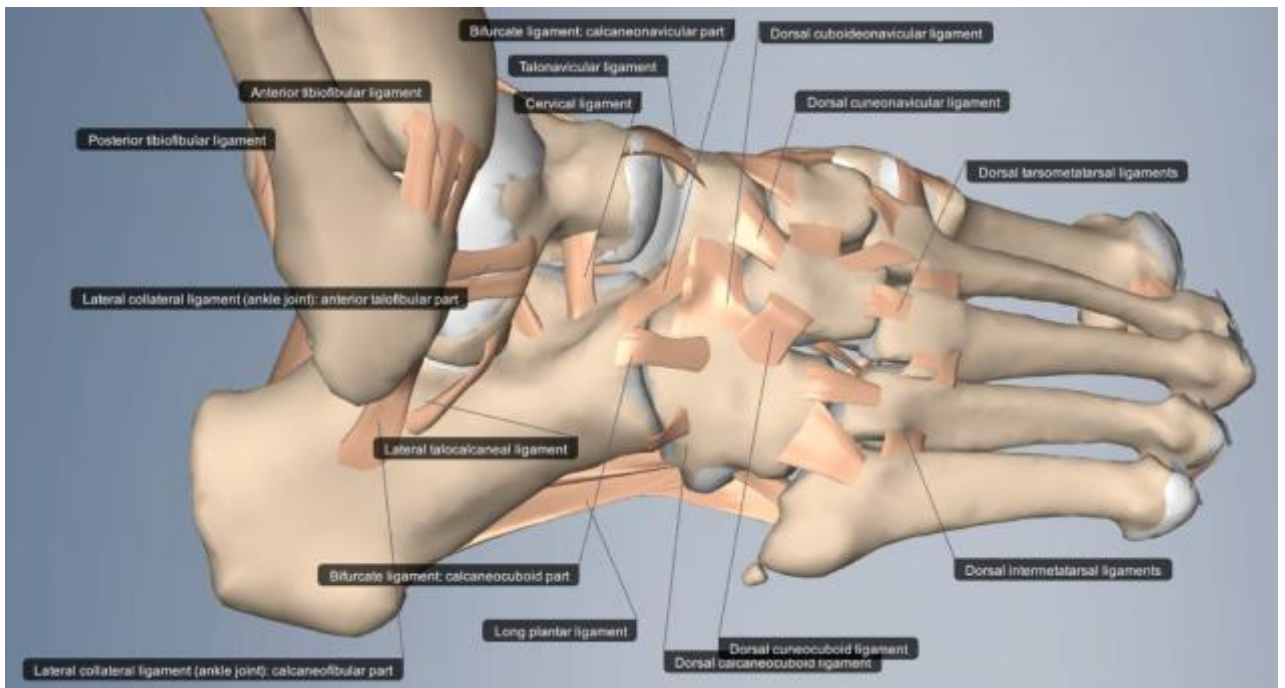
Asetuksista löytää myös stereoskooppisen moodin, jossa ohjelma muodostaa kaksi päällekkäistä kuvaa hieman eri perspektiiveistä ja eri väreillä. Anaglyfisillä sini-puna-3d-laseilla katsottuna kuvaan tulee näin myös aito syvyysvaikutelma. Tätä ominaisuutta en ole itse kokeillut kyseisillä laseilla, mutta epäilemättä se auttaa edelleen hahmottamaan rakenteita paremmin.

3.3 Anatominen tarkkuus

3D-malleissa ei vielä ole saavutettu aivan yhtä hyvää tarkkuutta kuin anatomisissa piirroksissa. Tämä pitää paikkansa myös Primalin kohdalla. Kuitenkin pääasiassa tarkkuus on erittäinkin hyvä. Olen ottanut vertailuksi muutaman kuvan Henry Grayn anatomisista piirroksista ja pyrkinyt luomaan vastaavan näkymän Primalissa.

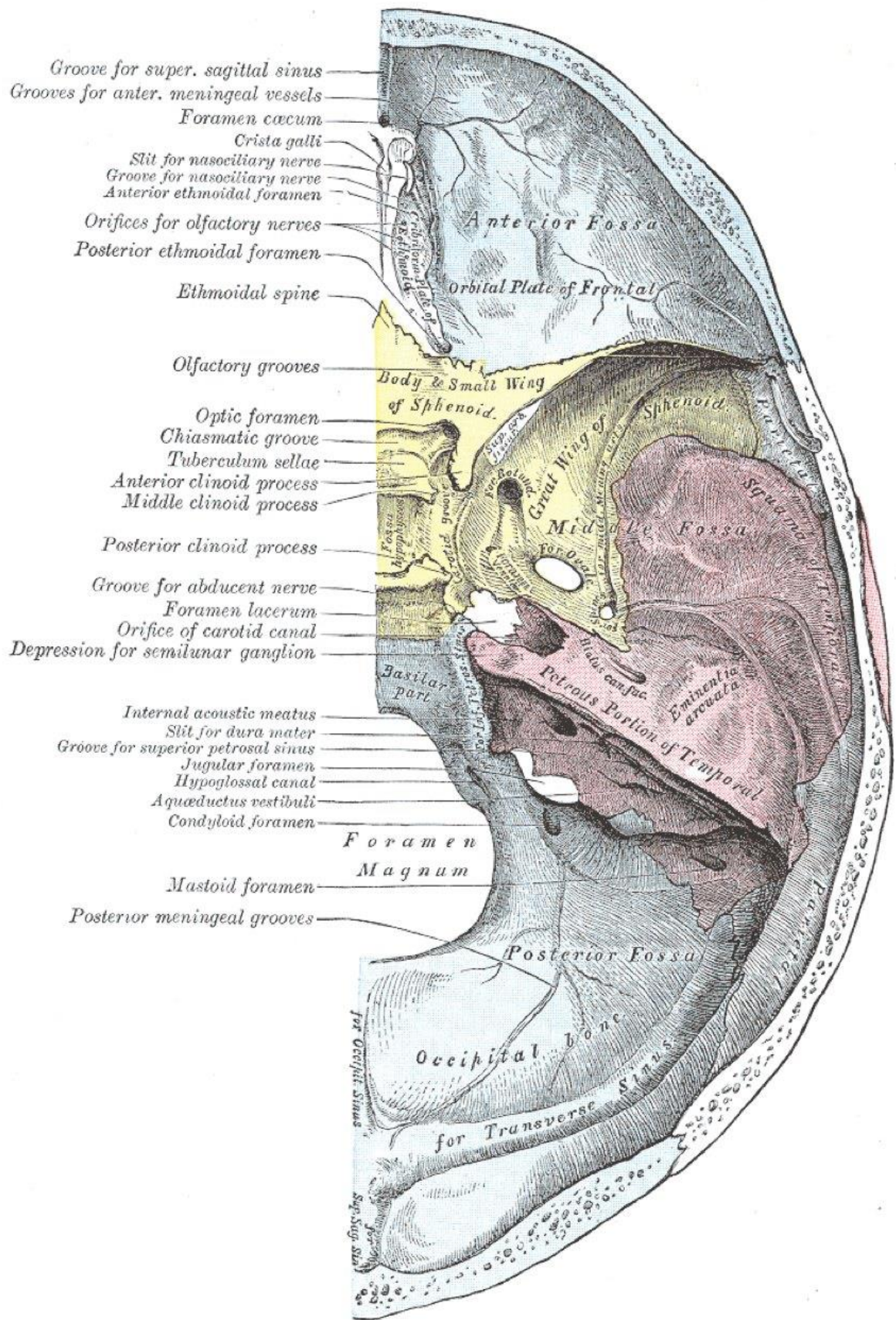


Kuva 3 Jalkaterän ligamentit, Henry Gray (1918) Anatomy of the Human Body

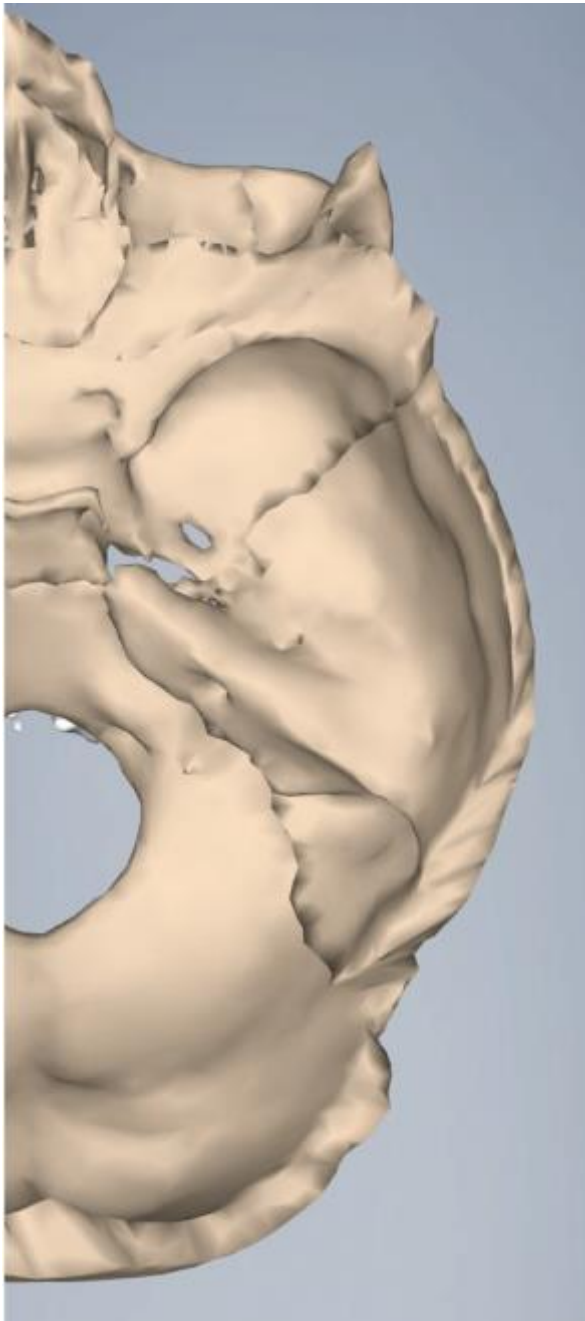


Kuva 4 Jalkaterän ligamentit, Primal

Jalkaterän ligamentit on toteutettu varsin tarkasti, kuten kuvaparista ilmenee.

