

Ville Virta

# Augmentoidun todellisuuden lääketieteelliset sovellukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Elektroniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

23.5.2013

Tekijä Otsikko	Ville Virta Augmentoidun todellisuuden lääketieteelliset sovellukset
Sivumäärä Aika	77 sivua 23.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	elektroniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja	lehtori Jukka Kuikanvirta
<p>Insinööriyössä käsiteltiin augmentoidun todellisuuden lääketieteellisiä sovelluksia. Työn tavoitteena oli esittää mahdollisimman laaja katsaus augmentoituun todellisuuteen ja erityisesti sen hyödyntämismahdollisuuksiin lääketieteen alalla, koska aikaisempia suomenkielisiä katsauksia käsiteltyyn aiheeseen liittyen ei ole juurikaan julkaistu.</p> <p>Alkuosassa määriteltiin augmentoitu todellisuus ja kerrottiin sen historiasta. Sovellusalueet, joissa augmentoitua todellisuutta on yleensä käytetty, esiteltiin kattavasti.</p> <p>Teknologia-osiossa kerrottiin erilaisista tekniikoista, joilla augmentoitu todellisuus on tehty mahdolliseksi. Näyttötekniikat, heijastettavan informaation kohdentaminen sekä tietokoneen ja käyttäjän välinen vuorovaikutus käsiteltiin.</p> <p>Lääketieteen alueella tutkittiin augmentoidun todellisuuden hyödyntämistä leikkauksissa, harjoittelun apuvälineenä, terapiassa ja potilaiden kuntoutuksessa, sekä esiteltiin uusimpia lääketieteellisiä sovelluksia mobiililaitteille. Lopuksi pohdittiin augmentoidun todellisuuden mahdollisia tulevaisuuden sovelluksia.</p>	
Avainsanat	augmentoitu todellisuus, lisätty todellisuus, lääketiede

Author Title	Ville Virta Augmented Reality in Medical Applications
Number of Pages Date	77 pages 23 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electronics
Specialisation option	
Instructor	Jukka Kuikanvirta, Senior Lecturer
<p>This thesis covers augmented reality applications in medical field. The aim was to present a comprehensive review to augmented reality and especially its utilization possibilities in the medical field, because hardly any previous publications written in Finnish have not been released covering similar kind of topics.</p> <p>In the first part of the thesis the augmented reality is defined and its history is introduced. Application fields, where augmented reality is mostly used, are widely presented.</p> <p>In the technology section, different techniques that make augmented reality possible are explained. Display technologies, tracking the superimposed information, as well as the interaction between computer and the user are clarified.</p> <p>Utilization possibilities in medical field were studied in surgeries, in medical student's training aid, in therapy and in patient rehabilitation. The newest medical applications in mobile devices are presented. At the end of the thesis possible future applications in augmented reality are deliberated.</p>	
Keywords	augmented reality, medicine

## Sisällys

### Tiivistelmä

### Abstract

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Augmentoitu todellisuus	1
2.1	Augmentoidun todellisuuden määritelmä	1
2.2	Augmentoidun todellisuuden historiaa	3
3	Augmentoidun todellisuuden sovellusalueet	5
3.1	Sotateollisuus	5
3.2	Viihdeteollisuus	8
3.3	Kunnossapito ja asennus	10
3.4	Navigointi	12
3.5	Koulutus ja opetus	13
3.6	Turismi ja nähtävyydet	14
3.7	Kaupankäynti ja mainostaminen	15
3.8	Arkkitehtuuri ja arkeologia	17
3.9	Jokapäiväinen elämä	19
4	Augmentoidun todellisuuden teknologia	21
4.1	Näyttökategoriat	21
4.1.1	Päässä pidettävät näytöt	21
4.1.2	Kädessä pidettävät näytöt	26
4.1.3	Projisoivat näytöt	27
4.2	Paikannus ja kohdentaminen	28

4.2.1	Merkkipaikannus	29
4.2.2	Merkitön paikannus	31
4.3	Vuorovaikutus	32
4.4	Tietokone ja ohjelmointi	33
5	Augmentoidun todellisuuden lääketieteelliset sovellukset	35
5.1	Leikkaukset	35
5.1.1	Leikkaussaliympäristö	36
5.1.2	Tähystysleikkaukset	39
5.1.3	Koepalat	43
5.1.4	Neurokirurgia	45
5.2	Harjoittelun apuväline	47
5.2.1	Toimenpiteet	47
5.2.2	Ensiapu	50
5.2.3	Lääketieteen opiskelu	51
5.3	Terapia ja kuntoutus	53
5.3.1	Terapia	53
5.3.2	Kuntoutus	54
5.4	Lääketieteellisiä sovelluksia älypuhelimille ja tablettitietokoneille	56
5.4.1	MITK pille -sovellus	56
5.4.2	Hallux Angles -sovellus	57
5.4.3	DoctorMole-sovellus	58
5.4.4	BlindSquare-sovellus	60
5.4.5	DanKam- ja Color Blind Aid 1.1 -sovellukset	60
5.4.6	Anatomy 4D -sovellus	62
6	Augmentoitu todellisuus tulevaisuuden sovelluksissa	62
7	Päätelmät	66
	Lähteet	68

