

Virtuaaliympäristöjen tekniikat ja niiden käyttö lääketieteen
sovelluksissa

Maarit Tikka

Tampereen yliopisto
Tietojenkäsittelytieteiden laitos
Pro gradu -tutkielma
Helmikuu 2001

Tampereen yliopisto

Tietojenkäsittelytieteiden laitos

Maarit Tikka: Virtuaaliympäristöjen tekniikat ja niiden käyttö lääketieteen sovelluksissa

Pro gradu -tutkielma, 86 sivua, 5 liitesivua

Helmikuu 2001

Tutkielma jakaantuu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa käsitellään virtuaaliympäristöjen tekniikoita yleisesti lähtien niiden historian tärkeimmistä askeleista. Tekniikoiden lisäksi käsitellään lyhyesti myös ihmisen keskeisimmät aistit, jota hyödynnetään virtuaaliympäristöjen sovelluksissa. Toisessa osiossa käsitellään virtuaaliympäristöjen hyödyntämismahdollisuuksia lääketieteen erilaisissa sovelluksissa ja selvennetään niiden käyttöä esimerkkitapausten avulla. Tämän lisäksi osiossa käsitellään lääketieteen sovellusten kehityksen askeleita ja tuodaan esille kolmiulotteisten anatomisten mallien erityispiirteitä.

Avainsanat ja -sanonnat: virtuaaliympäristö, virtuaaliympäristöjen tekniikka, virtuaalitodellisuus, vuorovaikutteisuus, ihmisen ja tietokoneen välinen käyttöliittymä, simulointi, lisätty todellisuus, lääketieteen sovellukset, kolmiulotteiset anatomiset mallit.

Sisällys

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Johdanto | 1 |
| 2. | Käsitteet | 3 |
| 3. | Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden historia..... | 5 |
| 3.1. | Moottoripyörällä ajamisen simuloiminen..... | 5 |
| 3.2. | Etäläsnäoloa tukeva sovellus..... | 5 |
| 3.3. | Tietokonegrafiikkaa näytöllä ja pään liikkeiden seuranta..... | 5 |
| 3.4. | Tuntopalautetta antava näyttö | 6 |
| 3.5. | Muunneltava näppäimistö..... | 7 |
| 3.6. | Laajakulmalinssinäyttö..... | 7 |
| 3.7. | Datahansikkaan synty | 8 |
| 3.8. | Uudenlainen kommunikointitapa | 8 |
| 3.9. | Animaation tekeminen..... | 8 |
| 3.10. | NASA:n kypäränäyttö ja vuorovaikutteinen virtuaaliympäristö | 9 |
| 3.11. | NASA:n CRT-stereonäyttö | 9 |
| 3.12. | USA:n ilmavoimat virtuaalinen ohjaamo..... | 10 |
| 3.13. | Virtuaaliympäristöjen laitteita ja niiden ohjelmistoja..... | 11 |
| 3.14. | British Aerospace:n virtuaaliset ohjaamot | 12 |
| 3.15. | Tuntopalautteen välittäminen datahansikkaiden avulla | 13 |
| 4. | Virtuaaliympäristön lähde..... | 14 |
| 4.1. | Tietokoneen avulla luotu ympäristö | 14 |
| 4.2. | Lisätty todellisuus..... | 14 |
| 4.3. | Etäämmällä oleva kohde | 15 |
| 4.4. | Pienikokoinen kohde | 16 |
| 5. | Olellisimmat aistit ja niihin liittyvä tekniikka..... | 17 |
| 5.1. | Näköaisti | 17 |
| 5.2. | Näköaisti ja näyttötekniikka..... | 18 |
| 5.3. | Kuuloaisti | 19 |
| 5.4. | Kuuloaisti ja audiotekniikka | 20 |
| 5.5. | Tuntoaisti | 21 |
| 5.6. | Tuntoaisti ja voimatakaisinkytkentätekniikka..... | 21 |
| 5.7. | Tasapainoaisti..... | 21 |
| 5.8. | Tasapainoelimen toiminnan hyödyntäminen..... | 21 |
| 6. | Virtuaaliympäristöjen tekniikat..... | 23 |
| 6.1. | Näytöt | 23 |
| 6.1.1. | Pääripusteiset näytöt..... | 23 |
| 6.1.2. | Puominäytöt | 25 |

| | | |
|--------|--|----|
| 6.1.3. | Laajakangasprojektiot..... | 25 |
| 6.1.4. | Virtuaalinen pöytä | 26 |
| 6.1.5. | Kolmiulotteinen näyttö | 26 |
| 6.1.6. | Virtuaali-ikkunat | 26 |
| 6.1.7. | Tilanäytöt | 27 |
| 6.1.8. | Kiikarinäytöt | 27 |
| 6.2. | Paikannustekniikat..... | 27 |
| 6.2.1. | Sähkömekaaninen paikannus | 28 |
| 6.2.2. | Magneettinen paikannus | 28 |
| 6.2.3. | Akustinen paikannus..... | 28 |
| 6.2.4. | Optinen paikannus | 29 |
| 6.3. | Datahansikas | 29 |
| 6.3.1. | Pehmeärakenteiset datahansikkaat | 30 |
| 6.3.2. | Rankarakenteiset datahansikkaat..... | 30 |
| 6.4. | Muita syöttölaitteita | 30 |
| 6.4.1. | Hiiri ja navigointipaneeli..... | 31 |
| 6.4.2. | Kolmiulotteinen hiiri | 31 |
| 6.4.3. | Ohjauspallo | 32 |
| 6.4.4. | Ohjaussauva | 32 |
| 6.4.5. | Pelejä varten kehitetyjä ohjauslaitteita..... | 32 |
| 6.5. | Äänilaitteet..... | 32 |
| 6.6. | Voimatakaisinkytkentälaitteisto..... | 33 |
| 7. | Lääketieteen virtuaaliympäristöjen kehityksen askeleita..... | 35 |
| 7.1. | Äänikuvan näyttö | 35 |
| 7.2. | Kasvojen mallintaminen..... | 35 |
| 7.3. | Lonkan ja alaraajan virtuaalinen malli..... | 35 |
| 7.4. | Ensimmäinen leikkaussimulaatio..... | 36 |
| 7.5. | Kehittyneempi leikkaussimulaatio..... | 37 |
| 7.6. | Ihmisen kolmiulotteinen malli..... | 37 |
| 7.7. | Haavoittuneen raajan hoitosimulaatio | 38 |
| 7.8. | Kohdun tähyystyysimulaatio | 39 |
| 8. | Kolmiulotteiset anatomiset mallit..... | 40 |
| 8.1. | Anatomisten mallien erityispiirteet | 40 |
| 8.2. | Anatomisten mallien tekeminen..... | 41 |
| 8.3. | Anatomisten mallien käyttö | 44 |
| 9. | Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden käyttäminen lääketieteessä..... | 47 |
| 9.1. | Harjoittelun apuväline..... | 47 |
| 9.2. | Operaation suunnittelemisen ja toteuttamisen apuväline..... | 48 |
| 9.3. | Etäämmällä olevan kohteen tarkkaileminen ja etäoperointi | 49 |

| | | |
|---------|--|----|
| 9.4. | Pienten kohteiden tutkimisen apuväline | 50 |
| 9.5. | Psykiatrian apuväline..... | 50 |
| 9.5.1. | Terapian apuväline | 50 |
| 9.5.2. | Kliinisen neuropsykologian apuväline..... | 51 |
| 9.6. | Potilaan toiminnan motivoimisen apuväline..... | 52 |
| 9.6.1. | Kuntoutuksen apuväline | 52 |
| 9.6.2. | Kuntoilemisen apuväline | 52 |
| 10. | Esimerkkejä lääketieteen sovelluksista..... | 53 |
| 10.1. | Case: SKATS -Polven tähytysleikkauksen harjoittelusysteemi..... | 53 |
| 10.2. | Case: Rutgers Ankle -kuntoutussovellus | 55 |
| 10.3. | Case: MediSim –ensiaputoimenpiteiden harjoittelusovellus..... | 57 |
| 10.4. | Case: Eturauhassyövän diagnosoimien harjoittelu | 60 |
| 11. | Esimerkkejä lääketieteen sovelluksista Suomessa..... | 64 |
| 11.1. | Tietokoneen opastamat leikkaukset | 64 |
| 11.2. | Nanoläsnäolo | 64 |
| 11.3. | Kuntoilemisen apuväline..... | 65 |
| 11.4. | Tasapainoelimen sairauksien tutkiminen..... | 65 |
| 12. | Kenttätutkimusta lääketieteen sovelluksista Suomessa | 66 |
| 12.1. | Case: Virku –Virtuaalikuntokeskus | 66 |
| 12.1.1. | Taustatietoa Virkusta | 66 |
| 12.1.2. | Havainnot Virkusta | 67 |
| 12.2. | Case: Tasapainoistin tutkiminen..... | 68 |
| 12.2.1. | Taustatietoa | 68 |
| 12.2.2. | Havainnot..... | 71 |
| 13. | Kritiikkiä..... | 73 |
| 14. | Tulevaisuuden näkymät..... | 75 |
| 14.1. | Tekniikka..... | 75 |
| 14.2. | Lääketieteen sovellukset | 76 |
| 14.3. | Kuviteltu esimerkki lääketieteen sovelluksien tulevaisuudesta..... | 76 |
| 15. | Yhteenveto ja loppusanat | 78 |

Liitteet

Kiitokset

Kiitos opettajilleni, graduni ohjaajalle ja sen tarkastajille. Kiitos Terolle hyvistä vinkeistä. Erikoiskiitos Petrille tuesta ja kärsivällisyydestä.

1. Johdanto

Useiden vuosikymmenien ajan hallitsevimmat välineet ihmisen ja tietokoneen välisessä vuorovaikutuksessa olivat näppäimistö ja kuvaputki. Uusia mahdollisuuksia vuorovaikutukseen toi hiirisyöttölaite ja ikkunamainen näytön alueiden jäsentely. Seuraavaksi ryhdyttiin hyödyntämään multimedialla: ääniä ja liikkuvaa kuvaa. Vuorovaikutus jäi kuitenkin näiden laitteiden ja ohjelmien avulla meko vähäiseksi ja yksinkertaiseksi. Ihmisen ja koneen vuorovaikutuksen parantamiseksi alettiin kehitellä virtuaaliympäristöjen tekniikoita, jotka hyödyntävät ihmisen tärkeimpiä aisteja ja liikkeitä. Virtuaaliympäristöjen laitteiden, ohjelmistojen ja käyttäjäliityntäteknikoiden avullaryhdyttiin luomaan mahdollisimman todellisen tuntuista keinotekoisia ympäristöjä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödynnetään nykyisin yhä enenevässä määrin monella teollisuuden alalla. Esimerkkejä tärkeimmistä alueista ovat lento- ja ajosimulaattorit, sekä arkkitehtuurin ja teollisuuden alojen suunnittelusovellukset [Haubner *et al.*, 1997]. Myös lääketiede on yksi lupaava sovellusalue, jossa voidaan hyödyntää virtuaalisia ympäristöjä ja lisättyä todellisuutta [Weghorst, 1998]. Virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödyntävien sovellusten avulla voidaan harjoitella esimerkiksi hankalaa toimenpidettä ilman, että siitä on mitään vaaraa potilaalle. Virtuaalisten sovellusten avulla voidaan myös kehittää uusia hoitotapoja esimerkiksi kuntoutukseen ja terapiaan.

Lääketieteen virtuaaliympäristöjä hyödyntävät sovellukset poikkeavat muiden alojen sovelluksista esimerkiksi virtuaalisille objekteille asetettujen vaatimusten perusteella. Esimerkiksi puiden ja talojen on näytettävä vain suurin piirtein luonnollisilta ajosimulaattorissa. Lääketieteen sovelluksissa virtuaalisten objektien on näytettävä mahdollisimman todellisilta, joten niiden tekeminen on tarkempaa ja monimutkaisempaa [Haubner *et al.*, 1997]. Omat ongelmansa tuo myös se, että mitä monimutkaisempi virtuaalinen objekti on, sitä enemmän sen käsitteleminen vaatii tietokoneen kapasiteettia. Lääketieteen sovelluksissa on usein hyötyä tuntopalautteen antamisesta. Tällöin virtuaaliselle objektille on määriteltävä ominaisuudet, jotka vastaavat mallinnettavan objektin erilaisten kudosten fyysisiä ominaisuuksia. Tuntopalautteen toteuttaminen oikealla tavalla joustavaksi jokaisen kudoksen kohdalla vaatii lisätyötä. Muiden alojen mallinnettavat objektit ovat usein joustamattomia, joten tuntopalautteen antaminen on helpompaa.

Tutkielmassa on pääasiassa koottu tietoa kirjallisuudesta. Virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödyntäviä lääketieteen sovelluksia on esitelty yleisesti ja käsitelty myös tapaustutkimusmenetelmän avulla [Järvinen ja Järvinen, 1996]. Kirjoittajalla on ollut mahdollisuus tutustua käytännössä luvun 12 esimerkkitapauksiin. Muut tutkielman luvut perustuvat täysin kirjallisuudesta saatuun tietoon.

Tässä tutkielmassa on kaksi pääosaa: luvuissa 3-6 käsitellään virtuaaliympäristöihin liittyviä asioita ja luvuissa 7-12 käsitellään virtuaaliympäristöjen teknikoiden hyödyntämistä erilaisissa lääketieteen sovelluksissa. Luvussa 13 käsitellään virtuaaliympäristöjen laitteita ja sovelluksia kohtaan esitettyä kritiikkiä ja luvussa 14 hahmotellaan tulevaisuuden näkymiä. Tutkielmassa ei käsitellä lääketieteellisiä asioita eikä kysymyksiä, vaan pyritään käsittelemään asiaa teknisemmästä näkökulmasta.

2. Käsitteet

Tässä luvussa esitellään tutkielmassa esiintyvät keskeisimmät termit. Termien esittelyn yhteyteen on liitetty niiden englanninkielinen vastine selvennyksen vuoksi.

Binokulaarinen poikkeama (Binocular disparity): Silmien välisestä etäisyydestä johtuvien verkkokalvoprojektoiden ero. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Hahmontaa (render): Muuttaa koneismuotoinen esitys ihmisen havaittavaan ja tajutavaan muotoon, esimerkiksi kolmiulotteiseksi kuvaksi tai kuultavaksi musiikiksi. [Sanastotoimikunta, 1999]

Interpolointi (interpolation): Käyrän tms. tunnettujen pisteiden väliin jäävien tuntemattomien pisteiden approksimointi jollakin matemaattisella menetelmällä.

Kolmiulotteinen kuvanlukija (3D scanner): Kuten kuvanlukija mutta konetiedostoksi muunnettavan kuvan tilalla voi olla kolmiulotteinen kappale.

Kuvanlukija (scanner): Optinen lukija, joka automaattisesti muuntaa näkyvän kuvan tai tekstin kuva-alkioittain konetiedostoksi. [Sanastotoimikunta, 1999]

Lisätty todellisuus (augmented reality): Viittaa tekniikkaan, jossa varsinaiseen todellisuuteen lisätään ihmistä avustavia tietokoneen avulla tuotettuja aistimuksia. Tavallisimmin hyödynnetään näköaistia, eli lisätään todelliseen näkymään tietokoneen avulla tuotettua kuvaa. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Lähiverkko (local area network, LAN): Lyhyillä etäisyyksillä, usein yhden organisaation tai rakennuksen sisällä käytettävä nopea tiedonsiirtoverkko. [Sanastotoimikunta, 1999]

Polygoni (polygon): Polygoni on suomeksi monikulmio. Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden yhteydessä käytetään usein sanaa polygoni. Suljettu tasossa oleva suorien viivojen rajoittama muoto. Kolmiulotteisen tietokonegrafiikan kuvat muodostuvat polygoneista. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Puheentunnistus (speech recognition): Puheen piirteiden (foneemien) avulla tapahtuva sanojen tai komentojen automaattinen tunnistus ja luokittelu. [Sanastotoimikunta, 1999]

Rautalankamalli (wireframe): Kuvaesitys, jossa kohteesta esitetään vain sämät. Kuvasta puuttuu esimerkiksi pinnat väreineen ja kuviointeineen. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Resoluutio (resolution): Suure, jonka arvo vastaa toisistaan erottuvien yksityiskohtien määrää suhteessa esityksen kokoon. [Sanastotoimikunta, 1999]

Roolihahmo (avatar): Käyttäjän ohjaama, häntä edustava ja yleensä näytössä näkyvä olio esimerkiksi tietokonepelissä, päätekeskustelussa tai lumetodellisuudessa. [Sanastotoimikunta, 1999]

Stereonäkö (stereovision): Syvyysvaikutelmien syntyminen silmien välisestä etäisyydestä johtuvien verkkokalvoprojektoiden erojen johdosta. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Syöttölaite (input device): Tiedon syöttämiseen käytettävä laite. [Sanastotoimikunta, 1999]

Tekstuuri (texture): Kappaleiden pintarakenne ja pintakuviointi. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Tulostin (output device): Paperille tai vastaavanlaiselle tietovälineelle tulostava laite. [Sanastotoimikunta, 1999]

Tuntopalaute (haptic): Tuntoaistin avulla saatava palaute kosketuksesta.

Uppoutuminen (immersion): Vaikutelma läsnäolosta muualla, esimerkiksi virtuaalisessa ympäristössä. Ihminen prosessoi tämän vaikutelman keinotekoisista aistiärsykkeistä, joita tuotetaan aisteille. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Virtuaalitodellisuus, VT (virtual reality, VR): Käytössä on myös termit lumentodellisuus ja keinotodellisuus. Tietotekniikan keinoin aikaansaatu aistihavaintojen kokonaisuus, joka kokijasta vaikuttaa todelliselta [Sanastotoimikunta, 1999].

Virtuaaliympäristö (virtual environment): Käytössä on myös termit lumentodellisuus ja synteettinen ympäristö. Tietotekniikan keinoin aikaansaatu todentuntuinen työ-, peli- tai muu toimintaympäristö [Sanastotoimikunta, 1999].

Virtuaaliympäristöjen tekniikka (virtual environment techniques): Lumentodellisuuden tekniikka. Todentuntuja vaikutelmia ja aistihavaintoja synnyttävien laitekenteiden tekniikka. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Voimatakaisinkytkentä (force-feedback): Todentuntua lisäävä tekniikka, jossa käyttäjälle välitetään laitteiden avulla tunne siitä, että virtuaaliympäristön näennäisesineitä liikuttaessa tai kosketettaessa esine käyttäytyy, kuten normaalissakin ympäristössä. Esimerkiksi näennäisesineeseen tartuttaessa sormet eivät mene esineen läpi vaan lukkiutuvat sen pinnalle. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Äänikuvan näyttö (audio display): Äänikuvan näyttö synnyttää vaikutelman tilasta, äänilähteiden suunnista ja sijainneista. Sen avulla käyttäjälle syntyy käitys siitä, missä ollaan ja minkälaisia kohteita missäkin päin sijaitsee. [Reitmaa *et al.*, 1995]

3. Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden historia

Virtuaaliympäristöjen tekniikoista puhuttaessa tulee ensimmäisenä mieleen uusin teknologia. Virtuaaliympäristöjen tekniikoilla on kuitenkin yllättävän pitkä historia. Niiden hyödyntäminen ei ole ideana uusi keksintö. Tässä luvussa käydään läpi virtuaaliympäristöjen tekniikoiden historian tärkeimmät askeleet vuosilta 1956-1991.

3.1. Moottoripyörällä ajamisen simuloiminen

Vuonna 1956 Morton Heilig rakensi simulaattorin, jota kutsuttiin Sensoramaksi. Sensorama tarjosi käyttäjälle ainutlaatuisen yhdistelmän kolmiulotteista kuvaa, stereoääntä, värähtelyä, ilmapirtausta kasvoille ja kaupungin tuoksua. Käyttäjä istui istuimella ja ajoi tietokonesimulaatiossa Manhattanin läpi moottoripyörällä. Laitteen keskeinen ajatus oli vaikuttaa keinotekoisesti moneen aistiin. Sensorama ei ollut taloudellinen menestys ja päättyi lopulta huvipuistokäyttöön. [Kalawsky, 1993; Reitmaa *et al.*, 1995]

3.2. Etäläsnäoloa tukeva sovellus

Philco Corporation rakensi vuonna 1961 systeemin, jonka avulla oli mahdollista tuntea olevansa läsnä erillään sijaitsevassa tilassa, jota kuvattiin televisiokameralla. Systeemin nimi oli Headsight. Käyttäjän pään asentoa seurattiin magneettisen seurantasysteemin avulla. Kypärään ja kypärän ympärillä olevaan kähkykseen oli sijoitettu käämejä. Kun käyttäjä käänsi päätään, käämien aiheuttamat kolme magneettikenttää ilmaisivat pään kiertymissuuntaa kolmen toisiaan vastaan kohtisuoran akselin ympäri (Liite 1, kuva 1.2). Kameraa liikuteltiin käyttäjän pään liikkeiden mukaan. Kuvaa ohjattiin pienestä kuvaputkinäytöstä kevyen optiikan välityksellä kypärään käyttäjän nähtäville. Laitteen tarkoituksena oli tuottaa käyttäjälle samanlainen näkymä, kuin olisi syntynyt, jos hän olisi ollut läsnä kameroiden paikalla. Headsight- systeemi mahdollisti vaarallisten operaatioiden seuraamisen turvallisesti erillään sijaitsevassa tilassa. Tällaisella systeemillä arveltiin olevan käyttöä meren ja avaruuden tutkimisessa, radioaktiivisilla alueilla sekä sotilaallisessa valvonnassa. Headsight edusti virtuaalitekniikoiden tärkeää muunnosta, etäläsnäoloa. [Kalawsky, 1993; Reitmaa *et al.*, 1995]

3.3. Tietokonegrafiikkaa näytöllä ja pään liikkeiden seuranta

Ivan Sutherland ehdotti vuonna 1965, että näytön pitäisi olla rakennettu siten, että se voisi esittää tietokoneen avulla tuotettua kuvaa. Kuvien tulisi olla niin realistisen näköisiä, ettei niitä voisi erottaa todellisista asioista. Sutherlandin idean mukaan näyttötekniikoiden avulla pyrittäisiin luomaan mahdollisimman uskottava todentuntu, eli ns. ikkuna näennäiseen maailmaan. [Kalawsky, 1993; Reitmaa *et al.*, 1995]

Vuonna 1968 Sutherland rakensi ensimmäisen tietokonegrafiikkaa tulostavan pääripusteisen näytön Harvardin yliopistossa. Systeemissä oli kaksi pientä kuvaputkinäyttöä ja pään sijainnin seurantasysteemi. Käyttäjä pystyi näkemään näytöllä kolmiulotteisia

rautalankamalli-objekteja, jotka voitiin sijoittaa todelliseen maailmaan. Rautalankamalli-objektit voitiin sijoittaa tiettyyn kiinteään paikkaan huoneessa tai niitä voitiin siirrellä käyttäjän pään liikkeiden mukaan. [Kalawsky, 1993]

Sutherlandin rakentaman pään liikkeiden seurantasysteemin avulla voitiin päätellä pään sijainti ja asento. Pään sijainti määriteltiin x , y - ja z -koordinaattien mukaan. Pään asento määriteltiin käyttäen apuna kolmea kiertymää kolmen toisiaan vastaan kohtisuoran akselin ympäri. Seurantalaitteen avulla voitiin paikantaa pään liikkeet kuuden vapausasteen mukaan (Liite 1, kuvat 1.1 ja 1.2). Pään liikkeitä seurattiin mekaanisen vivuston avulla, joka roikkui katosta käyttäjän pään yläpuolella. Vivustossa oli niveliä, jotka mahdollistivat systeemin liikkumisen. Vivuston liikkeitä havainnoitiin digitaalisilla ilmaisimilla, jolloin saatiin seurattua pään liikkeitä. Pään liikkeiden avulla saatiin selvitettyä katselupisteen suunta ja paikka. Vaikka laitteisto oli huolellisesti tasapainotettu ja tuettu, se oli erittäin painava. Nykyisinkin on käytössä puominäyttöjä, jotka soveltavat samankaltaista vipusysteemiä. [Kalawsky, 1993]

Sutherland jatkoi kollegoidensa kanssa pään liikkeiden seurantasysteemin kehittelyä. He kehittivät ultraääneen perustuvaa paikannussysteemiä aiemmin rakennetun vivuston tilalle. Kypäraan asennettiin kolme ultraäänellä toimivaa lähetintä, joilla kaikilla oli oma taajuutensa. Neljä ultraäänen vastaanotinta asennettiin käyttäjän pään yläpuolella olevaan kattoon. Lähettimien ja vastaanottimien välille muodostui 12 eri reittiä, joita pitkin ultraääniaallot kulkivat. Ultraääniaaltojen kulkemien reittien pituuksien muutoksia voitiin laskea, kun tiedettiin matkaan kulunut aika. Mittaustulokset syötettiin tietokoneelle, jolloin oli mahdollista laskea pään sijainti ja suunta. Tämä menetelmä ei kuitenkaan toiminut aivan moitteettomasti, koska eri aalloista saadut mittausarvot menivät keskenään sekaisin. Tarvittavat laskutoimitukset olisivat vaatineet tehokkaamman tietokoneen kuin silloin oli saatavilla. [Kalawsky, 1993]

3.4. Tuntopalautetta antava näyttö

Pohjois-Carolinan yliopistossa aloitettiin vuonna 1967 projekti, jonka tarkoituksena oli tutkia tuntopalautetta antavaa näyttösystemiä, joka voisi esittää molekyyllisen rakenteen kuusiulotteista voimakenttää. Tämä tutkimusprojekti oli nimeltään Grope. Se suunniteltiin toteutettavaksi neljässä vaiheessa: kaksi-, kolmi- ja kuusiulotteinen systeemi sekä kuusiulotteinen systeemi, joka mahdollisti molekyylien telakoinnin visualisoinnin. Grope-projektin tuloksena kehitettiin kolme versiota systeemistä.

Grope I mahdollisti yksinkertaisten voimakenttien tarkastelemisen. Kun käyttäjä liikkui tutkittavaa kappaletta, hän pystyi näkemään ja tuntemaan siihen vaikuttavat voimat. Grope II antoi käyttäjälle mahdollisuuden siirrellä lasten rakennuspalikoita virtuaalisen taulun pinnalla. Varhaiset tulokset vahvistivat, että tuntopalautetta antava näyttö paransi suorituskykyä ja havainnollisuutta yksinkertaisissa motorisissa tehtävissä. Grope IIIA -systeemi mahdollisti työskentelyn kuusiulotteisesti. Systeemiin kuului

virtuaalinen käsi, joka oli ripustettu virtuaaliseen ympäristöön kuudella virtuaalisella jousella. Käyttäjän tuli etsiä virtuaalisen käden sijainti, jossa sillä oli pienin energiatila. Tämä systeemi ei ollut kovin kätevä, koska virtuaalinen käsi pystyi itse löytämään kyseisen sijainnin. Kun systeemiä kehitettiin edelleen, saatiin aikaiseksi Grope IIIB. Tämän systeemin avulla käyttäjä pystyi telakoimaan neljä lääkemolekyyliä proteiinimolekyylin aktiiviselle puolelle siten, että hän pystyi tuntemaan molekyylien väliset veto-voimat ja löytämään luontevan kiinnityskohdan tehokkaammin. Käyttäjä ei ilmeisesti tiennyt voimatakaisinkytkennästä, ennen kuin se kytkettiin pois päältä. Tuntopalautetta antavan näytön etuja suorituskyvyn ja ymmärryksen lisäämiseksi on hieman epäilty. Tuntopalautetta antavien näyttöjen eteen on nähty suhteellisen vähän vaivaa, kun otetaan huomioon tuntoaistin avulla saadun palautteen tärkeys taitavaa käsittelyä vaativissa tehtävissä. [Kalawsky, 1993]

3.5. Muunneltava näppäimistö

Vuonna 1975 Knowlton esitteli uudenlaisen tietokoneen näppäimistön. Näppäimistö koostui mustista tekstittömistä nappuloista, puoliksi läpinäkyvästä peilistä ja televisionäytöstä. Peili sijoitettiin näppäimistön päälle siten, että siihen voitiin heijastaa televisionruudulta tuleva tieto näppäinten virtuaalisista teksteistä. Jokaiselle näppäimelle voitiin määritellä teksti ja toiminto tietokoneen avulla ohjelmoimalla. Tarpeettomat napit voitiin jättää näkymättömiksi. Näppäinten tekstejä voitiin muuttaa tarpeen ja laitteen mukaan. Koska jokaista virtuaalista napin tekstiä vastasi fyysinen nappi, pystyi käyttäjä tuntemaan näppäimet kuten tavallisessakin näppäimistössä. [Kalawsky, 1993]

3.6. Laajakulmalinssinäyttö

Eric Howlett perusti Leep Systems -yhtiön, jonka toiminnan tarkoituksena oli rakentaa laajakulmalinssisiä kolmiulotteisen pysäytyskuvan esittämiseksi. Vuonna 1979 Howlett suunnitteli optisen Large Expanse Extra Perspective (LEEP) -systeemin. Vuonna 1985 Howlett teki sopimuksen NASA Ames Research Centerin kanssa optisten systeemien toimittamisesta NASA:n ensimmäiseen virtuaaliympäristösysteemiin. Alkuperäinen LEEP-systeemi oli suunniteltu siten, että sillä pystyttiin katselemaan erityisellä 3D-kameralla otettuja kuvia. LEEP-systeemin optiikka korjasi 3D-kameran aiheuttamat vääristymät kuvassa. Tämä laiteyhdistelmä mahdollisti erittäin laajojen kolmiulotteisten kuvien käytön. LEEP-systeemin avulla katsottujen kuvien syvyyttä ja näkymän todentuntuisuutta pidetään vaikuttavana. Nykyisin käytetään LEEP-systeemejä lähes kaikissa virtuaaliympäristöissä varten valmistettavissa pääripusteisissa näytöissä. [Kalawsky, 1993]

3.7. Datahansikkaan synty

Vuonna 1977 Dan Sandin, Richard Sayre ja Thomas Defanti rakensivat taivutusta ilmaisevan hansikkaan, jota kutsuttiin Sayre Gloveksi [Kalawsky, 1993].