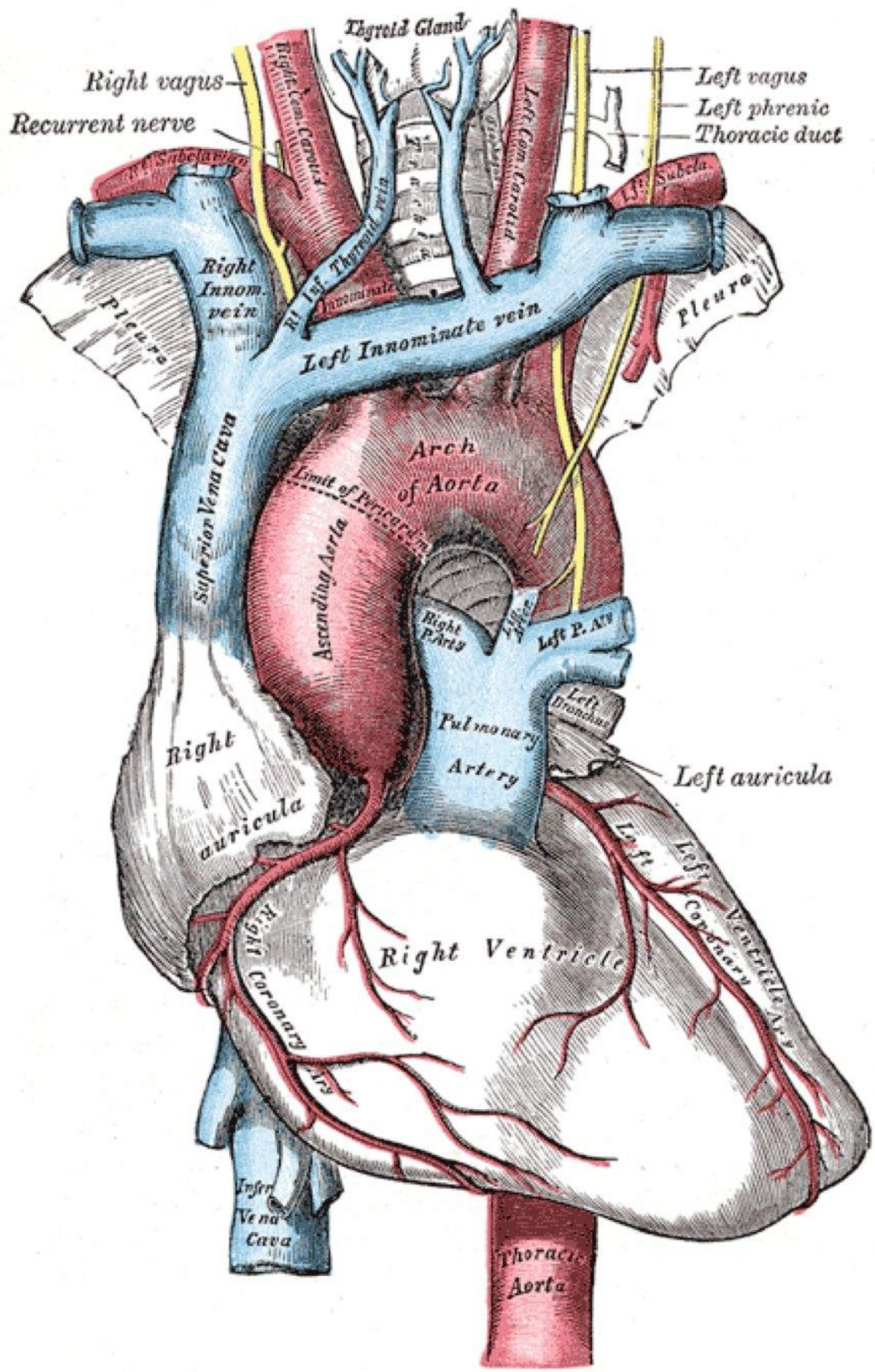


Kuva 5 Kallonpohja, Henry Gray (1918) Anatomy of the Human Body

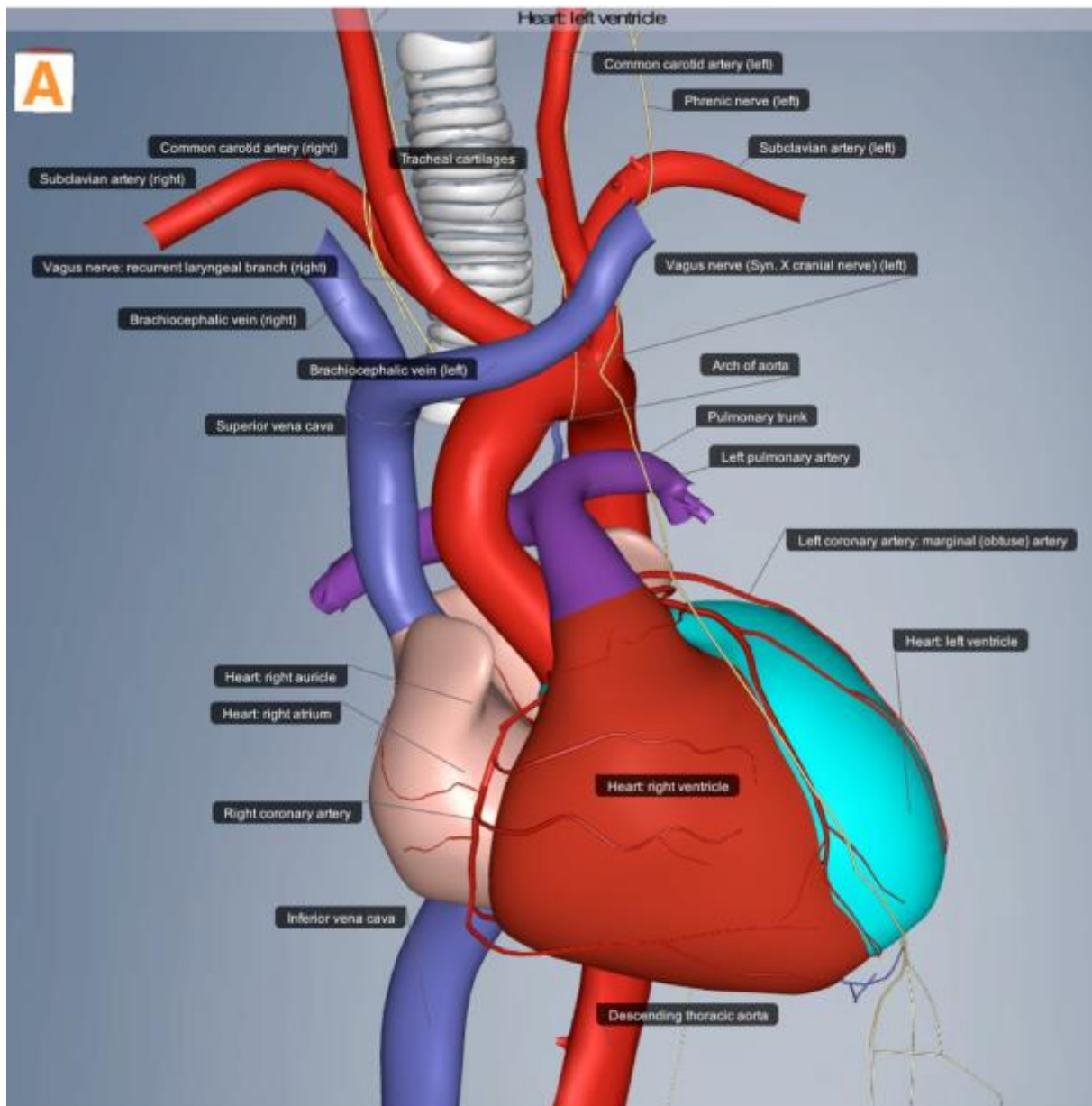


Kuva 6 Kallonpohja, Primal

Kallonpohja jättää Primalissa toivomisen varaa. 3D-malli on varsin karkea, eivätkä kallon yksityiskohdat siksi oikein erotu. Tässä ilmenee myös se selvä puute, että Primal ei tarjoa anatomista nimistöä yksittäisten rakenteiden sisältämille eri osille. Näin ollen kaikki kallonpohjan aukot, processukset, sulcuksset ym. jäävät kokonaan mainitsematta. Lisäksi käy ilmi toinen selvä puute, nimittäin Primal ei mahdollista lainkaan poikkileikkauksia. Esimerkiksi Grayn kuvaa kallonpohjasta ei pystynyt simuloimaan Primalissa, vaan kuvassa 6 on jouduttu poistamaan os frontale kokonaan. Tätä ominaisuutta tarvittaisiin lukuisten muidenkin anatomisten rakenteiden hahmottamiseksi.



Kuva 7 Sydän, Henry Gray (1918) Anatomy of the Human Body



Kuva 8 Sydän, Primal

Sydämen anatomiassa Primal onnistuu varsin hyvin, keskeisiä eroja piirroksen ei ole. Esimerkiksi pieni n. laryngeus recurrens löytyy 3D-mallista, samoin sepelvaltimot kohtuullisella tarkkuudella. Sepelvaltimoiden haarojakin on nimetty. Toisaalta Primalin heikkoutena jälleen on, ettei se tarjoa minkäänlaista järkevää näkymää tai läpileikkausta sydämen sisälle.

3.4 Saatavuus ja yhteenveto

Primalin 3D Real-time Human Anatomy on saatavilla yliopiston lisenssin kautta tai vaihtoehtoisesti henkilökohtaisena vuoden tilauksena. Ensimmäisessä opiskelijan ja opettajan kannalta ongelmana on lisenssin laajuus, joka kattaa vain 10 samanaikaista käyttäjää. Näin ollen työkalun toimimiseen ei voi luottaa, sillä milloin tahansa käyttäjämäärä saattaa olla

täysi. Tästä syystä sitä on vaikea suositella laajempaan opetuskäyttöön tällaisen rajoituksen ollessa voimassa. Henkilökohtainen tilaus taas on taas täysin ylihinnoiteltu, sillä vuoden henkilökohtainen tilaus maksaa 725 euroa. Vastaavia tuotteita saa käyttöönsä useiksi vuosiksi muutamalla kymmenellä eurollakin.

Primal on helppokäyttöinen ja monipuolinen työkalu, jota voi suositella anatomian opiskeluun. Nähdäkseni se on teknisesti varteenotettava kilpailija 3D4Medicalille ja Visible Bodylle. Sen keskeisimpiä heikkouksia ovat epätarkkuus tietyissä rakenteissa, joidenkin rakenteiden puuttuminen, läpileikkausnäkymien puute sekä yksittäisten rakenteiden sisältämien osien nimistön puute. On kuitenkin syytä mainita, että tätä kirjoittaessani ohjelmistosta on myös julkaistu päivitetty versio, jossa on mm. tarkemmat 3D-mallit, enemmän rakenteita, kehittyneempi käyttöliittymä sekä enemmän valmiita kirjanmerkkejä. Päivitykset eivät kuitenkaan sisällyneet Turun yliopiston kirjaston vuonna 2012 hankkimaan lisenssiin. Tästä opimme, että virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen yliopistolisenssien hankinnassa tulee ottaa huomioon myös päivitysten aiheuttamat kustannukset.

4 Complete Anatomy, 3D4Medical

Tablettien ohjelmistotarjonta on kasvanut valtavaa vauhtia sitten Applen iPadin julkaisun vuonna 2010. Lääketieteeseen ja opiskeluun liittyvät sovellukset ovat olleet yksi keskeinen ryhmä. Kasvaneen suoritustehon myötä myös anatomiset virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt ovat kasvattaneet suosiotaan tableteilla ja niitä esiteltiin jopa Applen toimesta uusien iPadien tuotejulkistustilaisuuksissa vuosina 2012 ja 2015.

Suosituimpia virtuaalisia 3D-oppimisympäristöjä ovat olleet jo vuosia irlantilaisen 3D4Medical-yrityksen tuotteet (3D4Medicalin [www-sivut](http://www.3d4medical.com)). Pitkään heidän keskeisin sovelluksensa oli Essential Anatomy, joka on saatavilla iPadin lisäksi myös iPhoneille, Mac OS X:lle, Windowsille sekä Android-alustalle. Essential Anatomy 5 sisältää yli 8200 yksityiskohtaista anatomista rakennetta sekä intuitiivisen käyttöliittymän. Tuote maksaa Applen App Storessa tällä hetkellä 22 euroa, joka on suhteellisen maltillinen summa erityisesti verrattuna joihinkin satoja euroja maksaviin kirjoihin.

Esittelen Complete Anatomyn keskeisimmät ominaisuudet lyhyesti. Perustoiminnot on kuvattu johdantokappaleen lopussa olevassa esimerkissä. Lisäksi tuote sisältää vähintään