## Lyhenteitä ja käsitteitä

ALVAR	VTT:n kehittämä ohjelmakirjasto augmentoidun ja virtuaalisen todellisuuden sovellusten ohjelmoimiseen.
AR	<i>Augmented Reality</i> ; augmentoitu todellisuus.
ARMAR	<i>Augmented Reality for Maintenance and Repair</i> ; augmentoidun todellisuuden järjestelmä huolto- ja korjaustoimenpiteisiin.
ARToolKit	Ohjelmakirjasto augmentoidun todellisuuden sovelluksille.
Bluetooth	Avoin standardi laitteiden langattomaan kommunikointiin lähietäisyydellä.
CAMDASS	<i>Computer Aided Medical Diagnostics and Surgery System</i> ; tietokoneavusteinen diagnostiikka- ja leikkausjärjestelmä.
FLARToolKit	Flash-versio augmentoidun todellisuuden ohjelmakirjastosta.
HMD	<i>Head-Mounted Display</i> ; päässä pidettävä heijastusnäyttö.
HMPD	<i>Head-Mounted Projector Display</i> ; päässä pidettävä projektorinäyttö.
HUD	<i>Heads-Up Display</i> ; läpinäkyvä heijastusnäyttö.
ISS	<i>International Space Station</i> ; kansainvälinen avaruusasema.
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> ; radiotaajuinen etätunnistus tiedon etälukuun ja -tallentamiseen.
SLARToolKit	AR-ohjelmakirjasto Silverlightille ja Windows Phonelle.
VR	<i>Virtual Reality</i> ; virtuaalitodellisuus.

## 1 Johdanto

Insinööriyössä esitellään augmentoidun todellisuuden käyttökohteita nykyajan lääketieteessä. Työn tarkoituksena ei ole niinkään paneutua liian tarkasti teknisiin yksityiskohtiin, vaan antaa enemmänkin ideoita ja esimerkkejä siitä minkälaisissa toteutuksissa tätä verrattain uutta teknologiaa pystytään hyödyntämään ja minkälaisia sovelluksia on mahdollista luoda. Aiemmat suomenkieliset tutkimukset ja katselmukset augmentoidun todellisuuden hyödyntämisessä, erityisesti lääketieteen alueella, ovat hyvin suppeita tai niitä ei ole julkisesti saatavilla. Työn tavoitteena on koota yhteen, englanninkielisestä lähdekirjallisuutta hyödyntämällä, mahdollisimman kattava suomenkielinen kuvaus koko augmentoidun todellisuuden aihealueesta ja sen hyödyntämisestä lääketieteessä.

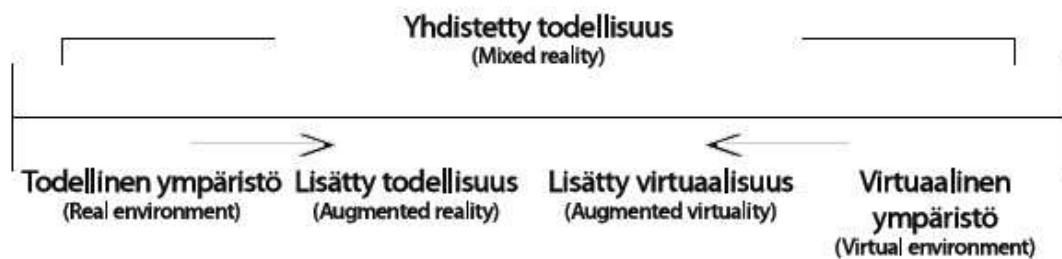
Augmentoitu todellisuus on ollut aikaisemmin teknologiaa, mitä lähinnä suuret teollisuusyritykset käyttivät tehostaakseen prosessejaan. Kyseisen teknologian kalleus suhteessa siitä saatavaan hyötyyn ei ollut vielä riittävän hyvällä tasolla levitäkseen laajempaan käyttöön. Viime vuosikymmenen aikana augmentoitu todellisuus on kuitenkin alkanut yleistyä laajemminkin, johtuen tekniikan kehityksestä. Varsinkin hyvän prosessoritehon ja monipuoliset anturit omaavat älypuhelimet ja tablettitietokoneet ovat tuoneet AR-sovellukset mahdollistavat näyttölaitteet tavallisten kuluttajien arkeen.