Thomas Zimmerman patentoi vuonna 1982 optiseen johtoon perustuvan datahansikkaan. Zimmermanin lähtökohtana oli rakentaa datahansikas, joka ei olisi niin kömpelö, kuin aikaisemmin tehdyt hansikkaat olivat. Zimmermanin sormien asennon seurantasysteemi perustui joustaviin muovisiin valoa johtaviin putkiin. Muoviset putket kiinnitettiin hanskaan sormia myötäilevästi. Systeemiin liitettiin valonlähde ja valontunnistin. Kun sormen asentoa muutettiin, mitattiin valon kulun muutosta ja pääteltiin siitä sormen todellinen asento. Sormien asennon lisäksi tarvittiin tietoa käden paikasta. Käden paikan määrittelemiseksi käytettiin magneettikenttämittausta. Zimmerman perusti kollegoidensa kanssa VPL Research -yhtiön, jolle hän luovutti datahansikkaan patentin. Yhdessä kollegoidensa kanssa hän jatkoi datahansikkaan kehittelyä ja tuotteistamista. [Kalawsky, 1993; Reitmaa *et al.*, 1995]

3.8. Uudenlainen kommunikointitapa

Myron Krueger esitteli idean, jonka mukaan kypäränäyttöjä voitiin käyttää muuhunkin kuin tietokoneen avulla tuotettujen näkymien katselemiseen. Vuonna 1983 julkaisemassaan kirjassa *Artificial Reality* Krueger esitteli työtään tietokonegrafiikan ja paikannustekniikoiden yhdistämisen parissa. 1970-luvun puoliväliin mennessä hän perusti Connecticutin yliopistoon laboratorion nimeltään Videoplace. Videoplace-systeemiin kuului käyttäjää kuvaava televisiokamera ja valkokangas, johon heijastettiin kuvaa käyttäjän nähtäväksi. Kun tätä systeemiä kehitettiin edelleen, saatiin aikaiseksi systeemi nimeltään Videodesk. Tämän systeemin käyttäjä istui pöydän ääressä kätet pöydällä. Televisiokamera tallensi silhuettikuvaa käyttäjän käsistä. Kuva välitettiin toiselle käyttäjälle, joka istui kauempana samanlaisen pöydän ääressä. Käyttäjät pystyivät kommunikoimaan toisilleen käsieleitä käyttäen. Tietokonesysteemi tunnisti eleitä silhuettikuvista. Eleiden tunnistamisen avulla systeemi pystyi tarjoamaan käyttäjälle mahdollisuuden kommunikoida tietokoneen kanssa. Käsieleiden avulla käyttäjä pystyi maalaamaan, piirtämään ja tekemään valintoja valikoista. [Kalawsky, 1993]

3.9. Animaation tekeminen

Monen tutkijan tavoitteena on ja on ollut jo ennen virtuaaliympäristöjen tekniikoiden rakentamista reaaliaikaisten ja samalla mahdollisimman luonnollisen näköisen animaatioiden tekeminen. Vuodesta 1984 lähtien Massachusettsin yliopistossa on tutkittu paljon animaatiota. David Zeltzer Ohion osavaltion yliopistosta toteutti tietokoneanimaation nimeltään *George*, jossa ihmisen luurankomalli kävelee. Zeltzer piti tärkeänä sitä, että animaatiota tehdessä käytetään hyödyksi mahdollisimman paljon tietoa siitä, miten liike tapahtuu oikeassa elämässä. Esimerkiksi ihmisen kävelyä simuloitaessa on hyvä

huomioida, miten tukielinten osat liittyvät toisiinsa, mikä on nivelten liikerata sekä miten ja mihin tahtiin eri liikkeet tarkalleen tapahtuvat kävellessä. Liike on siis tunnettava hyvin, jotta sitä voidaan simuloida animaation avulla mahdollisimman todellisen näköisesti. Nykyiset virtuaaliympäristöt saattavat vaikuttaa epäluonnollisilta juuri siksi, että virtuaaliset objektit liikkuvat tai käyttäytyvät epäluonnollisella tavalla. Voi olla, että objektien liikkeet ovat vahvempi visuaalinen vihje kuin korkealaatuiset tekstuurit. Zeltzerin viimeisimmät työt liittyvät tietokoneen avulla luodun ympäristön ja maaston kehittämiseen. [Kalawsky, 1993]

3.10. NASA:n kypäränäyttö ja vuorovaikutteinen virtuaaliympäristö

Vuonna 1984 National Aeronautics and Space Administration (NASA) Ames Research Centerin tutkijat McGreevy ja Humphries rakensivat ensimmäisen kypäränäytön, jonka läpi ei pystynyt näkemään todelliseen ympäristöön. Näytössä hyödynnettiin Howlettin LEEP-optiikkaa. Tämä tutkimus johti vuonna 1985 Virtual Interface Environment Workstation (VIEW) -projektin perustamiseen. [Kalawsky, 1993]

VIEW-projektia johti Scott Fisher. VIEW-systeemi sisälsi pään ja käden seurantatekniikat, laajakulmaisen pääripusteisen stereonäytön LEEP-optiikalla ja LCD-näytöillä, kolmiulotteisen äänentoistolaitteiston, eleiden tunnistussysteemin, CRT (cathode-ray tube) -puominäytön sekä erillään sijaitsevan kameralaitteiston. Käden ja pään liikkeiden mittaamiseksi systeemissä oli kolme erilaista kuuden vapausasteen mukaan toimivaa seurantasysteemiä. Kahta erityyppistä seurantasysteemiä tarvittiin, koska ne toimivat eri etäisyyksillä parhaiten. Puominäytön liikkeiden seuranta varten oli oma systeemi, johon kuului puomiin sijoitetut potentiometrit. Nämä tekniikat tarjosivat vuorovaikutteisen ympäristön, jossa käyttäjä pystyi liikkumaan 360 astetta kattava virtuaalinen ympäristö oli joko tietokoneen avulla tuotettu tai erillään sijaitseva reaalinen paikka. Systeemi mahdollisti kolmiulotteisen kuvan ja ääniefektien käytön. Systeemissä oli puhesyntetisaattori ja puheentunnistussysteemi. Käyttäjällä pystyi kommunikoimaan ympäristön kanssa myös hanskan tapaisella laitteella, joka oli virtuaalihanskan edeltäjä. [Kalawsky, 1993]

3.11. NASA:n CRT-stereonäyttö

NASA rakensi CRT-stereonäytön, joka oli kiinnitetty tasapainotettuun varteeseen. Systeemissä käytettiin kevyttä LEEP-laajakulmaoptiikkaa yhdistettynä kahteen CRT-näyttöön. Näyttösysteemi oli kiinnitetty nivellettyyn varteeseen, jonka avulla pystyttiin liikkuttamaan näyttöä kuuden vapausasteen mukaan. Varren pituus ja nivelille mahdollinen kääntyvyys asettivat luonnollisesti rajoitteita liikkumismahdollisuuksille. Varren niveliin oli liitetty potentiometrejä, jotka tuottivat eri volttimääriä nivelen kulman mukaan. Potentiometriä tuottama analoginen tieto voitiin konvertoida tietokoneen ymmärtä-

mään muotoon. Tietokoneen avulla laskettiin näyttösystemin sijainti ja suunta. [Kalawsky, 1993]

Systeemi toimi siten, että käyttäjä sijoitti näytön silmiensä eteen haluamaansa asentoon käsien avulla. Näytön käyttäminen oli hyvin samanlaista kuin kiikareilla katseleminen. Kuvaa virtuaalisesta ympäristöstä muokattiin näytön liikkeiden mukaan. Käyttäjä istui työpöydän ääressä ja tutki virtuaaliympäristöä eri suunnista näyttöä siirtelemällä. Systeemin etuna oli vähäinen tilan tarve sekä se, että käyttäjä pystyi vaihtelemaan nopeasti työskentelyään virtuaalisen ja oikean ympäristön välillä. Tässä systemissä käytettiin mustavalkoista CRT-näyttöä. Värillisen kuvan käytön heikkoutena olisi ollut se, että sitä ei olisi pystytty tarjoamaan yhtä tarkkana. Teknologian kehittyessä tällaiset rajoitukset vähenevät. [Kalawsky, 1993]

3.12. USA:n ilmavoimat virtuaalinen ohjaamo

USA:n ilmavoimat alkoi rakentaa virtuaalista ohjaamoja, jonka avulla voitaisiin testata lentäjän toimintakykyä erittäin monimutkaisten ohjauslaitteistojen kanssa. Idea sai alkunsa asiantuntijoiden esittämästä huolesta, jonka mukaan tulevaisuuden laitteiden ohjaaminen voi aiheuttaa liikaa työkuormitusta lentäjälle. Haluttiin tutkia, voitaisiinko lentäjän työn helpottamiseksi hyödyntää uusia syöttötapoja, kuten päällä osoittamista, silmillä osoittamista, ääniohjausta tai käden suunnan ja sijainnin seurantaan perustuvia toimintoja. Vuonna 1985 kehitetty Super Cockpit perustui virtuaaliseen ympäristöön, joka koostui kuva-, ääni-, ja tuntoympäristöistä. Käyttäjä pystyi kommunikoimaan ympäristön kanssa pään, silmien, puheen ja käsien avulla. Systeemi tarjosi käyttäjälle rajoitettukulmaista kaksikulmaista kuvaa, jonka avulla käyttäjän tuli muodostaa käsitys tilanteesta. Tämä vaati runsaasti älyllistä ja havainnollista ajattelutyötä. Kommunikointi tapahtui ainoastaan tietokoneen ja käyttäjän välisen käyttöliittymän avulla. [Kalawsky, 1993]

Vuonna 1985 Dean Kocian Wright Patterson Air Force Basesta (WPAFB) rakensi Visual Coupled Airbone Systems Simulatorin (VCASS). VCASS kehitettiin tutkimustarkoituksiin, jotta voitaisiin selvittää tärkeimpiä ihmisen ominaisuuksia virtuaalisten ohjaamojen kannalta. VCASS tarjosi mustavalkoista kuvaa, joka oli vaakasuunnassa 120 ja pystysuunnassa 60 asteen laajuinen. Kuva koostui rautalankamalleista. Systeemissä oli pääripusteinen näyttö, jota ei voi käyttää oikeissa lentokoneissa, koska näytön paino aiheuttaisi vakavia ongelmia heittoistuimen lauetessa. [Kalawsky, 1993]

Monia ongelmia liittyen virtuaaliseen lentokoneen ohjaamiseen on ratkaisematta. Virtuaalisen ohjaamon kehittäminen jatkuu ja se on suuri haaste virtuaaliympäristöjen kehittäjille. [Kalawsky, 1993]

3.13. Virtuaaliympäristöjen laitteita ja niiden ohjelmistoja

Vuonna 1985 Jaron Lanier ja Jean-Jacques Grimaud perustivat yrityksen VPL. VPL valmisti uusinta teknologiaa edustavia käyttöliittymätyökaluja, kuten datahansikkaita. Lanier sai rahallista tukea Thompson-CSF:ltä ja NASA:lta. Nämä avustukset mahdollistivat VPL:n kehittymisen. [Kalawsky, 1993]

VPL:ssä huomioitiin se, että virtuaaliympäristöjen laitteita ostavat ihmiset tarvitsevat myös ohjelmistoja kyseisten laitteiden käyttöä varten. VPL:n rakentama Reality Built For Two (RB2) oli ensimmäinen kokonainen virtuaaliympäristösysteemi, joka oli ostettavissa. Asiakkaan ei tarvinnut ostaa koko systeemiä kerralla, vaan vain ne osat, joita hän tarvitsi. Täydellinen RB2 –systeemi mahdollisti kahden käyttäjän vuoroväkkäisen toiminnan virtuaalisessa ympäristössä. Systeemi sisälsi ohjelmiston kehitystyökaluja, joiden avulla asiakas pystyi kokoamaan melko monimutkaisia virtuaaliympäristöjä ilman tietokoneohjelmien tekemistä. Tämän vuoksi ympäristön kokoaminen oli nopeaa. Systeemi tarjosi täyden tuen virtuaaliympäristön rakentamiselle ja kehittämiselle. Systeemin heikkous oli suorituskyvyn puute, jota myöhemmin korjattiin muuttamalla käytössä olevien tietokoneiden kokoonpanoa. [Kalawsky, 1993]

3.14. British Aerospaceen virtuaaliset ohjaamot

Vuodesta 1987 British Aerospace on kehittänyt kypäränäyttöä, jota voitaisiin hyödyntää ohjaamossa. Tarkoituksena on kehittää ohjaamo, minkä käyttäminen toisi ohjaajalle mahdollisimman vähän työtaakkaa. Advanced Cockpit Research Programme perustettiin kehittämään ratkaisuja ohjaamon ja uusien teknologioiden yhdistämiseksi. Tutkimuksen tueksi kehitettiin systeemi, jonka avulla voidaan kokeilla ja vertailla useita erilaisia teknologioita suhteessa ihmisen kykyihin. Systeemin avainominaisuus on kypäränäyttö, joka tarjoaa korkearesoluutioista värikuvaa. Tämä näyttö voidaan ohjelmoida jäljittelemään kaikkia nykyisiä kypäränäyttöjä. Ominaisuus on huomattava apu useissa tutkimuksen vaiheissa. Systeemin avulla voidaan myös hahmotella kypäränäyttöä, jota tarvitaan täysin virtuaalisen ohjaamon toteuttamiseksi. Kypärään on yhdistetty puheentunnistus- ja kolmiulotteisen äänen paikannussysteemi. [Kalawsky, 1993]

Nykytekniikan avulla ei ole mahdollista tehdä sellaista virtuaalista ohjaamo, jolla voitaisiin käytännössä ohjata lentokonetta. British Aerospace on käyttänyt uusia tekniikoita hyödykseen lentäjien kouluttamisessa. Vuonna 1991 Pariisissa esitelty harjoittelua varten toteutettu VECTA-virtuaaliohjaamo sai positiivista palautetta. Vaikka sen näyttö olikin aikansa korkearesoluutioisin ja grafiikkakiihdytin nopein saatavilla oleva, kuva osoittautui liian hitaaksi harjoitteluun tarvittavien tehtävien suorittamisessa. Käyttäjä ei pystynyt näkemään käsiään eikä saamaan tuntopalautetta virtuaalista kytkintä käyttäessään. Nämä puutteet koettiin ongelmiksi. [Kalawsky, 1993]

VECTA:sta saatu positiivinen palaute kannusti British Aerospacea kehittämään sitä edelleen. Vuonna 1992 kehitettiin uusi systeemi nimeltään RAVETA. Tähän systeemiin haluttiin toteuttaa tekniikka, joka mahdollisti tavallisen ohjaamon näkemisen ja kosketamisen, sekä virtuaalisen kuvan katsomisen samanaikaisesti. R. S. Kalawskyn vuonna 1991 kehittämä tekniikka mahdollisti kaikkien näiden ominaisuuksien toteuttamisen. Kypäränäyttöön yhdistettiin kaksi pientä televisiokameraa, joiden kuva heijastettiin käyttäjän nähtäville. Tällä tavalla käyttäjä pystyi näkemään epäsuorasti ohjaamon ja kätensä. Tekniikan idea oli tietokoneen avulla tuotetun ulkomaailman kuvan liittäminen käyttäjän näkemään alueeseen. Ohjaamon tuulilasi maalattiin tietyllä värillä, jolloin pystyttiin tuottamaan juuri sen alueelle tietokoneen tuottamaa kuvaa kameroiden kuvan sijasta. Systeemissä yhdistettiin virtuaalista ja reaalista ympäristöä. [Kalawsky, 1993]

3.15. Tuntopalautteen välittäminen datahansikkaiden avulla

Vuonna 1991 Advanced Robotics Research Centre suunnitteli Teletact I datahansikkaan kaksi prototyyppiä. Toinen hansikas toimi syöttölaitteena ja toinen antoi käyttäjälle palautetta. Airmuscle Ltd. of Granfield rakensi hansikkaat Englannissa suunnitelman mukaan. Syöttölaitteeksi rakennetun hansikkaan sisäpinnalle liitettiin 20 voimaa aistivaa sensoria tärkeisiin paikkoihin. Kun hansikkaaseen kohdistui kosketuksen aikana painetta, vastukset tuottivat yhtä suuren vastustavan paineen, jota tarkkailtiin tietokoneen avulla. Palautetta antavassa hansikassa oli 20 ilmataskua vastaavissa kohdissa, kuin syöttölaitteena toimivan hanskan sensorit. Jokainen ilmatasku liitettiin omaan paineilmapumppuunsa ohuella putkella. 20 paineilmapumppua ohjattiin tietokoneen avulla. Kun paine kasvoi kosketuksen vuoksi syöttölaitteena toimivassa hansikkaassa, kasvatettiin ilmanpainetta vastaavissa kohdissa palautetta antavassa hansikkaassa. Tällä tavalla syöttöhansikkaassa toteutetut paineen muutokset voitiin havaita palautetta antavassa hansikkaassa. Systeemiä edelleen kehitettäessä valmistettiin Teletact II, joka sisälsi enemmän palautetta antavia ilmataskuja. [Kalawsky, 1993]

4. Virtuaaliympäristön lähde

Yleensä virtuaaliympäristöksi käsitetään tietokoneen avulla luotu näennäinen ympäristö, mutta yhtä hyvin ympäristö voi olla reaalisen ympäristön ja tietokoneen avulla tuotetun kuvan yhdistelmä tai etäämmältä siirrettyä varsinaista todellisuutta [Reitmaa *et al.*, 1995].

4.1. Tietokoneen avulla luotu ympäristö

Tietokoneen avulla luodun synteettisen ympäristön, eli kolmiulotteisen grafiikan, tekemiseen liittyy paljon yksityiskohtia ja vaiheita. Ympäristö pyritään tekemään luonnollisen näköiseksi muotojen, värien, valojen ja varjojen suhteen. Tässä luvussa otetaan esille lyhyesti joitakin synteettisen ympäristön ominaisuuksia ja sen tekemiseen liittyviä peruseräiteitä.

Täysin synteettistä ympäristöä käytettäessä käyttäjä näkee joka suunnassa tietokoneen avulla luotua kuvaa. Synteettinen ympäristö luodaan usein keräämällä tietoja useasta lähteestä ja yhdistelemällä niitä älykkäästi. Esimerkiksi kenomaisema voidaan koota käyttäen apuna vaikka korkeus-, maankäyttö- ja rakennustietokantoja, sekä ilma- ja satelliittikuvia. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Tavallisesti objektit suunnitellaan perinteisten CAD-ohjelmien tyyppisillä välineillä. Objektin muoto voidaan määrittää myös olemassa olevasta kappaleesta kolmiulotteisen kuvanlukijan tai digitointilaitteen avulla. Kolmiulotteiset objektit koostuvat polygoneista. Polygonien avulla muodostetaan objektin rautalankamalli. Rautalankamallin polygonien pintaan lisätään tekstuureja, jotta pintarakenteesta ja -kuviosta saadaan mahdollisimman luonnollisen näköisiä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Objektien rautalankamallien ja tekstuurien tekeminen on aikaa vievää työtä. Niitä voidaan kuitenkin käyttää usein uudelleen monissa yhteyksissä. Useimpien mallinnusohjelmien mukana tulee jonkin verran valmiita malleja ja tekstuureja. Malleja ja tekstuureja voi myös ostaa valmiina niitä valmistavilta yrityksiltä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Kappaleen osat, jotka peittyvät kappaleen itsensä taakse tai muiden kappaleiden taakse, on hävitettävä katsontasuunnan mukaan sovelluksen ollessa käynnissä. Oikean muodon ja piiloon jäävien osien näkymättömyyden lisäksi virtuaalisilta objekteilta vaaditaan luonnollisen omaista käyttäytymistä. Käytävissä olevan tietokoneen tai tietokoneiden laskentateho, muisti ja kuvantuottonopeus rajaavat luonnollisuuden kehittämismahdollisuuksia ja virtuaalimaailman kokoa. [Reitmaa *et al.*, 1995]

4.2. Lisätty todellisuus

Käyttäjän näkymä voidaan tuottaa yhdistämällä normaali näkymä ja tietokoneen avulla tuotettu kuva. Tällöin käyttäjälle näkyvä lopputulos edustaa lisättyä todellisuutta. Yleensä lisätyssä todellisuudessa tietokoneen avulla tuotettu kuva on yksinkertaista eikä

se vaadi kovin tehokasta grafiikkaprosessointia. Tällaisessa systeemissä pään asennon paikannussysteemin on oltava erittäin tarkka, jotta todellisen ja synteettisen kuvan päällekkäin täsmäys onnistuu hyvin. Tavallisin ja tunnetuin sovellus, joka hyödyntää lisättyä todellisuutta, on sotilaskäytössä näkymän ja maalitietojen päällekkäin yhdistäminen. [Reitmaa *et al.*, 1995] Teollisuudessa lisättyä todellisuutta voidaan käyttää esimerkiksi monimutkaisten laitteiden korjauksessa siten, että käyttäjä voi korjausta suorittaessaan selata virtuaalisia korjausohjeita ja nähdä koneen osien päällä virtuaalisia lappuja, jotka auttavat osien tunnistamisessa. Arkkitehdit voivat katsella rakennuksen virtuaalista mallia oikeassa ympäristössään lisätyn todellisuuden avulla. Myös lääketieteen sovelluksissa voidaan hyödyntää lisättyä todellisuutta esimerkiksi leikkauksen apuna. Lisätyn todellisuuden yhteydessä käytetään läpikatsottavaa pääripusteista näyttöä, jota käsitellään myöhemmin luvussa kuusi. [Tang *et al.*, 1998]

4.3. Etäämmällä oleva kohde

Kun tarkastellaan etäämmällä olevaa kohdetta virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla, puhutaan etäläsnäolosta. Etäläsnäolo on virtuaaliympäristöjen tekniikoiden tärkeä muunnos [Kalawsky, 1993]. Etäläsnäolon mahdollistavan tekniikan avulla käyttäjä voi tuntea olevansa läsnä erillään sijaitsevassa tilassa, jota kuvataan kameraparilla. Käyttäjän pään tai puominäytön asentoa seurataan, jotta kameroita voidaan liikutella katseen suunnan mukaan. Tällöin käyttäjälle muodostuu samanlainen näkymä kuin muodostuisi, jos hän olisi kameraparin paikalla. Näkymää kuvataan kahdella vierekkäisellä kameralla, jotta silmille saadaan tuotettua binokulaarisen poikkeaman verran erilaista kuvaa stereokuvan mahdollistamiseksi. Etäläsnäoloa tukeviin sovelluksiin sopii hyvin käytettäväksi samanlaiset näyttötekniikat kuin synteettisenkin kuvan näyttämiseen. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Erikoisten laitteiden ja robottien avulla voidaan suorittaa etäoperointia. Tällöin käyttäjä voi olla vuorovaikutuksessa etäämmällä olevan ympäristön kanssa. [Reitmaa *et al.*, 1995]

4.4. Pienikokoinen kohde

Kun tarkastellaan pienikokoista kohdetta virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla, puhutaan nanoläsnäolosta. Nanoläsnäolo mahdollistaa erittäin pientenkin kohteiden katselemisen. Nanoläsnäolossa käyttäjälle näytettävää kuvaa suurennetaan tilanteen mukaan [Reitmaa *et al.*, 1995]. Nanoläsnäoloa varten kuva suurennetaan esimerkiksi mikroskooppinäkymästä. Kuva voi olla myös tietokoneen avulla tuotettua. Käyttäjä pääsee tekniikoiden ansiosta tarkastelemaan rakenteita suurennettun kolmiulotteisen kuvan sisälle. Nanoläsnäolon avulla ihminen saa mahdollisuuden tarkastella pieniä rakenteita uudella tavalla, joka helpottaa käsityksen muodostumista ja asioiden oivaltamista.

5. Olennaisimmat aistit ja niihin liittyvä tekniikka

Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden lähtökohtana on ihmisen aistit. Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi ihmisen olennaisimmat aistit: näkö-, kuulo-, tunto- ja tasapainoaisti. Näiden aistien lisäksi virtuaaliympäristössä voidaan hyödyntää ainakin hajuaistia. Aistinelinten rakenne jätetään käsittelemättä. Luvussa keskitytään pääasiassa aistien keskeisiin ominaisuuksiin virtuaaliympäristöjen tekniikoiden kannalta ja käsitellään myös aisteja hyödyntävien tekniikoiden peruspiirteitä.

5.1. Näköaisti

Näköaisti on tärkein aisti, kun työskennellään virtuaalisten ympäristöjen kanssa. Visuaalinen informaatio on monta kertaa tehokkaampaa ja siksi myös tärkeämpää kuin muut informaation muodot [Kalawsky, 1993]. Jos esimerkiksi käytetään kuva- ja ääniinformaatiota yhtäaikaaisesti, kuvan tuoma informaatio yleensä voittaa [Reitmaa *et al.*, 1995].

Yhden silmän näkökenttä on päätä kääntämättä 120 astetta pystysuunnassa ja 150 astetta vaakasuunnassa. Kahden silmän näkökenttä on yhteensä 120 astetta pystysuunnassa ja 200 astetta vaakasuunnassa. Vaakasuunnan näkökentästä 120 astetta on molemmille silmille yhtä aikaa näkyvää aluetta. Luvut ovat vain suuntaa-antavia arvioita, koska näkökentän laajuus ja muoto vaihtelevat yksilöittäin. Yhden silmän näkökenttä on keilamaisen muotoinen (Liite 2). [Reitmaa *et al.*, 1995; Kalawsky, 1993]

Kummankin silmän yhteisestä näkökentästä noin 30 asteen osuudella on merkitystä stereonäön kannalta. Silmien välisestä etäisyydestä johtuu se, että verkkokalvoille muodostuvat projektiot ovat toisistaan eroavia. Tämän eron avulla aivot pystyvät muodostamaan syvyysvaikutelman näkökentässämme olevien kappaleiden välille. Ihminen pystyy muodostamaan käsityksen syvyysuunnaisista etäisyyksistä muidenkin vihjeiden avulla. Näitä vihjeitä kutsutaan syvyysvihjeiksi. Syvyysvihjeet ovat havaittavissa yhdellä silmällä. Noin kymmeneltä prosentilta ihmisistä puuttuu stereonäkökyky. He tulevat mainiosti toimeen yhdellä silmällä havaittavissa olevien syvyysvihjeiden avulla. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Liikeparallaksi on yksi tärkeimmistä syvyysvihjeistä. Kun ihminen siirtää katsetaan, lähempänä olevat kohteet liikkuvat verkkokalvoprojektiolla nopeammin kuin kauempana olevat. Tämän vihjeen avulla aivot pystyvät hetkessä muodostamaan käsityksen syvyysuunnaisista etäisyyksistä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Kohteiden toistensa peittävyys on myös tärkeä ja oikeassa maailmassa itsestään selvä syvyysvihje. Etummaisena olevat kohteet näkyvät kokonaan. Samalla etummaisimmat kohteet peittävät takanaan olevien kohteiden ne osat, joiden edessä ovat. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Perspektiivi aiheuttaa näkemiemme kohteiden välille näennäisiä kokoeroja ja muotojen muutoksia. Esimerkiksi kauempana oleva pallo näyttää pienemmältä kuin lähellä oleva samankokoinen pallo, ja rautatie näyttää kapenevan horisonttia kohden. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Kohteiden yksityiskohdat hälvenevät ja katoavat, jos ne sijaitsevat kaukana katsojasta. Vihjeitä sijainnin kaukaisuudesta antaa myös se, että esimerkiksi maisemassa kaukana sijaitsevat kohteet ovat sinertäviä. Erilaiset valaistussuhteet, kuten varjot, kiilot ja värierot, antavat vihjeitä syvyysuunnaisista eroista. Pintarakenteiden muodot, suunnat ja yksityiskohtien määrä ovat myös hyviä syvyysvihjeitä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Ihmisen silmät työskentelevät jatkuvasti, jotta emme jäisi paitsi tiedosta, joka voi olla hyödyksi selviytymisellemme. Silmä ja näkökyvyn mekanismi ovat monimutkaisia. Emme vielä nykyään ymmärrä täysin, kuinka silmä ja aivot työskentelevät yhdessä [Vince, 1998].

5.2. Näköaisti ja näyttötekniikka

Virtuaaliympäristöissä käytettävät silmikkonäytöt kattavat ihmisen näkökentästä vain olennaisimman alueen (Liite 3). Tyydyttävään tulokseen päästään 90-120 asteen vaakasuuntaisella kuvalla. Kummallekin silmälle yhteisen kuvan alueen tulisi olla vähintään 30 astetta. Korkeussuunnassa näytön laajuus katsotaan riittäväksi, jos se on 60 astetta. Vaakasuunnan näkökenttävaatimukset ovat ongelmallisempia ja hallitsevia. Liiallinen näkökentän kaventaminen heikentää läsnäolon tunnetta [Reitmaa *et al.*, 1995].

Todellisessa ympäristössä ihminen liikuttelee jatkuvasti pään lisäksi myös silmiä ja kohdistaa huomionsa pisteestä toiseen. Silmien liikkeiden avulla ihminen voi siis laajentaa näkökenttäänsä. Tämä ei ole mahdollista normaalin pääripusteisen näytön avulla, joka toimii pään liikkeiden seurannan perusteella. Silmien liikkeiden seuraamista varten on myös kehitetty tekniikoita, mutta niitä ei käsitellä tässä tutkielmassa. [Vince, 1995]

Laajakulmaisen, vääristymättömän ja nopeasti päivittyvän kuvan tuottaminen on yksi tärkeimmistä virtuaaliympäristöjen tekniikoiden haasteista. Ihmisellä on erittäin herkkä ja kriittinen näkökyky, jonka avulla hän voi helposti havaita kuvassa esiintyviä poikkeavuuksia. Samalla, kun näkökenttää pyritään tekemään mahdollisimman laajaksi, pitäisi yleensä pystyä pitämään optiikka mahdollisimman kevyenä. Näkökentän kaventaminen vähentää uppoutumisen tunnetta ja saa aikaan sukellusmaisen vaikutelman. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Näytön kuvan tulee päivittyä tarpeeksi usein, jotta se ei välky. Tätä näytön ominaisuutta kutsutaan näytön virkistystaajuudeksi. Silmä väsyy, kun katsotaan näyttöä, jossa on liian pieni virkistystaajuus [Vince, 1998]. Laajan näkökentän päivittäminen vaatii runsaasti laskentatehoa. Kun kuvan kokoa kasvatetaan, sen resoluution on oltava korkeampitasoinen, jotta kuva ei näyttäisi liian rakeiselta. Näkökentän laajuuskysymyk-

set ovat siis läheisesti yhteydessä grafiikkaprosessointitehon tarpeiden kanssa [Reitmaa *et al.*, 1995].