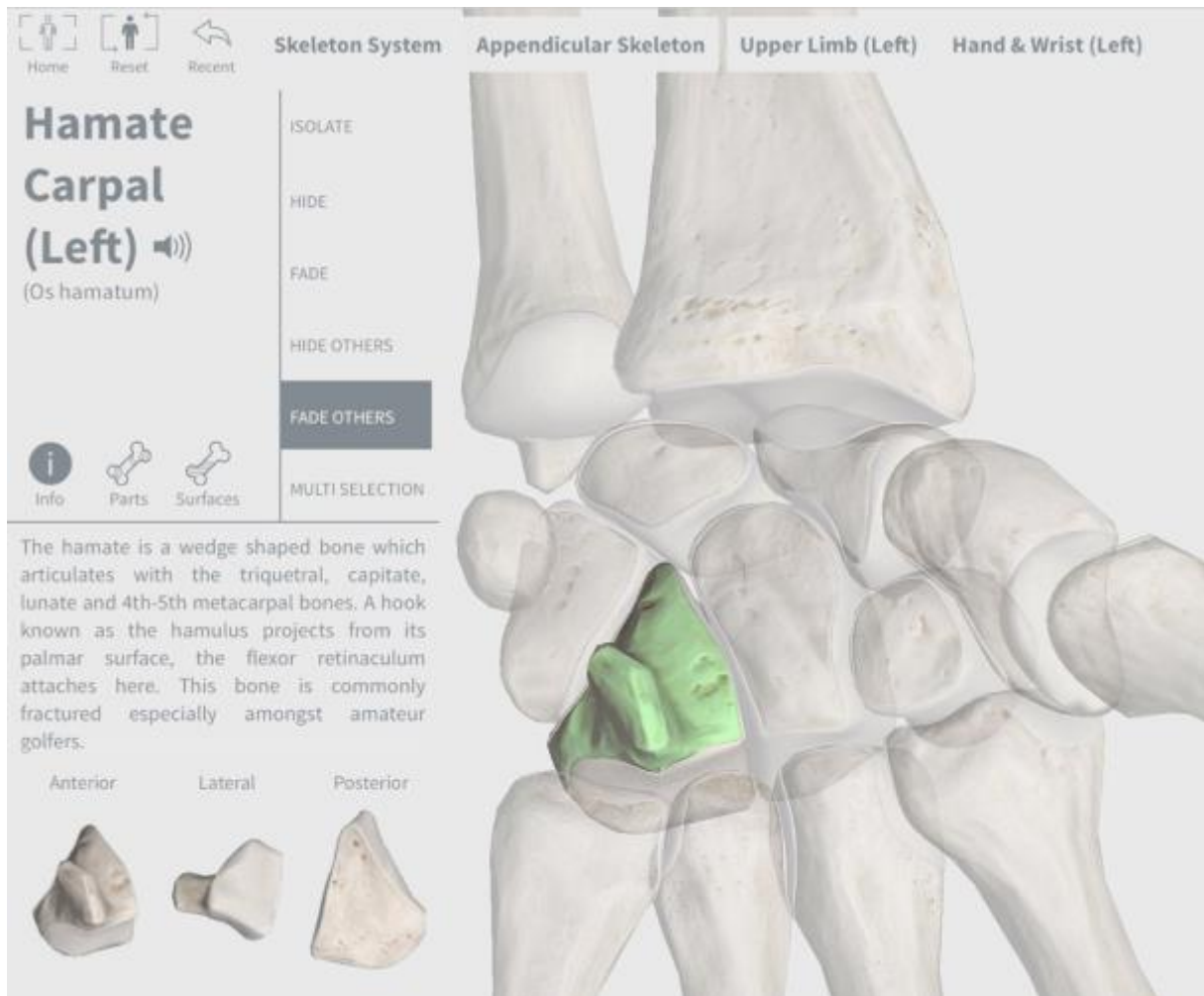
kaikki samat ominaisuudet kuin Primal, joten näitä samoja ominaisuuksia en esittele uudelleen.

Complete Anatomy on kirjoitushetkellä saatavilla iPad Pro:lle, iPad Air:ille, iPad Mini 4:lle, sekä Mac-tietokoneille (käyttöjärjestelmävaatimuksena OS X 10.10 tai uudempi). Windows-versio julkaistiin joulukuussa 2016. Windows-tuki on vain uusimmalle Windows 10:lle. Tämä versio on monien henkilökohtaisilla PC-laitteilla, mutta esimerkiksi yliopiston tietokoneet toimivat vielä toistaiseksi Windows 7:aa käyttäen. Oletettavasti tuote tuodaan jossain vaiheessa myös Android-alustalle, joskin on vaikea arvioida milloin. Sovelluksen saa ladattua ilmaiseksi, mutta jos haluaa suurimman osan sisällöstä käyttöönsä, tulee tehdä 50 dollarin sovelluksen sisäinen osto. Macin ja iPadin ohjelmat tulee ostaa erikseen, mutta asiakas on oikeutettu alennukseen, mikäli omistaa toisen näistä tai tuotetta edeltäneen Essential Anatomy 5:n. Erikseen on pyydettävissä myös ryhmäalennuksia.

4.1 Työkalut

Informaatiolaatikko

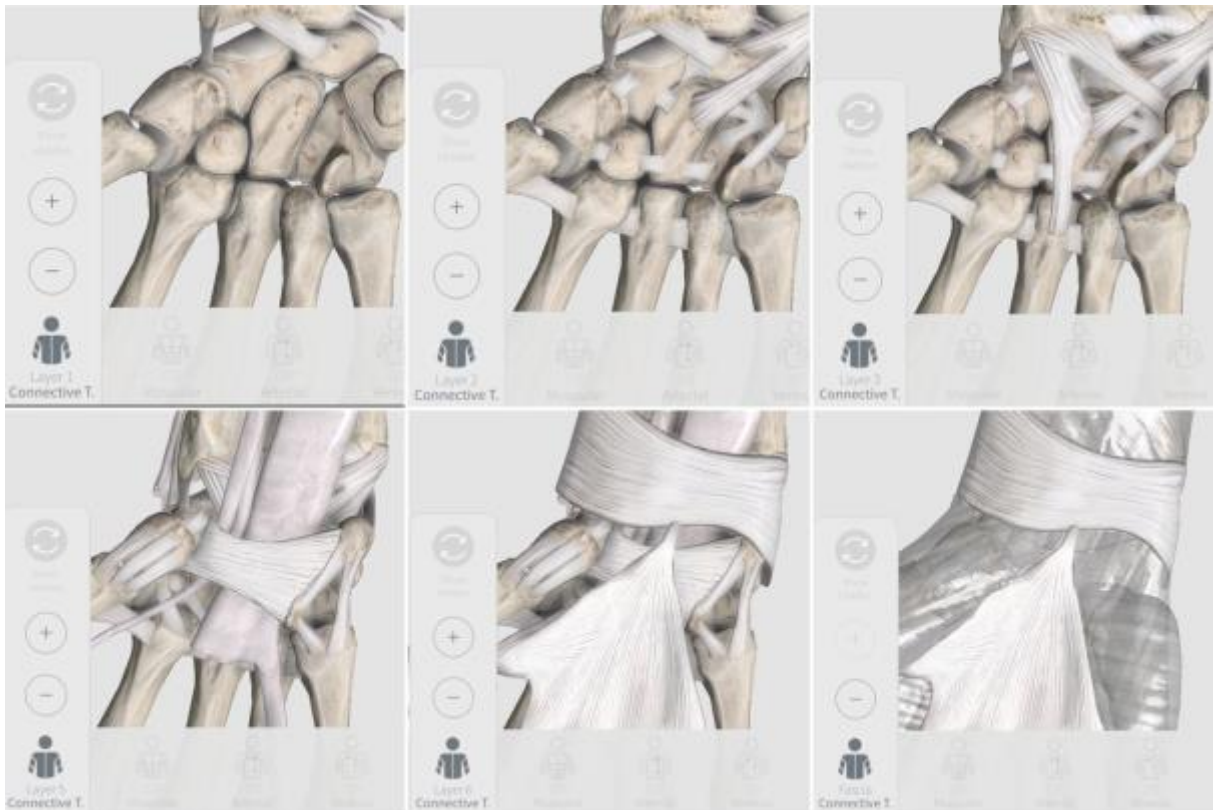
Sovellus ei tarjoa pelkästään 3D-mallia opiskelijalle, vaan myös anatomista tietoa sanallisessa muodossa. Tällainen tietolaatikko aukeaa aina, kun rakenne on valittuna. Kuten kuvassa 7 nähdään, tietoa annetaan kyseisen rakenteen suhteesta muihin rakenteisiin. Myös kliinistä tietoa annetaan, esimerkiksi os hamatumien kohdalla on kerrottu sen murtuvan erityisesti golfin harrastajilla.



Kuva 9 Informaatiolaatikko, Complete Anatomy

Kerrosittainen lisäys

Kuten Primalissakin, yksittäisiä elinjärjestelmiä (lihakset, hermosto, valtimot, sidekudos jne.) voi lisätä tai poistaa näkymästä. Lisäksi Complete Anatomy mahdollistaa kerrosittaisen lisäämisen ja poistamisen. Esimerkiksi lihakset on jaettu yli viiteen eri kerrokseen. Hyödyllinen toiminto muistuttaa anatomisia piirroksia, joissa monesti esimerkiksi lihaksisto esitetään kerrosittain kuvasarjana. Ominaisuus helpottaa rakenteiden tarkastelua, sillä yksittäisiä rakenteita ei tarvitse lisätä tai poistaa näkymästä vaivalloisesti yksitellen.

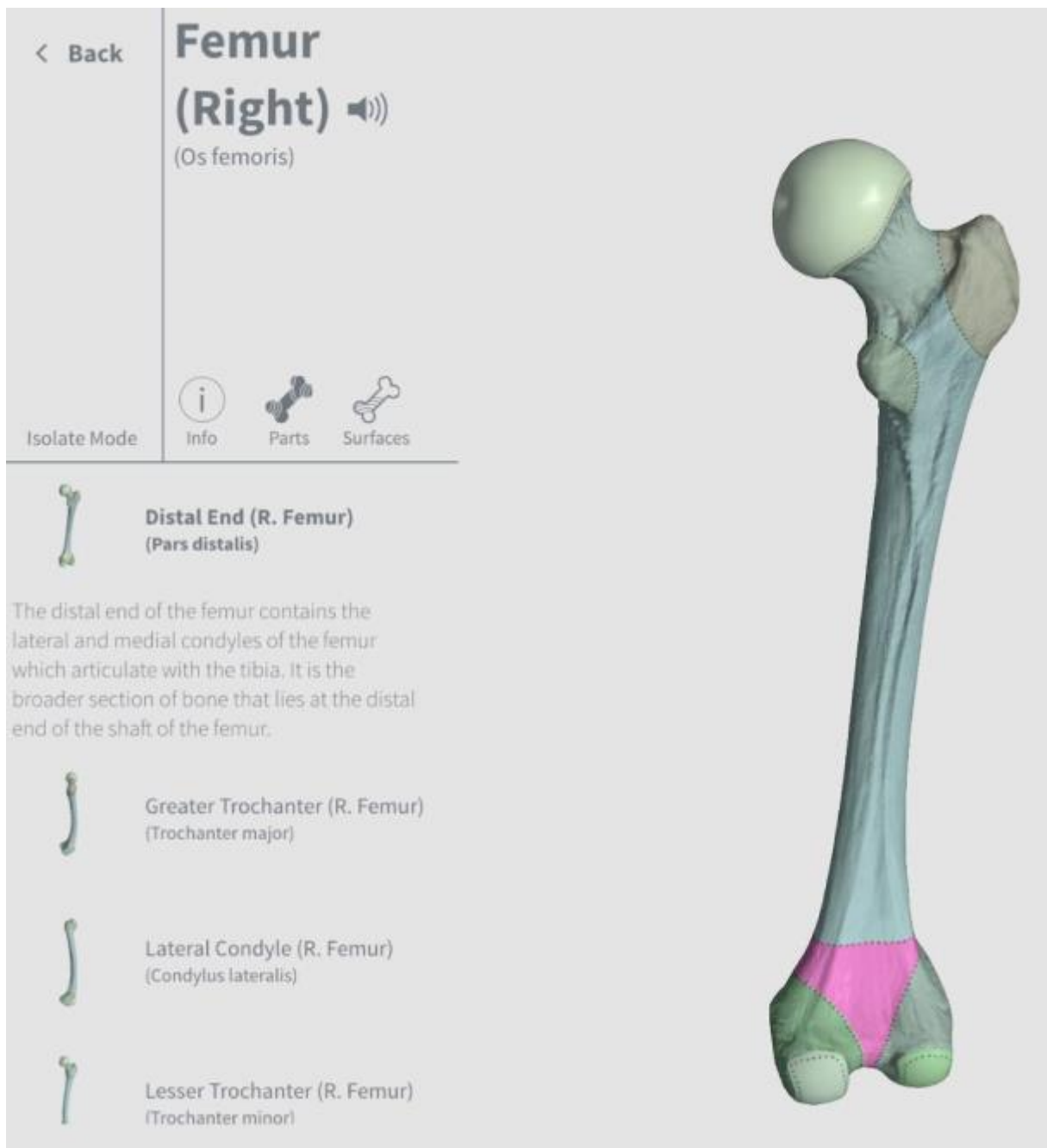


Kuva 10 Kerroksittainen lisäys, Complete Anatomy

Rakenteita voi myös lisätä tai poistaa näkymään vain valitulle kohdealueelle, esimerkiksi olkavarren alueelle. Näin käyttäjä voi keskittyä tietylle alueelle ilman, että senhetkisen mielenkiinnon ulkopuoliset rakenteet häiritsevät näkymää.