## 2 Augmentoitu todellisuus

### 2.1 Augmentoidun todellisuuden määritelmä

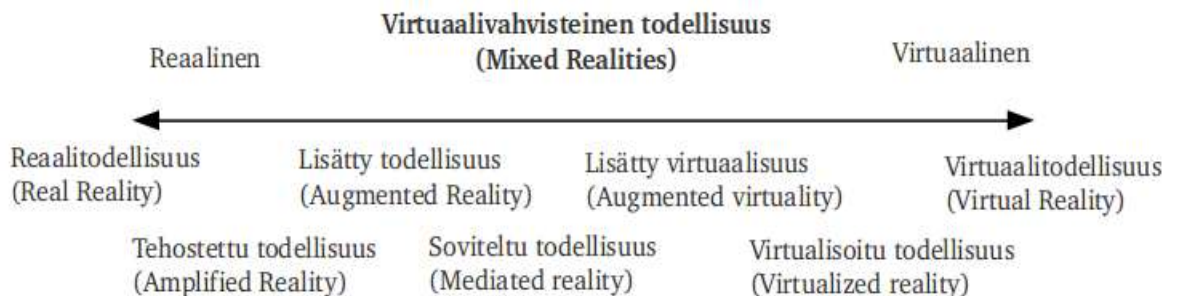
Augmentoitu todellisuus on muunnelma tai välimuoto virtuaalitodellisuudesta ja todellisesta maailmasta. Virtuaalisessa todellisuudessa käyttäjä kokee pelkästään keinotekoisien todellisuuden, mutta augmentoidussa todellisuudessa todelliseen ympäristöön on lisätty tietokonegrafiikalla keinotekoisia objekteja tai dataa. Augmentoitu todellisuus on yleensä suomennettu termeillä *Lisätty todellisuus*, *Vahvennettu todellisuus* tai *Laajennettu todellisuus*, mutta tässä työssä käytetään termiä augmentoitu todellisuus tai englanninkielistä lyhennettä AR, koska vakiintunutta suomenkielistä termiä ei vielä ole.

Vuonna 1994 Paul Milgram esitteli *todellisuus-virtuaalisuusjatkumon* (kuva 1). Tässä jatkumossa todellisuus ja virtuaalitodellisuus ajatellaan yhden jatkumon ääripäinä sen sijaan, että ne olisivat toistensa vastakohtia. Kuvasta näkee, että augmentoidun todellisuuden oletetaan olevan lähempänä todellista ympäristöä kuin virtuaalista, koska siinä todelliseen ympäristöön lisätään virtuaalista dataa. *Lisätyssä virtuaalisuudessa* (*Augmented virtuality*) todellisia objekteja lisätään virtuaalitodellisuuteen, joten se on lähempänä jatkumon oikeaa laitaa. Kaikista jatkumon ääripäiden välissä olevista todellisuuksista käytetään termiä *Yhdistetty todellisuus* (*Mixed reality*). [1.]



Kuva 1. Milgramin todellisuus-virtuaalisuusjatkumo [2].

M.A.Schnabel lisäsi jatkumolle (kuva 2) vielä kolme todellisuutta; *Tehostettu todellisuus* (*Amplified Reality*), *Soviteltu todellisuus* (*Mediated Reality*) ja *Virtualisoitu todellisuus* (*Virtualized Reality*). Esimerkiksi sovitellussa todellisuudessa todellista ympäristöä voidaan muokata tietokoneavusteisesti objektien lisäämisen ohella myös poistamalla niitä tai muuttamalla niitä jollakin muulla tavalla (sisustussuunnittelijat voivat poistaa huoneesta esimerkiksi huonekaluja). [3.]



Kuva 2. M.A.Schnabelin todellisuus-virtuaalitodellisuusjatkumo [4].



Vuonna 1997 Ronald Azuma julkaisi laajan tutkimuksen augmentoidusta todellisuudesta. Hän määritteli kolme perusominaisuutta augmentoidulle todellisuudelle [5]:

- Se yhdistää todellisuuden ja virtuaalisuuden.
- Se toimii vuorovaikutteisesti ja reaaliajassa.
- Se kohdistaa todelliset ja virtuaaliset objektit toistensa kanssa kolmiulotteisesti.

Esimerkiksi elokuvassa *Jurassic Park* on yhdistetty virtuaalisia objekteja todelliseen ympäristöön kolmiulotteisesti, mutta se ei ole vuorovaikutteista, joten se ei täytä Azuman kriteereitä augmentoidusta todellisuudesta. Tässä katselmuksessa esiintyvät sovellukset eivät ole kuitenkaan liian tarkasti rajattu vain augmentoituun todellisuuteen, vaan liikkuvat myös mm. sovitellun- ja tehostetun todellisuuden rajapinnoilla.

## 2.2 Augmentoidun todellisuuden historiaa

Augmentoidun todellisuuden historian voidaan periaatteessa ajatella ulottuvan jo aikaan ennen ajanlaskun alkua. Seuraava luettelo kuvaa sen kehityksen merkkipaaluja [7; 8; 9]:

- 17 000 - 15 000 eKr. Ensimmäiset kalliomaalaukset.
- 1938: Ensimmäinen digitaalinen tietokone.
- 1957 - 1962: Morton Heilig kehittää simulaattorin, *Sensoraman*, mikä yhdistää näkö-, kuulo-, tunto- ja hajuaistin (kuva 1, ks. seur. s.).
- 1966: Ivan Sutherland keksii päässä pidettävän näytön.
- 1975: Myron Krueger luo ensimmäisen keinotodellisuutta tutkivan laboratorion.
- 1989 - 1990: Jaron Lanier keksii sanonnan *Virtuaalitodellisuus* ja Tom Caudell sanonnan *Lisätty todellisuus*.
- 1999: Hirokazu Kato julkaisi avoimen lähdekoodin ARToolKit-ohjelman, mikä mahdollisti AR-ohjelmien tekemisen eri sovellusalustoille.
- 2008: Ensimmäinen AR-sovellus (*Wikitude AR Travel Guide*) G1 Android-älypuhelimeen.