Virtuaaliympäristöjen näytöt ovat lähes aina stereoskooppisia. Tämä tarkoittaa sitä, että kuvaan saadaan aikaan syvyysvaikutelma prosessoimalla eri silmille toisistaan poikkeavaa kuvaa. Kuvien välinen ero on samanlainen kuin nomaalistikin verkkokalvoprojektoiden välillä. Kahden eri kuvan tuottaminen vaatii grafiikkaprosessoinnilta kaksinkertaisen suorituksen. Pelkkä stereoskooppisen kuvan tuottaminen ei riitä luomaan toden näköistä virtuaaliympäristöä, vaan huomioon on otettava muitakin syvyysvihjeitä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Virtuaaliympäristöjen tekniikat hyödyntävät syvyysvihjeitä, jotka ovat havaittavissa yhdellä silmällä. Syvyysvihjeiden toteuttaminen on halvempaa ja helpompaa, kuin stereoskooppisen kuvan tuottaminen. Tämän vuoksi syvyysvihjeiden huomioiminen on kannattavaa. Syvyysvihjeiden tuoma lisäinformaatio on tehokasta ja toden tuntua lisäävää. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Liikeparallaksi on yksi tärkeä syvyysvihje. Liikeparallaksin hyödyntämisen ansiosta virtuaalinäyttöjen kuva on todentuntuista. Liikeparallaksin hyödyntäminen vaatii pään sijainnin ja asennon mittaamista. Tieto pään sijainnista ja asemasta tarvitaan, jotta käyttäjän nähtäväksi voidaan tuottaa vastaavaa kuvaa. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Kohteiden toistensa peittävyys on luonnollinen syvyysvihje ja samalla yksi haasteista virtuaaliympäristöjä toteutettaessa. Toisten kohteiden taakse jäävien piiloviivojen ja -pintojen poistaminen kuvasta vaatii laskentatehoa. Monimutkaisia yksityiskohtia katsottaessa kuvaan tulee helposti häiritseviä viiveilmiöitä, vaikka muodot olisivatkin osittain näkymättömissä. Laskennallisesti ei ole mahdollista triviaalisti selvittää, kuinka kohteet peittävät toisiaan, kun katsotaan maailmaa eri suunnista. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Muitakin syvyysvihjeitä, kuten perspektiivi, kaukaisten yksityiskohtien hämärtyminen, valaistussuhteet sekä pintarakenteiden muodot ja suunnat, kannattaa sisällyttää virtuaaliympäristöön. Syvyysvihjeet saavat virtuaaliympäristön näyttämään luonnollisemmalta. [Reitmaa *et al.*, 1995]

5.3. Kuuloaisti

Kuulo on toiseksi tärkein aisti virtuaaliympäristöjen käytön kannalta. Äänet parantavat virtuaalimaailman todentuntuisuutta. Ääni toimii kuvaa tukevana vihjeenä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Ihmisen kuulojärjestelmän tärkeimmät osat ovat karkeasti jaoteltuna korvan mekaaniset osat, kuulohermo ja aivot. Korva erittelee äänen voimakkuuksia, piirteitä ja taajuuksia. Nämä äänet muodostuvat aivoissa äänihavainnoiksi, joiden avulla ihminen pystyy muodostamaan tila- ja suuntavaikutelmia. Osa äänestä, eli ilman värähtelystä, kohtaa pääkallon luut ja etenee sitä kautta sisäkorvaan ja edelleen korvan eri osien ja kuulohermon kautta aivojen käsiteltäväksi. [Reitmaa *et al.*, 1995]

5.4. Kuuloaisti ja audiotekniikka

Äänen kautta annettava palaute tulisi suunnitella todellisuutta vastaavaksi. Käyttäjä voisi esimerkiksi kuulla askeltensa äänet kävellessään tai kellon tikityksen kellon suunnasta. Äänikappaleiden paikat ja etäisyydet vaihtelevat käyttäjän tai äänikappaleen liikkeiden mukaan. Äänen avulla voidaan antaa käyttäjälle vihjeitä myös eri pintamateriaalien ominaisuuksista. Äänet kuuluvat osittain päällekkäisinä ja voivat myös peittää toisiaan. Äänien synnyttämää tilan-, suunnan- ja äänilähteen sijainnin vaikutelmaa kutsutaan virtuaaliympäristöjen tekniikoiden yhteydessä äänikuvan näytöksi. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Luonnollisen tuntuista virtuaalimaailmaa suunniteltaessa on otettava huomioon äänen toistaminen siten, että käyttäjän käsitys suunnista ja tilasta pysyy mahdollisimman oikeanlaisena. Tilavaikutelma syntyy äänen ensimmäisestä kaiuista ja jälkikaiuista. Tutkimuksissa on havaittu, että jos käytetään vain kaiuttomia äänisignaaleja, syntyy havaintovirheitä. Esimerkiksi etu- ja takaäännet kääntyvät päinvastaisiksi. Myös äänen sijaintikorkeus ja äänilähteen paikallistaminen vaikeutuu. Tilavaikutelman tuottaminen reaaliaikaisena vaatii huomattavan paljon laskentatehoa. Tällä hetkellä kaikua pystytään simuloimaan vain muutaman heijastuksen syvyydeltä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Lisää haasteita tilavaikutelman luomiseen äänen avulla tuo se, että ääntä on muokattava reaaliaikaisesti käyttäjän liikkeiden mukaan. Tämän lisäksi omat vaikeutensa äänimaailmojen toteutukseen tuo se, että jokaisen ihmisen korvan ja pään rakenne on erilainen. Nämä ominaisuudet vaikuttavat siihen, miten ihminen havaitsee erilaisia ääri-aaltoja. [Reitmaa *et al.*, 1995]

5.5. Tuntoaisti

Ihmiselle luonnollinen käsityksen muodostamisen ja vaikuttamisen keino on koskettaminen. Tuntoaistilla tarkoitetaan väljästi määritellen kaikkea sitä, minkä kautta ihmiselle syntyy esimerkiksi kosketuksen, paineen, lämpötilan tai kivun aistimus. Tuntoaistimuksia välittäviä hermonpäätteitä on esimerkiksi ihossa, lihaksissa, jänteissä ja sisäelimissä. Näistä kaikista yhdessä muodostuu lihastunto, jonka avulla ihminen saa tuntemuksia esimerkiksi asennosta tai liikkeestä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

5.6. Tuntoaisti ja voimatakaisinkytkentäteknikka

Ihminen kaipaa luonnollisesti tuntoaistipalautetta jotain kappaletta koskettaessaan. Kun käyttäjä koskettaa virtuaaliympäristössä virtuaalista objektia, käsi menee objektin läpi, ellei käyttöliittymään ole toteutettu voimatakaisinkytkentää tukevaa laitteistoa ja ohjelmistoa. Tuntopalautteen antamiseen on olemassa laitteita. Tällaiset laitteet ovat tavallisesti osana datahansikasta. Datahansikkaaseen voidaan liittää joko pietsovärähtelijöitä tai ilmarakkuloita. Kun ilmarakkulaan ohjataan ilmaa, se alkaa tuntua kädessä selvemmin, ja käyttäjä saa palautteen kosketuksesta. Rankarakenteisen voimatakaisinkytkentälaitteiston avulla voidaan estää sormien liike virtuaalisen kappaleen läpi, jolloin käyttäjä tuntee tarttuneensa kappaleeseen. [Reitmaa *et al.*, 1995]

5.7. Tasapainoaisti

Tasapainoelin sijaitsee kuuloelimen yhteydessä sisäkorvassa. Kummassakin korvassa on yksi tasapainoelin, jonka rakenne jakaantuu liike-elimeen ja kuulokivielimiin. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Liike-elin koostuu kolmesta kaarikäytävästä. Kaarikäytävät ovat toisiaan vastaan kohtisuoria nestetäytteisiä renkaita. Jokaisessa renkaassa on joustava läppä, joka tunnistaa renkaan nesteen liikettä. Liike-elin on herkkä, ja se on parhaimmillaan silloin, kun kyseessä on kiertymät tai kallistumiset. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Kummassakin korvassa on kaksi kuulokivielintä, jotka sijaitsevat sisäkorvassa. Toinen kuulokivielin on pystysuorassa ja toinen vaakasuorassa. Kuulokivielimessä on hyytelömäinen joustava massa-alusta, jonka pinnalla on kalkkijyväsiä. Tämä elin havaitsee lineaarisia kiihtyvyyksiä. Hyytelö joustaa, kun elimeen kohdistuu kiihtyvyyksien aiheuttamia voimia. Hyytelön sisälle ulottuvat hiusmaiset aistinsolujen jatkeet välittävät tietoa hyytelön muodonmuutoksesta. [Reitmaa *et al.*, 1995]

5.8. Tasapainoelimen toiminnan hyödyntäminen

Tasapainoelimen toimintaa hyödynnetään yleisimmin simulaattoreissa [Reitmaa *et al.*, 1995]. Tasapainoon voidaan vaikuttaa esimerkiksi käyttäjää kallistelemalla [Reitmaa *et al.*, 1995] tai näköärsykykeitä luomalla [Tossavainen *et al.*, 2000]. Tasapainoaistin toiminnan tuntemus on tärkeää, jotta siihen vaikuttaminen voidaan tehdä hallitusti. Esi-

merkiksi simulaattoreissa käyttäjän kallistaminen on suoritettava siten, että tilanne vastaa näköaistin avulla saatua palautetta. Erot näiden palautteiden välillä voivat aiheuttaa pahoinvointia. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6. Virtuaaliympäristöjen tekniikat

Virtuaaliympäristöjen tekniikat mahdollistavat uudenlaisen kommunikointitavan tietokoneen ja ihmisen välillä. Monipuolisimmat virtuaaliympäristöt tukevat usean aistin käyttöä ja tarjoavat käyttäjälle mahdollisuuden vuorovaikutteiseen toimintaan. Monipuolisimmat ympäristöt koostuvat kuva-, ääni- ja tuntoympäristöistä, jotka yhdessä toimiessaan luovat käyttäjälle tunteen läsnäolosta [Kalawsky, 1993]. Läsnäolon tunteen luomiseksi tarvitaan virtuaaliympäristöjä varten kehitettyjä laitteita. Laitteistoa kehitettäessä pyritään siihen, että ihminen voi kommunikoida tietokoneen kanssa mahdollisimman luontevalla tavalla. Laitteistot eivät saisi rajoittaa käyttäjän toimissaan tarvitsemää liikkumavapautta, katselupisteen valintaa tai vuorovaikutuksen sekä toimimisen seurauksien kokemista. Virtuaaliympäristöjen laitteiden ja käyttäjäliityntätekniikoiden avulla pyritään luomaan mahdollisimman todellisen tuntuinen keinotekoinen ympäristö. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Tässä tutkielmassa käsitellään niitä virtuaaliympäristöjen laitteita ja tekniikoita, jotka ovat käyttäjän käytettävissä ja havaittavissa. Tarkemmin käsittelemättä jätetään kaikki tietokoneen sisällä olevat laitteet, kuten grafiikkakiihdyttimet. Myös silmän liikkeen seurantalaitteisto jätetään käsittelemättä. Erilaisia sovelluksia ja niiden laitteistokokoonpanoja käsitellään lääketieteen sovellusten esimerkkitapausten yhteydessä.

6.1. Näytöt

Kolmiulotteisia virtuaalimaailmoja voidaan katsella tavallisen kaksiulotteisen näyn avulla. Joissakin sovelluksissa tämä tekniikka on riittävää mutta sen avulla ei pystytä luomaan käyttäjälle mielikuvaa todellisen tuntuista keinotekoisesta ympäristöstä ja siihen uppoutumisesta [Reitmaa *et al.*, 1995]. Tässä luvussa esitellään yleensä virtuaalitekniikoiden yhteydessä käytettäviä näyttötekniikoita.

6.1.1. Pääripusteiset näytöt

Pääripusteinen näyttö on joko kypärää muistuttava kypäränäyttö tai sitä kevyempi silmikkonäyttö. Pääripusteinen näyttö ripustetaan nimensä mukaan ihmisen päähän. Tulevaisuudessa rakennetta ja tekniikoita pyritään kehittämään siten, että näyttö voisi olla kevyempi, esimerkiksi silmälasien tapainen systeemi. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Pääripusteiset näytöt näyttävät katsontasuunnan mukaan muokkautuvaa kuvaa, joten näyttöön on liitettävä pään sijainnin seurantasysteemi. Pääripusteisia näyttöjä käytetään yleisimmin yhdelle käyttäjälle tarkoitetuissa sovelluksissa. Useammankin käyttäjän sovelluksissa on mahdollisuus hyödyntää pääripusteisia näyttöjä. Tällöin jokaista käyttäjää varten on oltava oma näyttösystemi, kuva ja paikannussysteemi. Käyttäjät näkevät toisensa virtuaalisina hahmoina virtuaalisessa maailmassa. Näkyville voidaan tuoda ne kehon osat, joita paikannetaan antureilla. Tällaisessa systeemissä käyttäjien välinen

kommunikointi ei ole kovin luontevaa. Mitä useampi käyttäjä on mukana, sitä enemmän tarvitaan kalliita laitteita ja tietokoneen laskentakapasiteettia. Liitteessä 5 on kuva pääripusteisesta näytöstä käytännössä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Suljettu pääripusteinen näyttö

Pääripusteisella suljetulla näytöllä varustettu systeemi mahdollistaa uppoutumisen tunteen muodostumisen. Tunteen syvyys riippuu laitteiston teknisestä suorituskyvystä, sekä vuorovaikutusmahdollisuuksien ja eri aistien hyödyntämisen määrästä. Käyttäjä näkee joka suunnassa ympärillään vain tietokoneen avulla tuotettua näennäisympäristöä. Tämän vuoksi hän tuntee olevansa kuvan sisällä. Stereoskooppisen kuvan aikaansaamiseksi silmille on tuotettava binokulaarisen poikkeaman verran erilaista kuvaa. Näyttösystemissä on tavallisesti kummallekin silmälle oma näyttöpaneeli. Näyttö voi olla joko nestekide-, elektroluminenssi-, mikropeilimatriisi- tai perinteinen CRT –kuvaputkinäyttö [Reitmaa *et al.*, 1995]. On myös kehitetty systeemejä, joissa laservalo ohjataan silmän pupillin alueelle siten kuin se luonnostaankin tarkasteltavista kohteista tulisi. Tällöin silmän verkkokalvolle muodostuva projektiio on totuutta vastaava. Laservalon avulla voidaan tuottaa mustavalkeaa kuvaa. Värikuvaa tuottava systeemi on kehittelyn alla [Vince, 1998].

Suljetun pääripusteisen näytön yksi epämiellyttäväksi koettu ominaisuus on se, että se eristää käyttäjän todellisesta ympäristöstä. Jotkut ihmiset eivät koe tällaista tilannetta miellyttäväksi. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Läpikatsottava pääripusteinen näyttö

Läpikatsottava pääripusteinen näyttö on kätevä silloin, kun halutaan yhdistää varsinainen näkymä ja tietokoneen avulla tuotettu kuva. Tällöin käyttäjälle näkyvä lopputulos edustaa lisättyä todellisuutta. Tällaisessa systeemissä pään aseman paikannussysteemin on oltava erittäin tarkka, jotta todellisen ja synteettisen kuvan päällekkäin täsmäys onnistuu hyvin [Vince, 1998]. Läpikatsottavia näyttöjä on olemassa kahden tyyppisiä [Tang *et al.*, 1998]. Ei sisäänsä sulkevassa näytössä on puoliläpäisevä peili, jonka läpi näkyy normaali näkymä. Tietokoneen tuottama läpinäkyvä kuva tuotetaan esimerkiksi valovahvistinkameran tai lämpökameran avulla, ja se heijastetaan puoliläpäisevälle peilille käyttäjän nähtäväksi sopivan optiikan avulla. [Reitmaa *et al.*, 1995] Sisäänsä sulkevassa läpikatsottavassa näytössä käyttäjälle tuodaan kuva todellisesta ympäristöstä videokameran avulla. Tietokoneen avulla tuotettu kuva liitetään elektronisesti kameran tuottamaan kuvaan [Tang *et al.*, 1998].

Nykyisten pääripusteisten näyttöjen ongelmana on ylimääräinen painolasti, jota käyttäjän on kannateltava päänsä varassa. Pääripusteisten näyttöjen käyttöä hankaloittaa se, että käyttäjien päät ovat eri kokoisia ja muotoisia. Näyttösystemi ei välttämättä sovi kaikkien päähän yhtä hyvin säätelymahdollisuuksista huolimatta. Jos samaa näyttösys-

teemiä käyttää usea henkilö, on huolehdittava myös hygieniasta. Tulevaisuudessa laitteiden halpeneminen ja koon pieneneminen auttavat ongelmien ratkaisussa. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.1.2. Puominäytöt

Puominäyttösystemissä näyttö sijaitsee tasapainotetun puomin päässä. Puomissa on niveliä, jotka mahdollistavat näytön siirtelyn ja kääntämisen. Omat rajoituksensa näytön liikuttamiselle asettaa luonnollisesti puomin pituus ja nivelen liikeradat. Näyttösystemi voi koostua samankaltaisesta tekniikasta kuin pääripusteinen näyttö. Puominäyttötekniikoita voidaan käyttää samanlaisissa tilanteissa kuin pääripusteisia näyttötekniikoita. Yleisemmin puominäytöt ovat käytössä yhden käyttäjän sovelluksissa, mutta usean käyttäjän mukaan ottaminen on myös mahdollista [Reitmaa *et al.*, 1995]. Tällöin tarvitaan jokaista käyttäjää varten oma puominäyttö. Puominäyttötekniikoiden yhteydessä seurataan käyttäjän sijasta puominäytön sijaintia ja suuntaa. Käyttäjät voivat siis nähdä virtuaalisessa maailmassa toistensa puominäytöt. Kommunikointi voidaan helposti suorittaa normaalissa ympäristössä, koska siirtyminen virtuaaliympäristön ja normaalin työskentely-ympäristön välillä on nopeaa ja vaivatonta [Kalawsky, 1993]. Kommunikointimahdollisuus edellyttää tietysti, että käyttäjät työskentelevät samassa tilassa tai ovat toisiinsa yhteydessä jonkun muun kommunikointitekniikan avulla.

6.1.3. Laajakangasprojektiot

Projektiotekniikat mahdollistavat melko luonnollisesti usean käyttäjän läsnäolon virtuaaliympäristössä. Tällaiset tekniikat ovat käytännöllisiä sovelluksissa, joiden käytössä ryhmätyö ja osallistujien välinen kommunikaatio ovat tärkeitä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Läsnäolon tunnetta voidaan parantaa lisäämällä systeemiin useita laajakankaita. Laajakangas voi sijaita edessä, sivuilla, takana, lattiassa ja katossa. Jokaisesta valkokangasta varten tarvitaan oma videotykki ja kuva [Vince, 1998]. Tästä seuraa se, että mitä useampi laajakangas on käytössä, sitä monimutkaisempi ja kaliimpi on systeemi. Etuseinän ja sivujen laajakankailla saadaan aikaan hyvä virtuaaliseen ympäristöön uppoutumisen tunne. Tällaista systeemiä voidaan kutsua virtuaaliluolaksi. Luola on kuution mallinen ja sen sivu on yleensä kolme metriä [Vince, 1998]. Myös isoja kaarevia [Reitmaa *et al.*, 1995] ja useasta vierekkäisestä kankaasta koostuvia laajakangassysteemejä on kehitetty. Tällaisille laajakangassysteemeille kuva heijastetaan usean videotykin avulla osissa. Menetelmän ongelmana on kuvan osien toisiinsa linjaaminen sekä kirkkauden ja värien säätäminen samanlaisiksi [Vince, 1998]. Laajakankaalle normaalisti kuvaa heijastamalla voidaan katsella kolmiulotteista maailmaa samaan tapaan kuten tavallisella kaksikulotteisella näytöllä. Stereonäkö ei ole mahdollista ilman läjäjärjestelyjä. Tällainen systeemi sopii hyvin tilanteisiin, joissa katsellaan kakana olevia kohteita [Reitmaa *et al.*, 1995].

Stereoskooppisen kuvan aikaansaamiseksi on käytetty systeemiä, jossa käyttäjälle esitetään kahta päällekkäistä kuvaa. Käyttäjällä on päässään punaviherlasit, joiden suotimet jakavat eri kuvat vasemmalle ja oikealle silmälle. Tällainen systeemi ei kuitenkaan ole kovin toimiva, koska kuvien väriero häiritsee katselua. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Edellistä parempi ratkaisu stereokuvan mahdollistamiseksi on nestekiderakenteisiin perustuvien suljinlasien käyttäminen. Kankaalla näytetään vuorotellen vasenta ja oikeaa kuvaa. Kun näytetään vasemman silmän kuvaa, oikean silmän linssi sulkeutuu ja päin vastoin. Tällainen systeemi toimii hyvin sopivissa valaistusolosuhteissa. Systeemin huonona puolena on se, että kolmiulotteisuuden vaikutelma ja mittasuhteet ovat tarkkoja vain yhdestä paikasta katsottuna. [Reitmaa *et al.*, 1995] Kun systeemiin lisätään vielä pään seurantalaitteet, voidaan kuvaa muokata siten, että stereoskooppinen kuva on nähtävissä kaikissa suunnissa. Uppoutumisen tunne on voimakas tällaista systeemiä käytettäessä. Systeemin heikkous on se, että se mahdollistaa kuvan muokkaamisen vain yhden käyttäjän liikkeiden mukaan. [Vince, 1998]

6.1.4. Virtuaalinen pöytä

Virtuaalinen pöytä koostuu lasisesta tai muovisesta näytöstä, joka muodostaa pöydän pinnan. Pöydän sisällä projektori heijastaa näytön takaosaan kuvaa vuorotellen oikealle ja vasemmalle silmälle. Suljinlasien ja pään seurantalaitteiston avulla käyttäjälle voidaan muodostaa hyvä kolmiulotteinen kuva virtuaaliympäristöstä. Systeemi on tarkoitettu yhdelle käyttäjälle, koska kolmiulotteinen näkymä on mahdollinen vain yhdestä paikasta katsottuna. Pari muutakin käyttäjää voi nähdä kolmiulotteisuuden, jos henkilöt seisovat toistensa lähellä. Tällainen systeemi on hyvä idea ja sitä voidaan hyödyntää laajasti esimerkiksi suunnittelussa, lääketieteellisessä visualisoinnissa ja tiedon visualisoinnissa. [Vince, 1998]

6.1.5. Kolmiulotteinen näyttö

Kolmiulotteinen näyttö koostuu tavallisesta kaksiulotteisesta näytöstä ja polarisoivasta paneelista. Paneeli asetetaan tavallisen näytön eteen. Systeemin toimintaperiaate on hieman samanlainen kuin suljinlaseillakin. Kun vasemman silmän kuvaa näytetään, se on polarisoitu vaikkapa horisontaalisesti. Oikealle silmälle tarkoitettu kuva on polarisoitu silloin vertikaalisesti. Käyttäjä pitää oikealla tavalla polarisoituja silmälaseja, jotka ohjaavat oikean kuvan automaattisesti kummallekin silmälle. Tämä systeemi on siksi hyvä, että käyttäjän tarvitsee pitää vain kevyitä silmälaseja ilman lisälaitteita. Kaikki aktiivisuus tapahtuu paneelissa. [Vince, 1998]

6.1.6. Virtuaali-ikkunat

Osittain upottavat järjestelmät ovat pään ja käden sijaintia mittaavia stereoskooppisia virtuaali-ikkunoita, jotka sallivat kuvaan vaikuttamisen käden avulla. Systeemiin kuuluu

tavallinen näyttö ja suljinlasit, joiden avulla näytetään kuvaa vuorotellen oikealle ja vasemmalle silmälle. Käyttäjä näkee kuvan kolmiulotteisena näytön alueella. Päänseurantasysteemi mahdollistaa kuvan päivittämisen käyttäjän katsontasuunnan mukaan. Käden paikannussysteemin ja sopivan ohjelmiston avulla voidaan tarjota mahdollisuus vuorovaikutteiseen toimintaan kolmiulotteisen kuvan kanssa. Käyttäjän varustus voidaan tehdä tällaisessa systeemissä laajaksi. Toisaalta on huomattava, että grafiikkalaskentatehoa tarvitaan helposti yhtä paljon kuin täysin upottavassa systeemissä. Tällainen tekniikka soveltuu parhaiten pienten esineiden muotojen suunnittelun avuksi. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.1.7. Tilanäytöt

Tilanäyttötekniikat mahdollistavat usean käyttäjän läsnäolon virtuaaliympäristössä yhtä luonnollisesti kuin projektitekniikatkin. Tilanäytön avulla usean käyttäjän on mahdollista oleskella saman virtuaaliympäristön äärellä ilman lisäaitteita. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Tilanäytöt perustuvat värähteleviin peileihin ja laserskannattuihin ruuvipintoihin. Näyttö on akvaariomainen astia, jonka sisällä näkyy kuva. Kuva on oikean näköinen katselusuunnasta tai etäisyydestä riippumatta. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Tilanäytön käytön etuna on se, että käyttäjän kehon osien paikannustekniikkaa ei tarvita. Yksi huono puoli on se, ettei kuvan sisälle voi mennä. Kuvaa voidaan katsella vain astian ulkopuolelta. Toinen huono puoli on tilaa vievä tekniikka. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.1.8. Kiikarinäytöt

Kiikarinäytöt ovat ulkonäöltään ja toimintaperiaatteeltaan käyttäjän kannalta samantapaisia kuin tavallisetkin kiikarit [VRS, 2000]. Kiikarien sijaintia ja suuntaa on mitattava, jotta kuvaa voidaan muokata katsontasuunnan mukaan. Kiikarinäytön hankaluutena on se, että sen käyttäminen vaatii käsiä, jolloin käyttäjä ei voi suorittaa käsien avulla muuta vuorovaikutteista toimintaa virtuaaliympäristössä.

6.2. Paikannustekniikat

Paikannustekniikoita tarvitaan, jotta kuvaa ja ääntä voidaan muokata käyttäjän asennon ja sijainnin mukaan. Paikannustekniikoiden avulla seurataan pään, käsien tai muiden ruumiinosien sijaintia ja asentoa. Paikannuksen on oltava tarkkaa ja nopeaa virtuaaliympäristön todentuntuisuuden saavuttamiseksi. Ruumiinosan paikantamiseksi tarvitaan kuusi tietoa: x-, y- ja z-koordinaatit tilassa ja kolme kiertymää kolmen toisiaan vastaan kohtisuoran akselin ympäri (Liite 1). Paikannus tapahtuu siis kuuden vapausasteen mukaan. Kädestä mitataan kämmenselän asento ja sijainti, jonka jälkeen sormien asento lasketaan suhteessa kämmenselkään. Tärkeimmät paikannustekniikat jakaantuvat

neljään ryhmään: sähkömekaaniset, magneettiset, akustiset ja optiset. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.2.1. Sähkömekaaninen paikannus

Sähkömekaaninen paikannus on vanhin paikannusmenetelmä. Tällaista paikannusmenetelmää käytetään puominäytöissä. Puominäytön varsien ja nivelten asemot mitataan niissä olevien kulma-anturien avulla. Kulma-antureita on olemassa useanlaisia. Yksi esimerkki on optinen kiekko, jonka tuottamat tiedot on luettavissa sähköisin keinoin. Tällaiset anturit ovat nopeita sekä luotettavia ja antavat tulokset suoraan digitaalimuotoisena. Vaikka paikannustekniikka on hyvä, asettaa puomin pituus ja nivelten kääntyvyys omat rajoituksensa tällaisen systeemin käytölle. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.2.2. Magneettinen paikannus

Magneettinen paikannus on laajimmin käytössä oleva menetelmä. Se perustuu magneettikenttiin, jotka muodostuvat kolmen toisiaan kohtisuorassa olevan käämin ympärille. Magneettikenttää vastaanotetaan vastaavalla tavalla kohtisuorien käämien ryhmällä. Kiertymä ja sijainti saadaan selville signaalien vaiheiden ja intensiteettisuhteiden avulla. Magneettipaikannuksen yksi etu on mahdollisuus rakentaa systeemi tukevaksi, jolloin se soveltuu esimerkiksi sotilassovelluksiin. Etuja ovat myös sen käytöstä kertyneet laajat kokemukset sekä se, että systeemi sietää lähettimien ja vastaanottimien peittämissä esimerkiksi kädellä. Systeemin viiveet ovat mahdollisia saada kohtuullisiksi. Oman hankaluutensa systeemin käyttämiseen tuo kalibroinnin tarve ja virhealttius ulkopuolisten magneettikenttien suhteen [Reitmaa *et al.*, 1995]. Myös suuret metalliset esineet häiritsevät magneettista paikannusta [Vince, 1998]. Ongelmana on myös pieni toiminta-alue. Magneettikenttien voimakkuus heikkenee nopeasti, kun lähettimen ja vastaanottimen välinen etäisyys kasvaa. Normaalisti magneettinen paikannus toimii noin kolmen metrin alueella, mutta on kehitetty myös lähettimiä, joiden toiminta-alue on jopa kymmenen metriä [Vince, 1998]. Magneettipaikannus sopii siis parhaiten sovellukseen, jossa toiminta voi tapahtua tuolilla istuen. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.2.3. Akustinen paikannus

Akustisessa paikannuksessa mitataan äänen kulku-aikaa ja äänen kulkeman matkan johdosta syntyviä vaihe-eroja. Paikannuksessa hyödynnetään ultraäänialueen taajuuksia. Systeemi on yleensä rakennettu siten, että useita ultraäänilähettimiä sijoitetaan toisistaan erilleen. Lähettimien signaaleja vastaanottaa mikrofoniin ryhmä. Kun lähettimien ja vastaanottimien sijainti toisiinsa nähden on selvillä alkutilanteessa, voidaan kulkuajan ja vaihevertailujen, tai jommankumman, avulla laskea sijainnit ja kiertymät. Akustisen paikannusmenetelmän ongelmana on virhe- ja häiriöalttius. Tilassa ei saa olla suuria esteitä eikä ääntä helposti heijastelevia pintoja, jotta saadaan muodostettua yhtenäinen

äänikenttä. Akustiset häiriötekijät pitäisi myös minimoida. Edellisten lisäksi huonoja puolia ovat kalibroinnin tarve ja mittauksien viiveiden kasvaminen etäisyyksien kasvaessa. Hyvänä puolena on paikannusmenetelmään tarvittavan tekniikan halpa hinta. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.2.4. Optinen paikannus

Optisissa paikannusjärjestelmissä käytetään hyödyksi esimerkiksi pistemäisiä valolähteitä tai hahmoa rekisteröivää kameraa tai kameroita. Systeemi voidaan rakentaa esimerkiksi siten, että kamera liikkuu kohteen mukana, vaikka kypäränäyttöön kiinnitettynä. Tällaisessa järjestelyssä kamera tarkkailee ympäristöön kiinteästi sijoitettuja pisteitä. Toinen tapa rakentaa systeemi on sellainen, että kamerat ovat kiinteitä, ja ne tarkkailevat kohteessa olevia pisteitä. Ensimmäisessä järjestelyssä on huonona puolena se, että kypäränäytön paino ja prosessointitarve lisääntyy. Tilannetta helpottaa se, että käytettävä kamera voi olla nykyisin kevyt, ja osa prosessoinnista voidaan suorittaa varsinaisen grafiikkaprosessoinnin yhteydessä. Optinen paikannus ei salli peittämistä, mikä vuoksi esimerkiksi käden nostaminen pään päälle voi aiheuttaa hankaluuksia. Käyttäjän liikkumisvapautta ja toiminta-aluetta voidaan parantaa lisäämällä ylimääräisiä valopisteitä ja kameroita. Menetelmän etuina ovat kameroiden kyky muuttaa signaali digitaalituokseksi, valonsäteiden suoraviivainen kulku, kuvankäsittelymenetelmien tuntemus ja soveltamiskelpoisen tutkimusaineiston saatavuus. Ongelmana on prosessointitehon tarve, koska kamerat tuottavat suuren määrän dataa. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.3. Datahansikas

Datahansikas on periaatteessa paikannuslaite, jonka avulla voidaan mitata kämmenen sijainti ja sormien asento [Reitmaa *et al.*, 1995]. Sijainti ja sormien asento voidaan tuottaa tietokoneelle paikannussysteemin avulla. Näitä tietoja käytetään hyväksi, kun halutaan liikutella virtuaalista kättä ja sormia käyttäjän liikkeiden mukaan. Käyttäjä näkee virtuaalisen käden liikkeitä virtuaalisessa ympäristössä esimerkiksi pääripusteisen näytön avulla. Kun käyttäjä muuttaa käden tai sormen asentoa, virtuaalinen käsi toistaa liikkeen muutaman sekunnin murto-osan viiveellä. Viiveen suuruus riippuu tietokoneen suorituskyvystä. [Vince, 1998] Liitteessä 5 on kuva datahansikkaista käytännössä.

Datahansikkaan avulla käyttäjä voi olla luonnollisella tavalla vuorovaikutuksessa tietokoneen kanssa. Jos käyttäjä haluaa esimerkiksi siirtää jotakin virtuaalista esinettä, hän voi tarttua siihen virtuaalisella kädellä ja vapauttaa esineen haluamaansa uuteen paikkaan virtuaalisessa maailmassa [Vince, 1998]. Hansikkaan eduksi luonnollisen käyttötavan lisäksi voidaan ajatella se, että sen avulla on mahdollista tuottaa jonkinlainen kosketuspalaute. Hansikkaan käytön ongelmana on sen päälle pukemisen tarve ja se, että ihmisten käsien koko vaihtelee huomattavasti [Reitmaa *et al.*, 1995]

Datahansikkaat voidaan jakaa niiden rakenteen perusteella kahteen tyyppiin: pehmeä- ja rankarakenteiset datahansikkaat. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.3.1. Pehmeärakenteiset datahansikkaat

Pehmeän hansikkaan perusosa on kankainen hansikas. Tällaisen joustavan rakenteen ongelmana on sormien asennon mittauksen epätarkkuus. Rakennetta voidaan jäykistää tarkkuuden lisäämiseksi esimerkiksi muovirakenteilla tai sranamaisilla levyillä. Epätarkkuutta tuo lisää se seikka, että jokaisen ihmisen käsi on erikokoinen. Tällöin vakio-kokoinen hansikas istuu jokaisen käteen eri tavalla. Epäsopiva hansikas istuu eri tavalla jokaisella käyttökerralla, vaikka kyseessä olisikin sama käyttäjä. Asennon mittauksen tarkentamiseksi systeemi vaatii usein kalibrointia. Pehmeän hansikkaan avulla saadaan tyypillisesti vain suurta antavia mittaustuloksia sormien asennoista. Sormien asento voidaan selvittää esimerkiksi asettamalla sormien myötäisesti valokuituja, joiden valonkuljetusmuutoksia on mahdollista mitata. Tuntopalautteen antamiseksi on kehitetty hansikkaita, joissa on pieniä ilmataskuja. Ilmataskujen täyttäminen virtuaalisen esineen muotojen mukaan aiheuttaa koskettamisen tunteen. Toinen tyypillinen ratkaisu kosketuspalautteen antamiseksi on pietsovärähtelijöiden käyttö. Värähtelijä värähtelee sitä voimakkaammin, mitä voimakkaampi tuntopalaute halutaan antaa. Pehmeän rakenteen avulla ei ole mahdollista lukita sormia virtuaalisen esineen pinnalle. Tämän vuoksi sormet menevät esineen läpi. Pehmeän rakenteen hyviä puolia ovat sen helppo ja luonnollinen pukeminen sekä tavallista hansikasta muistuttava ulkonäkö. Hygienia on yksi pehmeän hansikkaan ongelma, jos samaa hansikasta käyttää usea käyttäjä. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.3.2. Rankarakenteiset datahansikkaat

Rankarakenteet koostuvat tangoista, nivelistöistä ja kulma-antureista. Rankarakenteen avulla voidaan suorittaa tarkka ja monipuolinen asennonmittaus. Rakenne voidaan toteuttaa siten, että sitä on mahdollista säätää käyttäjän käden koon mukaan. Sormien liikerataa on helppo tarvittaessa rajata siten, että kaikki sallitut asennot ovat mitattavissa. Rankarakenne muodostaa tukevan alustan mahdollisille lisälaitteille, mikä helpottaa kosketuspalautteen antamiseen tarvittavan tekniikan käyttöä. Rankojen avulla on mahdollista lukita käden asento virtuaaliseen objektiin tartuttaessa. Rakenteet voivat muodostua helposti liian suurikokoisiksi, jolloin ne häiritsevät käden ja sormien liikkeitä. Huonoina puolina pidetään rankarakenteen hankalaa puettavuutta ja teknisen oloista ulkoasua. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.4. Muita syöttölaitteita

Uppoutumisen mahdollistavassa virtuaaliympäristössä liikkuminen onnistuu kehon osien paikannusmenetelmien ansiosta kuten tavallisessakin ympäristössä. Tällaiselle luon-

nolliselle liikkumistavalle asettaa rajoituksia pääripusteisessa näytössä mahdollisesti käytettävät johdot ja paikannussysteemien toimintasäde. Virtuaalisessa ympäristössä on mahdollista liikkua myös ilman, että fyysistä liikkumista tarvitaan. Tällöin käyttäjää kuvaavaa roolihahmoa liikutellaan virtuaalisessa maailmassa. Uppoutumisen mahdollistavassa virtuaaliympäristössä roolihahmon liikuttaminen voi tapahtua vaikkapa osoittamisen ja puheen avulla annettujen toimintaohjeiden mukaan. Tässä luvussa käsitellään syöttölaitteita, joita voidaan käyttää liikkumiseen erilaisissa virtuaalisissa maailmoissa. Joidenkin käsiteltävien laitteiden yhteydessä esitellään myös tuntopalautteen antamismahdollisuutta. [Vince, 1998]

6.4.1. Hiiri ja navigointipaneeli

Tavallista kaksiulotteisesti toimivaa hiirtä voidaan käyttää virtuaaliympäristössä liikkumiseen. Tavallisen hiiren avulla on mahdollista liikkua virtuaaliympäristössä mutta se on hidasta ja hankalaa. Tavallisen hiiren avulla pärjää useimmissa yksinkertaista liikettä vaativissa ympäristöissä. Liikkumismahdollisuuksia voidaan monipuolistaa, kun otetaan käyttöön kaksiulotteinen navigointipaneeli. Paneeli on näytön reunassa sijaitseva alue, jossa on painikkeita. Painikkeita klikkailemalla voidaan muuttaa katsontakulmaa ja liikkua ylös, alas, sivuille, taakse sekä eteen. Painikkeiden avulla myös ympäri kääntyminen sujuu huomattavasti pienemmässä tilassa kuin hiiren avulla. Jokaisessa painikkeessa on nuoli, mikä kuvastaa sitä liikesuuntaa, minne kyseistä nappia klikkaamalla voi liikkua. [Vince, 1998]

6.4.2. Kolmiulotteinen hiiri

Kolmiulotteinen hiiri (6D mouse) on tavallista hiirtä muistuttava rasianmuotoinen laite, jossa on muutamia sormipainikkeita [Vince, 1998]. Kolmiulotteisen hiiren avulla työkennellessä uutta on se, että sen liikkuma-alue ei rajoitu pöydän pinnalle [Reitmaa *et al.*, 1995]. Kolmiulotteisen hiiren käyttäminen on hyvin samanlaista kuin tavallisen hiiren käyttäminen. Jos käyttäjä haluaa siirtää virtuaalista objektia, hän valitsee sen esimerkiksi painamalla hiiren nappia objektin päällä. Sitten hän tarttuu objektiin painamalla toista hiiren nappia. Käyttäjä vapauttaa hiiren napin, kun on raahannut objektin haluamaansa paikkaan [Vince, 1998]. Kolmiulotteisen hiiren paikantamisessa käytetään samoja paikannustekniikoita kuin muidenkin virtuaalitekniikoiden yhteydessä [Reitmaa *et al.*, 1995].