Rakenteiden eri osat

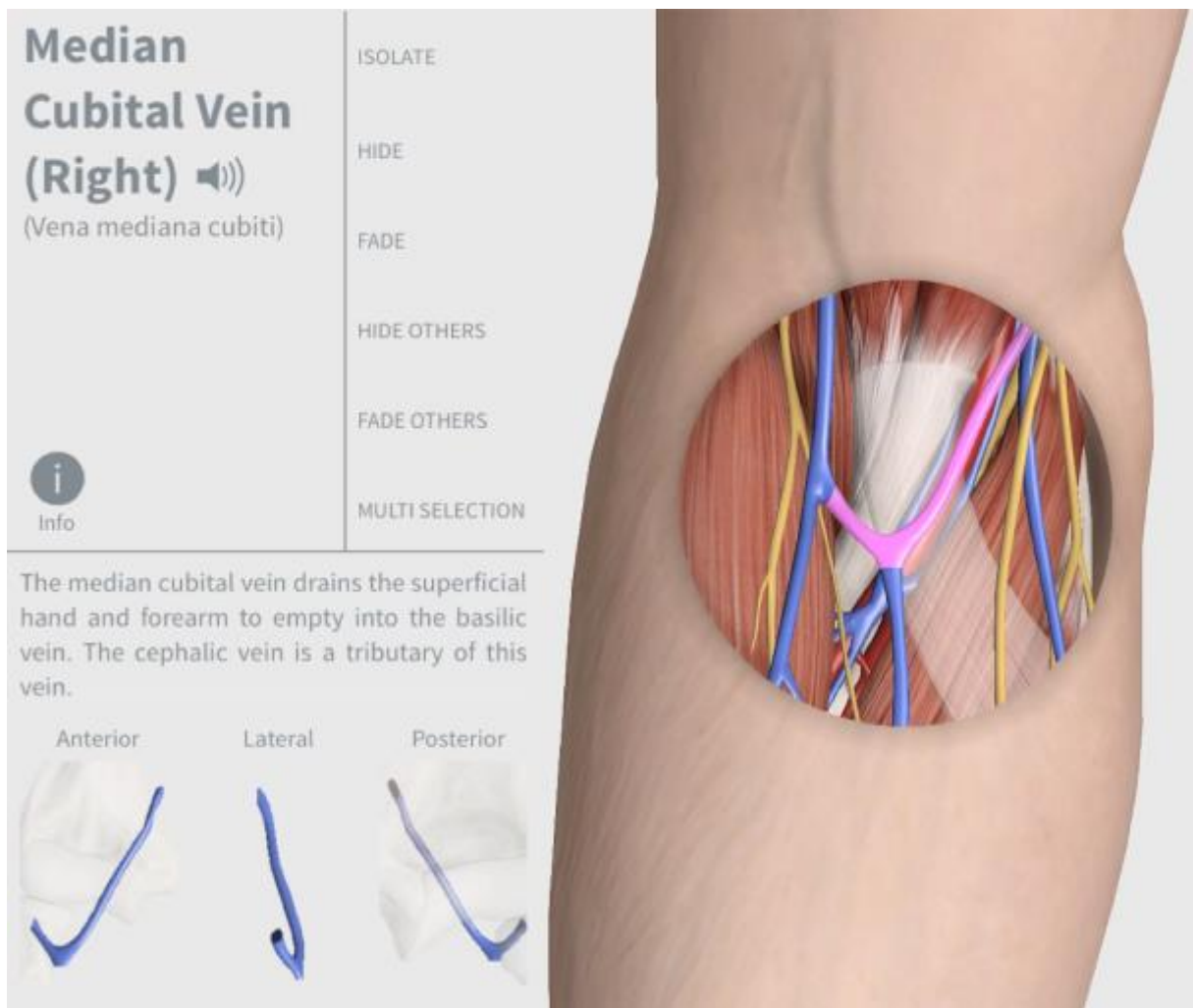
Eräs Primalin keskeinen puute oli se, että yksittäisten rakenteiden, kuten tietyn luun eri osia ei oltu nimetty. Complete Anatomyssä tällainen toiminto on. Rakenteiden sisältämät osat on myös kuvattu lyhyesti tietolaatikossa.



Kuva 11 Rakenteiden eri osat ja pinnat, Complete Anatomy

Discover-työkalu

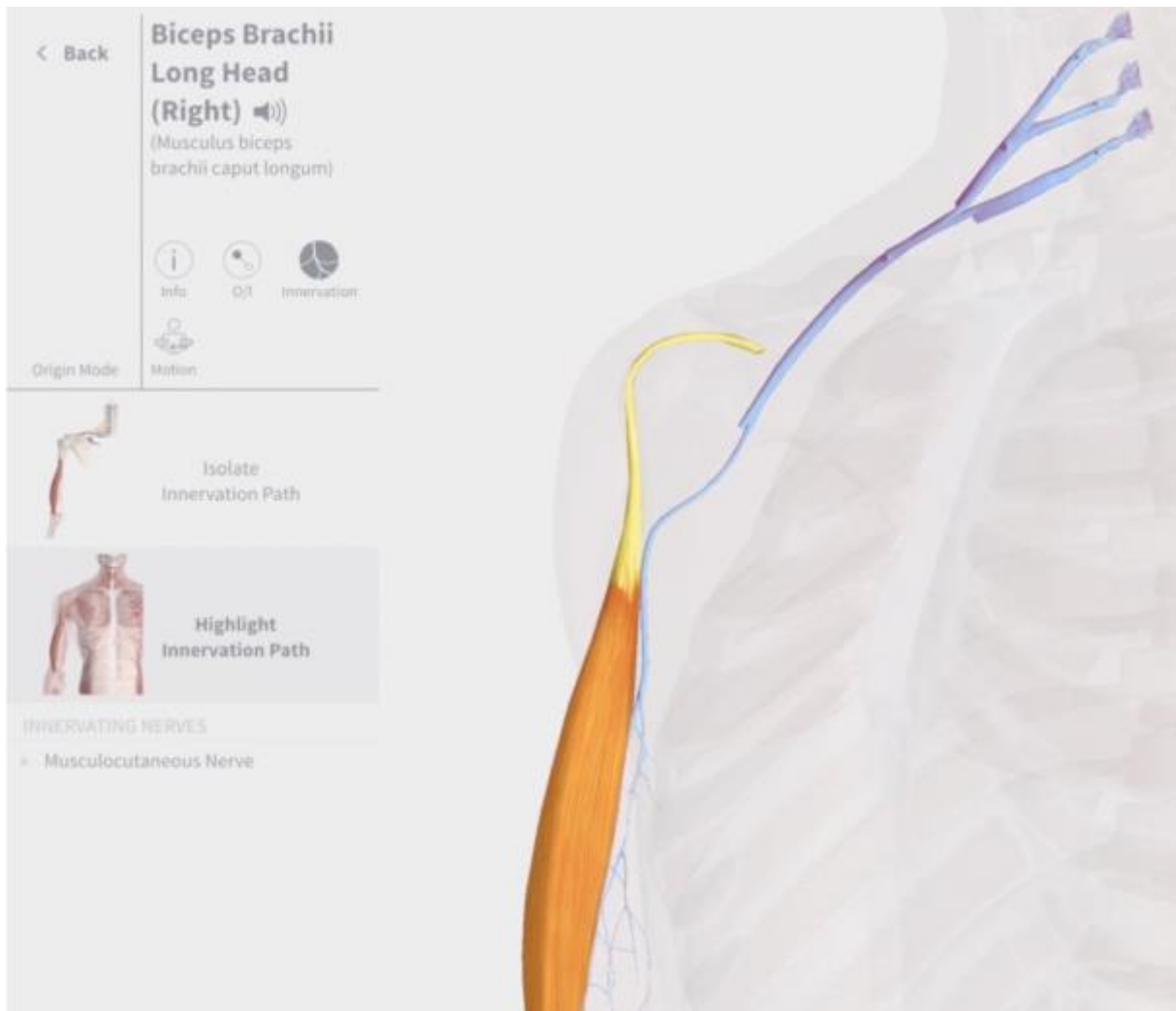
Discover-työkalulla voi luoda pyöreän ikkunan pinnallisempien anatomisten rakenteiden läpi syvempiin rakenteisiin. Se toimii erityisen hyvin esimerkiksi ihonalaisen anatomian hahmottamisessa, kuten vaikkapa laskimoverinäytteenottoa varten.



Kuva 12 Discover-työkalu, Complete Anatomy

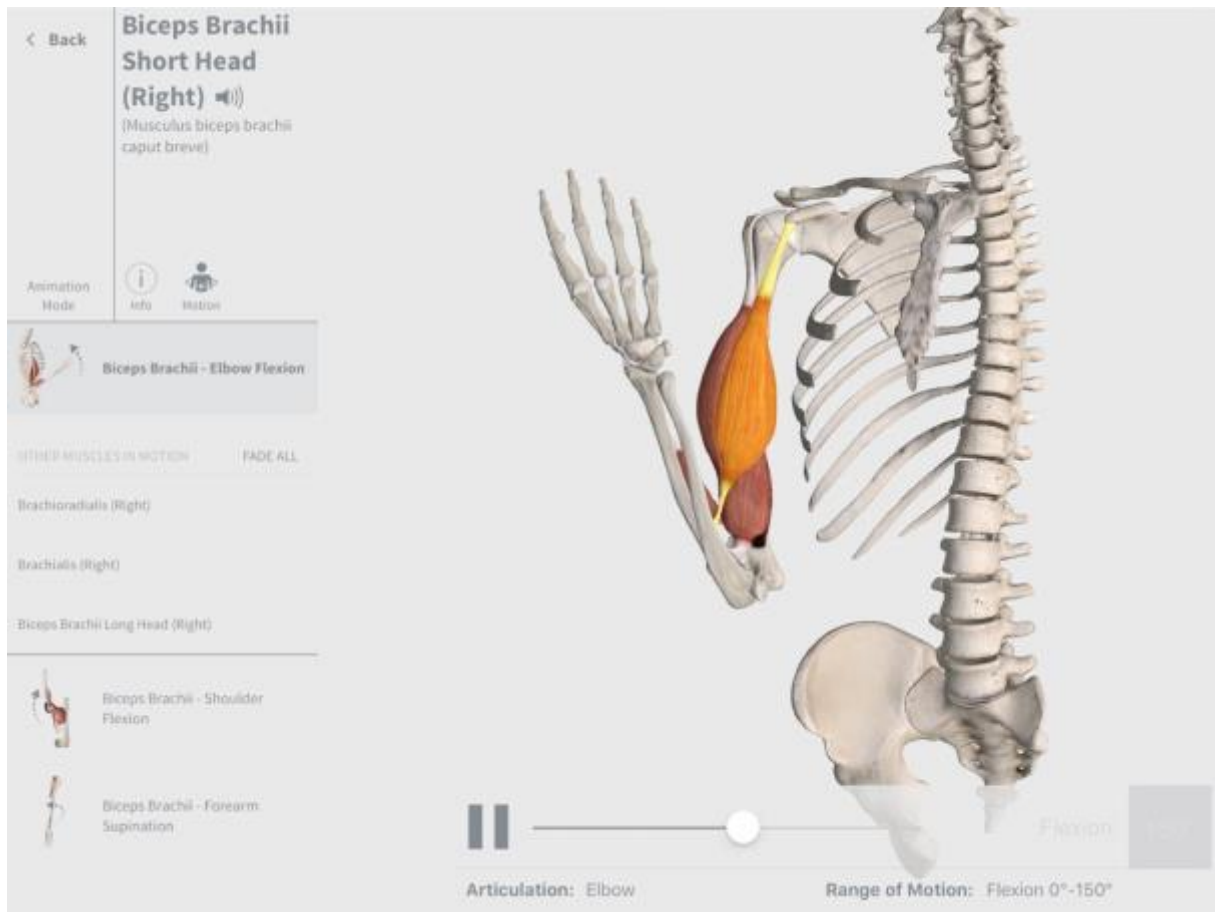
Lisätyökalut lihaksia varten

Lihasten hermotus on usein kliinisesti merkittävä tieto. Complete Anatomy tarjoaa työkalun, jolla lihasten hermotusta voi tarkastella aina selkäytimestä saakka. Toiminnossa lihas sekä hermoradat näytetään kirkkaana samalla kun muut rakenteet himmennetään tai vaihtoehtoisesti piilotetaan näkymästä. Hermoradan eri osia klikkaamalla saa kyseisen osan nimen näkyviin, mikä edesauttaa neuroanatomian ymmärrystä.



Kuva 13 Lihaksen hermotus, Complete Anatomy

Hyödyllinen ominaisuus on myöskin lihaksen toimintojen animointi. Esimerkiksi m. biceps brachiiin toiminnot eli kyynärnivelen ja olkanivelen koukistus sekä kyynärvarren supinaatio on kaikki kuvattu animoidusti. Animaatiossa näytetään lisäksi muut liikkeeseen osallistuvat lihakset.



Kuva 14 Lihaksen toiminnot, Complete Anatomy

Myös lihasten lähtö- ja kiinnityskohdat pystyy helposti lisäämään näkymään.