- 2009: ARToolKit sovitettiin Adobe Flash:iin, mikä mahdollisti AR:n tuomisen internet-selaimeen.
- 2013: Google-lasien beeta-testaus alkaa.

Kuten edellä esitetystä luettelusta näkyy, augmentoitu todellisuus on aluillaan oleva sovellusala ja on ollut tavallisten kuluttajien saatavilla vasta muutaman viime vuoden ajan. Pitkän aikaa AR-sovellukset olivat mahdollisia vain isoille yrityksille (esim. auto- ja lentokoneteollisuus) johtuen niiden vaatimasta huipputeknologiasta, mutta tehokkaiden älypuhelimien ja tablettitietokoneiden yleistymisen johdosta on lähivuosien aikana odotettavissa AR-sovellusten määrän radikaali lisääntyminen myös tavallisen kuluttajan arjessa.



Kuva 3. Sensorama, jossa yhdistyivät stereoskooppiset 3D-kuvat, stereo-ääni, kallistuva istuin, sekä erilliset urat, jotka mahdollistivat myös tuulen ja erilaisten tuoksujen syöttämisen laitteeseen elokuvan aikana [6].

### 3 Augmentoidun todellisuuden sovellusalueet

Alunperin augmentoidun todellisuuden sovelluksia käytettiin lähinnä sota-, lääketiede- ja viihdeteollisuudessa, mutta nykyään kyseinen teknologia on levittäytynyt jo lähes kaikille elämän osa-alueille. Pääsääntönä AR-sovelluksille on, että ne välittävät käyttäjälle sellaista informaatiota, jota hän ei pysty omilla aisteillaan havaitsemaan, ja näin ollen parantavat hänen kykyä toimia reaali maailman eri tilanteissa. Tässä luvussa esitellään, lääketiedettä lukuunottamatta, AR-teknologian yleisimpiä sovellusalueita.

#### 3.1 Sotateollisuus

Seuraavalla sivulla olevan kuvan 4 hävittäjälentokoneen heijastusnäyttö (HUD) on ehkä tunnetuin esimerkki augmentoidusta todellisuudesta sotateollisuudessa. Jo 1960-luvulta lähtien yleisesti käytössä ollut läpinäkyvä näyttö on sijoitettu suoraan pilotin näkökenttään. Näin ollen lentäjä näkee samat oleelliset tiedot (korkeus, nopeus jne.) kuin lentokoneen mittareissa, ilman että hänen tarvitsee poistaa katsettaan horisontin tapahtumista.



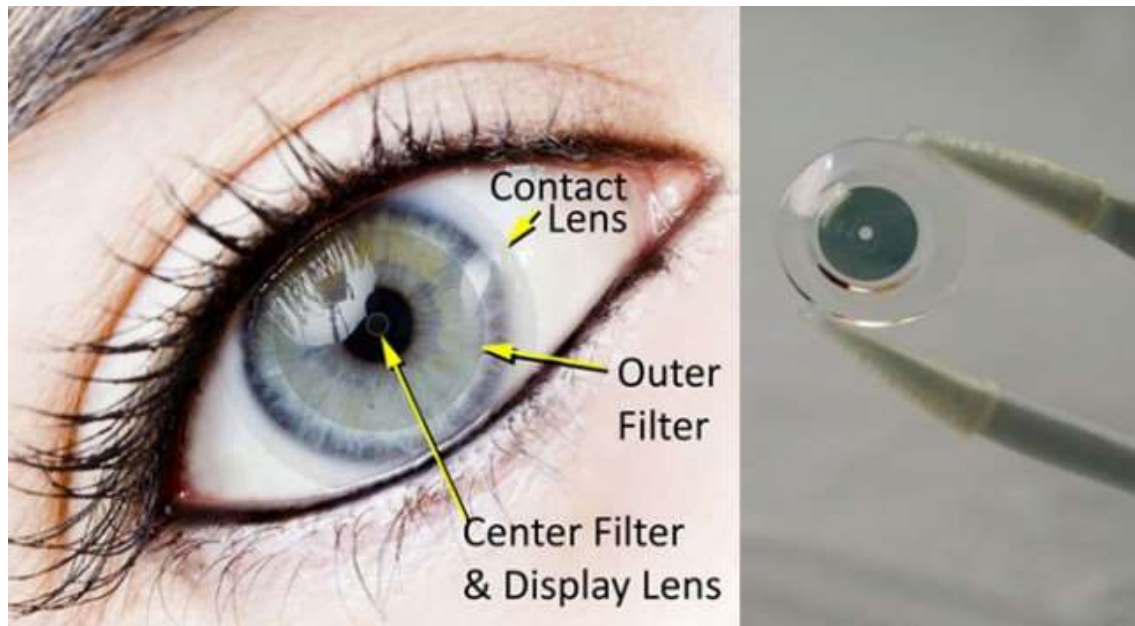
Kuva 4. F-15C heijastusnäyttö (HUD) [10].

Viimeisten vuosien aikana heijastusnäytöt on yhä useammin korvattu kypärään sijoitetulla näytöllä (kuva 5, ks. seur. s.). Koneen radiotaajuus- ja infrapuna-anturit voivat jäljittää lähellä olevan lentokoneen mistä tahansa suunnasta, huolimatta siitä mihin suuntaan pilotti katsoo. Tieto siitä välittyy lentäjän kypärän näyttöön, jolloin hän voi valita halutut kohteet ja lukita ne. Tämä auttaa pilotteja pitämään huomion paremmin itse kohteissa kuin lentokoneen ohjauksessa. [11.]