Kolmiulotteisen hiiren etuna on sen tutuus useimmille käyttäjille. Huomattavia etuja ovat myös hiiren sopivuus usean kokoisiin käsiin ja se, että hiirtä ei tarvitse pukea. Huonona puolena on se, että käyttäjä joutuu kannattelemaan kättä [Reitmaa *et al.*, 1995]. Käden kannatteleminen voi olla raskasta ja joissakin tilanteissa jopa mahdotonta. Kolmiulotteisen hiiren avulla voidaan olla kätevimmin vuorovaikutuksessa virtuaaliympäristön kanssa, joka on toteutettu pienessä tilassa toimivaksi. [Vince, 1998]

6.4.3. Ohjauspallo

Ohjauspallo (trackball) antaa mahdollisuuden syöttää kolme kiertymää (Liite 1, kuva 1.2) ja siirtymää kolmen toisiaan vastakkain olevan akselin mukaan. Pallo on pöydällä liikkumaton eikä se pyöri. Siihen kohdistuvat voimat ovat mitattavissa kuuden vapausteen mukaan. Tällainen syöttölaite ei mahdollista vapaata havainnointia, kuten tilassa vapaasti liikuteltavat syöttölaitteet. Ohjauspallon etuina on, että käyttäjän ei tarvitse kannatella kättään ilmassa, eikä laitetta tarvitse pukea. Ohjauspallo on toimiva syöttölaite virtuaaliympäristöissä työskenneltäessä. Sen käyttämiseen tottuu helposti. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Tavallinen ohjauspallo ei tue voimatakaisinkytkentää. Voimakenttien havainnollistamiseksi on kuitenkin kehitetty sellaisia ohjauspalloja, joiden avulla käyttäjä voi saada paremman käsityksen voimakentästä, kuin pelkän kuvan ja tavallisen ohjauspallon avulla. Tällainen ohjauspallo tarvitsee lisälaitteita, jotta tuntopalaute olisi mahdollista laskea ja toteuttaa. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.4.4. Ohjaussauva

Ohjaussauva koostuu sauvasta ja sen päässä olevista painikkeista. Sauva voi olla joko vapaasti liikuteltava tai vivustoon kytketty [Reitmaa *et al.*, 1995]. Vapaasti liikuteltavan sauvan käyttäminen on saman tyyppistä kuin kolmiulotteisen hiiren käyttäminen. Vivustoon kytkeminen rajoittaa toimintatapaa ja aluetta, mutta tuo mahdollisuuden tarkkaan ja nopeaan paikannukseen. Vivuston avulla on mahdollista toteuttaa tuntopalautteen antaminen. Vivusto vapauttaa käyttäjän käden kannattelemisesta [Reitmaa *et al.*, 1995]. Tämänkin laitteen etuna on se, että sitä ei tarvitse pukea.

6.4.5. Pelejä varten kehitetyt ohjauslaitteita

Nykyajan pelit toimivat vuorovaikutteisesti. Niissä on kolmiulotteista grafiikkaa ja käyttäjän toimien mukaan eteneviä tapahtumia. Esimerkiksi useampi käyttäjä voi samanaikaisesti ohjata virtuaalista autoaan radalla ja kilpailla toisiaan vastaan. Peli simuloi pelaajan antamia ajoliikkeitä ja kisassa tapahtuvia törmäyksiä käytännössä lähes reaaliaikaisesti. Pelejä varten on kehitetty useita erilaisia syöttölaitteita. Autopelien luonnollisin ohjauslaitteisto koostuu polkimista ja ratista. Rattiin voidaan liittää tuntopalaute antava värähtelijä, joka kuvastaa esimerkiksi törmäyksiä. Värähtelyn avulla palautetta antaa myös esimerkiksi pelikonsoliin liitettävä ohjain, joka koostuu useista painonapeista ja kahdesta sienen muotoisesta ohjaimesta. Tällaisen ohjaimen avulla kolmiulotteisessa maailmassa liikkuminen onnistuu kätevästi.

6.5. Äänilaitteet

Virtuaalitekniikoissa ääni tuodaan tavallisesti korvakäytävän suulle kuulokkeilla, jotka on rakennettu osaksi silmikkonäyttöä. Kuulokkeiden käytön etuna on se, että reaali-

maailman äänet saadaan siten helposti poistettua. Esimerkiksi käyttäjää ympäröivään tilaan sijoitettavien kaiuttimien avulla toteutetun äänentoiston ongelmana on se, että ympäröivä tila akustisine ominaisuuksineen lisää ja poistaa äänen piirteitä. Nämä muutokset eivät ole laitteiden avulla hallittavissa. Tällainen systeemi onkin käytännössä harvinainen. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Kuulokkeiden avulla pyritään muodostamaan mahdollisimman luomollinen ääni-maailma, mutta perinteisillä kuulokesysteemeillä ei pystytä tuottamaan kaikkia ääniha-vainnon mahdollisuuksia. Osa äänestä, eli ilman värähtelyä, kohtaa pääkallon luut ja etenee sitä kautta sisäkorvaan ja edelleen aivojen käsiteltäväksi. Erittäin matalataajuiset ja voimakkaat äänet tuntuvat koko kehossa. Kuulokkeiden avulla voidaan tuottaa ääni-värähtelyä vain korvakäytävään. [Reitmaa *et al.*, 1995]

Virtuaaliympäristöjen audiolaitteistot ovat käytännössä digitaalisia, koska tar-vittavat laskennalliset operaatiot ovat erittäin mutkikkaita. Ääntä on muokattava käyt-täjän pään sijainnin ja suunnan mukaan. Yleisimmin äänen prössointi toteutetaan eri-tyistä signaaliprosessoria käyttäen. Äänimateriaali saadaan yleensä joko ääninäytteiden toistolaitteista tai syntetisaattoreista. Ääninäytteiden käyttö on hankalaa, koska niiden muokkaaminen on rajoitettua ja tallentamiseen tarvitaan paljon muistia. Syntetisaatto-reiden avulla äänen muokkaaminen on helpompaa mutta todentuntuisten äänten tuott a-minen on vaikeaa tai täysin mahdotonta. [Reitmaa *et al.*, 1995]

6.6. Voimatakaisinkytkentälaitteisto

Voimatakaisinkytkentälaitteistoa on käsitelty jo hieman datahansikkaan, ohjauspallon, ohjaussauvan ja peleissä käytettävien syöttölaitteiden käsittelyn yhteydessä. Tässä luvussa kootaan ja laajennetaan tietoa voimatakaisinkytkennästä.

Voimatakaisinkytkentälaitteet ovat tavallisesti osana datahansikasta. Tuntopa-lautetta voidaan antaa myös ohjaussauvaan liittyvän vivuston avulla ja värähtelyn avulla esimerkiksi peleihin tarkoitetuissa syöttölaitteissa.

Pehmeärakenteiseen datahansikkaaseen voidaan liittää joko pietsovärähtelijöitä tai ilmarakkuloita. Kun ilmarakkulaan ohjataan ilmaa, se alkaa tuntua kädessä selvemmin ja käyttäjä saa palautteen kosketuksesta. Pietsovärähtelijä ilmaisee takaisin kytkettävän voiman suuruuden värähtelyn voimakkuudella.

Rankarakenteisen datahansikkaan rakenteisiin voidaan liittää voimatakašin-kytkentälaitteisto, jonka avulla voidaan estää sormien liike virtuaalisen kappaleen läpi. Tällöin käyttäjälle voidaan luoda tunne virtuaaliseen objektiin tartumisesta [Reitmaa *et al.*, 1995]. Rankarakenteiden nivelkohtiin voidaan liittää esimerkiksi pienet sähkö-moottorit, jotka ohjaavat sormien mahdollisia liikkeitä. Jos haluttaisiin mallintaa paino-voimaa, tarvittaisiin mekaaninen käsi, joka aiheuttaisi alaspäin suuntautuvaa voimaa kappaletta kannateltaessa [Vince, 1998].

Useilla sovelluksilla on täysin ainutlaatuiset vaatimukset tuntopalautteelle. Tämän vuoksi monet systeemit ja laitteet on tehtävä tilaustyönä tarpeen mukaan. Esimerkiksi lentokoneissa lentäjä voi saada tuntopalautetta koneeseen vaikuttavista voimista ohjauslaitteiden kautta. Samankaltaista tuntopalautetta pyritään jäljittelemään lentosimulaattoreissa sähkömoottoreiden avulla [Vince, 1998]. Palautteen antamiseksi käyttöliittymää voidaan ohjata myös esimerkiksi paineilman tai nestehydrauliikan avulla. Paineilman avulla ohjattavaa tuntopalautetta antavaa erikoiskäyttöliittymää kuvaillaan esimerkkinä luvussa kymmenen Rutgers Ankle –sovelluksen esittelyn yhteydessä

7. Lääketieteen virtuaaliympäristöjen kehityksen askeleita

Tässä luvussa käydään läpi lääketieteen virtuaaliympäristöjen tekniikoiden kehityksen askeleita vuosilta 1960-1995.

7.1. Äänikuvan näyttö

1960-luvun puolivälissä Mann teki tutkimusta systeemistä, jonka avulla voitaisiin helpottaa sokeiden ihmisten kuntoutusta. Liikkuvuuden parantamista varten suunnitellut kuntoutusvälineet sisälsivät usein käyttöohjeita tai näyttöjä, joita pystyttiin lukemaan vain näköaistin avulla. Useimpien laitteiden opasteet voisivat olla mahdollisia toteuttaa myös äänen ja tuntoaistin avulla tarkasteltaviksi. Tachi ja Mann rakensivat virtuaaliympäristön, jonka avulla voitiin testata äänikuvan näytön käyttöä palautteen antamisen kanavana. [Rosen *et al.*, 1996a]

7.2. Kasvojen mallintaminen

Kasvot ovat yksi vaikeimmista mallinnettavista alueista ihmisen kehossa. Tämä johtuu muun muassa kasvojen muuttuvista ilmeistä, jotka ovat mahdollisia kasvojen monimutkaisen lihaksiston avulla. 1980-luvun alkupuolella Platt ja Badler rakensivat ihmisen kasvoja mallintavan simulaation. Simulaatio mallinsi kasvojen kolmea kerrosta: iho, lihakset ja luusto. Iho on toteutettu kolmiulotteiseen koordinaatistoon sijoitetun pistejoukon avulla. Vierekkäiset ihon pisteet on yhdistetty toisiinsa joustavien kaarien avulla. Luusto on joustamaton pinta ihon alla. Lihaksisto on joukko lihassäikeiden pisteitä, jotka on kiinnitetty joustavilla kaarilla ihoon ja luuhun. Kun kaikki tämän verkoston pisteet yhdistetään, voidaan simuloida sitä, kuinka johonkin alueeseen kohdistunut voima vaikuttaa muihin kasvojen alueisiin. [Rosen *et al.*, 1996a; Rosen *et al.*, 1996b]

7.3. Lonkan ja alaraajan virtuaalinen malli

Delp ja Malone pystyivät ennustamaan lonkkanivelen proteesin asentamisen onnistumista tietokoneen avulla luodun mallin avulla. Malli sisälsi luiden lisäksi lihaksia ja jänteitä. Mallin avulla voitiin ennustaa lonkkanivelen proteesin asentamisen vaikutusta yksittäisiin lihasryhmiin [Rosen *et al.*, 1996a]. 1980-luvun loppupuolella Delp kumppaneineen laajensi mallia siten, että se käsitti lonkan lisäksi koko alaraajan, jossa oli mallinnettuna tärkeimmät lihakset ja jänteet [Satava and Jones 1998; Rosen *et al.*, 1996a]. Laajennetun mallin avulla voitiin tutkia jänteiden pituuden ja lihasvoimakkuuden muuttamisen vaikutuksia ryhtiin ja luiden asentoon. Tällainen tilanne syntyy usein esimerkiksi halvauksen yhteydessä. Systeemi tarjosi huomattavan avun korjaavien leikkausten suunnitteluun ja leikkauksen tuloksen ennustamiseen [Rosen *et al.*, 1996a]. Mallin avulla voitiin vertailla vaihtoehtoisia leikkaustapoja ja se auttoi parhaan leikka-

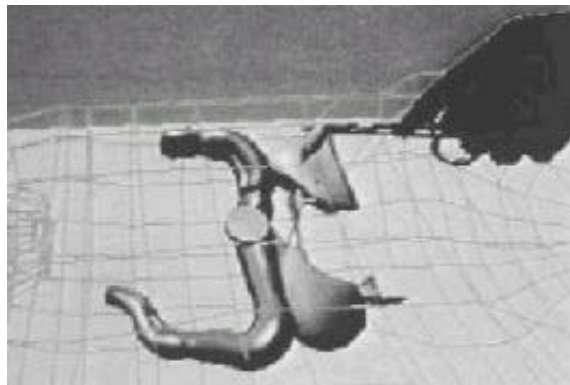
ustavan valinnassa [Satava and Jones, 1998]. Alapuolella on kuva kyseisestä kolmiulotteisesta alaraajan mallista.



Kuva 7.1. Kolmiulotteinen malli ihmisen alaraajasta [Satava and Jones, 1998]

7.4. Ensimmäinen leikkaussimulaatio

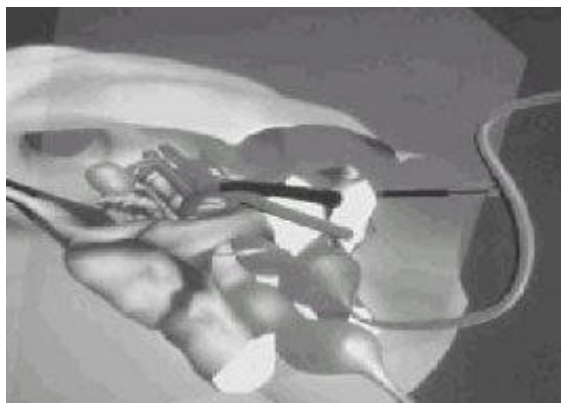
Vuonna 1991 Satava rakensi ensimmäisen vatsanleikkaussimulaation, jossa oli kolmiulotteisia elimien kuvia. Elimet olivat toteutettu yksinkertaisen piirto-ohjelman avulla. Systemi ei ollut kovin realistinen eikä kovin vuorovaikutteinen. Simulaatio tarjosi kuitenkin mahdollisuuden lentää virtuaalisessa mallissa ja hajoitella leikkausta virtuaalisten operointivälineiden avulla. Alapuolella on kuva tästä leikkaussimulaatiosta.



Kuva 7.2. Ensimmäinen vatsanleikkaussimulaatio. [Satava and Jones, 1998]

7.5. Kehittyneempi leikkaussimulaatio

18 kuukauden sisällä edellisestä simulaatiosta Merrill High Technoplanationsista rakensi kehittyneemmän graafisen torson ihmisen kehosta. Tämän mallin elimet sisälsivät fyysisiä ominaisuuksia, kuten joustavuus ja venyvyys. Nämä ilmenivät esimerkiksi leikkauksen harjoittelun yhteydessä, kun elimen jotain osaa painettiin tai vedettiin. Alapuolella on kuva tästä leikkaussimulaatiosta. [Satava and Jones, 1998]



Kuva 7.3. Kehittyneempi leikkaussimulaatio. [Satava and Jones, 1998]

7.6. Ihmisen kolmiulotteinen malli

Vuonna 1994 julkaistiin National Library of Medicinen Visible Human-projekti, jota ohjasi Dr. M. Ackerman. Visible Human oli rakennettu ihmisestä otettujen lääketieteellisten kuvien pohjalta. Virtuaalinen keho oli Spizerin ja Whitlockin rakentama. Tekijät olivat Coloradon yliopistosta. Virtuaalinen keho koostui 1871 siivusta, jotka olivat millimetrin paksuisia. Lääketieteellisten kuvien pohjalta tehtiin kuvien digitaaliset versiot, jotka tallennettiin tietokoneelle. Hahmontamisen jälkeen tulos oli lähes yhtä tarkka kuin valokuva. Malliin ei voitu lisätä esimerkiksi elimien fyysisiä ominaisuuksia, koska tietokoneen koko laskentateho tarvittiin kuvan näyttämiseen. Seuraavalla sivulla on kuva Visible Humanin polvesta. [Satava and Jones 1998]



Kuva 7.4. Visible Human: Polvi. [Satava and Jones 1998]

7.7. Haavoittuneen raajan hoitosimulaatio

Myöhemmin vuonna 1994 Delp kehitti haavoittunutta raajaa simuloivan systeemin Visible Humanin alaraajan pohjalta. Hän lisäsi malliin kudoksen ominaisuuksia, verenvuotoa, vahingoittuneita alueita ja virtuaalisia operointivälineitä, joiden avulla oli mahdollisuus käyttää simulaatiota vuorovaikutteisesti. Koska näiden ominaisuuksien lisääminen vaati tietokoneen tehoa, kuvan laatua oli heikennettävä. Simulaatio tarjosi kuitenkin mahdollisuuden harjoitella operaatioita virtuaalisen mallin avulla. Simulaation ideana oli se, että harjoitteluun ei tarvitsisi käyttää niin paljon eläimiä. Alapuoella on kuva tästä haavoittuneen raajan hoitosimulaatiosta. [Satava and Jones 1998]



Kuva 7.5. Visible Humanin jalka, johon on lisätty haavoittunut alue ja operointivälineet. [Satava and Jones 1998]

7.8. Kohdun tähystyssimulaatio

J. Levy rakensi vuonna 1995 kohdun tähystyssimulaation. Systeemiin kuului yksinkertainen tuntopalautetta antava laite sekä potilaskohtaisen anatomisen mallin käyttömahdollisuus. Systeemi mahdollisti ensimmäisenä lääketieteellisen operaation harjoittelun potilaskohtaisen virtuaalisen mallin avulla. Koska mallinnettava anatomia sekä suoritettava operaatio olivat yksinkertaisia, pystyttiin kuvan laatu pitämään lähellä valokuvan tarkkuutta. [Satava and Jones 1998]

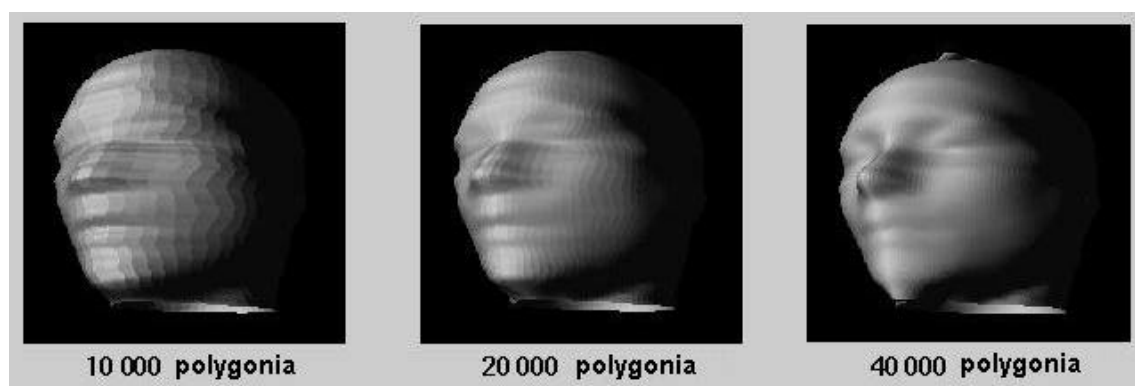
8. Kolmiulotteiset anatomiset mallit

Lääketieteen virtuaalisten mallien toteuttamisessa voidaan hyödyntää paljon samoja tekniikoita kuin muillakin aloilla. Useissa lääketieteen sovelluksissa tarvitaan ihmistä mallintavia anatomisia kolmiulotteisia malleja, jotka on tehty kaliin, osittain manuaalisen, kuvankäsittelyprosessin avulla [Haubner *et al.*, 1997]. Tässä luvussa tuodaan esille anatomisten mallien erityispiirteet, niiden tekoprosessin vaiheet sekä käyttömahdollisuudet.

8.1. Anatomisten mallien erityispiirteet

Teollisuuden virtuaaliset maailmat perustuvat usein malleihin, jotka sisältävät toistuvia geometrisia muotoja, värejä, tekstuureja sekä tietoa materiaaleista. Esimerkiksi puiden ja talojen on näytettävä vain suurin piirtein luonnollisilta ajosimulaattorissa. Useimmissa tapauksissa tällainen tarkkuus saavutetaan käyttämällä yksinkertaisia geometrisia muotoja ja valokuvista tehtyjä tekstuureja. Lääketieteessä käytetyt alkuperäiset kuvat poikkeavat muista kuvista, koska ne koostuvat harmaan eri sävyistä [Haubner *et al.*, 1997]. Lääketieteen sovelluksissa virtuaalisten anatomisten mallien on näytettävä mahdollisimman todellisilta, ja siksi ne ovat usein monimutkaisempia teollisuuden malleihin verrattuna.

Visuaalisesti realistinen lääketieteellinen kolmiulotteinen kuva voi helposti koostua 10 000–100 000 polygonista [Cameron and Robb, 2000]. Alapuolella oleva kuva havainnollistaa polygonien määrän vaikutusta mallin tarkkuuteen.



Kuva 8.1. Polygonien määrän vaikutus kolmiulotteisen mallin tarkkuuteen. [Robb, 2000]

Kuten anatomisen kaksikulotteisen kuvan, myös kolmiulotteisen mallin koko voi kasvaa lähes rajattomasti riippuen sen tarkkuudesta ja mallinnettavan objektin koosta. Esimerkiksi vuonna 1995 julkaistu Visible Human Female–kuvapaketti koostuu 5189 kaksikulotteisesta anatomisesta kuvasta, joiden koko on yhteensä 40 gigatavua [U.S. NLM, 2000].

Anatomisten kolmiulotteisten mallien tekemiseen on kehitetty useita eri tekniikoita. Objektit voidaan tehdä joko potilaan lääketieteellisen kuvan pohjalta tai ne voidaan luoda alusta alkaen siihen soveltuvalla ohjelmalla. Tuntopalautteen antamista tukevalla virtuaalisella mallilla on oltava täsmällinen kaavaeli geometrinen malli. Tämän lisäksi on määriteltävä mahdollisimman todentuntuiset fyysiset sekä lääketieteen sovelluksissa myös fysiologiset ominaisuudet, jotka kuvaavat luotettavasti mallin haluttuja piirteitä [Cameron and Robb, 2000]. Toden tuntuisen tuntopalautteen antaminen anatomisen mallin avulla on hankalampaa kuin useiden muiden alojen mallien yhteydessä. Tämä johtuu siitä, että erilaiset kudokset ovat eri tavalla joustavia. Voimatakaisinkytkentä on siis toteutettava oikealla tavalla joustavaksi, jos halutaan, että tuntopalaute vastaa mahdollisimman hyvin todellisuutta.

Kun voima kohdistuu yhteen pehmeän kudoksen pisteeseen, se aiheuttaa muutoksia myös pisteen ympärillä olevaan alueeseen. Mallin muotoa on siis muutettava laajalta alueelta. Esimerkiksi jos painetaan pehmeätä kudosta sormen päällä, sormi ei uppoa kudoksen sisälle yhdestä kohdasta, vaan kudokseen muodostuu sormen pään aluetta suurempi painauma. Kolmiulotteisen mallin muodon muuttamiseksi oikealla tavalla tarvitaan matemaattisia laskentakaavoja. [Cameron and Robb, 2000]

8.2. Anatomisten mallien tekeminen

Esimerkiksi leikkausta simuloivan uppoutumisen mahdollistavan ympäristön tuottaminen on osoittautunut haasteelliseksi tehtäväksi. Suurin osa sovelluksista, joiden kuvat ovat lääketieteellisten kuvien avulla generoituja, ei tue reaaliaikaista vuorovaikutusta, tuntopalautteen antamista tai kudoksen epämuodostumien mallintamista [Berkley *et al.*, 2000]. Yleensä kolmiulotteisten anatomisten mallien muodot ja ominaisuudet perustuvat mahdollisimman normaaleihin ja keskinkertaisiin arvoihin. Myös potilaskohtaisia malleja voidaan tehdä. Ne perustuvat oikeasta potilaasta kerättyyn tietoon. Vaikka potilaskohtaisen mallin rakentaminen voidaan aloittaa yleisen mallin pohjalta, sen tekemisessä on suuri työ nykyisillä menetelmillä. Potilaskohtaiseen malliin pyritään kokoamaan kaikki tarvittavat yksityiskohtaiset tiedot potilaasta.

Tuntopalautteen mahdollistavien ominaisuuksien määrittäminen monimutkaiseen virtuaaliseen objektiin on työlästä ohjelmointia. Tämän prosessin helpottamiseksi on kehitetty esimerkiksi ohjelmia, jotka mahdollistavat tavallisten kolmiulotteisten mallien muuttamisen tuntopalautteen mahdollistaviksi graafisen käyttöliittymän avulla ilman ohjelmointia. Malli muutetaan tuntopalautteen antamista tukevaksi määrittelemällä jokaiselle sen pisteelle reaalista kappaletta vastaavat fyysiset ominaisuudet, joita ovat esimerkiksi jäykkyys sekä staattinen ja dynaaminen kitka. [Acosta and Temkin, 2000]

Seuraavaksi käsitellään esimerkkinä Berkleyn ja kumppaneiden esittelemä menetelmä, jonka avulla voidaan luoda tuntopalautteen antamisen mahdollistavia malleja

lääketieteellisistä kuvista. Menetelmä tukee mallien muokkaamista myös siten, että niihin voidaan lisätä poikkeavuuksia, kuten haavoja ja kasvaimia. [Berkley *et al.*, 2000]

Esiteltävässä menetelmässä tuntopalautteen antamisen mahdollistavan mallin tekeminen koostuu seitsemästä vaiheesta: lääketieteellisten kuvien ja kudusrakenteiden tekstuurien hankkiminen, erilaisten kudusrakenteiden ääriviivojen erottaminen, kolmiulotteisen rautalankamallin generoiminen kudusrakenteiden ääriviivojen mukaan, rautalankamallien muuttaminen simuloitaviksi objekteiksi, materiaalien ominaisuuksien, alueiden yhdistymiskohtien sekä tekstuurien määrittäminen, mallin generoiminen nopeammaksi ja tilanteen vaatimien työkalujen sekä harjoitteluohjeiden lisääminen kudomalliin. [Berkley *et al.*, 2000]

1. Vaihe: Lääketieteellisten kuvien ja kudusrakenteiden tekstuurien hankkiminen.

Käytettävät lääketieteelliset kuvat voivat esittää erilaisia kudusrakenteita. Kuvat voivat olla tietokonetomografia-, magneettiresonanssi- tai ultraäänikuvia. Lääketieteellisen kuvan hankkimiseen käytettävä tekniikka valitaan sen mukaan, mitä kudosta halutaan korostaa. Tietokonetomografian avulla saadaan paremmin esille pehmeiden kudosten ja luun väliset rajat. Magneettiresonanssikuvat soveltuvat tilanteeseen, jossa halutaan erottaa erilaisia pehmeitä kudoksia toisistaan. Ultraäänen avulla voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti tuottaa sekä visuaalinen kuva että tieto kuvattavan materiaalin ominaisuuksista. Elin kuvataan millimetrin paksuisina siivuina kolmen millimetrin välein. [Berkley *et al.*, 2000]

Tekstuureja varten tarvittavat kuvat voidaan ottaa lääketieteellisistä kuvista digitaalikameran tai kuvanlukijan avulla. Kolmiulotteisen kuvanlukijan käyttö, silloin kun se on mahdollista, yksinkertaistaa huomattavasti kehon pintamateriaalien tekstuurien hankintaprosessia. [Berkley *et al.*, 2000]

2. Vaihe: Erilaisten kudusrakenteiden ääriviivojen erottaminen.

Mallin tekoprosessin työläin vaihe on erilaisten kudusrakenteiden ääriviivojen erottaminen. Nykypäivänä ei ole täysin oikein toimivaa automaattista menetelmää, jonka avulla voitaisiin erotella lääketieteellisestä kuvasta eri kudosalueet. Kuvattu elin käsitellään siivuina. Jokaisessa siivussa kudosalueita joudutaan merkitsemään manuaalisesti maalaamalla alueiden rajat kuvankäsittelyohjelman avulla. Kun alue on merkitty kuvaan, voidaan alue määritellä pienen tietokoneohjelman avulla määrityksi pistetiedostoksi. Jokaiselle pisteelle määritellään myös pinnan normaali. Jokainen siivu on kaksiulotteisten pisteiden joukko, joka esittää erilaisten kudusrakenteiden alueita. [Berkley *et al.*, 2000]

3. Vaihe: Kolmiulotteisen rautalankamallin generoiminen kudusrakenteiden ääriviivojen mukaan.

Kudoksen rakenteiden rajat konvertoidaan kolmiulotteisiksi tiloiksi, jotka kootaan kuvatun elimen rautalankamalliksi. Määriteltyjen kolmiulotteisten tilojen avulla voidaan selvittää, sijaitseeko annettu koordinaatti tilan ulkopuolella, sisäpuolella vai pinnalla. Tila määritellään aluksi pehmeälle kudokselle luun pinnan ja ihon pinnan välille. Jos halutaan edelleen erottaa pehmeitä kudusrakenteita toisistaan, voidaan pehmeän kudoksen tila jakaa iholle, lihakselle ja rasvalle. [Berkley *et al.*, 2000]

4. Vaihe: Rautalankamallien muuttaminen simuloitaviksi objekteiksi.

Seuraavaksi rautalankamallia käsitellään erityisesti tätä menetelmää varten kehitetyn Model Definition -ohjelman avulla. Ohjelman avulla malli räätälöidään suunniteltuun simulaatioon sopivaksi. Malliin voidaan lisätä osia, jotka esittävät esimerkiksi haavoittunutta aluetta tai syöpäkasvainta. Simulaatio tukee ennalta tehdyn vaurion ompelemisen harjoittelua. Tämä systeemi ei tue ajoaikaisten muutosten tekemistä vahingoittuneelle kudokselle, joten leikkauksen harjoittelu ei ole mahdollista. [Berkley *et al.*, 2000]

Model Definition -ohjelma on CAD-ohjelman tyylinen. Vaurioita voidaan lisätä malliin manuaalisesti määrittelemällä liitoksia ja osia, joita häätään lisätä, poistaa tai muuttaa. Tulevaisuudessa työkaluun on tarkoitus lisätä toiminto, jonka avulla malliin voidaan helposti lisätä etukäteen tehtyjä ruhje- tai kasvainmalleja. [Berkley *et al.*, 2000]

5. Vaihe: Materiaalien ominaisuuksien, alueiden yhdistymiskohtien sekä tekstuurien määrittäminen.

Model Definition -ohjelma mahdollistaa eri materiaalien ja alueiden yhdistymiskohtien ominaisuuksien määrittämisen malliin. Niille pisteille, jotka sijaitsevat tietyn kudoksen alueella, määritellään kudosta vastaavat oikeanlaisen tuntopalautteen antamisen mahdollistavat ominaisuudet. Nykyään ei ole vielä kehitetty sellaista työkalua, jonka avulla kudoksille voitaisiin helposti määrätä potilaskohtaiset ominaisuudet. [Berkley *et al.*, 2000]

Tekstuurit asetetaan kuvaan dynaamisesti simulaation ollessa käynnissä. Tekstuurikartta luodaan malliin määriteltyjen alueominaisuuksien ja niitä vastaavien tekstuurien avulla. [Berkley *et al.*, 2000]

6. Vaihe: Mallin generoiminen nopeammaksi.

Mallia ei voi sellaisenaan liittää simulaatioon, koska metodi vaatii paljon laskentatehoa. Reaaliaikainen vuorovaikutus vaatii kuvan päivittämistä 30 Hz:n taajuudella ja voimatakaisinkytkennän päivittämistä 1000 Hz:n taajuudella. Malli on generoitava sellaiseen muotoon, jotta tarvittavien laskujen suorittaminen on mahdollista vaaditulla tasolla. Generoinnin aikana mallissa tarvittavia matemaattisia laskutapoja muutetaan siten, että laskutoimitukset voidaan suorittaa tehokkaammin. Generoinnin jälkeen malli voidaan viedä yleiselle järjestelmäperustalle, joka tukee tuntopalautteen antamista. Systemi toimii hyvin 300MHz:n prosessorilla, jossa on 256 megatavua muistia. [Berkley *et al.*, 2000]

7. Vaihe: Tilanteen vaatimien työkalujen sekä harjoitteluohjeiden lisääminen kudomalliin.

Simulaation mahdollistamiseksi malliin on lisättävä vielä tarvittavat työkalut ominaisuuksineen. Simulaatioon voidaan myös lisätä tilanteeseen sopivia toimintaohjeita. [Berkley *et al.*, 2000]

8.3. Anatomisten mallien käyttö

Anatomisia malleja voidaan hyödyntää monipuolisesti. Malleja voidaan käyttää apuna esimerkiksi lääketieteellisten operaatioiden suunnittelussa, harjoittelussa, suorittamisessa tai opettamisessa. Yleensä tietokoneen avulla tehtyä mallia tai lääketieteellisen kuvustekniikan avulla tuotettua kuvaa seurataan tavallisen näytön avulla.