Anatomisen mallin muokkaaminen

3D4Medical on kehittänyt Complete Anatomyyn hyvinkin hyödyllisen leikkaa-työkalun. Sen avulla käyttäjä voi tehdä haluamastaan rakenteesta poikkileikkauksen mistä tahansa kohdasta. Poikkileikkauksen voi tehdä pysty- tai vaakasuunnassa. Työkalusta on hyötyä esimerkiksi vatsanpeitteitä tarkastellessa, jolloin eri kerroksia osittain leikkaamalla saa hyvän käsityksen niiden anatomiasta.



Kuva 15 Leikkaa-työkalu, Complete Anatomy

Leikkaamisen lisäksi malleihin voi piirtää kolmiulotteisesti, jolloin kynänjälki piirtyy rakenteiden pintaan. Malleihin voi tehdä myös patologisia muutoksia, kuten nivelrikkoa tai murtumia.

4.2 Luennot, nauhoitukset, tietovisat ja ryhmät

Complete Anatomy tarjoaa käyttäjilleen asiantuntijoiden luentoja anatomiasta. Luennot on toteutettu niin, että luennoitsijan ääni kuuluu taustalla samalla, kun työkalun avulla esitellään anatomiaa. Missä tahansa vaiheessa luennon voi keskeyttää ja tarkastella senhetkistä näkymää vapaasti. Luennon perään on liitetty myös kertaavia kysymyksiä. 3D4Medical tuottaa luentoja itse, mutta tulevaisuudessa mahdollisesti myös muut tahot voivat tuottaa luentoja.

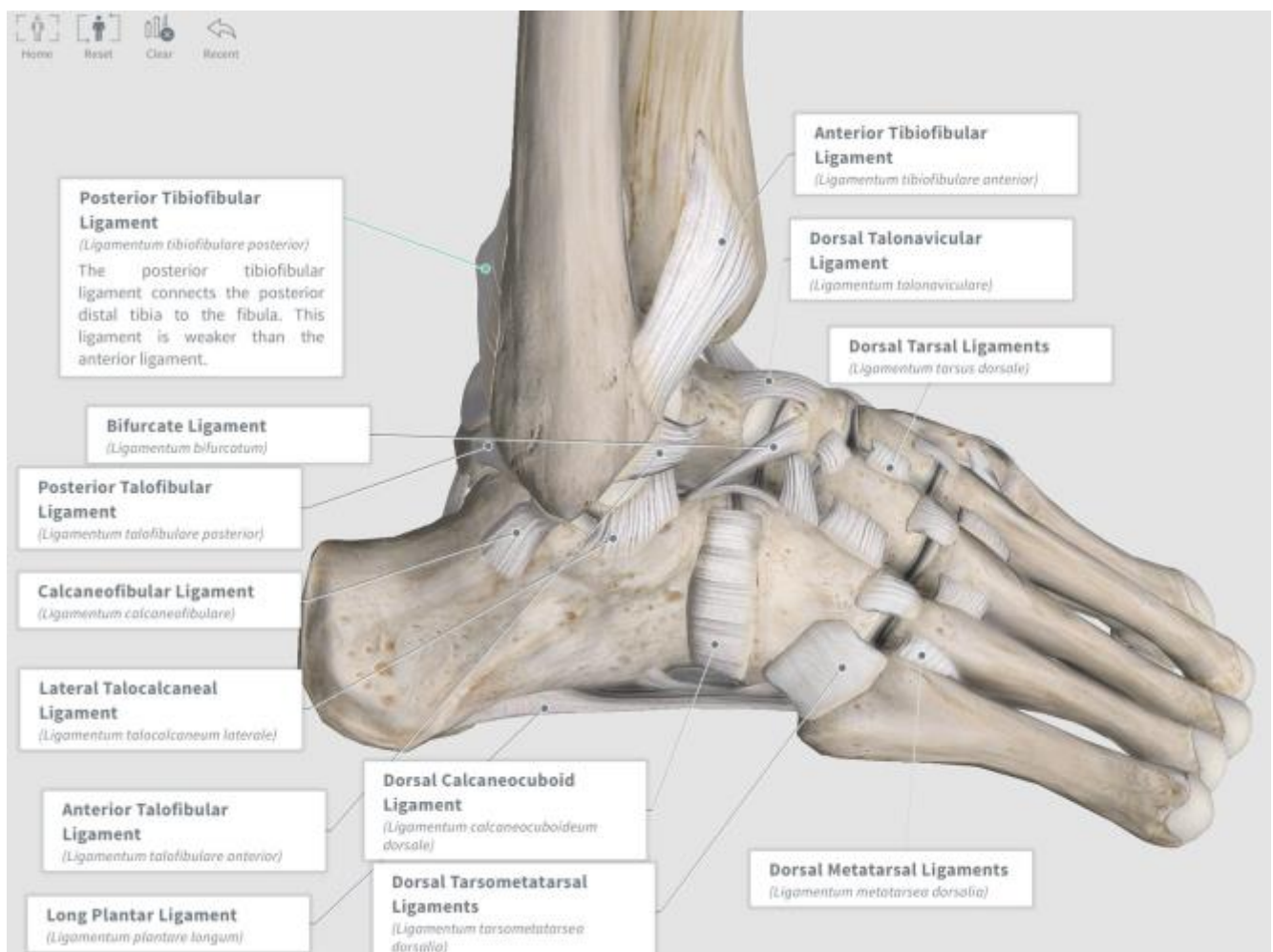
Luentojen lisäksi käyttäjä voi tehdä omia tallenteita, jossa käyttäjän ääni sekä anatomisen mallin käsittely nauhoitetaan samaan tapaan kuin luentotoiminnossa. Tallenteita voi käyttää esimerkiksi muistiinpanojen tapaan tai vaihtoehtoisesti jakaa toiselle käyttäjälle. Tämän työkalun avulla esimerkiksi yliopiston opettaja voisi tuottaa omaan anatomian kurssiinsa luentotallenteita, joita opiskelijat voisivat katsoa tai kerrata itselleen sopivina hetkinä.

Tietovisoissa (quiz) käyttäjä voi testata tietoaan monivalintakysymyksillä. 3D4Medical tarjoaa useita valmiita tietovisoja. Lisäksi muiden käyttäjien tekemiä tietovisoja voi hyödyntää. Tietovisoja voi myös tehdä itse.

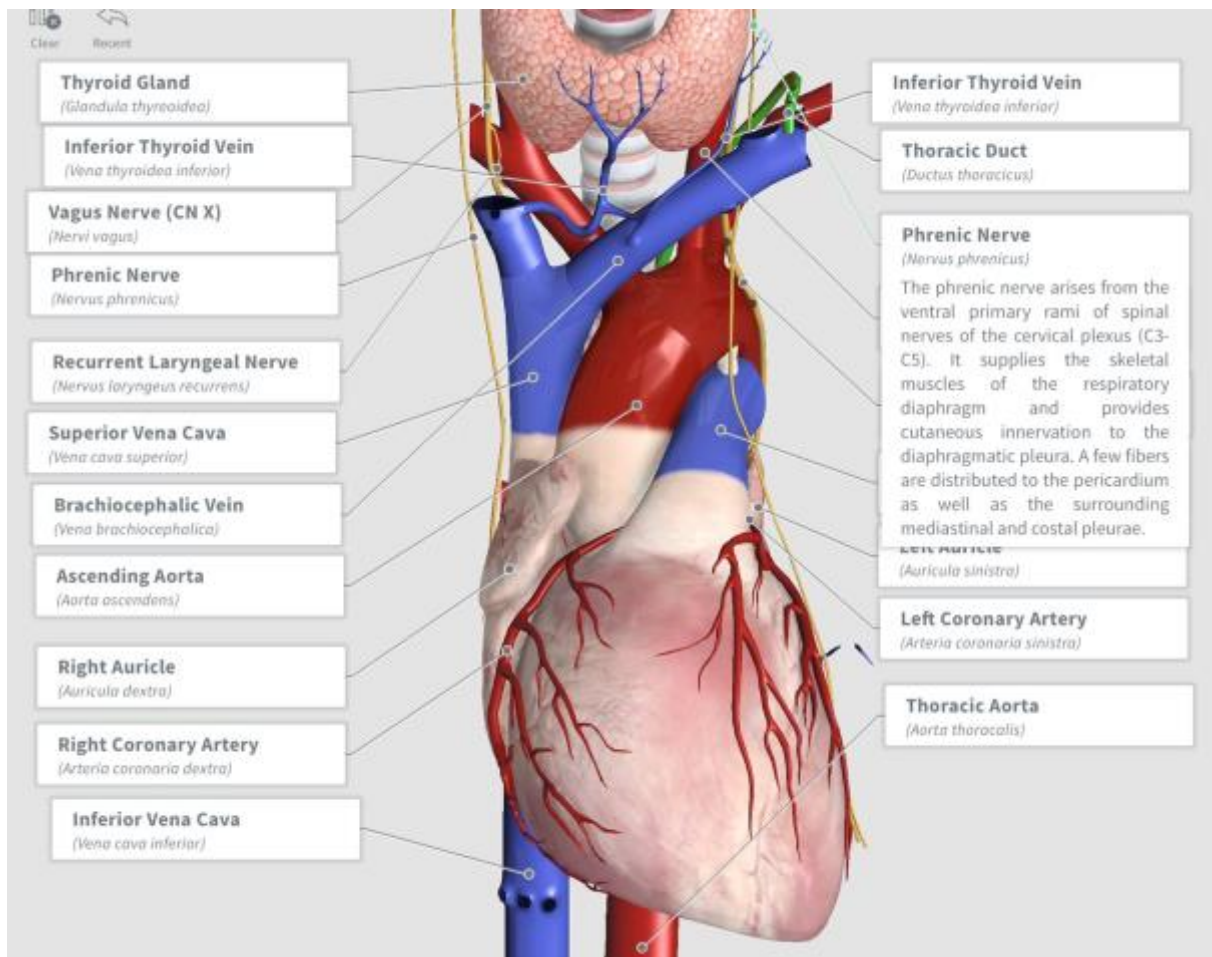
Complete Anatomy antaa mahdollisuuden luoda ryhmiä, joiden kesken sisältöä (luennot, tietovisat, kirjanmerkinäkymät ja tallenteet) voi jakaa. Ryhmiä voi luoda kuka tahansa ja ne voivat olla suuria tai pieniä. Esimerkkinä suuresta ryhmästä voisi toimia kansainvälinen ortopedisen kirurgian ryhmä tai liikuntalääketieteellinen ryhmä. Toisaalta ryhmätoiminto sopii mainiosti myös lääkäriopiskelijoiden anatomisiin opintokokonaisuuksiin esimerkiksi vuosikursseittain.

4.3 Anatominen tarkkuus

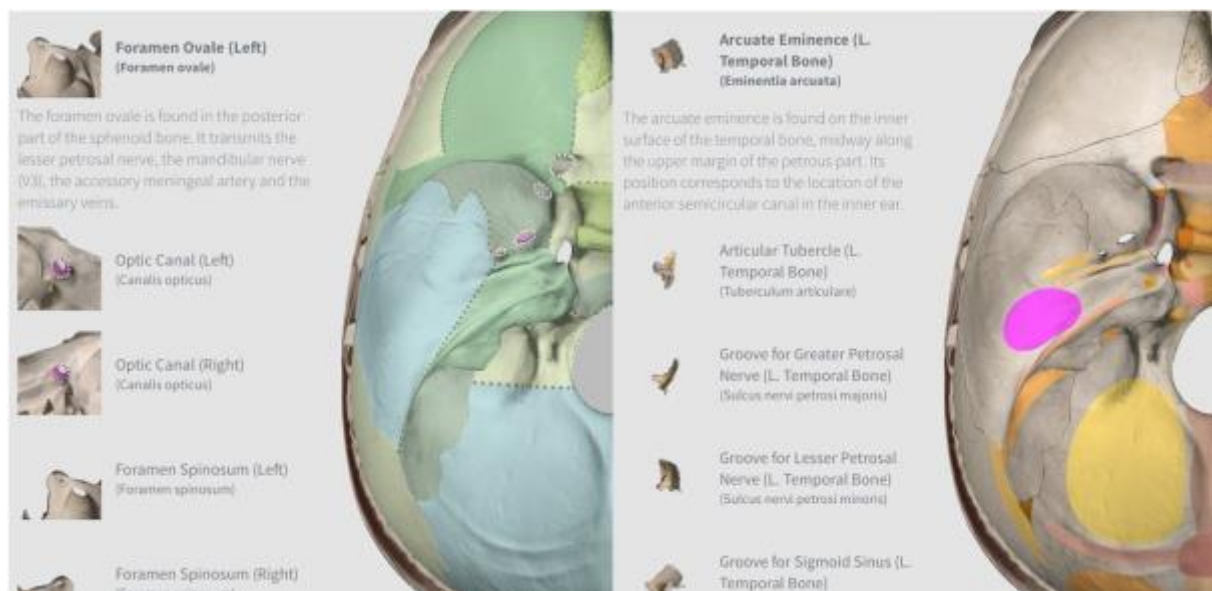
Anatominen tarkkuus on Complete Anatomyssä erinomaisella tasolla. Esimerkiksi jopa kyynelrauhasta hermottavat säikeet löytyvät mallista. Loin jälleen Henry Grayn piirroksia (ks. Primalin vastaava kappale) mukailevat näkymät virtuaaliseen 3D-oppimisympäristöön.