Kuva 5. Lockheed Martin F-35 Lightning II –hävittäjälentokoneen pilotin kypärä [11].

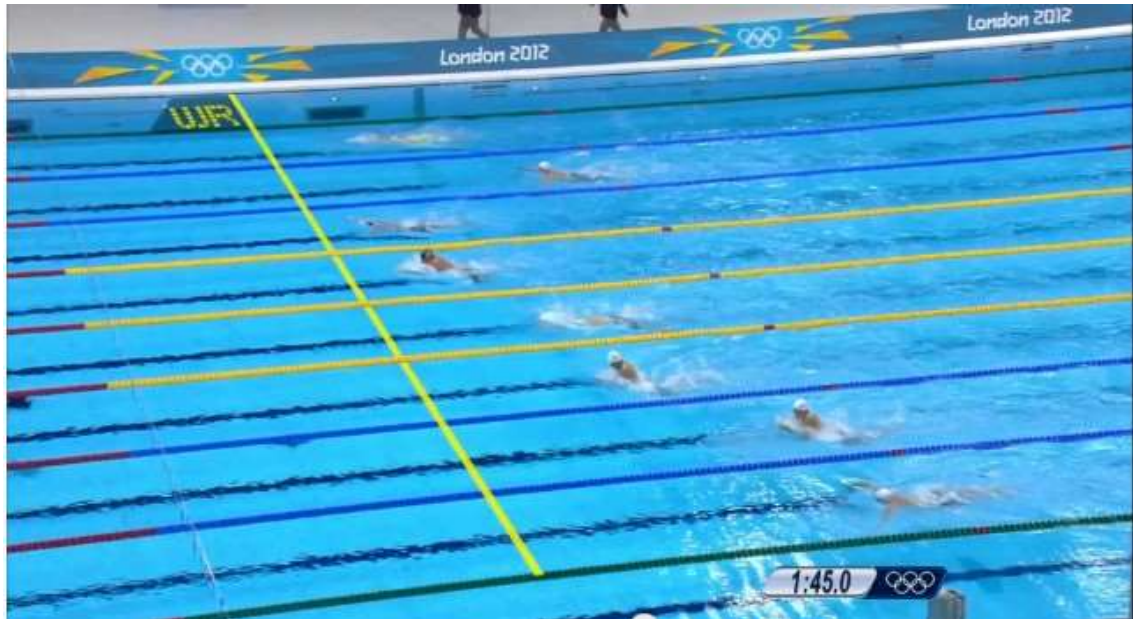
Uusin kehitteillä oleva innovaatio AR-tekniikan kentällä on *iOptik*-piilolinssit (kuva 6, ks. seur. s.). Nykyisten sotilailla käytössä olevien AR-lasien haittapuolena on ollut ihmisen kyky keskittyä samanaikaisesti sekä taistelukentän tapahtumiin että informaatioon (satelliitti-/lennokkikuvat, kartta, taistelutovereiden kypäräkameroiden kuvat jne.) mitä lasihin on syötetty. Ratkaisuksi tähän kaavailaan *iOptik*-piilolinssijä. Näissä piilolinssissä on kaksi erilaista kohdistuslinssiä. Toinen linssi kohdistaa etualalla olevan valon (syötetyn informaation) silmän pupillin keskiosaan ja toinen takalalla olevan valon (reaalimaailman) pupillin reunaosaan. Tällä tavalla kaksi keskitettyä kuvaa saapuu verkkokalvolle samanaikaisesti, jolloin aivoilla ei ole vaikeuksia prosessoida tätä samanaikaista informaatiota. [12; 13.]



Kuva 6. iOptik-piilolinssit [13].

### 3.2 Viihdeteollisuus

Viihdeteollisuus on ollut alusta alkaen ehkä aktiivisimmin AR-sovelluksia hyödyntänyt teollisuudenala. Säättiedotuksissa oikeaan seinään kiinnitetyn kartan korvaaminen digitaalisella on ollut käytössä jo pitkään ja varsinkin urheilussa erilaisen lisäinformaation tuominen TV-lähetyksiin on hyvin yleistä. Uinnissa ja pikaluistelussa kilpailijoiden nimet ja maiden liput esitetään yleensä digitaalisesti ratojen kohdalla ja ns. maailmanennätys-viiva (kuva 7, ks. seur. s.) liikkuu radoilla samassa tahdissa kilpailijoiden kanssa, jolloin katsoja näkee konkreettisesti kuinka paljon ollaan edellä tai jäljessä maailmanennätysaika. Keihäänheitossa, pituushypyssä ym. vastaavissa lajeissa kentälle on merkitty digitaalisesti viivat esimerkiksi karsintarajan tai johtavien kilpailijoiden tuloksien kohdille, helpottamaan TV-katsojien lähetyksen seuranta.



Kuva 7. Ns. maailmanennätysviiva [14].