Lisätyn todellisuuden tekniikoiden avulla voidaan kehittää operoijan nähtävälle tuotettavaa kuvaa. Kun käytetään ultraäänen avulla tuotettua kuvaa liisätyn todellisuuden tekniikoiden kanssa, voidaan kaksiulotteinen reaaliaikaisesti päivittyvä kuva liittää kehon pinnalle. Lisättyä todellisuutta käytettäessä on huolehdittava siitä, että lisätty kuva ja reaalin keho ovat tarkasti paikannettu toisiinsa nähden. Todellisuuteen liitetyn ku-

van on oltava oikealla tavalla läpinäkyvä, jotta näkymä reaaliseseen ympäristöön säilytetään. Kaksiulotteisen kuvan puutteena on kolmiulotteisen hahmottamisen hankaluus. Operoijan on muodostettava kolmiulotteinen käsitys erisuuntaisten kaksiulotteisten kuvien avulla. [Tang *et al.*, 1998]

Lääketieteellisiä kuvaustekniikoita ja niistä koottavien kolmiulotteisten mallien tekoprosesseja kehitetään jatkuvasti. Kolmiulotteiset ultraäänilaitteet mahdollistavat kolmiulotteisen ultraäänikuvan käyttämisen reaaliaikaisena. Ultraäänen avulla tuotetaan siivumaisia kuvia kuvattavasta kappaleesta. Näiden kuvien perusteella rakennetaan tietokoneelle kolmiulotteinen malli, jota voidaan käännellä [CNW, 1998]. Ultraäänikuvan etuna on se, että sen käyttäminen ei aiheuta haitallista säteilyä kuvattavalle tai kuvaajalle. Hankaluutena on esimerkiksi tietokonetomografiaan ja magneettikuvaukseen verrattuna kuvan huono laatu. Ultraäänen avulla tuotetut kolmiulotteiset kuvat ovat pilvämäisiä. Alapuolella on kuva ultraäänen avulla tuotetusta rinnan kuvasta [Heiland *et al.*, 1996].



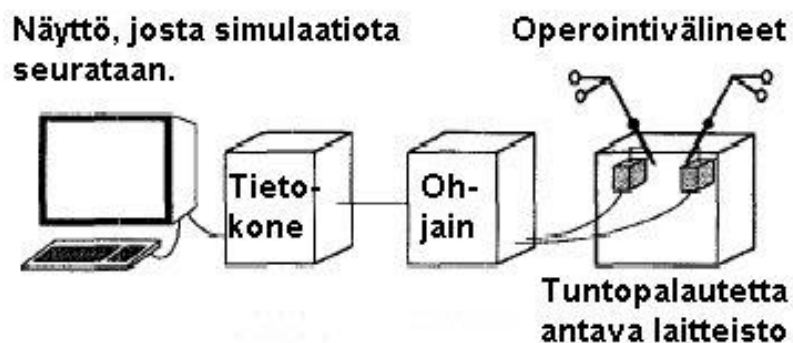
Kuva 8.2: Ultraäänen avulla tuotettu kuva rinnasta. [Heiland *et al.*, 1996]

Uusia haasteita löydetään, jos pyritään yhdistämään kolmiulotteinen anatominen malli lisätyn todellisuuden tekniikoiden avulla potilaan kehoon siten, että malli näyttää sijaitsevan kolmiulotteisesti kehon sisällä. Jos esimerkiksi luodaan virtuaalinen monttu, johon malli asetetaan, näkymä reaaliseseen kehoon heikkenee, vaikka lisätty kuva olisikin läpinäkyvä. Seuraavalla sivulla on kuva tietokoneen avulla luodusta virtuaalisesta mallista, johon kasvain on sijoitettu kolmiulotteisesti oikeaan paikkaan virtuaalisen montun avulla. [Tang *et al.*, 1998]



Kuva 8.3. Kasvain kolmiulotteisessa mallissa [Robb *et al.* , 2001]

Esimerkiksi harjoittelua varten kehitetyssä leikkaussimulaatioissa voidaan käyttää apuna täysin tietokoneen avulla luotua kolmiulotteista anatomista mallia. Mallin avulla tilannetta voidaan katsella joka suunnasta. Malli voidaan myös rakentaa siten, että siitä voidaan katsoa tiettyä kudostyyppiä ja häivyttää muut kudokset pois näkyvistä. Tällöin esimerkiksi luuston rakenteen tarkasteleminen on helpompaa. Tuntopalautteen antamiseen tarvitaan yleensä aina tiettyä operaatiota varten erityisesti suunniteltu laite. Leikkaussimulaatioissa tuntopalautetta antava laite voi olla esimerkiksi rankarakenteinen varsi, johon kiinnitetään sormet [Suzuki *et al.*, 1998] tai sitten laite, jossa on kiinni operointivälineet, joihin tartutaan kuten normaaleihin operointivälineisiin [Bauman and Clavel, 1998]. Alapuolella olevassa kaaviokuvassa on esimerkki siitä, millainen laitteistokokoonpano tarvitaan tuntopalautteen antamiseksi. Tässä tapauksessa systeemi koostuu tavallisesta näytöstä, tietokoneesta, tuntopalautetta antavasta laitteistosta ja sitä ohjaavasta ohjaimesta.



Kuva 8.3. Laitteistokokoonpano tuntopalautteen antamista varten . [Bauman and Clavel, 1998]

9. Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden käyttäminen lääketieteessä

Virtuaaliympäristöjen tekniikoita käytetään ja suunnitellaan käytettäväksi useilla eri lääketieteen aloilla. Pääalueet, joilla tekniikoita hyödynnetään, ovat leikkauksien suunnittelu, leikkauksien opastus ja leikkaussimulaatiot. Muitakin operaatioita, kuten erilaisia neulankäyttöä vaativia operaatioita, voidaan simuloida virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla. Simulaatioiden avulla voidaan myös harjoitella laajempaa toimintakokonaisuutta, kuten ensiapua vaativassa tilanteessa toimimista. Myös esimerkiksi kuntoutuksen ja psykiatrian alalla käytetään hyväksi virtuaaliympäristöjen tekniikoita [Satava and Jones, 1998]

Vuonna 1997 Oyamal ja Wakao [1997] ovat arvioineet virtuaaliympäristöjen tekniikoiden hyödyllisyyttä lääketieteen eri aloilla. Hyödyllisimmäksi he arvioivat sovellukset, jotka mallintavat lääketieteellistä operaatiota. Toiseksi hyödyllisimmäksi he kokivat lääketieteelliset koulutusohjelmat. Jollakin tasolla soveltuviksi he arvioivat muun muassa etähoitoa, rentouttamista, potilaan neuvomista ja kuntouttamista tukevat sovellukset [Oyamal and Wakao, 1997].

Tässä tutkielmassa on mahdotonta esitellä kaikkia virtuaaliympäristöjen tekniikoiden hyödyntämismahdollisuuksia lääketieteen sovelluksissa, koska alue on erittäin laaja. Tähän lukuun on pyritty kokoamaan otos tärkeimmistä erityyppisistä virtuaaliympäristöjen tekniikoiden hyödyntämismahdollisuuksista lääketieteessä. Lisää virtuaaliympäristöjen tekniikoiden hyödyntämismahdollisuuksia lääketieteessä tuodaan esille luvuissa 10, 11 ja 12 esiteltävien esimerkkitapausten avulla.

9.1. Harjoittelun apuväline

Tällä hetkellä tärkeimpiä lääketieteen alan virtuaalisia sovelluksia ovat erilaiset harjoittelu- ja opetussovellukset. Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla voidaan harjoitella esimerkiksi anatomian tuntemusta, neulan käyttöä, diagnoosin tekemistä, kriittisessä tilanteessa toimimista tai leikkauksen suorittamista. Virtuaalitekniikoihin perustuvan simuloinnin avulla pystytään parantamaan lääketieteellisen opetuksen laatua ja tehokkuutta. Virtuaalitekniikat eivät voi ymmärrettävästi täysin korvata perinteistä opetusta ja käytännön harjoittelua, mutta tekniikat voivat nopeuttaa ja tukea oppimisprosessia muiden opetustekniikoiden rinnalla. Virtuaalisen mallin vaihtoehtoina on käyttää tekoelimiä tai näyttelijöitä. Tekoelimet voidaan valmistaa muovista, kumista tai eläimen nahkasta. Niiden valmistusprosessi on sitä kalliimpi, mitä yksityiskohtaisemmin reaalista elintä pyritään jäljittelemään [Sourin *et al.*, 2000]. Näyttelijät koulutetaan käyttäytymään sairaudelle tyypillisellä tavalla. Näyttelijöiden saatavuusongelmat ja prosessin kalleus on johtanut siihen, että kiinnostus virtuaalisia malleja kohtaan on kasvanut. Virtuaalisen mallin avulla voidaan myös harjoitella sellaisia operaatioita ja tilanteita,

joita ei pystytä havainnollistamaan näyttelijän tai tekoelinten kanssa. [Hubal *et al.*, 2000]

Leikkaus on tyypillinen operaatio, jota on hankala havainnollistaa näyttelijän kanssa. Perinteisesti leikkauksia on harjoitettu erilaisten apuvälineiden ja kappaleiden avulla. Esimerkiksi murtuneen luun leikkauksen harjoittelun apuna käytetään synteettisiä muovisia luita, leikkaukseen tarvittavia instrumentteja ja istuttimia, joiden avulla luun murtuneita osia voidaan yhdistää. Harjoittelua tarvitaan, jotta opitaan valitsemaan jokaiseen tilanteeseen parhaat työkalut ja menetelmät. Työkalujen ja oikean muotoisten istuttimien käyttöä on harjoitettava, jotta reaalisessa tilanteessa osataan toimia siten, että luuta vaurioitetaan mahdollisimman vähän. Synteettisten kappaleiden avulla leikkauksen harjoittaminen ei ole halpaa. Tämän vuoksi virtuaalitekniikoiden tarjoama apu harjoittelussa voi olla kannattavaa. Virtuaalitekniikoiden avulla voidaan myös mallintaa sen tyyppisiä elimiä tai muita kehon osia, joiden synteettistä mallia ei ole saatavilla. [Sourin *et al.*, 2000]

Myös erilaiset neulan käyttöä vaativat operaatiot ovat sellaisia, joiden harjoittaminen näyttelijän kanssa on arveluttavaa tai mahdotonta. Tällaisia operaatioita ovat esimerkiksi verikokeen ottaminen, rokottaminen, selkäydinpuudutuksen antaminen, suonensisäisen neulan asettaminen ja katettrin asettaminen. [Satava and Jones, 1998]

Virtuaalitekniikat mahdollistavat erityyppisten operaatioiden harjoittelun virtuaalisen kudoksen avulla. Jokainen operaatiotyyppi vaatii harjoittelusovellukselta omat erikoiset toimintonsa. Harjoittelijalle pyritään tarjoamaan operaatiosta samankaltaista palautetta kuin reaalisessa tilanteessa. Virtuaaliympäristöt auttavat erityisesti visuaalisessa mallintamisessa. Virtuaalisen mallin toden tuntua voidaan parantaa lisäämällä siihen tuntopalautteen mahdollistavia ominaisuuksia [Acosta and Temkin, 2000]. Palautetta voidaan antaa myös äänen avulla. Systeemiin on mahdollista yhdistää tarpeen mukaan apulaitteita, jotka opastavat operaation etenemisessä ja tilanteen havainnoimisessa. [Sourin *et al.*, 2000]

9.2. Operaation suunnittelu ja toteuttamisen apuväline

Lääketieteellisissä operaatioissa voidaan käyttää apuna virtuaaliympäristöjen tekniikoita. Erilaisia hyödyntämissuunnitelmia, kokeiluita ja toteutuksia on olemassa paljon. Leikkaus on yksi operaatio, jossa voidaan hyödyntää virtuaaliympäristöjen tekniikoita. Leikattavasta alueesta on mahdollista tehdä esimerkiksi suunnitelma tietokoneen avulla toteutettuun kolmiulotteiseen anatomiseen malliin. Malli voi perustua esimerkiksi magneettikuvaustekniikan avulla otettuihin kuviin. Tietokone voi seurata leikkauksen etenemistä operaation aikana otettujen uusien magneettikuvien avulla [Forsström, 2000]. Myös muitakin lääketieteellisiä kuvaustapoja, kuten ultraäänikuvausta, käytetään leikkauksessa apuvälineenä. Ultraäänikuvan etuna on se, että sen avulla tuotettua kuvaa

voidaan päivittää reaaliaikaisesti ja siksi se tarjoaa vuorovaikutteista tietoa leikkauksesta [Tang *et al.*, 1998].

Virtuaalinen malli voidaan tuoda operoijan nähtäville joko erillisen näytön tai lisätyn todellisuuden tekniikoiden avulla. Liitteessä 4 on kuva leikkauksen etenemisestä kolmiulotteisen anatomisen mallin avulla. Leikkausta on hyvä suunnitella ennen operaation aloittamista. Kolmiulotteiseen malliin voidaan esimerkiksi merkitä suunnitellut leikkauslinjat ja ne alueet, joita on erityisesti varottava [Forsström, 2000]. Leikkausta voidaan harjoitella kolmiulotteisen mallin ja tarkoitukseen sopivien lisälaitteiden sekä ohjelmistojen avulla. Kolmiulotteinen malli voi toimia apuna myös operaatiota suoritettaessa. Malli tuodaan operoijan nähtäville joko lisätyn todellisuuden tekniikoiden tai erillisen näytön avulla.

Lisätyn todellisuuden tekniikoiden avulla voidaan tuoda operoijan nähtäville muutenkin, kuin kuva kolmiulotteisesta mallista. Esimerkiksi Pohjois-Carolinan yliopistossa on rakennettu systeemi, joka yhdistää videokuvan todellisesta tilanteesta ja ultraäänikuvan. Systeemiä on käytetty raskaana olevien naisten vatsaa tutkittaessa. Sen avulla lääkäri voi saada paremman käsityksen tutkittavan alueen sijainnista vatsassa. Systeemiä voidaan käyttää raskauden aikaisia tarkastuksia ja lapsivesitutkimusta suoritettaessa. Lisätyn todellisuuden avulla voidaan rakentaa myös leikkauksen navigoinnin apuväline. Esimerkiksi aivokirurgiassa joudutaan suorittamaan erityistä tarkkuutta vaativia operaatioita. Lisätyn todellisuuden tekniikoiden avulla voidaan leikattavan alueen pinnalle liittää merkkejä tai lääketieteellisen kuvaustekniikan avulla otettua kuvaa. Kuvan on tällöin oltava tarkalleen oikeassa paikassa ja samassa mittakaavassa kuin leikattava alue. [Rosen *et al.*, 1996a]

9.3. Etäämmällä olevan kohteen tarkkaileminen ja etäoperointi

Etälääketieteen avulla asiantuntijat voivat tarjota tietoa ja palveluita klinikoille ja potilaille välimatkan pituudesta riippumatta. Aluksi yhteyttä pidettiin puhelimen ja telefaksilaitteen avulla. Seuraavaksi alettiin lähettää kuvainformaatiota television avulla [Igbaria *et al.*, 1999]. Kun etäämmällä olevia televisiokameroita ryhdyttiin siirtelemään katselijan pään liikkeiden mukaan, syntyi etäläsnäolo. Etäläsnäolossa hyödynnetään yleensä pääripusteisia näyttöjä. Etäläsnäolon avulla seurattava tilanne voi olla myös tietokoneen avulla luotu simulaatio, jolloin kuvaa ja ääntä muokataan käyttäjän pään liikkeiden mukaan. Tietokoneen avulla luodun simulaation avulla voidaan vaikka suunnitella operaation kulkua yhteistyössä etäämmällä sijaitsevien asiantuntijoiden kanssa

Etäläsnäolosta seuraava askel on etäoperointi. Etäoperoinnissa kuva tuodaan käyttäjän nähtäville kuten etäläsnäolossa. Systeemiin lisätään erilaisia virtuaaliympäristöjen erikoislaitteita, joiden avulla operoija voi ohjata etäämmällä sijaitsevia robotteja. Tällainen systeemi voi mahdollistaa esimerkiksi yksinkertaisen leikkauksen etäsuorittamisen. Virtuaaliympäristöjen laitteiden avulla pyritään tarjoamaan mahdollisimman realistisen

tuntuista kuva-, ääni- ja tuntopalautetta, jotta operaation suorittaminen olisi mahdollista. [Igbaria *et al.*, 1999]

9.4. Pienten kohteiden tutkimisen apuväline

Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla voidaan tutkia mikroskooppisen pieniä kappaleita sellaisella tavalla, joka olisi muuten mahdotonta. Pienten kappaleiden tutkiskelua virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla kutsutaan nanoläsnäoloksi. Pieni kappale voi olla todellinen tai tietokoneen avulla tuotettu.

Esimerkiksi molekyylien rakenteita voidaan tutkia virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla. Tällaisia rakenteita on mahdotonta tutkia kokeellisesti. Rakenteesta ja tapahtumista tehdään tietokoneen avulla simulaatio, jota voidaan tarkastella virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla kolmiulotteisesti. Simulaatio auttaa monimutkaisten rakenteiden ymmärtämistä ja tarkastelua. Simulaatio muodostetaan tunnettujen fysikaalisten lakien pohjalta monimutkaisten matemaattisten kaavojen avulla. Massiivisten laskelmien tuloksia olisi hankalaa ymmärtää ilman kolmiulotteista kuvaa tilanteesta. [Mutanen, 2000; HS, 1998]

9.5. Psykiatrian apuväline

Virtuaaliympäristöjen tekniikoita sisältävien systeemien käyttö voi olla erittäin hyödyllistä psykiatrian apuvälineenä. Systeemejä käytetään terapiatyökaluna ja diagnoosin tekemisen tukena. Virtuaaliympäristöt tarjoavat mahdollisuuden rakentaa kolmiulotteisia dynaamisia todentuntuja ympäristöjä, joissa ihmisen käyttäytymistä voidaan nauhoittaa ja kontrolloida [Rizzo *et al.*, 2000]. Virtuaaliympäristöjen tekniikat luovat uuden tyyppisiä mahdollisuuksia psykiatriselle hoidolle.

9.5.1. Terapian apuväline

Erilaisten pelkojen hoitamisessa voidaan käyttää terapiaa, jonka avulla potilas opetetaan lähestymään ja kohtaamaan pelon aiheuttaja. Yhtenä hoitotapana on perinteisesti käytetty tekniikkaa, jossa potilas viedään todelliseen tilanteeseen kohtaamaan pelkonsa. Vähitellen ja toistuvasti tilanteeseen totuttautumalla potilas voi päästä pelkonsa yli. Toinen usein käytetty tekniikka toimii siten, että potilasta pyydetään kuvittelemaan itsensä keskelle pelottavaa tilannetta. Ensimmäiseksi mainitun tekniikan ongelmana on mahdollisuus menettää luottamus potilaan ja hoitajan välillä. Toiseksi mainittu tekniikka ei välttämättä toimi, jos kyseessä sattuu olemaan potilas, joka ei ole kovin hyvä keskittymään tai kuvittelemaan tilannetta. Tilanteen kuvittelemisen opetteluun saattaa mennä useita kertoja. Molemmat edellä mainituista tekniikoista vaativat paljon aikaa, vaivannäköä sekä tiiviin luottamussuhteen potilaan ja hoitajan välillä. [Wiederhold and Wiederhold, 1996]

Koska pelkotilanteen kuvittelemisella ja kohtaamisella on tärkeä osuus terapiassa, kannattaa niiden käytön helpottamiseksi kehittää uusia tekniikoita [Vincelli and Giuseppe, 2000]. Useat lääketieteilijät ja terapeutit ovat kiinnostuneita tutkimaan virtuaaliympäristöjen tekniikoiden hyödyntämismahdollisuuksia terapiaprosessin osana. Virtuaaliympäristöjen avulla voidaan tehostaa terapiaa sekä säästää aikaa ja resursseja [Wiederhold and Wiederhold, 1996].

Uppoutumisen mahdollistavia tekniikoita on nykypäivänä hyödynnetty erityyppisten pelkojen ja fobioiden hoitamisessa. Ensimmäiset virtuaalitekniikoita hyödyntävät terapiasovellukset kehitettiin auttamaan veteraanien jälkitraumaattisten pelkojen hoidossa. Virtuaalitekniikoiden avulla voidaan hoitaa myös mm. korkeanpaikankammoa, opiskelijoiden tenttijännitystä ja rentoutumisongelmia. [Wiederhold and Wiederhold, 1996]

Virtuaaliympäristöjen tekniikat tarjoavat kolmiulotteisen rajapinnan, joka mahdollistaa vuorovaikutteisen toiminnan potilaan ja virtuaalisen ympäristön välillä. Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla potilas pääsee aktiivisesti osallistumaan terapiatilanteeseen, eikä hänen tarvitse olla vain kuvia katseleva passiivinen osapuoli. Potilaan toimet aiheuttavat muutoksia virtuaalisessa maailmassa. Vuorovaikutteisuus ja uppoutumisen tunne mahdollistavat potilaalle läsnäolon tunteen ja tehostavat terapiaa, jonka avulla on tarkoitus auttaa potilasta sopeutumaan pelon aiheuttamaan tilanteeseen sekä pääsemään pelon yli. Potilas voi toimillaan aiheuttaa esimerkiksi uudenlaisen lopun tapahtumaketjulle. Virtuaalisen mallin avulla potilas voi käydä pelottavan tilanteen läpi niin usein kuin haluaa. Terapeutin läsnäolo virtuaalisessa tilanteessa voi olla tarpeen, jotta kokemus ei muodostuisi liian pelottavaksi. Ennen virtuaalisen terapian laajempaa käyttöä on tutkittava, millä tavalla henkisesti erittäin heikot ihmiset kokevat ja ovat valmiita kohtaamaan virtuaalisen maailman tuomat muutokset. [Vincelli and Giuseppe, 2000; Wiederhold and Wiederhold, 1996]

9.5.2. Kliinisen neuropsykologian apuväline

Virtuaaliympäristöt tarjoavat mahdollisuuden rakentaa kolmiulotteisia dynaamisia todentuntuksia ympäristöjä, joissa ihmisen käyttäytymistä voidaan nauhoittaa ja kontrolloida. Systeemiin voidaan yhdistää kehittyneitä tekniikoita, jotka mahdollistavat esimerkiksi aivojen tarkan kuvaamisen. Uudet tekniikat tarjoavat tilanteen arvioinnille ja kuntoutukselle menetelmiä, joita ei ole mahdollista käyttää perinteisten hoitomenetelmien kanssa. Uusien menetelmien avulla voimme tutkia normaaleja ja häiriintyneitä prosesseja. Näitä tietoja tarvitaan, jotta voisimme oppia ymmärtämään, havainnoimaan ja hoitamaan paremmin esimerkiksi keskushermoston häiriötoimintaa, dementiaa ja halvaantumisia. [Rizzo *et al.*, 2000]

Kuntoutuksen avulla voidaan harjoitella esimerkiksi huomion kiinnittämiskykyä, toimintojen suorittamista, muistamista ja tilan hahmottamista. Kuntoutuksen ohella on

mahdollista mitata ja arvioida potilaan toimintaa ja kykyjä. Toiminnallisia virtuaaliympäristöjä on suunniteltu myös päivittäisten askareiden harjoittelun tueksi. Harjoiteltava tehtävä voisi olla esimerkiksi autolla ajaminen, ruuan valmistaminen, tien ylittäminen, kaupassa käynti, julkisen liikenteen käyttö tai pyörätuolin ohjaaminen. [Rizzo *et al.*, 2000]

Virtuaalitekniikoiden käytön tutkiminen kliinisen neuropsykologian apuna on vasta alussa. Tulevaisuudessa tekniikoiden kehittyessä ja vakiintuessa tekniikan hyödyntämismahdollisuudet laajenevat. [Rizzo *et al.*, 2000]

9.6. Potilaan toiminnan motivoimisen apuväline

Potilaan hoitaminen pelkästään lääketieteellisten operaatioiden avulla ei aina riitä hyvän toimintakyvyn saavuttamiseen ja ylläpitämiseen. Tässä luvussa esitellään virtuaaliympäristöjen tekniikoiden sovelluksia, jotka kannustavat potilasta suorittamaan kuntoutuksellisia liikkeitä tai kuntoilemaan.

9.6.1. Kuntoutuksen apuväline

Kuntoutuksen avulla pyritään edistämään vamman paranemista ja vahvistamaan esimerkiksi loukkaantuneen raajan lihaksia siten, että vamman uudelleen syntyminen estyy. Virtuaalisten sovellusten avulla voidaan kannustaa potilaita tekemään erilaisia kuntoutuksessa tarvittavia liikkeitä. Tällainen systeemi voi koostua esimerkiksi pelimäisestä virtuaaliympäristöstä ja siihen liitetystä käyttöliittymästä, joka on suunniteltu erityisesti kuntoutusliikkeen suorittamista varten. Peli kannustaa käyttäjää suorittamaan tarvittavia liikkeitä. Samaan aikaan tietokone voi kontrolloida liikkeitä käyttöliittymän avulla. Usean eri pelin valintamahdollisuus auttaa ylläpitämään liikkumisen motivaatiota ja tuo toimintaan vaihtelua. [Girone *et al.*, 2000]

9.6.2. Kuntoilemisen apuväline

Säännöllinen liikkuminen ja kuntoilu on tärkeää ihmisen hyvinvoinnin ja terveyden kannalta. Liikunta- ja kuntoilumahdollisuuksien kehittämistarve on syntynyt, koska työn luonne on muuttunut fyysisesti vähemmän kuormittavaksi. Lukuisia erilaisia kuntolaitteita ja yksilöllisen kunnan seurantajärjestelmiä on kehitetty. Niiden avulla voidaan kerätä ja analysoida tietoa kuntoilijan fyysisestä kunnosta. Pelkät passiiviset laitteet eivät aina kuitenkaan riitä motivoimaan aktiivista toimintaa kunnan kehittämiseksi ja ylläpitämiseksi. Virtuaalitekniikoiden avulla voidaan lisätä liikkumisen motivaatiota esimerkiksi yhdistämällä toisiinsa perinteinen kuntolaite ja tietokoneen avulla toteutettu peli. Peli voi tarjota erilaisia virtuaaliympäristöjä kuntoilua varten. Kuntoileminen tapahtuu saman aikaisesti, kun käyttäjä pelaa peliä. Tällöin virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla toteutettu peli lisää liikkumisen motivaatiota. [Virku, 2000]

10. Esimerkkejä lääketieteen sovelluksista

Tässä luvussa esitellään virtuaaliympäristöjen käyttömahdollisuuksia lääketieteen sovelluksissa erilaisten esimerkkitapausten avulla.