Kuva 16 Jalkaterän ligamentit, Complete Anatomy



Kuva 17 Sydän, Complete Anatomy



Kuva 18 Kallonpohja, Complete Anatomy

4.4 Yhteenveto

3D4Medicalin Complete Anatomy on suunniteltu ja toteutettu erinomaisesti. Käyttöliittymä on intuitiivinen ja selkeä. Anatomiset mallit ovat tarkkoja. Monet ominaisuuksista ovat

erittäin hyödyllisiä ja myös ainutlaatuisia, eli kilpailijoiden tuotteissa ei ole vastaavia. Sovelluksen suosio puhuu myös puolestaan: 3D4Medicalin anatomiset sovellukset ovat jo vuosia olleet myydyimpiä lääketieteellisiä sovelluksia useiden eri maiden App Storeissa. Tämä kertoo siitä, että hinta-laatusuhde on käyttäjien silmissä kohdallaan.

Complete Anatomyn keskeinen rajoite on saatavuus, sillä tuotetta ei vielä ole Android-alustalle. Windowseista tuetaan vain uusinta Windows 10:ä. Selainversiota ei ole, toisin kuin Visible Bodyllä. Näin ollen esimerkiksi yliopistossa ei pystytä ottamaan tuotetta ensisijaiseksi oppimismateriaaliksi, ellei samalla varmisteta, että jokaisella opiskelijalla on käytettävissä Mac- tai Windows 10-tietokone tai jokin uusimmista iPadeista. Toisaalta joissakin oppilaitoksissa näin on jo menetelty esimerkiksi hankkimalla jokaiselle opiskelijalle iPad opiskelukäyttöön.

Yhteenvetona voin todeta, että Complete Anatomy tarjoaa tällä hetkellä mielestäni markkinoiden kehittyneimmän virtuaalisen 3D-oppimisympäristön anatomian opiskeluun. Myös hinta-laatusuhde on hyvä.

5 Turun yliopiston lääketieteen opiskelijoiden kokemuksia virtuaalisista 3D-oppimisympäristöistä

Turun yliopiston lääkärikoulutuksen kurseista eniten anatomiaa sisältää ensimmäisen syyslukukauden kokonaisuus Tuki- ja liikuntaelimestön rakenne ja toiminta (9 opintopistettä). Kävin pitämässä vuoden 2013 opiskelijoille kurssin alussa 45 minuutin pituisen luennon virtuaalisista 3D-oppimisympäristöistä. Kurssin loputtua kurssipalautteessa pyysin niihin liittyen kommentteja, joita sain yhteensä 47:ltä vastaajalta. Heistä noin puolet käyttivät virtuaalisia 3D-oppimisympäristöjä ”hieman/jonkin verran”, hieman yli neljäsosa paljon ja alle neljäsosa ei käyttänyt ollenkaan tai lähes ollenkaan. Suurimman osan mielestä työkalut olivat erittäin hyödyllisiä vaikka eivät itse niitä olisi käyttäneetkään aktiivisesti.

Kritiikkiä työkalut saivat esimerkiksi puuttuvasta informaatiosta, esimerkiksi Primalissa luiden eri osia ei mainittu ja joitain pienempiä lihaksia ja luita puuttui verrattuna anatomisiin piirroksiin. Toisaalta joku huomautti, että 3D4Medicalin sovellus olisi ollut tarkempi, mutta hänellä ei ollut sen käytön mahdollistavaa laitetta käytössään. Eräs koki Primalin kömpelöksi hermojen ja suonten osalta. Joidenkin käytön esteenä oli tekniset syyt, kuten huono toimivuus yliopiston verkossa tai että ei saanut sovellusta käynnistymään. Yksi opiskelija kertoi, että

hänellä ei ollut ongelma hahmottaa rakenteita kolmiulotteisina ilman ohjelmaakaan, joten hän ei kokenut tarvetta 3D-oppimisympäristöjen käyttöön.

Erityisen hyödylliseksi 3D-oppimisympäristöt taas koettiin kolmiulotteisesti monimutkaisten rakenteiden opiskelussa. Ohjelma auttoi hahmottamaan rakenteita kolmessa ulottuvuudessa, kun perspektiivin pystyi valitsemaan itse, toisin kuin anatomisissa piirroksissa. Erikseen mainittiin työkalujen hyödyllisyys suurten rakenteiden (lihakset, luut) opiskelussa sekä jonkin rakenteen kulun ymmärtämisessä. Erään kommentin mukaan työkaluilla oli helppo tarkistaa nopeasti epäselväksi jääneitä asioita.

Huomionarvoista oli, että muutama vastaaja koki, ettei voinut käyttää työkaluja niin paljon kuin olisi halunnut. Yksi heistä mainitsi, että työkalu olisi kyllä hyvä elämää ja työtä varten, mutta tenttiin siitä ei ollut riittävästi apua. Sen sijaan hän koki joutuneensa tentin läpipääsyn toivossa opiskelemaan mielestään ns. tenttitärppejä, joiden koki olevan turhaa 'nippelitietoa'. Toinen opiskelija koki kurssin olevan liian lyhyt 3D-työkalulla tehtävän syväoppimisen harrastamiseen.

Otanta oli tässä tapauksessa pieni, mutta joka tapauksessa tulokset vastaavat hyvin aihepiirin tutkimusten havaintoja, eli vastaanotto oli pääasiassa hyvin positiivinen. Kriittiset kommentit koskivat sellaisia ongelmia, joita uudemmilla virtuaalisilla 3D-oppimisympäristöillä esiintyy vähemmän. Viimeisenä mainitut kommentit tentteihin opiskelemisesta tulee erityisesti ottaa huomioon, jos opiskelijoita aiotaan kannustaa uusien 3D-työkalujen käyttöön.

6 Pohdinta

6.1 Subjekttiivinen arvio tämänhetkisistä virtuaalisista 3D-oppimisympäristöistä

Visible Body

Tällä hetkellä kolme keskeisintä virtuaalista 3D-oppimisympäristöä ovat nähdäkseni Primal, 3D4Medicalin tuotteet sekä Visible Body. Kahta ensimmäistä olen käyttänyt ja vertaillut tässä työssä, mutta Visible Bodyä käyttänyt vain vähän. Tuotteissa on kuitenkin niin paljon yhtäläisyyksiä, että Visible Bodystäkin olen pystynyt muodostamaan kohtalaisen hyvän käsityksen lyhyenkin käytön jälkeen. Visible Bodyn lisenssi ostettiin Turun yliopiston

käyttöön v. 2016. Syyslukukaudella se otettiin varsinaisesti käyttöön ja annettiin koulutusta opiskelijoille ja opetushenkilökunnalle.

Visible Bodyn puolesta puhuu se, että useat prekliinisen vaiheen lääketieteen opiskelijat ovat ottaneet sen aktiiviseen käyttöönsä anatomian kursseilla. Tämä on tullut tietooni, kun olen kysellyt kyseisen kurssin opiskelijoilta 3D-työkalujen käytöstä. Asiaa olisi hyvä selvittää tarkemmin esimerkiksi kurssipalautteen yhteydessä. Visible Bodyn suosiota opiskelijoiden keskuudessa on nähdäkseni selittänyt yliopiston hankkima lisenssi, mikä on tehnyt siitä opiskelijoille ilmaisen. Ilmaista tuotetta ei kuitenkaan käytettäisi innokkaasti, ellei se olisi ominaisuuksiltaan ja käyttöliittymältään riittävän laadukas. Nämäkään kaksi seikkaa eivät riitä yksinään takaamaan suosiota, vaan lisäksi tarvitaan helppoa käyttöönottoa. Visible Body on onnistunut tässä, sillä se tukee kaikkia yleisimpiä alustoja, eli iOS:ää, Windowsia sekä Androidia. Tämä onkin Visible Bodyn vahvuus verrattuna Primaliin ja Complete Anatomyyn.

Visible Bodyn ominaisuuksien laajuus ja käytettävyys sijoittuvat mielestäni Primalin ja Complete Anatomyn välille. Visible Body sisältää monia vastaavia toimintoja kuin Complete Anatomy, mutta ei aivan kaikkia. Esimerkiksi nivelten liikkeet on animoitu molemmissa ohjelmissa, mutta Visible Bodyssä ei ole leikkaa-työkalua tai mahdollisuutta lisätä rakenteita kerroksittain. Lisäksi 3D-mallien tekstuurit, anatominen tarkkuus ja käyttöliittymä tuntuvat hieman kehnommilta.

Vertailua

Subjektiiivisesti järjestäisin nämä kolme keskeistä virtuaalista 3D-oppimisympäristöä huonommasta parempaan seuraavasti: Primal, Visible Body ja Complete Anatomy. Complete Anatomy on ominaisuuksiltaan ja käyttöliittymältään erinomainen. Tuotteesta tulee se vaikutelma, että se on sovelluskehityksen tämänhetkistä huippua. Hinta-laatusuhde on myös hyvä. 3D4Medicalin tekemä kehitystyö on selvästi hyvin aktiivista ja innovatiivista. Muita täydentäviä näkökulmia olen esittänyt Complete Anatomyn nimikkokappaleessa.

Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt omassa opiskelussani

Aloittaessani lääketieteellisiä opintoja v. 2010 ihmettelin, miksei anatomian opiskeluun ollut kunnollisia virtuaalisia 3D-oppimisympäristöjä. Tiesin niiden olevan teknisesti mahdollisia. Vuoden kuluessa tuotteita alkoikin tulla markkinoille. Siinä vaiheessa tuotteet olivat kuitenkin siinä määrin kehittymättömiä, etten halunnut niihin investoida. Anatomiaa opiskelin lähinnä anatomisten piirrosten, ruumiinavauksen ja harjoitustyövihkojen kautta, sillä anatomian opinnot sijoittuivat pääasiassa prekliinisiin vuosiin 2010 ja 2011. Virtuaalisia 3D-

oppimisympäristöjä olen siksi käyttänyt lähinnä satunnaisesti omasta mielenkiinnostani tai tämän projektityön puitteissa. Varsinaiseen työteliääseen opiskeluun en ole ehtinyt niitä käyttää, sillä kliinisessä vaiheessa on pitänyt keskittyä kliinisiin opintoihin. Myöskään opetushenkilökunta ei ole omien opintojeni aikana hyödyntänyt 3D-työkaluja opetuksessa.

Kohtalaisen vähästä omakohtaisesta opiskelukäytöstä huolimatta olen arvellut, että 3D-työkaluista olisi merkittävää hyötyä anatomian opiskelussa. Tätä käsitystä on vahvistanut muille opiskelijoille tekemäni kyselyt sekä aiheesta tehty tieteellinen tutkimus. Työkalut ovat samalla kehittyneet niin nopeasti, että jos nyt aloittaisin anatomian opinnot uudelleen, käyttäisin todennäköisesti suurimman osan ajasta Complete Anatomyä oppimateriaalina.

6.2 Kuinka virtuaalisia 3D-oppimisympäristöjä tulisi hyödyntää opetuksessa?

Parhaat virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt ovat niin kehittyneitä, että niitä voi suositella keskeiseksi oppimateriaaliksi anatomian opiskeluun. Tätä näkemystä tukee myös tutkimusnäyttö, jota esittelin kirjallisuuskatsauksessa. Siirtymä on hyvä toteuttaa asteittain ja maltillisesti, jotta uuden menetelmän vahvuudet ja heikkoudet paljastuvat. Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt tulisi integroida luento-opetukseen, pienryhmäopetukseen sekä anatomisiin ruumiinavauksiin. Tämä edellyttää sitä, että opiskelijat ja erityisesti opetushenkilökunta koulutettaisiin uusien työkalujen käyttöön perusteellisesti.