Monesti ylimääräisen informaation syöttäminen TV-lähetysiin ei ole kuitenkaan tarpeellista ja saattaa vain ärsyttää TV-katsojia. Vuonna 1996 NHL-kaukaloissa otettiin käyttöön ns. FoxTrax-järjestelmä, mikä sisälsi kiekon, jonka sisälle oli laitettu infrapunalähtettä. Nämä lähtimet lähettivät signaaleja kaukalon laidoilla sijaitseviin infrapuna-antureihin ja televisioautossa olleet tietokoneet laskivat näiden signaalien perusteella kiekon liikeradan ja sijainnin.

Järjestelmän tarkoituksena oli parantaa kiekon näkemistä kentällä ja tällä teknologialla kiekon ympärille saatiin sininen ”hehku”, mikä helpotti TV-katsojia erottamaan kiekon paremmin. Yli seitsemänkymmentä mailia tunnissa liikkunut kiekko näkyi myös ns. komeetana (kuva 8, ks. seur. s.), tehden laukauksista näyttävämmän näköisiä. Hankkeesta kuitenkin luovuttiin parin vuoden sisällä, koska vannoutuneiden fanien mielestä peli muuttui liian koomisen ja videopelimäisen näköiseksi [15]. *FoxTrax* on hyvä esimerkki siitä, että lisäinformaation tarjoaminen ei usein kuitenkaan ole sitä mitä kuluttajat haluavat tai mitä tekijät olettavat heidän haluavan.



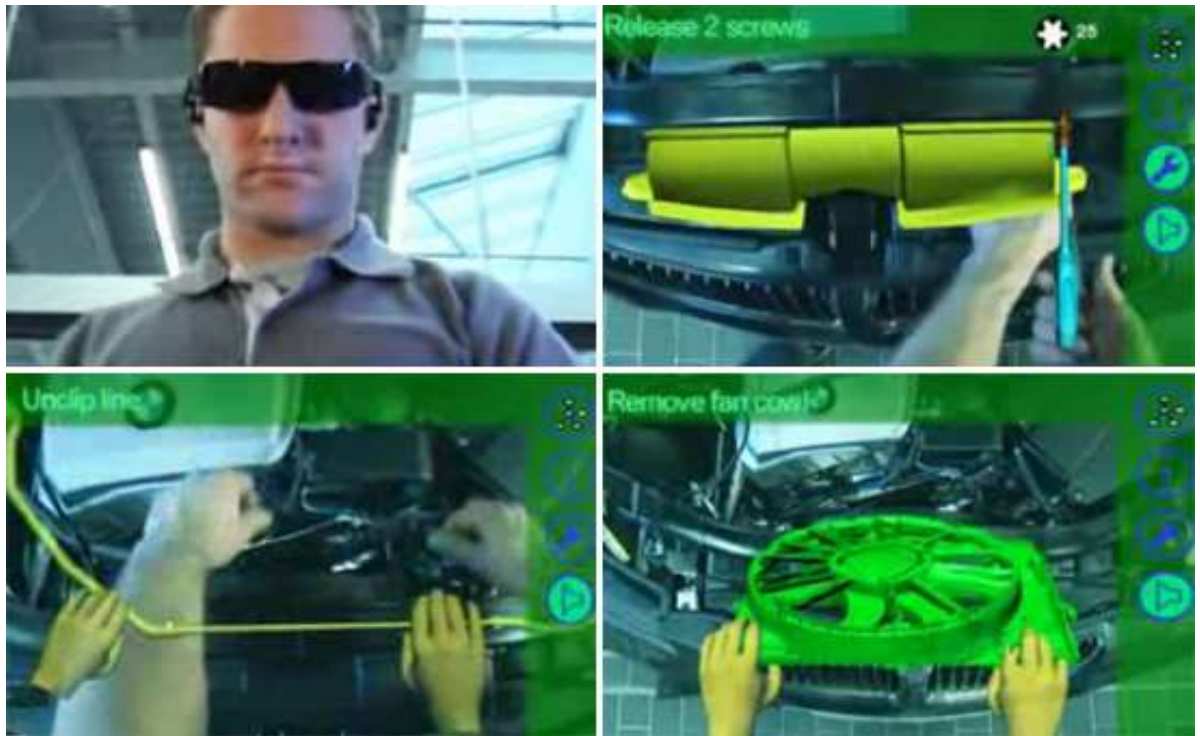
Kuva 8. FoxTrax-kiekko [15].

### 3.3 Kunnossapito ja asennus

Augmentoidun todellisuuden hyödyntäminen on lisääntymässä korjaus-, asennus- ja huoltotöissä. Varsinkin suuret yritykset, jotka valmistavat monimutkaisia laitteita isoilla volyymeilla hyötyvät siitä kokoonpanolinjoillaan. Columbian Yliopistossa on kehitetty ARMAR (*Augmented Reality for Maintenance and Repair*) -niminen järjestelmä, joka ohjaa käyttäjää, kun hän tekee korjauksia. Järjestelmää testattiin ensiksi Rolls Roycen DART 510 lentokoneen moottoriin ja sen todettiin vähentävän yksittäiseen tehtävään kulutettua aikaa peräti 56 prosenttia [16].