10.1. Case: SKATS -Polven tähystysleikkauksen harjoittelusysteemi

Sheffieldin yliopistossa on kehitetty polven nivelen tähystysleikkauksen harjoittelusysteemi. Systeemin nimi on the Sheffield Knee Arthroscopy Training System (SKATS). Tähystysleikkausta käytetään yhä enemmän, koska se on todettu toimivaksi ja hyödylliseksi menetelmäksi. Tähystysleikkauksen suorittaminen vaatii operoijalta erilaisia taitoja, kuin avoimen leikkauksen suorittaminen. Leikkauksen suorittamisessa tarvitaan hyvää visuaalista hahmottamiskykyä ja käden taitoja. Tämän vuoksi operaation harjoittelu on tärkeää ja siihen tarvitaan paljon aikaa. [McCarthy and Hollands, 1998]

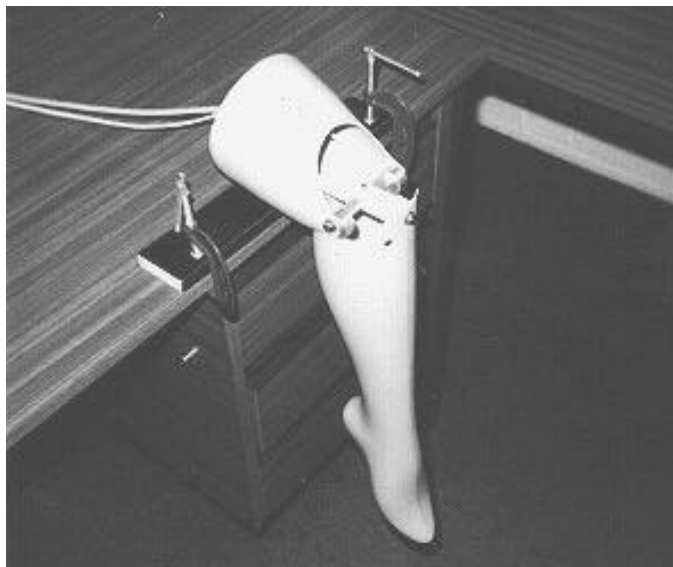
Operaatiossa hyödynnetään pientä jäykän varren päässä olevaa kameraa ja operointivälineitä. Välineitä käytetään nivelen sisällä pienten ihossa olevien viiltojen kautta. Sen lisäksi, että operoijan on hallittava instrumenttien ja kameran liikuttelu, on hänen osattava liikuttaa raajaa siten, että nivel on sellaisessa asennossa, että tähystysleikkaus on mahdollista suorittaa. Operointivälineiden liikuttelu on hankalaa, koska ympärillä olevat kudokset rajoittavat niiden liikerataa. Omat vaikeutensa tuo myös se, että operointiväline kulkee pienen viillon läpi, mistä aiheutuu se, että välineen pää liikkuu vastakkaiseen suuntaan kuin operoijan käsi. [McCarthy and Hollands, 1998; Trowbridge and Hollands, 1996]

Perinteisesti tähystysleikkausta on harjoiteltu mekaanisten mallien, kuolleiden ihmisten ja eläinten avulla. Myös käytännössä operaatiota seuraamalla ja opastajan avulla suorittamalla harjoittelu on tärkeää. Mekaanisten mallien avulla harjoittellessa tarvitaan kalliita lääketieteellisiä laitteita, joten menetelmä ei ole kaikkien saatavilla. Kuolleiden ihmisten ja eläinten käyttäminen operaatioissa on eettisesti arveluttavaa. Tilanteeseen sopivien ruumiiden löytäminen voi olla myös ongelmallista ja niiden säilyttäminen on kallista. Ruumiin avulla harjoittellessa ei välttämättä saa hyvää kuvaa siitä, millainen tilanne on silloin, kun kyseessä on elävä kudos. Virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödyntävä simulaatio voi tarjota kaikki samat harjoitteluominaisuudet kuin ruumis. Näiden mahdollisuuksien lisäksi etuja ovat operaation toistomahdollisuus, säilytyksen ongelmattomuus sekä mahdollisuus mallintaa eri tyyppisiä tapauksia ja elävää kudosta. Simulaation avulla harjoittelu vähentää käytännön harjoitteluun tarvittavaa aikaa ja parantaa ensimmäisten oikeiden operaatioiden laatua. [McCarthy and Hollands, 1998; Trowbridge and Hollands, 1996]

Systeemi toimii tavallisen tietokoneen avulla, koska tarvittava simulaatio on yksinkertainen. Koska normaalia tehokkaampaa tietokonetta ei tarvita, systeemin hinta on

alhainen. Simulaatiota seurataan erillään olevasta tavallisesta näytöstä samalla tavalla kuin todellisessa operaatiossa. Tällä hetkellä tavallisen näytön käyttäminen on järkevää, koska silloin tilanne vastaa parhaiten todellista tilannetta. Jos tulevaisuudessa stereoskooppisen tähystyskuvan käyttö rutinoituu, systeemiin voidaan vaihtoehtoisesti liittää pääripusteinen näyttö. Simulaation kuvassa voidaan nähdä tilanne virtuaalisen kudoksen sisällä siten, kuin se näkyisi pienen kameran avulla reaalisessa operaatiossa. [McCarthy and Hollands, 1998]

Polvea mallinnetaan harjoittelulaitteen avulla, joka on rakennettu erityisesti tätä systeemiä varten. Laite on pyritty rakentamaan sellaiseksi, että sen avulla harjoittelu vastaa mahdollisimman hyvin todellista tilannetta. Laite ei esimerkiksi salli polvelle mahdottomia asentoja. Laitteen rakenne estää virtuaalisessa mallissa seinien läpi liikkumisen ja oikeanlaisen tuntopalautteen antamisen. Sähkömagneettiset paikannuslaitteet seuraavat säären sijaintia, jolloin harjoittelija näkee vuorovaikutteisesti kuvaa nivelen asennosta. Myös operaatiovälineiden sekä kameraa ohjaavan varren sijaintia ja suuntaa seurataan. Operaatiovälineiden ja kameran liikuttaminen aiheuttaa liikettä vastaavia muutoksia simulaatiokuvassa. Alapuolella on kuva systeemiä varten kehitetystä harjoittelulaitteesta. [McCarthy and Hollands, 1998]



Kuva 10.1. Tähystysleikkauksen harjoittelua varten rakennettu laitteisto. [Trowbridge and Hollands, 1996]

Systeemi mahdollistaa harjoittelun nauhoittamisen, jolloin operaation kulkua voidaan analysoida myöhemmin. Kokenut kirurgi voi suorittaa mallioperaation, jota katselemalla harjoittelija voi oppia oikeita toimintatapoja. Systeemiä aiotaan kehittää siten, että pehmeät kudokset käyttäytyvät visuaalisesti oikealla tavalla joustavasti, kun niitä kosketetaan. Suunnitteilla on myös epämuodostumien lisäämismahdollisuus malliin.

Alapuolella on kuva systeemistä käytännössä. [McCarthy and Hollands, 1998; Trowbridge and Hollands, 1996]



Kuva 10.2: Polven tähestysleikkauksen harjoittelusimulaatio käytännössä. [Trowbridge and Hollands, 1996]

10.2. Case: Rutgers Ankle -kuntoutussovellus

Nilkka on yksi tärkeimmistä ja samalla myös yksi useimmin vioittuvista kehon nivelistä. Tämän vuoksi lääketieteen tutkijat ovat erittäin kiinnostuneita kehittämään tehokkaita menetelmiä nilkan vammojen hoitamiseen ja ennaltaehkäisemiseen. Rutgersin yliopistossa New Jerseyssä on kehitetty nilkan kuntouttamista tukeva systeemi Rutgers Ankle. [Girone *et al.*, 1999].

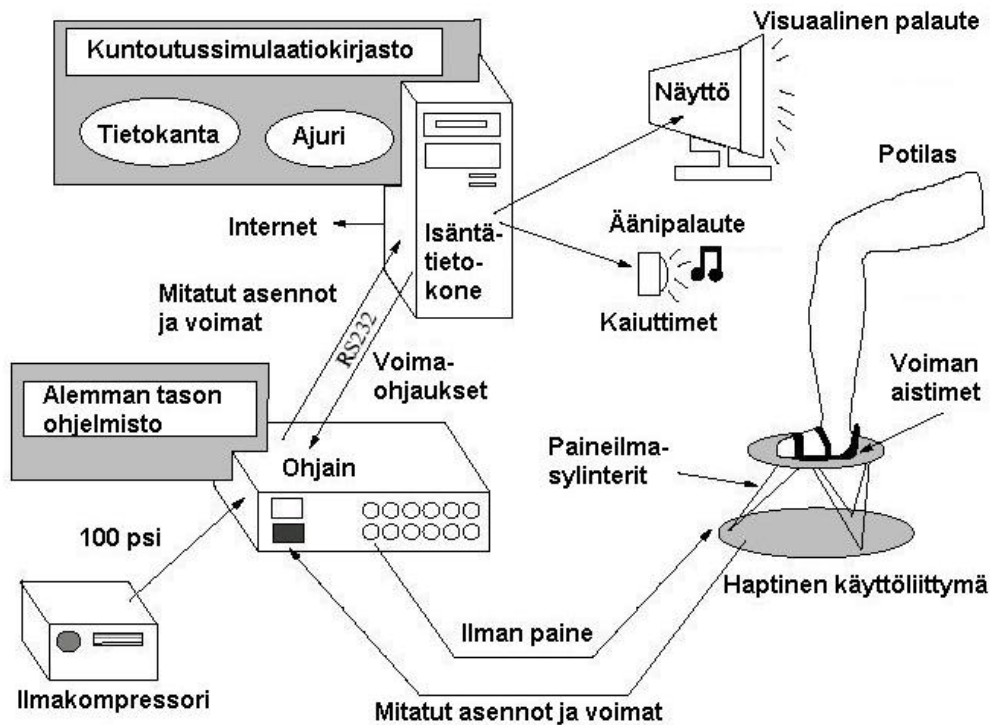
Rutgers Ankle on systeemi, jonka avulla potilas voi suorittaa useita erilaisia nilkan kuntoutusharjoituksia vuorovaikutuksessa virtuaalisen ympäristön kanssa. Potilas voi virtuaalisen simulaation avulla esimerkiksi potkia palloa tai ohjata helikopteria esteitä väistellen. Rutgers Ankle -systeemin pelinomaisuus tuo potilaalle uuden tavan kiinnostua kuntoutusliikkeiden suorittamisesta. Peliä pelatessa kuntoutettavan raajan voimakkuus, taipuisuus, koordinaatio ja tasapaino kehittyvät. [Girone *et al.*, 2000]

Systeemi on suunniteltu siten, että potilas voi tehdä harjoituksia kotioloissa itsenäisesti, jolloin tietokone rekisteröi tuloksia automaattisesti. Systeemi tukee nilkan liikerradan ja sen ponnistusvoimakkuuden mittaamista sekä koordinaatiokyvyn arviointia. Tulevaisuudessa terapeutti voi seurata potilaan harjaantumista klinikalta käsin. Tällä hetkellä kyseinen laitteisto ei ole vielä tarpeeksi kehittynyt, jotta se voitaisiin viedä potilaan kotiin. [Girone *et al.*, 2000]

Rutgers Ankle -systeemiin kuuluu kolme erikoislaitetta: tuntopalautetta antava käyttöliittymä, ohjain ja pieni ilmakompressori. Nämä kaikki laitteet ovat helposti kytkettävissä tietokoneeseen. Erikoislaitteiden lisäksi systeemissä tarvitaan tavallista PC-

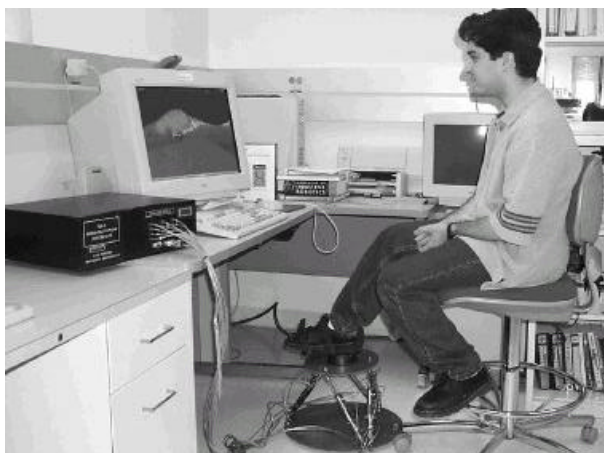
tietokonetta, joka ohjaa simulaatiota, sekä internetyhteyden muodostamiseen tarvittavat laitteet. [Girone *et al.*, 1999]

PC-tietokoneessa tarvitaan ohjelmistoa, joka koostuu simulaatiokirjastosta, ohjelmiston ajurista ja potilaan tietokannasta. Ohjaimessa on sisään rakennettu tietokone, jossa on alemman tason ohjelmisto. Alla olevassa kuvassa on systeemin kokoonpano. [Girone *et al.*, 1999]



Kuva 10.3. Rutgers Ankle -systeemin laitteistokokoonpano. [Girone *et al.*, 1999]

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa käyttäjä käyttää Rutgers Ankle -systeemiä. Kuvan vasemmassa reunassa näkyy ohjain ja sen takana tietokone näyttöineen.



Kuva 10.4. Kuva Rutgers Ankle -systeemi käytössä. [Girone *et al.*, 1999]

Tuntopalautetta antava käyttöliittymä koostuu kahdesta pyöreästä hiilikuituisesta levystä ja niiden välissä olevista kuudesta paineilmasylinteristä. Tämän lisäksi käyttöliittymässä on antureita voiman sekä jalan kolmiulotteisen aseman mittaamista varten. Jalkaan kohdistuvan voiman suuruutta mittaavat anturit sijaitsevat käyttöliittymän ja jalan välissä. Käyttöliittymässä ja käyttäjän povessa sijaitsee magneettiset aistimet, joiden välittämän tiedon avulla voidaan laskea nilkan kolmiulotteinen kiertymäkulma suhteessa sääriluuhun. Käyttöliittymän paineilmasylinterit ovat kaksisuuntaisesti toimivia, joten ne voivat tuottaa kaikille mahdollisille nilkan liikkeiden suunnille vastustavan voiman. Käyttöliittymä liitetään ohjaimen paineilmaputkien ja johtojen avulla. Paineilmaputket ohjaavat käyttöliittymän paineilmasylintereitä. Johtoja pitkin kulkee tietoa käyttöliittymän voima-antureista ohjaimen. [Girone *et al.*, 1999]

Ohjain koostuu sisään rakennetusta tietokoneesta, paineventtiileistä, paineantureista ja virtayksiköistä. Ohjaimen tietokoneella on useita tehtäviä: paineen säätimien kontrollointi, asentoantureiden lähettämän raakatiedon konvertoiminen ylemmän tason arvoiksi isäntätietokonetta varten, paineantureiden tiedon lukeminen, haluttujen voiman ja aseman arvojen vastaanottaminen isäntäkoneelta sekä kinemaattisten laskujen suorittaminen oikeiden sylinteripaineiden määrittelemiseksi. [Girone *et al.*, 1999]

Ohjaimen ja PC-tietokoneen välillä on RS232 standardin [Strangio, 1993] mukainen linja. PC-tietokoneessa on korkeamman tason ohjelmisto, joka vastaanottaa tietoa nilkan asennosta ohjaimelta ja välittää tiedon sovellukselle eli kuntoutussimulaatiolle. PC-tietokone välittää tietoa myös toiseen suuntaan eli sovellukselta ohjaimelle. [Girone *et al.*, 1999]

Sovellus sisältää useita eri harjoituksia, joita voidaan suorittaa halutussa järjestyksessä haluttu määrä. Sovellus välittää tietoa kuntoutuksen etenemisestä potilaan tietokantaan, minkä avulla terapeutti voi seurata ja analysoida tilannetta. [Girone *et al.*, 1999]

Tulevaisuudessa tätä systeemiä kehitetään edelleen, jotta se voitaisiin ottaa kotikäyttöön. Laitteistoa pyritään kehittämään helpommin siirreltäväksi ja monipuolisemmin säädeltäväksi. Tarkoituksena on myös lisätä kypäränäyttö, jotta uppoutumisen tunne olisi voimakkaampi. Parannettavaa on myös vasteajoissa käyttöliittymän ja virtuaalisen mallin välillä. Suunnitteilla on myös kokoonpano tasapainon kehittämistä varten, missä olisi oma tuntopalautetta antava käyttöliittymä kummallekin jalalle. [Girone *et al.*, 2000; Girone *et al.*, 1999]

10.3. Case: MediSim –ensiaputoimenpiteiden harjoittelusovellus

MediSim on Pennsylvanian yliopistossa toteutettu systeemi, jonka avulla voidaan harjoitella tilanteen arviointia ja päätöksen tekoa ensiaputoimenpiteitä vaativia olosuhteita varten. Alkuperäinen sovellus on suunniteltu taistelukenttälääketiedettä varten. Tarkoi-

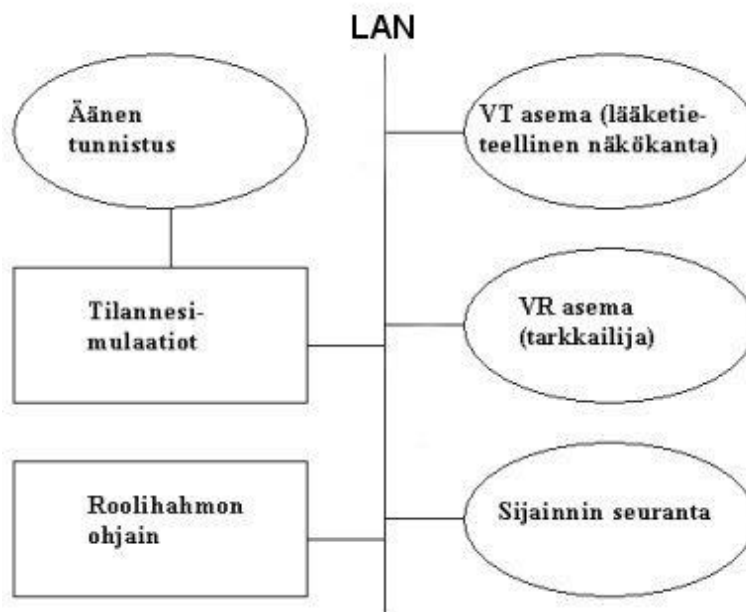
tuksena on ollut kouluttaa lääkintä- ja muita etualalla taistelevia miehiä, joita tarvitaan antamaan ensiapua taistelukentällä. Systeemi tarjoaa uppoutumisen ja multimodaalisen vuorovaikutuksen mahdollistavan virtuaaliympäristön, jonka avulla tilanteita voidaan simuloida. Harjoittelijaa havainnollistetaan virtuaalisessa ympäristössä roolihahmon avulla. Hän pystyy käyttämään virtuaalisia instrumentteja ja suorittamaan lääketieteellisiä toimenpiteitä. Esiteltävässä systeemin versiossa on toteutettuna kaksi eri haavoitumistapausta, joissa vaurio on joko rintakehän tai pään alueella. Systeemi tarjoaa harjoittelun aikana realistisia vihjeitä potilaan tilasta, kuten verenpaineesta ja pulssista. Systeemi reagoi harjoittelijan suorittamiin toimenpiteisiin esimerkiksi muuttamalla potilaan ihon väriä tilanteen mukaan. [Stansfield *et al.*, 1998]

Systeemi on rakennettu Sandian avoimen järjestelmäperustan päälle. Järjestelmäperusta mahdollistaa usean käyttäjän läsnäolon ja useiden heterogeenisten simulaatiomallien yhdistämisen verkon avulla. Yhdistämisen avulla voidaan luoda jaettu virtuaaliympäristö. [Stansfield *et al.*, 1998]

MediSim eroaa muista lääketieteen virtuaalisista harjoittelusovelluksista siten, että siinä harjoitellaan useita erilaisia hoitotapahtumia, joita lääkintämies joutuu tehtäväänsään suorittamaan. Yleensä lääketieteellisten taitojen harjoittelusovellukset on tehty yhden tietyn toimenpiteen suorittamista varten. Tällaiset sovellukset tarjoavat yleensä realistisen anatomian visualisoinnin ja mahdollisesti multimodaalisen käyttöliittymän, joka havainnollistaa tuntopalautteen avulla tietyn lääketieteellisen operaation suorittamista tarkoituksenmukaisten välineiden avulla. MediSimin simuloima tilanne on erilainen, koska sen avulla on tarkoitus harjoitella nopeaa tilanteen arviointia ja päätöksen tekoa ensiaputoimenpiteitä vaativia olosuhteita varten. MediSimin avulla harjoitellaan siis tilanteessa toimimista, eikä tietyn toimenpiteen suorittamista. [Stansfield *et al.*, 1998]

MediSimin etu on se, että sen avulla tilannetta voidaan harjoitella tekemällä. Jos harjoittelija tekee vääriä toimenpiteitä, tai tekee kaikki oikeat toimenpiteet, mutta käyttää niihin liikaa aikaa, virtuaalinen potilas kuolee. Oikeiden hoitotoimenpiteiden jälkeen virtuaalinen potilas alkaa voida paremmin, mistä annetaan asianmukaista palautetta harjoittelijalle. Tekemällä oppiminen on tehokkainta nopeaa toimintaa vaativissa tehtävissä. Ihminen oppii yleensä parhaiten viiheiden kautta. MediSimin avulla harjoittelussa virheiden tapahtuminen ei tuota vahinkoa oikealle potilaalle. Lääketieteen toimenpiteiden käytännön harjoittelussa käytetään joskus apuna eläimiä, mikä ei ole miellyttävä vaihtoehto. Virtuaaliympäristöjen sovellukset, kuten MediSim, ovat potentiaalisia ja harmitonta vaihtoehtoja lääketieteellisten toimenpiteiden harjoittelua varten. [Stansfield *et al.*, 1998].

MediSim systeemiin kuuluu kypäränäyttö ja laitteet käsien, pään sekä alaselän sijainnin seuranta varten. Systeemin pitäisi tukea usean käyttäjän osallistumista, mutta tässä vaiheessa sitä on testattu vain yhdellä käyttäjällä. Alapuolella on kuva systeemin komponenttien kokoonpanosta. [Stansfield *et al.*, 1998]



Kuva 10.5. MediSim-systeemin komponentit. [Stansfield *et al.*, 1998]

VT asemat ovat käyttäjän näytön ohjaimia. Tyypillisesti yksi asema hoitaa oman osa-alueensa grafiikan ohjaamisesta. Jokaisella harjoittelijalla ja tarkkailijalla on oma ohjaimensa, mikä mahdollistaa itsenäisen katsontakulman ja -paikan valinnan virtuaalisessa ympäristössä. Harjoittelijan näkymän reaaliaikaista päivitystä ohjataan seurantalaitteiden tuottaman tiedon avulla. Tarkkailijan näkymää ohjataan hiiren ja näppäimistön avulla. [Stansfield *et al.*, 1998]

Sijainnin seurantaohjelmistoa tarvitaan seurantalaitteiden tuottamien tietojen jakamiseen muille systeemin osille. Näitä tietoja käytetään esimerkiksi käyttäjää kuvaavan roolihahmon asennon päivittämiseksi käyttäjän asennon mukaan. [Stansfield *et al.*, 1998]

Tietojen jakaminen lähiverkon kautta mahdollistaa systeemin eri moduulien välisen tiedonjaon. Näiden tietojen avulla simulaatio voidaan pitää käynnissä reaaliaikaisesti. Jokainen systeemin moduuli lataa verkosta niitä tietoja, joita se tarvitsee hoitaakseen vastuualueensa. Kun tila moduulissa muuttuu, se lähettää verkkoon tiedon muutoksesta. Verkon kautta moduulit, jotka tarvitsevat kyseistä tietoa, saavat sen käyttöönsä. [Stansfield *et al.*, 1998]

Käyttäjä voi pyytää tietoa ja kommentoida tiettyjä toimintoja puheentunnistus-systeemin kautta. Tämä systeemi on toteutettu Dragon Systems Inc. yrityksen tuottamien tuotteiden avulla. Puheentunnistus-systeemi kommunikoi suoraan tilannesimulaatiomoduulin kanssa. [Stansfield *et al.*, 1998]

Käyttäjien roolihahmot on esitettävä ryhmätyötä tukevassa toiminnan harjoittelusovelluksessa tarkemmin kuin monessa muussa sovelluksessa. Tämä vaatimus johtuu siitä, että harjoittelevan ryhmän jäsenten välisen kommunikaation on sujuttava mah-

dollisimman hyvin. Toistensa sijainnin, asennon ja käien sekä kehon liikkeiden näkeminen tuo käyttäjille lisäinformaatiota tilanteesta. Roolihahmojen on pystyttävä visualisoimaan käyttäjien liikkeitä lähes reaaliajassa. Kehossa ei saa olla kuitenkaan liikaa seurantapisteitä, jotta lähettimien ja vastaanottimien avulla kerättävä tietomäärä ei kerkyisi liian suureksi. Liiallinen puettavien laitteiden määrä haittaa myös käyttäjän toimintaa. [Stansfield *et al.*, 1998]

Roolihahmojen ohjaimen toiminta perustuu useaan tekniikkaan. Kehossa olevan neljän sensorin avulla saadun tiedon perusteella muodostetaan peruskuva käyttäjän asennosta ja sijainnista. Peruskuvaan verrataan valmiiksi tallennettuja asentovaihtoehtoja, joista valitaan parhaiten tilanteeseen sopiva. Tallennetut asentovaihtoehdot perustuvat tietoon ihmisen kehon fysiologisista ominaisuuksista. Tiedossa on esimerkiksi missä kyynärpää todennäköisimmin sijaitsee, kun ihminen heiluttaa kättään. Roolihahmo toimii joissakin tarkkuutta vaativissa tilanteissa puoliautomaattisesti. Esimerkiksi kun käyttäjä kurkottaa kädellään kohti virtuaalisen ympäristön esinettä, roolihahmon käsi ohjataan automaattisesti tavoiteltavan esineen luo. Virtuaaliset objektit sisältävät myös tietoa toiminnasta, jotta ne voivat auttaa käyttäjää. Esimerkiksi leikkaushansikkaat menevät roolihahmon käsiin, kun niihin tartutaan ja kosketetaan sormille tarkoitettuja osia. [Stansfield *et al.*, 1998]

MediSim-systeemiä on tarkoitus kehittää edelleen. Tarkoituksena on lisätä ohjelmistoon useita erilaisia tapauksia haavoittumisista ja tilanteista, jotta harjoittelu olisi monipuolisempaa. Suunnitelmissa on myös lisätä mahdollisuus useamman yhtäaikaisen vaurion hoitamisen harjoitteluun. Lisää priorisoinnin ja päätöksenteon harjoittelumahdollisuuksia saataisiin, jos lisättäisiin simulaatioon tilanteita, jotka vaatisivat usean haavoittuneen potilaan samanaikaista hoitamista. [Stansfield *et al.*, 1998]

10.4. Case: Eturauhassyövän diagnosoinnin harjoittelu

Eturauhassyöpä on toiseksi yleisin miehillä esiintyvä kuolemaan johtava syöpä. 25 prosenttia eturauhassyöpää sairastavista potilaista kuolee syöpään (vuosi 1998 USA). Eturauhassyövän tehokkaimmaksi havaitsemismenetelmäksi on osoittautunut kahden menetelmän yhteiskäyttö. Nämä menetelmät ovat: peräsuolen digitaalinen tutkimus (digital rectal examination, DRE) ja erityisen syöpäantigeenin (prostatic specific antigen, PSA) käyttäminen. [Burdea *et al.*, 1998]

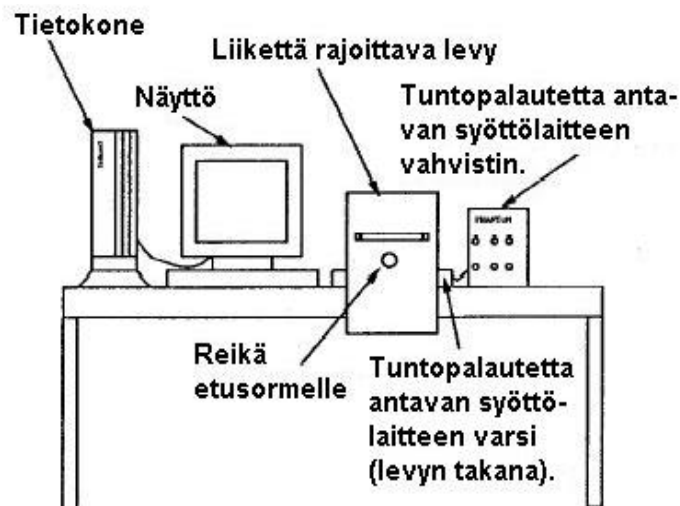
Useat lääketieteelliset koulut pitävät DRE:tä erittäin tärkeänä diagnoosin tekemisen apuvälineenä. Tämä etenkin siksi, että puolet eturauhasista löydettyistä kyhmyistä ovat osoittautuneet pahanlaatuisiksi. Diagnoosin tekemisen harjoittelu on hankalaa, koska harjoittelun sallivien potilaiden löytäminen on vaikeaa. DRE voi olla epämiellyttävä kokemus potilaalle, jos sen suorittaa kokematon harjoittelija. Ilman käytännön kokemuksia on hankalaa arvioida opiskelijan diagnoosin suorittamiskykyä. Tämän vuoksi useat lääketieteellisestä koulusta valmistuneet eivät koe olevansa päteviä diagnosoi-

maan eturauhassyöpää. Epävarmuus johtaa siihen, että potilaita joudutaan lähettämään kalliiden asiantuntijoiden diagnosoitavaksi. [Burdea *et al.*, 1998]

Diagnoosin tekemistä voidaan harjoitella kumista tehdyn mallin avulla. Diagnoosin tekemisen harjoittelun aikana harjoittelijan silmät on peitettävä, jotta hän ei pysty saamaan vihjeitä mallinnettavan syövän sijainnista ja laadusta. Mekaaniseen harjoittelumalliin voidaan lisätä sormen liikkeitä aistivia sensoreita sekä näyttö, jossa harjoittelija voi nähdä kuvan tilanteesta ja oman sormensa liikkeitä virtuaalisen sormen avulla mallinnettuna. [Burdea *et al.*, 1998]

Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla voidaan toteuttaa harjoittelusimulaatio, jonka käyttö ei vaadi kumista harjoittelumallia. Sen avulla harjoittelija pystyy tutustumaan tilanteeseen visuaalisesti lentämällä virtuaalisessa mallissa. Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla tilanne voidaan tehdä todellisemmän tuntuiseksi kuin kumisen mallin avulla. Tekniikat mahdollistavat oikeanlaisen tuntopalautteen antamisen. Simulaatioon on mahdollista toteuttaa useita erilaisia harjoittelutilanteita. Seuraavaksi käsitellään Rutgersin yliopiston ja Robert Wood Johnson Medical Schoolin yhteistyössä toteuttamaa eturauhassyövän diagnosoinnin harjoittelusysteemiä. [Burdea *et al.*, 1998]

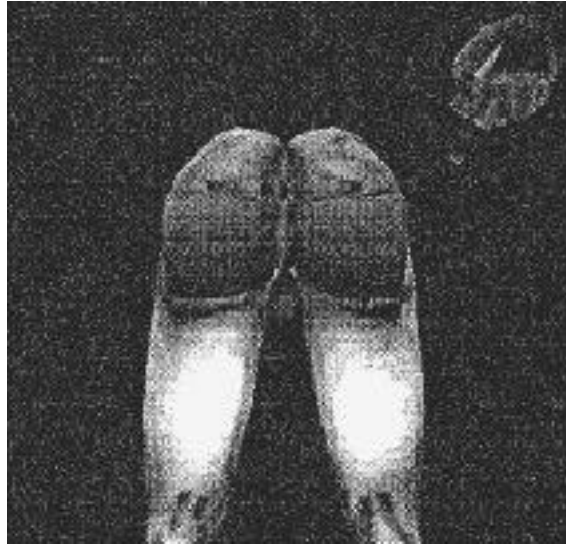
Virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödyntävä eturauhassyövän tunnistelun harjoittelusysteemi koostuu tuntopalautetta antavasta syöttölaitteesta, liikettä rajoittavasta levystä, tietokoneesta sekä tavallisesta näytöstä. Alapuolella oleva kuva selventää systeemin laitteistokokonpanoa. Käyttäjää on vuorovaikutuksessa systeemin kanssa työntämällä etusormensa liikettä rajoittavassa levyssä olevan reiän läpi tuntopalautetta antavaan laitteeseen. [Burdea *et al.*, 1998]



Kuva 10.6. Eturauhassyövän diagnosoinnin harjoittelua tukevan systeemin laitteistokokonpano. [Burdea *et al.*, 1998]

Tietokone huolehti tuntopalautetta antavan näytön ohjaamisesta ja visuaalisen palautteen antamisesta mahdollisimman reaaliaikaisena käyttäjälle. Tuntopalautteen rea-

lisuuden ja simulaation nopeuden välillä jouduttiin tekemään kompromisseja. Monimutkaisen tuntopalautteen antaminen aiheutti viiveitä. Simulaatioon tarvittava kolmiulotteinen anatominen malli ostettiin valmiina Viewpoint DataLabs -yritykseltä. Mallista otettiin käyttöön vain ne osat, jotka olivat tärkeitä eturauhassyövän diagnosoinnin harjoittelun kannalta, koska käytettävissä oleva laitteistoteho ei riittänyt isokokoisen mallin käyttämiseen. Mallia taivutettiin vyötärön kohdalta, jotta se saatiin samaan asentoon, missä potilas on silloin, kun DRE suoritetaan. Seuraavalla sivulla on kuva harjoittelusimulaatiosta. [Burdea *et al.*, 1998]



Kuva 10.7. Kuva eturauhassyövän diagnosoinnin harjoittelusovelluksesta. [Burdea *et al.*, 1998]

Simulaatio alkaa sillä, että harjoittelija ohjaa virtuaalista kättä etusormellansa. Etusormi on koko simulaation ajan tuntopalautetta antavassa syöttölaitteessa. Kun käyttäjä on ohjannut virtuaalisen sormen virtuaaliseen peräsuoleen, kuva siirtyy näyttämään tilannetta virtuaalisen kehon sisäpuolelta. Sisäpuolta mallintavassa näkymässä on paksusuolen seinämät, eturauhanen ja etusormi. Simulaatio antaa jatkuvasti asiaan kuuluvaa palautetta. Esimerkiksi sisäpuolta mallintavassa tilanteessa suolen seinämään osuni-
sesta annetaan palautetta. Kun harjoittelija alkaa tunnustella syöpäkasvainta, tuntopalaute auttaa häntä löytämään oikean tunnusteltavan kohdan. Ohjelmisto tallentaa tunnustelun aikana tehdyt liikkeet, jotta tekniikkaa voidaan myöhemmin arvioida ja antaa ohjeita siitä, kuinka liikkeet tulisi suorittaa. Simulaation avulla voidaan mallintaa useita erilaisia eturauhasen syöpätapauksia. Syövän sijainti arvotaan simulaation alkaessa, joten tilanne ei ole jokaisella kerralla samanlainen. [Burdea *et al.*, 1998]

Systeemin avulla voidaan myös testata harjoittelijan diagnosointikykyä. Kuva tilanteesta näytetään vain harjoitusten yhteydessä. Kun testataan harjoittelijan taitoja, hä-

nelle ei näytetä kuvaa. Tällöin harjoittelijan on selvittävä diagnoosin tekemisestä pelkästään tuntopalautteen avulla, kuten reaaliossakin tilanteessa. [Burdea *et al.*, 1998]

11. Esimerkkejä lääketieteen sovelluksista Suomessa

Tässä luvussa käsitellään esimerkkejä virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödyntäviä lääketieteen sovelluksista Suomessa.