Luento-opetus

Luento-opetuksessa mahdollinen opetustilanne voisi olla sellainen, että opettaja luennoi samalla, kun esittelee anatomiaa virtuaalisen 3D-oppimisympäristön avulla ja projektori heijastaa kuvan valkokankaalle. Samanaikaisesti opiskelijat voisivat halutessaan avata vastaavan näkymän omalla laitteellaan ja tarkastella rakenteita omatoimisesti. Opettaja voisi hyödyntää hyväksi katsomallaan tavalla myös muita anatomisia tiedonlähteitä, kuten esimerkiksi anatomisia DVD:itä tai piirroksia. Erittäin tärkeää olisi myös interaktiivisuus, sillä muuten nykyajan opiskelijoiden on vaikea motivoitua passiiviselle luennolle, jonka olisi yhtä hyvin voinut katsoa tallenteena.

Kuten jo Complete Anatomyn esittelyssä totesinkin, luentotallenteitakin tulisi vakavasti harkita. Tällainen käänteisen luokkahuoneen (flipped classroom) periaate on ollut viime vuosina kiivas puheenaihe koulutusmaailmassa. Lyhyesti sanottuna sen idea on, että luennot toteutetaan tallenteina, jolloin luennoinnista vapautuneet resurssit voidaan hyödyntää

interaktiivisempaan opetukseen. Lisäksi se antaa opiskelijoille mahdollisuuden katsoa tai kerrata luentoja milloin tahansa. Luentotallenteet ansaitsevat harkinnan erityisesti anatomian opetuksessa, koska siinä opetettava asia ei olennaisesti muutu. Hyvä luentotallenne siis palvelisi opiskelijoita vuodesta ja kurssista toiseen. Laadukkaan, suomenkielisen anatomisen luentotallennemateriaalin tuottaminen voisi jopa olla kaikkien Suomessa anatomista koulutusta tarjoavien tahojen yhteisprojekti.

Pienryhmäopetus ja anatominen ruumiinavaus

Pienryhmäopetuksessa virtuaalisia 3D-oppimisympäristöjä voisi hyödyntää vastaavalla tavalla kuin luento-opetuksessakin. Luento-opetusta suurempi opettaja-opiskelijasuhde tulisi hyödyntää lisäämällä opetukseen interaktiivisuutta ja yksilöllisyyttä. Mikäli kaikilla opiskelijoilla ei muuten olisi pääsyä esim. iPadillä tai Macillä käytettävän virtuaalisen 3D-oppimisympäristön ääreen, pienryhmätöitä varten sellaiset voisi hankkia. Luonnollisesti laitteet tulisi sijoittaa sellaiseen paikkaan, jossa opiskelijat voisivat hyödyntää niitä myös omalla ajallaan.

Virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen mobiiliuden myötä anatomisen opetuksen integroiminen muuhun opetukseen helpottuu. Anatomia kulkee opiskelijoiden älylaitteiden mukana käytännössä aina, yhä useammin jopa klinikassa lääkärintakin taskussa. Ne mahdollistavat halutun alueen anatomian tarkastelun muutamissa sekunneissa. Esimerkkinä tällaisista tilanteista ovat laskimo- ja valtimoverinäytteiden ottaminen, polven tutkiminen, injektiohoidot, kirurgiset toimenpiteet jne. Ehdotankin, että virtuaalisista 3D-oppimisympäristöistä ja niiden mahdollistamasta integraatiosta tiedotettaisiin myös klinisiin kursseihin. Prekliinisten pienryhmätöiden opettajia tulisi kannustaa virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen hyödyntämiseen.

Anatomisissa ruumiinavauksissa virtuaalisia 3D-oppimisympäristöjä voisi hyödyntää referenssimateriaalina, eli ikään kuin karttana, jonka mukaan ruumiinavausta voisi suorittaa. Virtuaaliseen malliin voisi suorittaa identtistä ruumiinavausta poistaen samoja rakenteita näkyvistä kuin vainajastakin. Päivän dissektioiden päätteeksi kyseisen näkymän voisi tallentaa virtuaaliseen 3D-oppimisympäristöön kirjanmerkiksi, josta seuraavalla kerralla voisi sitten taas jatkaa. Käytännössä tämän voisi toteuttaa hankkimalla avaussaliin yhden tai useamman iPadin. Toisaalta ruumiinavaussaliin juurrutettujen iPadien käyttöaste jäisi hyvin vähäiseksi. Näin ollen opiskelijoiden omia tai tiedekunnan iPadeja voisi myös hyödyntää. Laitteiden ympärille voisi hankkia suojuksen, jonka läpi laitetta voisi käyttää ilman että ne

likaantuisivat. Hyvänä vaihtoehtona toimisi myös projektori yhdistettynä tietokoneeseen, jolla virtuaalista 3D-oppimisympäristöä voisi käyttää.

Aiempien opetusmenetelmien suhde virtuaalisiin 3D-oppimisympäristöihin

Anatomiset piirrokset säilyttävät edelleen paikkansa tarkimpana anatomisen tiedon lähteenä, joten ne puolustavat edelleen paikkaansa oppimateriaalissa. Olisi liian aikaista todeta virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen tehneen ne turhaksi. Anatomisten piirrosten yksi etu on, että niihin on tarkkaan valittu anatomiaa parhaiten havainnollistavat kuvakulmat. Virtuaalisissa 3D-oppimisympäristöissä tällaista ominaisuutta ei välttämättä ole, jolloin opiskelija ei välttämättä löydä juuri hyödyllisintä kuvakulmaa. On tutkimusnäyttöä siitä, että kolmiulotteiset anatomiset rakenteet muistetaan tietyistä keskeisistä kuvakulmista otettuina kaksiulotteisina mentaalisisina kuvina (Garg ym. 2001). Tutkijat kuitenkin huomasivat myös, että mahdollisuus tarkastella rakenteita useista eri näkökulmista auttoi vahvistamaan näitä muistoja keskeisistä näkökulmista. Tämä seikka voi osittain selittää 3D-oppimisympäristöjen menestystä tutkimuksissa.

Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt haastavat piirrokset ensisijaisena anatomisen tiedon lähteenä. Näkemykseni mukaan virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt eivät vielä korvaa niitä. Uskoakseni tulevana vuosina piirrosten merkitys vähenee, kun 3D-työkalujen anatomisen tarkkuus ja niiden käyttöliittymät kehittyvät edelleen. Katson jo tässä vaiheessa, että 3D-työkalut ansaitsevat vähintään yhtä merkittävän aseman opetusmateriaalina kuin anatomiset piirrokset. Opiskelijoiden ja opettajien tulee käyttää molempia työkaluja rinnakkain ja tarkkailla, mitkä ovat kunkin menetelmän vahvuudet ja miten kutakin hyödynnettäisiin parhaiten.

Anatominen ruumiinavaus on myöskin arvokas ja perinteikäs menetelmä opiskella anatomiaa. Se tarjoaa lääketieteen opiskelijoille mahdollisuuden kohdata vainaja ja sitä kautta kypsä lääkäri. Muissa menetelmissä ei pääse näkemään anatomista varianssia ja saa käsitystä kudostuntumasta. Tässä menetelmässä on kuitenkin omat puutteensa, kuten sen vaatimat suuret resurssit, liian suuret ryhmäkoot, pätevien ohjaajien niukkuus, sekä työskentelyn hitaus verrattuna virtuaaliseen ruumiinavaukseen. Anatomisen ruumiinavauksen kustannus-hyötysuhteesta onkin käyty paljon keskustelua (Winkelmann 2007).

Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt haastavat anatomisen ruumiinavauksen pedagogisena menetelmänä, sillä virtuaalisessa ruumiinavauksessa on paljon yhtäläisyyttä ja jopa joitakin

selviä etuja konkreettiseen ruumiinavaukseen nähden. Virtuaalinen ruumiinavaus on huomattavasti nopeampaa, sillä jonkin rakenteen tarkastelu voi tapahtua sekunneissa, kun taas anatomisessa ruumiinavauksessa samaan voi kulua jopa päiviä tai viikkoja. Virtuaalisuus mahdollistaa myös esimerkiksi rakenteiden läpinäkyväksi tekemisen, mikä helpottaa pinnallisten ja syvempien rakenteiden suhteiden hahmottamista. Siinä ei myöskään rajoituta etenemään tietyssä järjestyksessä kudoksia poistaen, vaan rakenteita voi yhtä hyvin myös lisätä näkymään.

Virtuaalisten 3D-oppimisympäristöjen vahvuuksista huolimatta en luopuisi anatomisesta ruumiinavauksesta opetusmenetelmänä. Se on ainoa tilaisuus, jossa olen päässyt näkemään, tuntemaan ja tutkimaan millaista anatomia tosielämässä on. Todellista anatomiaa ei ole oppikirjoissa tai 3D-malleissa, vaan vain ja ainoastaan ihmisruumiissa. Lääkärintoimi ei myöskään kohdistu piirroksiin tai virtuaalisiin potilaisiin. Anatominen ruumiinavaus onkin tarjonnut minulle mahdollisuuden muuttaa teoreettinen osaaminen käytännölliseksi. Ruumiinavauksen parissa koin monien muiden tavoin ahaa-elämyksiä, kun sama anatominen rakenne oli eri vainajien ja piirrosten välillä hyvin erilainen. Lisäksi menetelmän hitaus ja sen vaatima vaivannäkö ja tarkkuus saattavat olla jopa sen etu. Virtuaalinen ruumiinavaus sitä vastoin on niin vaivatonta, että paljon olennaista tietoa voi jäädä huomaamatta.

Näiden seikkojen valossa onkin tärkeää huomata, että virtuaalinen ruumiinavaus voi korvaamisen sijaan myös täydentää perinteistä ruumiinavausta mainiosti. Tästä annoin esimerkin viime alaotsikon viimeisessä kappaleessa.

Miten anatomista osaamista tulisi testata?

Anatomisen tiedon testaamiseen eli tentteihin tulisi kiinnittää erityistä huomiota, koska se ohjaa vahvasti opiskelijoiden työskentelyä. Haasteena on luoda tenttejä ja testejä, jotka mittaisivat kliinisesti olennaista anatomista osaamista tarkasti ja toisaalta olisivat riittävän käytännöllisiä toteuttaa. Aihetta ei ole kovin laajasti tutkittu, mutta nykyisen näkemyksen mukaan tulisi hyödyntää useita erilaisia testimenetelmiä. (Vorstenbosch ym. 2013.)

Mikäli virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt saavat keskeisen oppimateriaalin aseman, olisi syytä kannustaa opiskelijoita niiden käyttöön hyödyntämällä niitä myös tenttimateriaalina. Esimerkiksi 3D-oppimisympäristöjen tarjoamista tietovisoista voisi listata opiskelijoille tietyt, joiden joukosta tenttikysymykset valittaisiin. Edellytyksenä tälle olisi, että kyseinen oppimateriaali olisi kaikkien opiskelijoiden käytettävissä. Valittujen kysymysten jakauma

tulisi painottaa oppimateriaalin keskeisyyden mukaan. Myös tämä jakauma tulisi kertoa opiskelijoille avoimesti. Tällaisten suurten tenttikysymyspankkien avoin julkaiseminen kasvattaisi mahdollisten tenttikysymysten määrää niin, että opiskelijat eivät voisi enää opiskella pelkästään ns. tenttitärppejä, eli aikaisempina vuosina kysytyjä kysymyksiä.

Virtuaalisista 3D-oppimisympäristöistä voisi ottaa myös kuvankaappauksia monivalintatehtäviä varten. Näillä voisi osittain korvata anatomisiin piirroksiin perustuvia monivalintatehtäviä. Näin välttyttäisiin siltä, että opiskelijat keskittyvät opettelemaan tiettyjä anatomisia piirroksia ulkoa niin, että eivät kuitenkaan tunnista vastavia rakenteita muista perspektiiveistä. Tällainen käytäntö mahdollisesti kannustaisi opiskelijoita ymmärtämään rakenteita kolmiulotteisesti suhteessa toisiin rakenteisiin.

Yhteenveto tiedekunnan näkökulmasta

Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt ovat tulleet jäädäkseen ja ansaitsevat olennaisen aseman opetusmateriaalina. Uuden teknologian integrointi opetukseen on kuitenkin haaste, johon ei vielä ole valmiita oikeita vastauksia. Yritän kuitenkin tarjota seuraavaksi joitakin näkökulmia siihen, millaista kehitystä tiedekunnan kannattaisi tukea jatkossa.