Seuraavan sivun kuvassa 9 on esimerkki AR-lasien käytöstä BMW:n huollossa. Huoltohenkilö pitää päässään laseja ja AR-sovellus ohjaa häntä neuvomalla samanaikaisesti sekä äänellä että kuvilla. Sovellus kertoo käyttäjälle oikeat työkalut, oikean poisto- ja asennusjärjestyksen, oikean momentin muttereiden kiristykseen jne. ilman, että huoltohenkilö tarvitsee vuosien kokemuksen näiden asioiden muistamiseen.





Kuva 9. AR-lasien käyttö BMW:n huollossa [16].

Myös yksityishenkilöt hyötyvät AR-tekniologiasta huoltotöissä, koska periaatteessa kuka tahansa pystyy tekemään huolto- ja asennustöitä ilman aikaisempaa kokemusta. Esimerkiksi tablettitietokoneen (kuva 10, ks. seur. s.) ja siihen ladatun AR-sovelluksen käyttäminen huoltotöissä antaa tavalliselle kuluttajalle samat valmiudet kuin koulutetulle mekaanikolle. Autoissa moottorinohjausyksikön ilmoittamat vikakoodit voisi lähettää langattomasti valmistajalle ja he lähettäisivät korjausohjeet takaisin tablettiin ja mahdolliset varaosat tulisivat postissa. Tulevaisuudessa 3D-tulostimien yleistyessä kaikkia osia (muovi yms. materiaali) ei tarvitsisi edes lähettää asiakkaalle, vaan ne voisi tulostaa suoraan valmistajan sivuilta ja asentaa AR-sovellusta hyväksikäyttäen. Eri asia on haluavatko valmistajat ja huoltoyhtiöt lähteä siihen, että kuluttajat korjaisivat itse omat laitteensa, koska huolto- ja korjauskustannukset muodostavat merkittävän osan yritysten liikevaihdoista.



Kuva 10. Tablettitietokoneen hyödyntäminen auton huollossa [17].

### 3.4 Navigointi

Suurin ero tavallisen GPS-navigaattorin ja augmentoitua todellisuutta hyödyntävän navigoimisen välillä on siinä miten kartta luodaan. AR-sovelluksessa käyttäjä näkee laitteen (esim. älypuhelin) kameran kautta todellisen ympäristön ja sovellus näyttää ajosuunnan joko viivana tai pisteinä tiessä. Tämä helpottaa ohjeiden seuraamista varsinkin paikoissa, joissa on monia kääntymispaikkoja pienessä tilassa, koska sovellus näyttää tarkan kääntymispaikan, toisin kuin perinteinen navigaattori. Ajaminen on myös turvallisempaa, koska kuljettajan ei tarvitse ottaa katsetta pois tiestä, vaan hän näkee saman ympäristön näyttölaitteesta kuin tuulilasin läpi. [18.]

Kuvassa 11 seuraavalla sivulla näkyy kuvakaappaus *iOnRoad* AR-sovelluksesta iPhoneille. Tämä sovellus pystyy navigoinnin lisäksi myös tunnistamaan, älypuhelimien kameran ja antureiden avulla, edessä olevia autoja sekä tien reunan, ja varoittamaan kuljettajaa, jos hän ajaa liian lähellä jompaa kumpaa. [19.]



Kuva 11. Kuvakaappaus iOnRoad AR-sovelluksesta [19].

### 3.5 Koulutus ja opetus

Augmentoitua todellisuutta voidaan hyödyntää usealla tavalla opetuksessa ja koulutuksessa. Hyvin toteutettuna se auttaa opiskelijaa uppoutumaan ja eläytymään opiskelutilanteeseen, jolloin opiskelija unohtaa opiskelevansa. Tämä on tärkeää erityisesti lasten ja nuorten kohdalla, joiden keskittyminen opiskeluun saattaa olla puutteellista. Abstraktit asiat voidaan esittää kolmiulotteisina malleina ja niitä voidaan liikuttaa ja muokata, mikä helpottaa monimutkaisten asioiden hahmottamista. Esimerkiksi molekyylit, kemialliset reaktiot yms. voidaan esittää ymmärrettävässä muodossa oppilaille. Opiskelijat voidaan viedä autenttiseen ympäristöön ja esimerkiksi historian opiskelussa muinaiset yhteiskunnat ja niissä käytetyt tavarat ja esineet voidaan rekonstruoida ja tuoda oppilaiden näyttille, elävöittäen näin opiskelua. [20; 21.]

Myös tavalliset kuluttajat voivat hyödyntää AR-sovelluksia tiedon hankinnassa. Kuvassa 2 seuraavalla sivulla on esimerkki *Star Walk* -sovelluksesta Applen älylaitteille. Sovelluksen päällä ollessa riittää, että suuntaa laitteen kohti taivasta ja sovellus tunnistaa kaikki tunnetuimmat tähdet ja planeetat. [22.]



Kuva 12. Star Walk-sovellus [22].