11.1. Tietokoneen opastamat leikkaukset

Oulun yliopistollisessa sairaalassa on tehty vuoden 1999 alusta aivoleikkauksia magneettikuvauslaitteen ja aivoista muodostetun kolmiulotteisen mallin avulla. Leikkauksaliin sijoitettu magneettikuvauslaite on ensimmäinen laatuaan Suomessa ja ensimmäisten joukossa koko maailmassa. Systeemi perustuu siihen, että potilas on koko operaation ajan magneettikuvauslaitteessa tai tarvittaessa työnnettävissä siihen. Magneettikuvauslaitteeseen on liitetty neuronavigaattori, jonka avulla aivoista voidaan muodostaa kolmiulotteinen malli. Tietokoneelle tallennetun mallin avulla leikattavaa kohdetta ja kohtaa voidaan tarkastella kaikista suunnista. Malli auttaa jo leikkauksen suunnitteluvaiheessa, koska siihen voidaan merkitä, mistä kohti kallo avataan, mihin kohtaan ei saa ehdottomasti koskea, sekä millaisten vaiheiden ja välietappien kautta leikkaus suoritetaan. Neuronavigaattori seuraa leikkauksen aikana operaation ja instrumenttien etenemistä kudoksissa. Tietokoneen ohjelmisto valvoo suunnitteluvaiheessa annettujen merkkien noudattamista ja varoittaa kielletyistä alueista. Systeemin avulla voidaan seurata leikkauksen aikana, miten paljon kasvaimesta on saatu pois. Systeemi auttaa suorittamaan leikkauksia turvallisesti. Sen avulla on mahdollista suorittaa monimutkaisempia ja luotettavampia leikkauksia kuin perinteisellä tavalla. Lääkärin työ helpottuu, kun hänen ei tarvitse luottaa pelkästään omaan havaintokykyynsä. [Forsström, 2000]

11.2. Nanoläsnäolo

Esimerkiksi Jyväskylän yliopistossa on virtuaaliodellisuuslaboratorio, jossa voidaan tarkastella molekyylien rakenteita virtuaaliympäristöjen tekniikoiden avulla. Kyseessä on nanoläsnäolo tietokoneen avulla tuotetussa synteettisessä ympäristössä. Laboratoriossa tutkitaan DNA:n värähtelyä ja pyritään löytämään selitys muun muassa mekanismille, joka saa kaksoiskierteen aukeamaan. DNA:n osien liikkeitä on mahdotonta tutkia kokeellisesti. Virtuaalitekniikoiden avulla voidaan seurata tietokoneen avulla tuotettua simulaatiota rakenteista. Simulaatiot perustuvat matemaattisiin malleihin, joista muodostetaan näkyvää tekotodellisuutta tietokoneen avulla. Tarvittavat laskelmat ovat massiivisia ja siksi niiden tuloksia on täysin mahdotonta kuvitella. Virtuaaliodellisuuslaboratoriossa laskelmien tuloksia voidaan tarkastella kolmiulotteisesti. Simulaation tekemisen vaikeutena on ohjelmoinnin työläys ja vaikeus. Tutkijoiden pitää usein kyetä ohjelmointiin itse, koska ohjelmoinnin ammattilaiset eivät voi sisäistää, mitä ollaan tekemässä. [Mutanen, 2000]

Molekyylimallinnusta hyödynnetään myös Wihurin tutkimuslaitoksessa. Tutkijat pyrkivät selvittämään, millaiseen kolmiulotteiseen muotoon atomit järjestäytyvät eri molekyyliissä ja miten molekyylit ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Mallinnuksen aluksi on määriteltävä jokaiseen atomiin vaikuttavat voimat kemiallisen rakenteen, sähkövarauksen ja massan pohjalta. Seuraavaksi molekyyliille luodaan tietokoneen avulla alustava kolmiulotteinen rakenne. Viimeisenä rakennetta täsmennetään siten, että atomit saavat hakeutua fysikaalisten perussääntöjen mukaan tasapainoon. Molekyylien rakennetta ja liikkeitä seurataan hidastettuna. Atomit ehtivät nytkähtää miljoona kertaa nanosekunnissa, joka on sekunnin miljardisosa. Tietokone laskee atomien sijainnin askel \AA -keleelta femtosekunnin välein. Femtosekunti on sekunnin miljardisosan miljoonasosa, eli käytettävä askel on erittäin lyhyt. Nykyisillä laitteilla voidaan tutkia muutaman kymmenen tuhannen atomin kokoista joukkoa. Esimerkiksi yhdessä kolesterolipallossa on noin puoli miljoonaa atomia. Molekyylitutkimuksenkin tulevaisuudessa on siis tarvetta tehokkaammille tietokoneille. [HS, 1998]

11.3. Kuntoilemisen apuväline

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) toteuttaa Virku-projektia. Virku on virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödyntävä sovellus, jonka tarkoituksena on lisätä kuntoilemisen motivaatiota. Virku-sovellusta esitellään tarkemmin luvussa 12.

11.4. Tasapainoelimen sairauksien tutkiminen

Timo Tossavainen Tampereen yliopistosta tutkii ja toteuttaa sovellusta, joka hyödyntää virtuaaliympäristöjen tekniikoita tasapainoastin tutkimuksessa. Tätäkin tutkimusta on kuvattu tarkemmin luvussa 12.

12. Kenttätutkimusta lääketieteen sovelluksista Suomessa

Tässä luvussa käsitellään virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödyntäviä lääketieteen sovelluksia, joihin kirjoittajalla oli mahdollisuus tutustua käytännössä.

12.1. Case: Virku – Virtuaalikuntokeskus

Kirjoittaja toimi Virkun koekäyttäjänä 31.10.2000. Tässä luvussa kuvaillaan Virku-projektia sekä sen toimintaideaa ja tavoitteita. Luvun loppuosassa kuvaillaan kirjoittajan kokemuksia koekäyttäjänä.

12.1.1. Taustatietoa Virkusta

VTT toteuttaa Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekes) tuella Virtuaalikuntokeskus-projektia, joka alkoi vuoden 2000 alussa ja päättyy 2002 kesäkuussa. Projektin yrityskumppanit ovat Tunturi Oy ja Tampereen Urheilulääkäriasema. Virkussa käytettävän kuntoilupelin graafisena alustana hyödynnetään Instrumentointi Oy:n rakentamaa karttatiedon visualisointi- ja simulointiohjelmistoa. [Virku, 2000]

Uusien liikunta- ja kuntoilumahdollisuuksien kehittämistarve on syntynyt, koska työn luonne on muuttunut fyysisesti vähemmän kuormittavaksi. On kehitetty lukuisia erilaisia kuntolaitteita ja kunnonseurantajärjestelmiä, joiden avulla voidaan kerätä ja analysoida tietoa fyysisestä kunnosta. Pelkät passiiviset laitteet eivät aina riitä motivoimaan aktiivista toimintaa kunnan kehittämiseksi ja ylläpitämiseksi. Virkussa on pyritty lisäämään liikkumisen motivaatiota yhdistämällä toisiinsa perinteinen kuntolaite, verkkoalustalla toimiva kunnan seurantaohjelma sekä peli. Peli tarjoaa erilaisia virtuaaliympäristöjä kuntoilua varten. Alapuolella sivulla on kuva Virku-sovelluksesta käytännössä. [Virku, 2000]



Kuva 12.1. Virku-sovellus käytännössä. [Virku, 2000]

Virtuaalikuntokeskuksen yksi päätavoite on kuntoilun jatkuvuuden ylläpitäminen ja kehittäminen. Käyttäjää pyritään siirtämään vuorovaikutteiseksi hahmoksi virtuaaliympäristöön. Kehollisen käyttöliittymän avulla pystytään huomioimaan vuorovaikutteisuuden tarve, syketaso sekä fyysinen suoritus. Kunto-ohjelman avulla kerätään tietoa kuntotasosta. Kuntotason mittaaminen perustuu luotettavan testausmenetelmän soveltamiseen. Käyttäjää voi seurata harjoitteluohjelmaansa ja kuntoindeksiänsä WAP-puhelimen avulla tai WWW (World Wide Web)-selaimella. [Virku, 2000]

Virtuaaliympäristö toteutetaan kuntolaitteen kanssa toimivana pelinä. Pelissä hyödynnetään kuntopyörän ja tietokoneen välistä kahdensuuntaista tiedonsiirtoa. Tämä mahdollistaa esimerkiksi kuntopyöräilyn vaihtelevassa maastossa. Polkemisvastukseen ja -nopeuteen vaikuttaa maaston muoto, muut pelaajat tai jyrkkä käänös. Virtuaaliympäristö pelin juonineen ja tehosteineen tuovat uutta sisältöä kuntoiluun. [Virku, 2000]

Projektissa tähän mennessä saavutettuja tuloksia ovat taustaselvitys kuntoilusta ja Internetin kuntoilupalveluista, suunnitteluratkaisuja kunto-ohjelmasta, testausversio kuntoharjoittelupelistä sekä kuntopyörän ja PC:n liityntä. [Virku, 2000]

12.1.2. Havaintoja Virkusta

Testattavassa versiossa käytössäni oli kuntopyörä. Eteeni heijastettiin isolle valkokankaalle kuvaa virtuaalisesta Rukatunturin maisemasta. Maastoon oli merkitty reitti, jota seurasin. Kuntopyörän vastus ja virtuaalinen maasto vastasivat toisiaan. Ylämäessä ajaessa oli raskaampi ja alamäessä kevyempi vastus kuin tsaaisella maalla. Maisema oli tehty Rukatunturin ympäristön maaston mukaiseksi. Käytössäni oli sykemittari, jonka lukemat näkyivät valkokankaan alareunassa koko ajan. Reitin läpikäymiseen käyttämäni aika oli myös nähtävillä.

Kun olin ajanut merkityn reitin läpi, sain luvan seikkailla muuallakin maastossa. Rukatunturin huipulle ajaessa tuli tosiaankin lämmin. Virtuaalinen ympäristö kannusti asettamaan tavoitteita ja lisäsi motivaatiota liikkumiselle. Luontoa jäljittelevä ympäristö linnunlauluineen loi liikkumiselle rentouttavan tunnelman.

Uppoutumisen tunne oli mielestäni tarpeeksi hyvä, vaikka käytössä ei ollutkaan pääripusteista näyttöä. Valkokangas oli tarpeeksi iso, joten se kattoi tarvittavan alueen. Uppoutumisen tunnetta lisäisi useamman valkokankaan käyttö. Esimerkiksi sivuille ja lattiaan heijastettu kuva voisi lisätä uppoutumisen tunnetta huomattavasti. Pääripusteista näyttöä ei tässä sovelluksessa haluttu ottaa käyttöön, koska sen arveltiin vaikeuttavan liikuntasuoritusta. Valkokangas on hyvä ratkaisu myös hygienian kannalta, koska kuntoillessa tuli hiki. Hikisen ja painavan kypäränäytön päähän pistäminen ei lisäisi liikkumisen motivaatiota.

Sovellusta aiotaan kehittää tulevaisuudessa siten, että käyttäjä voi kilpailla toisen käyttäjän tai virtuaalisen hahmon kanssa samalla kun kuntoilee. Tarkoituksena on myös

toteuttaa useita erilaisia virtuaalisia ympäristöjä, joissa voi liikkua. Kumpikin kehitys-idea lisää edelleen Virkun mahdollisuuksia liikunamotivaation lisääjänä ja ylläpitäjänä.

12.2. Case: Tasapainoistin tutkiminen

Kirjoittajalla oli mahdollisuus tutustua tasapainoistin tutkimusta varten kehiteltävään systeemiin koekäyttäjänä 9.1.2001. Tässä luvussa kuvaillaan kyseistä systeemiä ja projektin tavoitteita. Lopussa kuvaillaan kirjoittajan kokemuksia koekäyttäjänä.

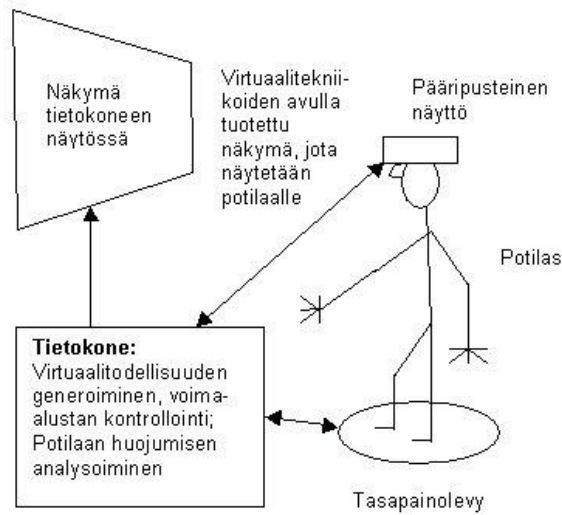
12.2.1. Taustatietoa

Sovellus hyödyntää virtuaaliympäristöjen tekniikoita tasapainoistin tutkimuksessa. Timo Tossavainen on tutkinut tekniikoiden hyödyntämismahdollisuuksia yhteistyössä Suomen Akatemian, Tampereen yliopiston Tietojenkäsittelytieteiden laitoksen, Karolinska Instituutin, Helsingin yliopistollisen sairaalan ja Helsingin työterveyslaitoksen kanssa. Oskar Öflundin säätiö on tukenut tutkimusta sen alkuvaiheessa. Tutkimus on alkanut keväällä 2000 ja sen päättymisaikataulua ei ole suunniteltu. Tutkimus on vasta alkuvaiheessa. Tavoitteena on kehittää systeemi apuvälineeksi sairaaloihin. [Tossavainen *et al.*, 2000]

Tasapainotestejä tehdään potilaille, jotka sairastavat jotakin tasapainoelimeen vaikuttavaa sairautta. Tyypillinen tällainen sairaus on Maniéren tauti ja oire huimaus. Tasapainotesti voidaan suorittaa tasapainolevyn avulla, joka mittaa heilumista, kun potilas seisoo vapaasti alustalla yrittäen pitää tasapainoaan yllä. Potilaan kaatuminen kokeen aikana on estettävä, jotta vahinkoja ei pääse tapahtumaan. [Tossavainen *et al.*, 2000]

Potilaan tasapainoon vaikutetaan testin aikana asiaan sopivilla ärsykkeillä. Ärsykejä voidaan tuottaa esimerkiksi näköaistille. Aikaisemmin näköärsykkeet tuotettiin heijastamalla valoja tai vastaavia näkymiä potilaan eteen näytölle. Virtuaalitekniikat tarjoavat täysin uusia mahdollisuuksia näköaistin ärsykkeiden luomiseksi. Virtuaalitekniikoiden avulla tuotettuja kuvia voidaan muokata lähes rajatta. Kuva pyritään rakentamaan mahdollisimman hyvin todellista ympäristöä ja tilannetta jäljitteleväksi. Kuvaa on myös mahdollista muokata reaaliajassa käyttäjän liikkeiden mukaan. [Tossavainen *et al.*, 2000]

Potilaalle näytetään pääripusteisen näytön avulla kuvaa kiemurtelevasta tunnelista siten, että potilas kokee liikkuvansa tunnelissa nopealla vauhdilla. Potilas seisoo kiekkomaisen tasapainolevyn päällä, jonka avulla voidaan mitata heilumista eteen, taakse ja sivuille. Testin valvoja voi ohjata tapahtumien etenemistä tietokoneen ja siihen liitetyn monitorin avulla. Tietokone rekisteröi testin aikana tehdyt mittaukset. Alapuolella on kaaviokuva systeemin kokoonpanosta. [Tossavainen *et al.*, 2000]



Kuva 12.2. Tasapainon tutkimista varten kehitetyn systeemin kokoonpano. [Tossavainen *et al.*, 2000]

Systeemissä on käytössä Virtual Research V8 –kypäränäyttö, joka mahdollistaa 60 asteen vaakasuuntaisen kuvan näyttämisen. Kypärässä on kaksi LCD-väriäyttöä, joiden resoluutio on 640 kertaa 480 pikseliä. Kypärän kokoa voidaan säätää pään päällä ja takaraivolla kulkevien remmien pituutta muuttamalla. Näyttöjen etäisyyttä silmistä sekä näyttöjen välistä etäisyyttä voidaan myös säätää. Kypärä on siis muunneltavissa eri ihmisille sopivaksi tarpeen mukaan [VRS, 2001]. Alapuolella on kuva Virtual Research V8 –kypäränäytöstä. Tulevaisuudessa systeemiin on tarkoitus hankkia laajemman kuvan näyttämisen mahdollistava kypäränäyttö. [Tossavainen, 2001]



Kuva 12.3. Kuva Virtual Research V8 –kypäränäytöstä. [VRS, 2001]

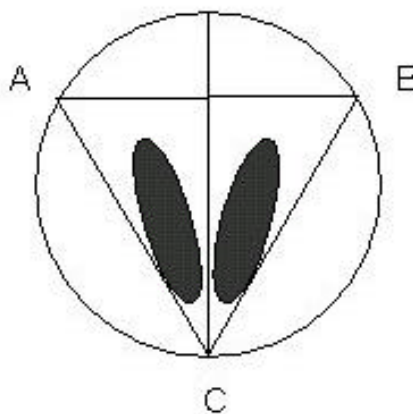
Pään kallistusta mitataan InterSense IS-300 systeemin avulla. Kallistukset mitataan kolmena kiertymänä kolmen toisiaan vastaan kohtisuoran akselin ympäri. Alapuolella on kuva InterSense IS-300 kallistuksen mittaussysteemistä.



Kuva 12.4. Kuva InterSense IS-300 kallistuksen mittaussysteemistä. [ISense, 2001]

Tulevaisuudessa on tarkoitus lisätä systeemiin ultraäänen avulla toimiva pään sijainnin seurantasysteemi, käsien sijainnin seurantasysteemit ja ehkä myös silmän liikkeen seurantasysteemi [Tossavainen *et al.*, 2000]. Tutkimuksen alkuvaiheessa systeemi pyritään kuitenkin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena, jotta systeemin kehittäminen voidaan suorittaa hallitusti. [Tossavainen, 2001]

Potilaan heilumista mitataan tasapainolevyn avulla, joka on valmistettu Helsingin työterveyslaitoksella. Tasapainolevy on kiekon muotoinen levy. Siinä on kolme mittausanturia. Mittausanturit sijaitsevat kolmion muotoisena asetelmana kiekossa. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa mittausanturit on merkitty kirjaimilla A, B ja C. Mustat soikeat alueet hahmottavat jalkapohjien asetuspaikkoja levyllä. Potilas seisoo levyn päällä kasvot kulmien A ja B suuntaan. Sähköiset mittausanturit suorittavat viisikymmentä mittausta sekunnissa. Anturien tuottamien mittaustulosten avulla voidaan laskea mihin pisteeseen paino keskittyy levyllä. Huojumisesta saadaan tietoa, kun vertaillaan painon keskittymispisteen sijainnin vaihtelua. [Tossavainen, 2001]



Kuva 12.3.: Kaaviokuva tasapainolevystä. [Tossavainen, 2001]

Simulaatio on pyritty tekemään yksinkertaiseksi, jotta kuva pystytään päivittämään kuusikymmentä kertaa sekunnissa käytettävissä olevien laitteiden avulla. Tämän tasoinen virkistystaajuus tarvitaan, jotta liike näyttää sujuvalta. Tulevaisuudessa simulaatiota on tarkoitus monipuolistaa esimerkiksi lisäämällä virtuaaliseen tunneliin potilasta vastaan lentäviä objekteja. Objektien tarkoituksena olisi kiinnittää potilaan keskittymiskyky tarkemmin tunnelissa liikkumiseen. [Tossavainen *et al.*, 2000; Tossavainen, 2001]

Tähän mennessä tutkimuksessa on saatu selville se, että näköaistin avulla tehdyt havainnot vaikuttavat tasapainoon. Kun käyttäjälle näytettävä virtuaaliympäristö vaihdetaan liikkumattomasta maisemasta tunnelia mallintavaan, lisääntyy huojunta keskimäärin 34 prosenttia. Tulevaisuudessa systeemiä pyritään kehittämään, jotta pystyttäisiin selvittämään, kuinka näköärsyke vaikuttaa tasapainoon. Tarkoituksena on tutkia myös, voidaanko tällaisen systeemin avulla luotettavasti erottaa ihmisjoukosta ne ihmiset, joilla on jokin tasapainoelimeen vaikuttava sairaus. [Tossavainen *et al.*, 2000; Tossavainen, 2001]

12.2.2. Havainnot

Huomioni kiinnittyi ensimmäisenä tasapainolevyyn, koska sellaista laitetta en ollut aikaisemmin nähnyt. Timo esitteli laitetta ja kertoi, että se ei ole kovin monimutkainen. Laite koostuu ympyrän muotoisesta levystä ja kolmesta painon mittausturista. Levyllä seisominen tuntui samalta, kuin olisi seisonut lattialla. Levy ei siis kallistunut eikä joustonut, vaikka siirsin painoa jalalta toiselle.

Seuraavaksi Timo esitteli minulle kypäränäytön ja sen säätelymahdollisuuksia. Näyttö tuntui päässä kätevältä, eikä sen paino ainakaan lyhyen testin aikana haitannut. Alussa oli hiukan outoa seisoa suljettu pääripusteinen näyttö päässä levyllä ilman tukea. Reaalista ympäristöstä eristäytymiseen alkoi kuitenkin tottua jo lyhyen testin aikana. Simulaatio ei sisältänyt ääniä, joten kuuloaistin avulla pystyi havainnoimaan todellista ympäristöä. Reaalimaailmasta eristäytyneisyyden tunne olisi ollut varmasti voimakkaampi, jos simulaatio olisi sisältänyt ääniä.

Simulaation ensimmäisessä osassa oli paikallaan pysyvä huone, jossa oli kaksi paikallaan pysyvää kuutiota. Toisessa osassa pääsin matkalle virtuaaliseen tunneliin, joka kiemurteli edessäni. Koehenkilönä ollessa oli helppoa havaita, että kiemurtelevan tunnelin seuraaminen katseella vaikuttaa tasapainoon. Huojuminen olisi varmaan vielä lisääntynyt, jos kypäränäyttö olisi kattanut laajemman osan näkökentästä. Näkökentässä näkyi näytön reunat paikallaan pysyvänä mustana kehystenä. Tämä kehys häiritsevi tavalla tunnelissa sisällä olemisen tunteen syrtymistä.

Voisin kuvitella, että reaalista ympäristöstä eristäytyminen ja oudon näköiset laitteet tuottavat ennakkoluuloja joidenkin potilaiden kohdalla. Mielestäni tämän vuoksi kannattaa harkita, kuinka paljon ja millaisia lisälaitteita systeemiin lisätään myöhem-

missä vaiheissa. Ainakin luottamus potilaan ja hoitajan välillä on oltava kunnossa, jotta tilanne ei tunnu liian oudolta.

13. Kritiikkiä

Tässä luvussa esitellään virtuaaliympäristöjen laitteita ja sovelluksia kohtaan esitettyä kritiikkiä.

Virtuaalitekniikoiden käytössä on omat riskinsä. Tunnettuja riskejä ovat pahoinvointi, ajan ja paikan tajunnan menettäminen sekä huimaus. Näistä oireista on saatu käytännön tietoa ja kokemuksia lentosimulaattorilla tuntikausia lentämistä harjoitelleilta ihmisiltä. Tuntemattomampia ovat vaikutukset ihmisen tajuntaan ja havaintokykyyn, kun he palaavat virtuaalimaailmasta takaisin todelliseen maailmaan. On olemassa myös mahdollisuus, että jotkut ihmiset eivät halua palata takaisin reaali maailmaan, vaan olevat mieluummin virtuaalisessa ympäristössä. Virtuaalisen vuorovaikutuksen seurauksia on tutkittava myös jokapäiväisen ihmisten kanssakäymisen ja erilaisten ihmiskäytösten kannalta. [Wiederhold and Wiederhold, 1996]

Pääripusteiset näytöt ovat kehittyneet paremmiksi, kuin useat ihmiset ovat osanneet odottaa. Tästä huolimatta niitä kohtaan esiintyy myös kriittistä suhtautumista. Pääripusteisten näyttöjen pitkäaikainen käyttö voi olla väsyttävää. Jotkut ihmiset eivät myöskään pidä siitä tunteesta, että he ovat visuaalisesti eristettynä todellisesta ympäristöstään [Vince, 1998]. Joidenkin virtuaaliympäristöjen laitteiden käyttö voi olla hankalaa. Esimerkiksi rankarakenteisen datahansikkaan päälle pukeminen vaatii laitteen tuntemusta, jotta se osataan säätää käteen sopivaksi. Tulevaisuudessa useat laitteet kehittyvät pienemmiksi ja huomaamattommiksi, jolloin niiden käyttö tulee olemaan helpompaa ja luonnollisempaa.

Vaikka kirjallisuudessa onkin todisteita multimedialla hyödyntävien sovelusten tehokkuudesta ja hyödyllisyydestä esimerkiksi lääketieteellisten asioiden opettamisessa, liittyy useiden tietokoneen avulla toteutettujen opetussovellusten käyttöön hankaluuksia [Friedl *et al.*, 2000]:

- multimedialla hyödyntävien systeemien tuottaminen vaatii paljon aikaa ja rahaa,
- tuotettu ohjelmisto on usein hyödyllinen vain pienelle kohdejoukolle ja sen avulla voidaan käydä läpi vain jotain tiettyä asiakokonaisuutta,
- tietokonepohjaiset opetusohjelmat eivät tue henkilökohtaisia oppimistyylejä eivätkä tarjoa henkilökohtaista tietoa, joka olisi kohdistettu yksilön oppimisen tarpeiden mukaan ja
- opetusohjelmat ovat usein etukäteen järjestettyjä yhden otoksen tuotteita, jolloin niitä ei voi muunnella tarpeiden mukaan [Friedl *et al.*, 2000].

Virtuaaliympäristöjen tekniikat voivat olla joillakin lääketieteen aloilla hankalia ja kalliita hyödyntää. Virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödyntävät sovellukset eivät välttämättä toimi käytännössä niin hyvin kuin on suunniteltu ja odotettu [Reitmaa *et al.*, 1995]. Yksinkertaisten asioiden mallintaminen on huomattavasti helpompaa, kuin isojen

kokonaisuuksien mallintaminen. Ympäristöjen kokoaminen kannattaisikin siksi aloittaa pienellä kokoonpanolla, ja vasta myöhemmin, kun perustoiminnot ovat vakaita, kannattaa lisätä ominaisuuksia ja laitteita.

Virtuaaliympäristöt ovat usein joutuneet maailmalla kritiikin kohteeksi, koska niiltä on odotettu liikaa. Hienojen suunnitelmien ja mainospuheiden pitäminen on ollut paljon helpompaa, kuin asioiden toteuttaminen käytännössä. Omia vaikeuksia ovat aiheuttaneet myös keinotekoisilla laitteilla demonstrointi ja tietämättömyys kustannuksista sekä suorituskykyrajoista. [Reitmaa *et al.*, 1995]

14. Tulevaisuuden näkymät

Tässä luvussa on pyritty hahmottelemaan virtuaaliympäristöjen tekniikoiden ja lääketieteen sovellusten tulevaisuuden näkymiä. Lopussa esitellään Satavan ja Jonesin [1998] kuviteltu esimerkki siitä, millaisia lääketieteen sovellukset voisivat olla tulevaisuudessa.

14.1. Tekniikka

Virtuaaliympäristöjen tekniikoita kehitettäessä pyritään totuudenmukaisuuteen, tarkkuuteen ja toiston puhtauteen. Nykyiset virtuaaliympäristöt eivät voi toistaa reaaliympäristöä kovinkaan tarkasti. Usein sovellukset pystytään toteuttamaan vain sovelluksen välttämättä tarvitsemalla tarkkuudella. Tarpeeksi tehokkaita tietokoneita ei ole saatavilla ollenkaan tai ne ovat aivan liian kalliita. [Reitmaa *et al.*, 1995] Tulevaisuudessa laitteiston teho tulee kasvamaan suhteessa hintaan. Myös tehokkaampia laskentakaavoja ja menetelmiä kehitellään esimerkiksi kuvankäsittelyn nopeuttamiseksi. Kun tehokkuus paranee, voidaan myös virtuaaliympäristöjä kehittää yhä realistisemmiksi [Satava and Jones, 1998].

Virtuaalisten mallien tekeminen helpottuu jatkuvasti, kun välineet ja ohjelmistot kehittyvät. Samalla opitaan tekniikoita, jotka mahdollistavat mallien uudelleenkäytön helpommin. Paremmat ohjelmistot mahdollistavat virtuaaliympäristöjen rakentamisen nopeammin ja tehokkaammin.

Käyttäjää lähellä olevat laitteistot kehittyvät tulevaisuudessa helpokäyttöisemmiksi ja kooltaan pienemmiksi. Tavoitteena on, että käyttäjät voivat olla mahdollisimman monipuolisesti vuorovaikutuksessa tietokoneen kanssa ilman, että ovat täysin laitteiden peitossa. Parhaaseen tulokseen laitteita suunniteltaessa päästään, kun ne suunnitellaan yksilöllisten tarpeiden ja tilanteiden mukaan. Nykyään laitteet ovat kalliita, ja ainakin erikoistarkoituksiin suunniteltuja laitteita on tarjolla suhteellisen vähän. Valinnan mahdollisuudet voivat olla useissa tapauksissa vähäiset. Laitteiden yleistyessä ja hintojen halventuessa ei tarvitse enää niin usein tehdä kompromisseja kustannusten ja hyvien ratkaisujen välillä. Kun hinnat ovat tarpeeksi alhaalla, laitteistot tulevat myös tavallisten ihmisten ulottuville. Esimerkiksi Virku-systeemi olisi käytännöllinen kotona. Langattomien siirtoyhteyksien kehittyminen voi tuoda uusia ulottuvuuksia laitteiden toimintaan siten, että niiden käyttäminen on mahdollista tilasta ja paikasta riippumatta.

Virtuaaliympäristöjen tekniikoiden tulevaisuutta on vaikeaa ennustaa. Virtuaaliympäristöjen tekniikat ovat kehittyneet huomattavasti niiden historian aikana. Kehityksen vauhti kiihtyy koko ajan, eikä kukaan voi ennustaa, millaisia tietokoneet ovat esimerkiksi muutaman kymmenen vuoden kuluttua. Virtuaaliympäristöjen tekniikat tulevat kehittymään valtavasti jo muutaman tulevan vuoden aikana. Jossakin vaiheessa nykyisin hyväksymämme virtuaaliympäristöjen tekniikat, määritelmät ja käsitteet tule-

vat vanhentumaan. Niiden tilalle kehitellään jotakin uutta, mitä emme pysty vielä edes kuvittelemaan. [Vince, 1998]

14.2. Lääketieteen sovellukset

Nykyiset yksinkertaisia lääketieteellisiä kokonaisuuksia mallintavat sovellukset pystyvät tarjoamaan melko hyvää visuaalista ja tuntopalautetta. Yhtä operaatiota mallintavien sovellusten opetustehon on arveltu vuonna 1998 olleen noin neljäsosa verrattuna opetuksen tehoon eläimillä harjoiteltaessa. Tämä tarkoittaa sitä, että simulaation avulla harjoiteltu tunti vastaa varttitunnin harjoittelua eläimen kanssa. Kun katsotaan opetuksen tehon nousua lentosimulaattoreiden kehityksen aikana, voidaan ennustaa, että esimerkiksi leikkauksien harjoittelusimulaatioiden opetustehon tulisi nousta 25 prosentista 50-55 prosenttiin. Nykyiset laajempia kokonaisuuksia mallintavat lääketieteelliset virtuaaliympäristöjen sovellukset ovat vielä epätarkkoja muun muassa laitteiston tehon rajoitusten vuoksi. Tekniikoiden kehittyessä laajojen usean käyttäjän läsnäolon mahdollistavien, systeemien soveltuvuus opetuskäyttöön paranee. [Satava and Jones, 1998]

Joitakin kaupallisia lääketieteen virtuaalisia sovelluksia alkaa jo olla saatavilla, mutta niiden kehitys on vielä alussa [John and Phillips, 2000]. Tulevaisuudessa virtuaalisovellusten toteuttaminen ja käyttö tulee helpottumaan, koska tekniikat ja laitteet kehittyvät koko ajan tehokkaammiksi ja edullisemmiksi.