On syytä antaa riittävä koulutus 3D-työkaluista opetushenkilökunnalle ja opiskelijoille. Uusi teknologia ei koskaan voi olla sen hyödyllisempää kuin se taso, jolla sitä osataan hyödyntää. Ei tule mielestäni luottaa siihen, että opiskelijat olisivat digitaalisesti niin etevä, etteivät tarvitsisi koulutusta tai opastusta. Päinvastoin olen havainnut, että tämä ei monesti pidä paikkaansa. Kuitenkin opiskelijoiden kohdalla koulutuksen ei tarvitse mielestäni olla varta vasten järjestettyä, vaan oppiminen voi tapahtua luontevasti samalla, kun opetushenkilökunta käyttää 3D-työkaluja esimerkiksi luennolla tai pienryhmäopetuksessa. Tämä edellyttää sitä, että opetushenkilökunta on koulutettu hyvin.

Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt ovat kehittyneet viime vuosina lujaa vauhtia, eikä ole syytä olettaa kehityksen pysähtyvän. Mitä enemmän niistä halutaan saada hyötyä anatomian opetukseen, sitä kehittyneemmät työkalut kannattaa olla käytössä. Tiedekunnan käytössä on ollut kaksi lisenssiä, toinen kirjaston v. 2012 hankkima Primal ja v. 2016 hankittu Visible Body. Kumpaankaan sopimukseen ei ole sisällynyt tuotteiden päivityksiä. Primalin kohdalla tämä on tarkoittanut sitä, että se on jo jäänyt merkittävästi kehityksestä jälkeen, eikä siksi ole enää suositeltava. Visible Bodyn kanssa on syytä varautua samaan. Siksi jatkossa vastaavia

hankintoja tehtäessä on syytä tehdä kilpailutus, jossa huomioidaan paitsi tuotteen hinta-laatusuhde niin myös päivitysten mahdollisuus ja niiden hinta.

Visible Bodyn ohella olisi syytä harkita, tulisiko opetuskäyttöön hankkia myös joitakin laitteita, jotka tukevat Complete Anatomyä, joka on mielestäni tämän hetken kehittynein sovellus. Tämä laite ja sovellus voisi olla käytössä luennoijalla, pienryhmäopettajilla tai ruumiinavauksissa. Se mahdollistaisi vertailun eri 3D-työkalujen välillä ja antaisi arvokasta käyttökokemusta tiedekunnan tulevia hankintoja ajatellen.

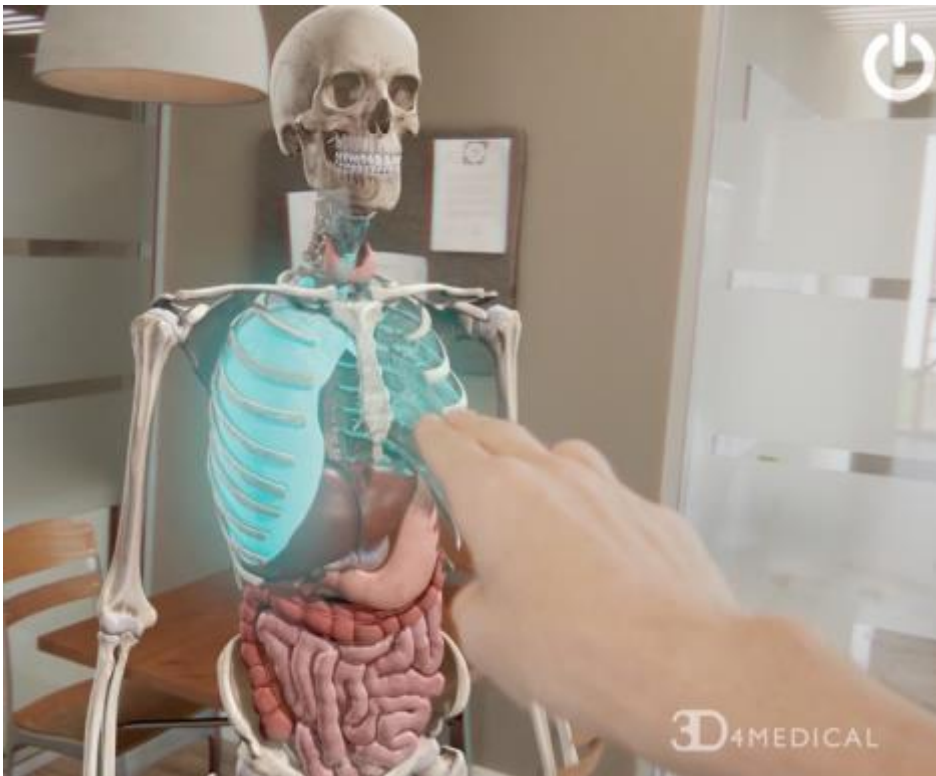
6.3 Miltä anatomian opetuksen tulevaisuus voisi näyttää?

Virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus

Viime vuosina virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus ovat tehneet läpimurtoaan. Eräänlaisena merkkipaaluna pidetään yleisesti Oculus VR:n tapausta. Vuonna 2012 Oculus VR-niminen yhdysvaltalainen yritys julkaisi joukkorahoituskampanjan, jossa se keräsi 2,5 miljoonaa dollaria Oculus Rift-virtuaalitodellisuuslasien kehittämiseen. Maaliskuussa 2014 Facebook osti Oculus VR:n kahdella miljardilla dollarilla (Ars Technica 2014). Yrityskaupan arvo kertoo siitä, kuinka nopeasti kiinnostus virtuaalitodellisuutta kohtaan on noussut.

Virtuaalitodellisuudessa on kyse siitä, että tietokonesimulaatio tuottaa aistimuksia, joilla luodaan kokonaan keinotekoinen ympäristö (Kielitoimiston sanakirja 2016). Yleisimmin tämä toteutetaan virtuaalitodellisuuslaseilla, kuten Oculus Riftillä. Lisätty todellisuus (engl. augmented reality) taas viittaa näkymään, johon on lisätty tietokonegrafiikalla tuotettuja elementtejä ja jota käyttäjä tarkastelee läpikatseltavien näyttöjen kautta (Wikipedia.fi 2016). Eräs tunnetuimpia esimerkkejä tästä on Microsoftin kehittämä HoloLens, jonka kehittäjäversio tuli markkinoille maaliskuussa 2016. Sen avulla käyttäjät voivat siis tarkastella virtuaalista objektia ikään kuin se olisi oikeasti läsnä huoneessa.

Myös anatomian opettajat ovat kiinnostuneet lisätyn todellisuuden teknologiasta (Küçük ym. 2016). Sen avulla opiskelijat ja opettajat voisivat esimerkiksi yhdessä katsella virtuaalista anatomista mallia seisten opetustilassa virtuaalisen mallin ympärillä. Käyttöliittymä olisi intuitiivinen ja perustuisi mahdollisesti eleohjaukseen. Tällaista teknologiaa kehittää ainakin 3D4Medical työnimellä Project Esper. Projektista ei ole vielä juuri muuta tietoa saatavilla kuin lyhyt esittelyvideo, joka ei liene aitoa kuvaa itse tuotteesta vaan mallinnus siitä, millaiselta valmis tuote voisi näyttää.



Kuva 19 Kuvankaappaus Project Esperin esittelyvideolta, 3D4Medical



Kuva 20 Kuvankaappaus Project Esperin esittelyvideolta, 3D4Medical

Lisätty todellisuus on hyvin todennäköisesti tulevaisuutta myös anatomian opetuksessa sen luomien lukuisten mahdollisuuksien vuoksi. On vaikea kuvitella, miten anatomiaa voisi paremmin visualisoida.

Anatomisen tiedon saatavuus

Viime aikoina on keskusteltu paljon siitä, miten tiedonhaku ja kasvava määrä helposti saatavilla olevaa tietoa vaikuttaa koulutukseen. Tämä pätee myös anatomiseen tietoon. Virtuaaliset 3D-oppimisympäristöt mahdollistavat nopean anatomisen tiedonhaun. Esimerkiksi lääkäri voi ennen toimenpidettä tarkistaa kyseisen alueen anatomian 3D-mallista ja tunnistaa nopeasti hermot, verisuonet ja muut rakenteet, joita tulee varoa. Lisätyn todellisuuden tekniikan kehittyessä 3D-anatomia voidaan mallintaa jopa potilaan ruumiiseen, kuten on tutkijat ovat jo alustavasti tehneet (Ma ym. 2016). Mallia voitaisiin jopa mukauttaa potilaasta tehtyjen kuvantamistutkimusten perusteella, jolloin voisi kirjaimellisesti nähdä potilaan sisälle.

6.4 Yhteenveto

Elämme mielenkiintoista aikaa anatomian opetuksen ja anatomisen tiedon saralla. Uudet teknologiat ovat muuttamassa anatomian opiskelua ja anatomista tiedonhakua merkittäväällä tavalla. Tulevina vuosikymmeninä muutos on epäilemättä vielä suurempi kuin menneinä. Hienoimmatkaan 3D-mallit eivät korvaa mieleen tallentunutta anatomista osaamista. Ne voivat kuitenkin merkittävästi auttaa sen opiskelussa. Uusi teknologia on anatomista opetusta tarjoaville oppilaitoksille haaste, mutta myös hieno mahdollisuus.

LÄHTEET

About 3D4Medical. <http://applications.3d4medical.com/about>. Luettu 28.9.2016.

Facebook purchases VR headset maker Oculus for \$2 billion. Ars Technica. <http://arstechnica.com/gaming/2014/03/facebook-purchases-vr-headset-maker-oculus-for-2-billion/>. Luettu 28.9.2016.

Fitzgerald, J. E., White, M. J., Tang, S.W., Maxwell-Armstrong, C. A., James, D. K. Are we teaching sufficient anatomy at medical school? The opinions of newly qualified doctors. Clin Anat 2008; 21: 718–24.

Garg, A. X., Norman G., Sperotable L. How medical students learn spatial anatomy. *The Lancet* 2001; 357: 363–364.

General Medical Council 2009. Tomorrow's doctors: outcomes and standards, for undergraduate medical education. Regulating doctors, ensuring good medical practice. 3. painos. Yhdistynyt kuningaskunta.

Kielitoimiston sanakirja. Kotimaisten kielten keskus ja Kielikone Oy.
<http://www.kielitoimistonsanakirja.fi/>. Luettu 28.9.2016.

Küçük, S., Kapakin, S., Gökteş, Y. Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. *Anat Sci Educ* 2016; 9: 411–21.

Lisätty todellisuus. Wikipedia. https://fi.wikipedia.org/wiki/Lis%C3%A4tty_todellisuus.
Luettu 28.9.2016.

Ma, M., Fallavollita, P., Seelbach, I., Von Der Heide, A. M., Euler, E., Waschke, J., Navab, N. Personalized augmented reality for anatomy education. *Clin Anat* 2016; 29: 446–53.

Marks, S. C. Jr. The role of three-dimensional information in health care and medical education: the implications for anatomy and dissection. *Clin Anat* 2000; 13: 448–52.

Moore, A.E., Zhang, J., Stringer, M. D. Iatrogenic nerve injury in a national no-fault compensation scheme: an observational cohort study. *Int J Clin Pract* 2012; 66: 409–416.

Shaffer, K. Teaching Anatomy in the Digital World. *N Engl J Med* 2004; 351: 1279–1281.

Sugand, K., Abrahams, P., Khurana, A. The anatomy of anatomy: a review for its modernization. *Anat Sci Educ* 2010; 3: 83–93.

Turney, B.W. Anatomy in a modern medical curriculum. *Ann R Coll Surg Engl* 2007; 89: 104–107.

Vorstenbosch, M. A., Klaassen, T. P., Kooloos, J. G., Bolhuis, S. M., Laan, R. F. Do images influence assessment in anatomy? Exploring the effect of images on item difficulty and item discrimination. *Anat Sci Educ* 2013; 6: 29–41.

Waterston, S. W., Stewart, I. J. Survey of clinicians' attitudes to the anatomical teaching and knowledge of medical students. *Clin Anat* 2005; 18: 380–4.

Winkelmann, A. Anatomical dissection as a teaching method in medical school: a review of the evidence. *Med Educ* 2007; 41:15–22.

Yamine, K., Violato, C. A meta-analysis of the educational effectiveness of three-dimensional visualization technologies in teaching anatomy. *Anat Sci Educ* 2015; 8: 525–538.