Samalla kun virtuaaliympäristöjen tekniikat kehittyvät, kehittyvät myös lääketieteelliset kuvausmenetelmät [Satava and Jones, 1998]. Suurikokoisten ja korkearesoluutioisten kolmiulotteisten lääketieteellisten kuvien yleistyessä kasvaa myös tarve siirtokapasiteetin kasvattamiseen. Useissa tilanteissa on tärkeää saada potilaskohdaiset kuvat nopeasti useiden asiantuntijoiden saataville ja käytettäväksi pitkienkin maantieteellisten välimatkojen päähän. Perinteiseen internettekniikkaan perustuvat systeemit tarjoavat mahdollisuuden välittää vain suhteellisen epätarkkaa tietoa. Ne eivät mahdollista erittäin suurien tietomäärien siirtämistä reaaliaikaisesti. Jo nykyisin yleisyydessä olevat nopeat tietoverkot mahdollistavat maantieteellisesti erillään sijaitsevien laboratorioden välisen reaaliaikaisen tiedon jakamisen ja etäläsnäolon. Osapuolet voivat vaikka analysoida lääketieteellistä kuvaa virtuaalisessa maailmassa yhdessä keskustellen, kuvaa osoittaen ja elehtien. [Ai *et al.*, 2000] Samalla kun kehitetään potilaskohdaisen tiedon siirtämismahdollisuuksia tietoverkkojen kautta, on muistettava myös kehittää tietojen suojaussysteemejä. Turvallinen tiedonsiirto on varmasti yksi tulevaisuuden haasteista.

14.3. Kuviteltu esimerkki lääketieteen sovelluksien tulevaisuudesta

Kehittyvät lääketieteelliset kuvaustekniikat ja virtuaaliympäristöjen tekniikat voivat tulevaisuudessa mahdollistaa sellaisia asioita, joita meidän on nykyisin mahdotonta edes kuvitella. Satava ja Jones [1998] ovat hahmotelleet artikkelissaan virtuaaliympäristöjen

tekniikoiden tulevaisuudennäkymiä. He hahmottelevat kuvitteellista tilannetta 20, 50 tai jopa 100 vuotta eteenpäin:

Potilas astuu lääkärin huoneeseen oviaukossa sijaitsevan kehyksen läpi. Kehys sisältää tietokonetomografia-, magneettiresonanssi-, ultraääni- ja muita lääketieteellisiä laitteita. Laitteet tuottavat fysiologisen tiedon lisäksi myös biokemiallista tietoa, kuten pulssi. Kun potilas istuu lääkärin eteen, täydellinen hologrammikuva potilaasta ilmestyy pöydän pinnan yläpuolelle. Hologrammikuva on muodostettu potilaan huoneeseen astuessa otettujen lääketieteellisten kuvien perusteella. Kun potilas valittaa kipua jollakin tietyllä alueella, lääkäri voi pyörittää kuvaa, valita tiettyjä kerroksia läpinäkymättömiksi ja kohdistaa kuvan siten, että siinä näkyy tilanteen kannalta olennaisimmat kohdat. Alapuolella on kuva tällaisesta kuvitellusta tilanteesta. [Satava and Jones, 1998]



Kuva 14.1. Tulevaisuudennäkymä lääketieteellisestä virtuaalisesta kuvasta [Satava and Jones, 1998]

Jokainen anatomisen mallin piste sisältää tiedon kudoksen ominaisuuksista, biokemialliset tiedot sekä mahdollisia historiatietoja edellisiltä potilaskäynneiltä. Tällöin kaikki tarvittava tieto on lääkärin saatavilla ja vertailtavissa kuvan kautta, eikä tietoa tarvitse etsiä arkistoista. [Satava and Jones, 1998]

Hologrammikuvaa voidaan käyttää heti myös tilanteen selventämisessä potilaalle. Samaa kuvaa voidaan hyödyntää edelleen lisäohjelmien ja -laitteiden avulla operaatiota suunniteltaessa, harjoitellessa ja toteutettaessa. Kaikkea tätä tietoa voidaan tarkkailla myös erillään sijaitsevasta toimistosta etänsäolon mahdollistavien tekniikoiden avulla. [Satava and Jones, 1998]

15. Yhteenveto ja loppusanat

Vaikka virtuaaliympäristöjen tekniikoita on kehitetty jo jonkin aikaa, on niitä vielä kehitettävä paljon, jotta niiden hyödyntäminen olisi käytännössä laajemmalti kannattavaa. Useissa tapauksissa tekniikat tarjoavat jo nykyisin oivallista apua. Joistakin virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödyntävistä lääketieteen sovelluksista voi olla erittäin paljon hyötyä, koska ne mahdollistavat sellaisten toimenpiteiden harjoittamisen, joiden harjoittaminen on hankalaa toteuttaa käytännössä. Hyödyntämismahdollisuuksista on olemassa paljon ideoita, joita ei vielä nykytekniikan avulla pystytä toteuttamaan.

Tutkittava aihe on ollut erittäin mielenkiintoinen. Aihealue on melkoisen laaja, joten yksityiskohtainen tutkimus on jäänyt vähäiseksi. Esimerkiksi virtuaaliympäristöjä hyödyntävien lääketieteen sovellusten kehityksen askeleita olisi ollut mielenkiintoista tutkia paljon tarkemmin ja laajemmin sekä alkuperäisiä julkaisuja hyväksi käyttäen. Myös virtuaaliympäristöjen tekniikoiden historiaa läpi käytäessä on hyödynnetty tietoa koavaa lähdeä [Kalawsky, 1993], koska siitä on saatu tämän tutkielman kannalta tarpeeksi tarkkaa tietoa.

Asian tutkimista kannattaisi jatkaa pienemmissä osissa. Tutkimusalueeksi voisi rajata joko jonkun tietyn virtuaaliympäristön tekniikan hyödyntämisen lääketieteessä tai tietyn lääketieteellisen alueen, jolla hyödynnetään erilaisia virtuaaliympäristöjen tekniikoita. Tutkittavan aiheen tekniikan pohjalta tehty rajaus voisi olla kolmiulotteiset anatomiset mallit tai lisätty todellisuus. Tutkittava aihe lääketieteellisestä näkökannasta rajattuna voisi olla esimerkiksi virtuaaliympäristöjen tekniikoiden hyödyntäminen leikkauksissa. Muutaman vuoden kuluttua voisi olla taas mielenkiintoista kartoittaa yleiskatsaustyyppisesti virtuaaliympäristöjen tekniikoita hyödyntäviä lääketieteen sovelluksia, koska tekniikat kehittyvät jatkuvasti huimaa vauhtia.

VIITELUETTELO

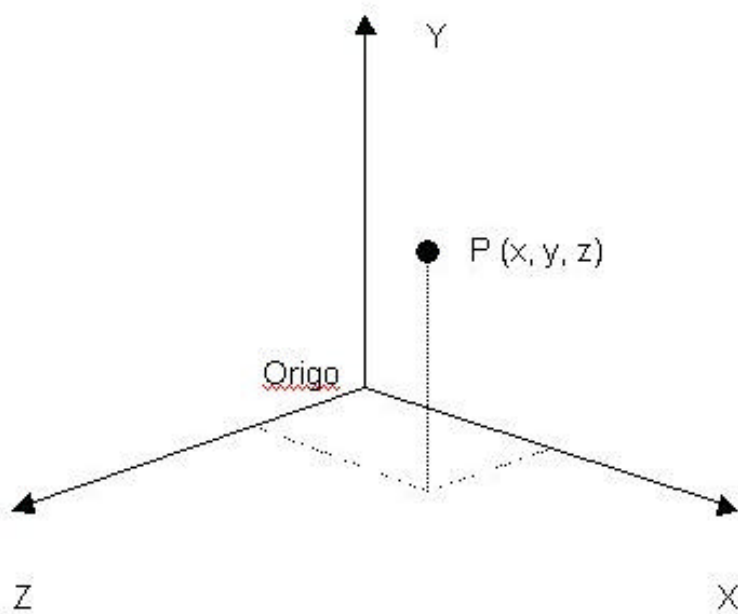
- [Acosta and Temkin, 2000] Eric Acosta and Bharti Temkin, G2H - Graphics to Haptic Virtual Environment Development Tool for PC's. *Medicine Meets Virtual Reality, IOS Press, 2000, 1-3.*
- [Ai *et al.*, 2000] Zhumming Ai, Fred Dech, Mary Rasmussen and Jonathan C. Silverstein, Radiological Tele-Immersion for Next Generation Networks. *Medicine Meets Virtual Reality, IOS Press, 2000, 4-9.*
- [Bauman and Clavel, 1998] Roger Bauman and Reymond Clavel, Haptic Interface for Virtual Reality Based Minimally Invasive Surgery Simulation. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, Vol. 1, May 1998, 381-386.*
- [Berkley *et al.*, 2000] Jeffrey Berkley, Peter Oppenheimer and Suzanne Weghorst, Creating Fast Finite Element Models from Medical Images. *Medicine Meets Virtual Reality, IOS Press, 2000, 26-27.*
- [Burdea *et al.*, 1998] Grigore Burdea, George Patounakis, Viorel Popescu and Robert E. Weiss, Virtual Reality for the Diagnosis of Prostate Cancer. *Virtual Reality Annual International Symposium, Proceedings of the IEEE, 1998, 190-197.*
- [Cameron and Robb, 2000] B. M. Cameron and R. A. Robb, An Anxial Skeleton Based Surface Deformation Algorithm for Patient Specific Anatomic Modeling. *Medicine Meets Virtual Reality, IOS Press, 2000, 53-58.*
- [CNW, 1998] Canada NewsWire, Siemens Releases First Real-Time 3D Ultrasound Software for Practical Clinical Use. 1998. Available as: <http://www.newswire.ca/releases/December1998/04/c1935.html> (16.1.2001).
- [El-Khalili *et al.*, 2000] Nuha El-Khalili, Ken Brodlie and David Kessel, WebSTer: A Web-based Surgical Training System. *Medicine Meets Virtual Reality, IOS Press, 2000, 69-75.*
- [Forsström, 2000] Raija Forrström, Aivokirurgiaan kehitettiin kuvauslaite. *Helsingin Sanomat*, 15.2.2000. Saatavilla myös osoitteessa: <http://www.helsinginsanomat.fi/uutiset/juttu.asp?id=20000215ko09&pvm=20000215&a=1> (16.1.2001).
- [Friedl *et al.*, 2000] R. Friedl, M. Preisack, M. Schefer, W. Klas, J. Tremper, T. Rose, J. Bay, J. Alberts, P. Engels, P. Guilliard, C. F. Vahl, A. Hannekum, CardioOp: an Integrated Approach to Teleteaching in Cardiac Surgery. *Medicine Meets Virtual Reality, IOS Press, 2000, 76-82.*
- [Girone *et al.*, 1999] M. Girone, G. Burdea and M. Bouzit, The Rutgers Ankle Orthopedic Rehabilitation Interface. *Proceedings of the ASME, Dynamic Systems and Control Division Vol. 67, International Mechanical Engineering Congress and*

- Exposition. Also available as: <http://www.caip.rutgers.edu/vrlab/ankle.html> (16.1.2001).
- [Girone *et al.*, 2000] M. Girone, G. Burdea, M. Bouzit and V. Popescu, Orthopedic Rehabilitation Using the "Rutgers Ankle" Interface. *Medicine Meets Virtual Reality*, IOS Press, 2000, 89-95. Saatavilla myös osoitteessa: <http://www.caip.rutgers.edu/vrlab/ankle.html> (16.1.2001).
- [Haubner *et al.*, 1997] Michael Haubner, Christian Krapichler, Andreas Lösch, Karl-Hans Engelmeier and Wilhelm van Eimeren. Virtual reality in medicine-computer graphics and interaction techniques, *IEEE Transactions Information Technology in Biomedicine*, Vol. 1, No. 1, 1997.
- [Heiland *et al.*, 1996] Randy W. Heiland, Richard J. Littlefield, Christian Macedonia, Virtual Reality Volumetric Display Techniques for 3-D Medical Ultrasound. *Medicine Meets Virtual Reality*, 1996. Also available as: <http://www.ncsa.uiuc.edu/People/heiland/MMVR96/> (16.1.2001).
- [Holmes and Robb, 2000] David r. Holmes III and Richard Robb, Trans-Urethral Ultrasound (TUUS) Imaging for Visualization and Analysis of the Prostate and Associated Tissues. *Medicine Meets Virtual Reality*, IOS Press, 2000, 126-132.
- [HS, 1998] Femtontarkkaa työtä. *Helsingin Sanomat*, 1.8.1998. Saatavilla myös osoitteessa: <http://www.helsinginsanomat.fi/uutiset/juttu.asp?id=980801er01&pvm=19980801&a=1> (14.1.2001).
- [Hubal *et al.*, 2000] Robert C. Hubal, Paul N. Kizakevich, Curry I. Guinn, Kevin D. Merino and Suzanne L. West, The Virtual Standardized Patient. *Medicine Meets Virtual Reality*, IOS Press, 2000, 133-138.
- [Igbaria *et al.*, 1999] Magid Igbaria, Conrad Shayo and Lorne Olfman, On Becoming Virtual: The Driving Forces and Arrangements. *SIGGPR '99, ACM* 1999.
- [ISense, 2001] InterSense. Information about equipments is available as: <http://www.isense.com/products/prec/is300/index.htm> (16.1.2001).
- [John and Phillips, 2000] Nigel W. John and Nicholas Phillips, Surgical Simulators Using the WWW. *Medicine Meets Virtual Reality*, IOS Press, 2000, 146-152.
- [Järvinen ja Järvinen, 1996] Pertti Järvinen ja Annikki Järvinen, *Tutkimustyön metodeista*. Opinpaja Oy, Tampere, 1996.
- [Kalawsky, 1993] Roy S. Kalawsky, *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Addison-Wesley Publishers Ltd, 1993.
- [McCarthy and Hollands, 1998] Avril D. McCarthy and Robin J. Hollands, A Commercially Viable Virtual Reality Knee Arthroscopy Training System. *Medicine Meets Virtual Reality*, IOS Press, 1998, 302-308.
- [Mutanen, 2000] Annikka Mutanen, Tekotodellisuudessa voi lyödä päänsä paperikui-tuun. *Helsingin sanomat*, 4.3.2000. Saatavilla myös osoitteessa:

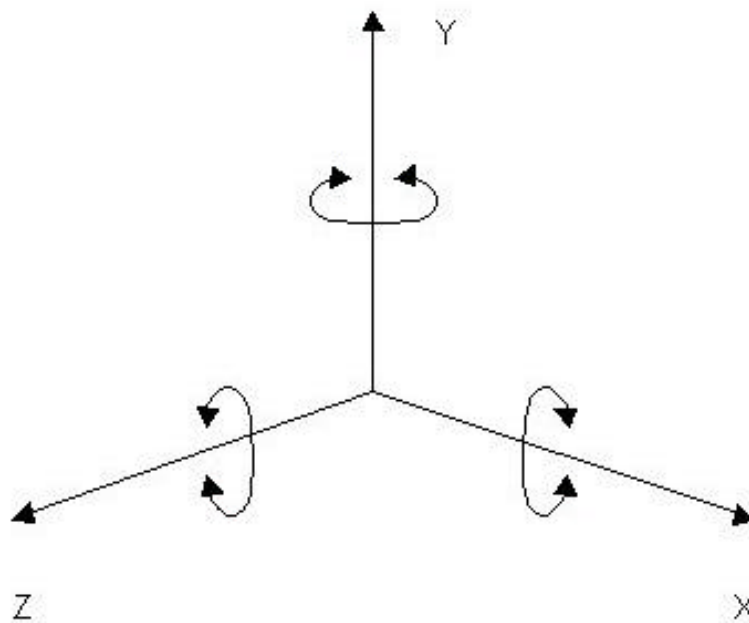
- <http://www.helsinginsanomat.fi/uutiset/juttu.asp?id=20000304er04&pvm=20000304&a=1> (14.1.2001).
- [Oyamal and Wakao, 1997] Hiroshi Oyamal and Fumihiko Wakao, Evaluation of a Virtual Reality System for Medicine. IEEE, *Virtual Systems and MultiMedia, Proceedings, International Conference on 1997*, 243 –245.
- [Reitmaa *et al.*, 1995] Ilpo Reitmaa, Jukka Vanhala, Ari Kauttu ja Marko Antila, *Virtuaaliympäristöt -kuvan sisälle vievät tekniikat*. TEKES, 1995.
- [Rizzo *et al.*, 2000] A. Rizzo, J. G. Buckwalter, C. van deer Zaag, U. Neumann, M. Thieboux, C. Chua, A. van Rooyen, L. Humhrey and P. Larson, Virtual Environment Applications in Clinical Neuropsychology. *Proceedings of the IEEE, Virtual Reality 2000*, March 2000.
- [Robb, 1996] Richard A. Robb, Virtual (Computed) Endoscopy: Development and Evaluation Using Visible Human Datasets. 1996. Available as: http://www.mayo.edu/bir/nlmpaper/robb_pap.htm#Fig7 (14.1.2001).
- [Robb, 2000] Richard A. Robb, VRASP: Virtual Reality Assisted Surgery Program. Available as: <http://www.mayo.edu/bir/reprints/VRASP2.html> (12.1.2001).
- [Robb *et al.* , 2001] Richard A. Robb, Jon J. Camp, Dennis P. Hanson, Computer Aided Surgery and Treatment Planning at the Mayo Clinic. Available as: <http://www.mayo.edu/bir/reprints/CAS.html> (12.1.2001).
- [Rosen *et al.*, 1996a] Joseph M. Rosen, Hooman Soltanian, Richard J. Redett and Donald R. Laub, Evolution of virtual reality. *IEEE engineering in medicine and biology magazine*, Vol. **15**, March/April, 1996, 16-22.
- [Rosen *et al.*, 1996b] Joseph M. Rosen, Donald R. Laub, Jr, Steven D. Pieper, Adam M. Mecinski, Hooman Soltanian, Michael A. McKenna, David Chen, Scott L. Delp, J. Peter Loan and Catay Basdogan, Virtual Reality and Medicine: From Training Systems to Performance Machines, Virtual Reality Annual International Symposium. *Proceedings of the IEEE*, 1996, 5-13.
- [Sanastotoimikunta, 1999] Tietotekniikan liitto ry:n sanastotoimikunta, *Tietotekniikan liiton atk-sanakirja 1999*. Suomen Atk-kustannus Oy, 1999.
- [Satava and Jones, 1998] Richard M. Satava and Shaun B. Jones, Current and Future Applications of Virtual Reality for Medicine. *Proceedings of the IEEE*, Vol. **86**, 1998, 484-489.
- [Sourin *et al.*, 2000] Alexei Sourin, Olga Sourina and Howe Tet Sen, Virtual Orthopedic Surgery Training. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. **20**, 2000, 6-9.
- [Stansfield *et al.*, 1998] Sharon Stansfield, Dan Shawver and Annette Sobel, MediSim: A Prototype VR System for Training Medical First Responders. Virtual Reality Annual International Symposium, *Proceedings of the IEEE*, 1998 , 198 –205.

- [Strangio, 1993] Christopher E. Strangio, The RS232 Standard, 1993. Saatavilla osoitteessa: http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html (14.1.2001).
- [Suzuki *et al.*, 1998] Naoki Suzuki, Asaki Hattori, Akihiro Takatsu, Akihiko Uchiyama, Takahiro Kumano, Aikio Ikemoto and Yoshitaka Adachi, Virtual Surgery Simulator With Force Feedback Function. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Vol **20**, 1998.
- [Tang *et al.*, 1998] San-Lik Tang, Chee-Keong Kwoh, Ming-Yeong Teo, Ng Wan Sing and Keck-Voon Ling, Augmented Reality Systems for Medical Applications. *IEEE engineering in medicine and biology magazine*, Vol. **17**, May/June 1998, 49-58.
- [Tossavainen, 2001] Timo Tossavainen, haastattelu 9.1.2001.
- [Tossavainen *et al.*, 2000] Timo Tossavainen, Martti Juhola, Ilmari Pyykkö, Esko Topila, Heikki Aalto and Pekka Honkavaara, Towards Virtual reality Simulation in Force Platform Posturography, *Medical Informatics 2001*, luonnos, joulukuu, 2000.
- [Trowbridge and Hollands, 1996] Virtual Arthroscopic Knee Surgery Simulator, University of Sheffield. Available as: <http://www.shef.ac.uk/~vrmbg/arthro1.html> (21.1.2001).
- [U.S. NLM, 2000] The Visible Human Project, U.S. National Library of Medicine. Description of project is available as: http://www.nlm.nih.gov/pubs/factsheets/visible_human.html (14.1.2001).
- [Vince, 1995] John Vince, *Virtual Reality Systems*, Addison-Wesley, 1995.
- [Vince, 1998] John Vince, *Essential Virtual Reality Fast*, Springer-Verlag, 1998.
- [Vincelli and Giuseppe, 2000] Francesco Vincelli and Riva Giuseppe, Virtual Reality as a New Imaginative Tool in Psychotherapy, *Medicine Meets Virtual Reality*, IOS Press, 2000, 356-358.
- [Virku, 2000] Virku–Virtuaalikeskus, VTT, Virkua toteuttaa VTT Tietotekniikka Tekesin tuella, projektin kuvaus saatavilla osoitteessa: http://www.vtt.fi/tte/tutkimus/tte5/tte51/virkuwww_fin.htm (14.1.2001).
- [VRS, 2000] Virtual Research Systems, Inc. Information about equipments is available as: <http://virtualresearch.com/products.html> (14.1.2001).
- [Weghorst, 1998] Suzanne Weghorst, Virtual Reality Applications in Health Care, *Proceedings of the conference on CHI '98 summary: Human factors in computing systems*, 1998, 375.
- [Wiederhold and Wiederhold, 1996] Mark D. Wiederhold and Brenda K. Wiederhold, From Virtual Worlds to the Therapist's Office. *IEEE engineering in medicine and biology magazine*, Vol. **15**, March/April 1996, 44- 46.

Kappaleen sijainnin ja suunnan määrittäminen

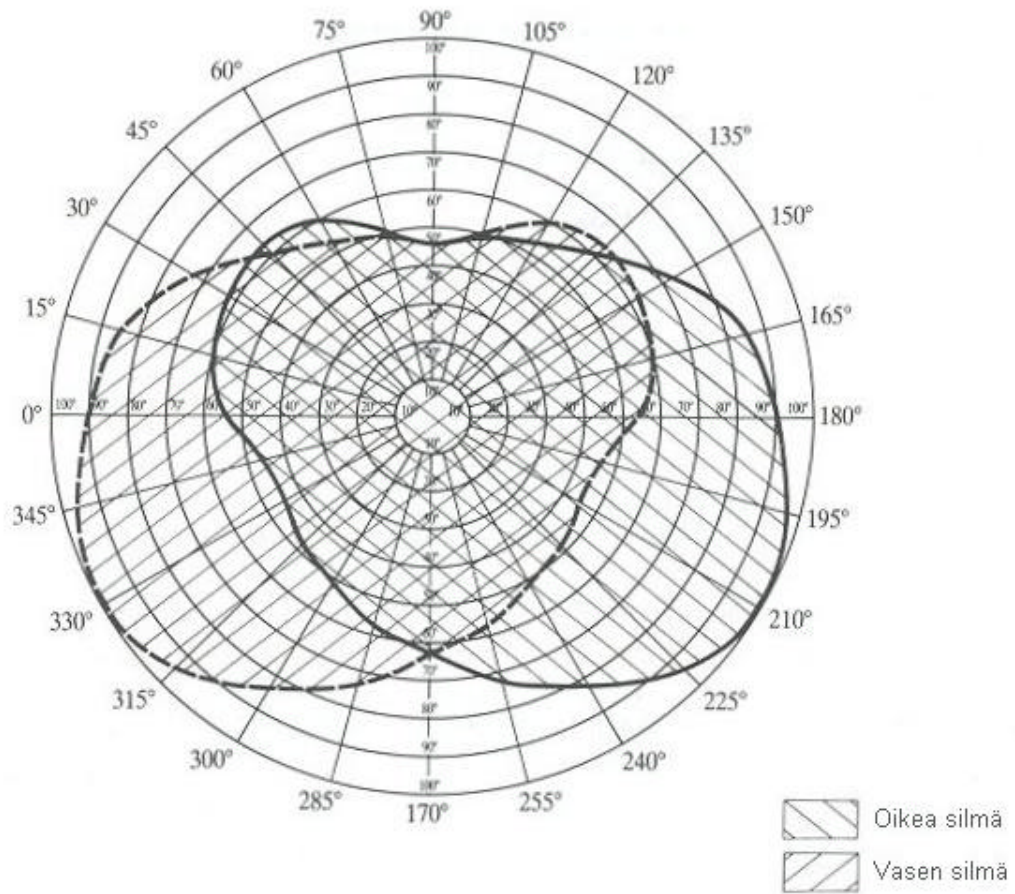


Kuva 1.1. Kolmiulotteista koordinaatistoa käytetään määrittelemään yksikäsitteisesti kappaleen yhden pisteen sijainti virtuaalisessa maailmassa kolmen vapausasteen mukaan. [Vince, 1995]

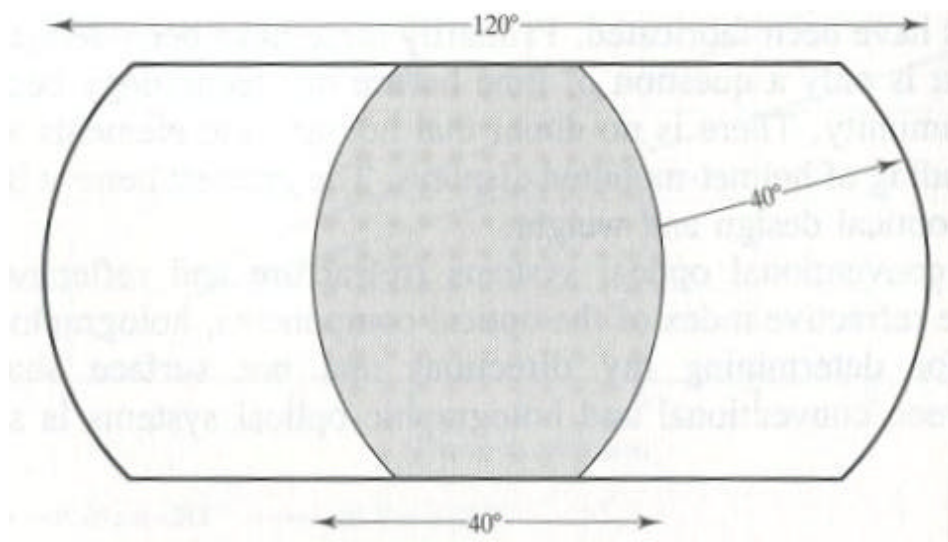


Kuva 1.2. Kappaleen kiertymä voidaan määrittellä kolmen toisiaan kohtisuorassa olevan akselin avulla kolmen vapausasteen mukaan. [Vince, 1995]

Ihmisen näkökenttä

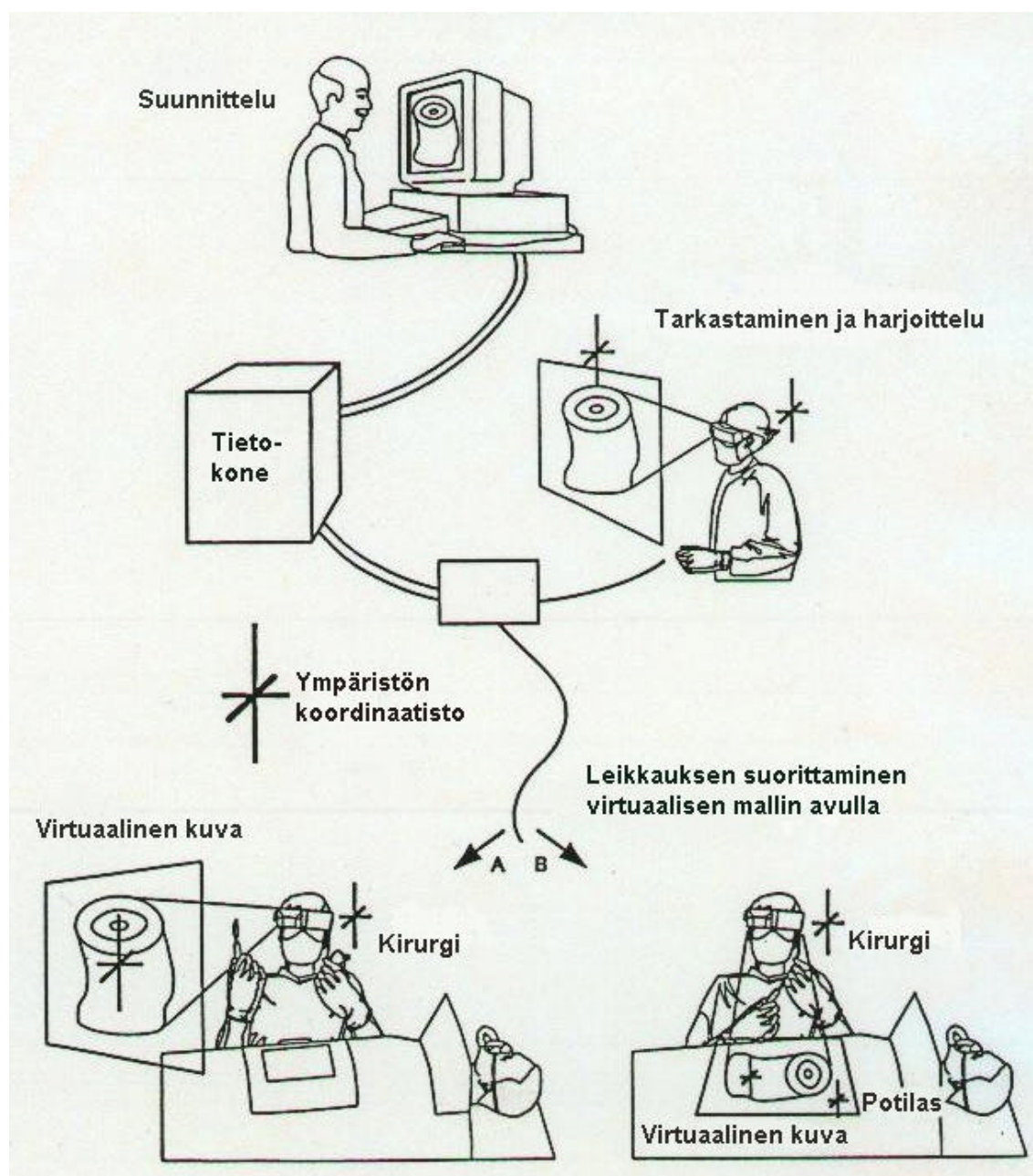


Kuva 2.1. Ihmisen näkökenttä. Yhden silmän näkökenttä on keilamaisen muotoinen. [Kalawsky, 1993]

Kypäränäytön laajakuvanäkymä

Kuva 3.1. Kypäränäytön laajakuvanäkymä. Tässä tapauksessa kuva on 120 astetta vaakasuunnassa, josta 40 astetta on molemmille silmille yhteistä aluetta. [Kalawsky, 1993]

Virtuaalinen malli operaation suunnittelun ja toteutuksen apuvälineenä



Kuva 4.1. Virtuaalinen malli operaation suunnittelun ja toteutuksen apuvälineenä. [Robb, 2000]

Kuva pääripusteisesta näytöstä ja datahansikkaista käytännössä**Kuva 5.1.** Pääripusteinen näyttö ja datahansikkaat käytännössä