### 3.6 Turismi ja nähtävyydet

AR-sovellukset turismissa ja nähtävyyksien katselussa liittyvät yleensä nähtävyyksien tunnistamiseen ja lisäinformaation antamiseen. Älypuhelinomistajat voivat kävellä historiallisissa paikoissa ja nähdä tietoja ja kuvia tunnetuista nähtävyyksistä näyttöllä. Sovellukset käyttävät GPS:ää ja kuvantunnistusteknologiaa etsiäkseen kyseessä olevan paikan tietoja internetissä olevasta tietokannasta. Lisäksi käyttäjälle voidaan näyttää kuvia siitä, miltä paikka näytti esimerkiksi sata vuotta sitten. Museot ja muut vastaavat paikat voivat myös esittää teoksistaan 3D-objekteja, joiden kanssa käyttäjät voivat olla vuorovaikutuksessa. [23.]

AR-sovelluksia kehittävä yritys, *VirtualMob*, on tehnyt AR-sovelluksen matkailijoille ja turisteille (kuva 13, ks. seur. s.). Sovellus näyttää nähtävyyksien lisäksi mm. kaupat, ravintolat ja yökerhot, ja mikäli käyttäjä on tietyllä etäisyydellä edellä mainituista paikoista, hänelle voidaan lähettää mainoksia ja tarjouksia lähellä olevista liikkeistä.



Kuva 13. VirtualMobin turismi-sovellus [24].

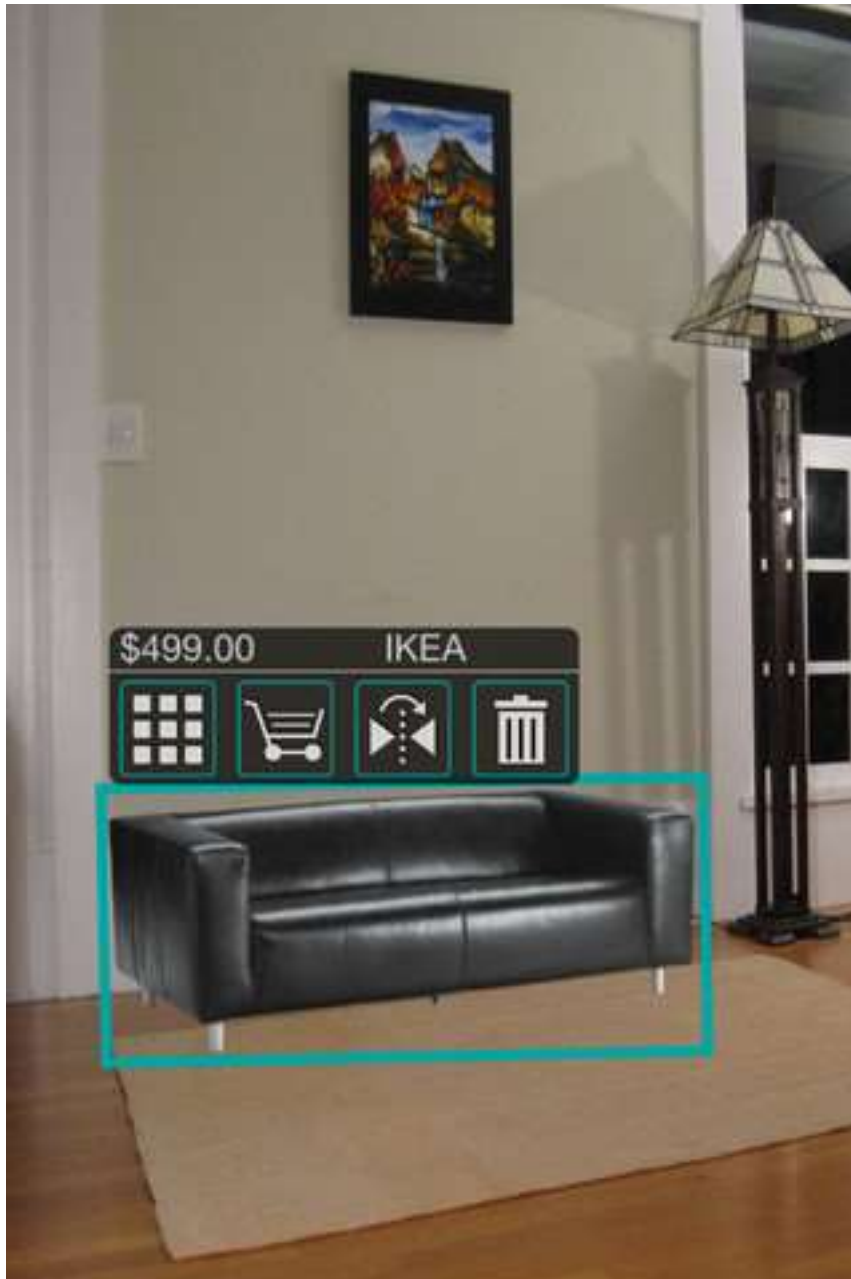
### 3.7 Kaupankäynti ja mainostaminen

AR-sovellukset antavat kauppiaille useita eri mahdollisuuksia uudentyyliseen myyntiin ja markkinointiin. Esimerkiksi kaupassa asiakas osoittaa tuotteita älypuhelimellaan ja näkee ravintoarvot, hinnat jne. puhelimensa näytöllä. Näin asiakas voi kätevästi verrata samankaltaisia tuotteita toisiinsa ja tehdä ostopäätöksen ilman, että joutuu jokaisen pakkauksen erikseen hyllystä nostamaan. Kaikenlaisen lisäinformaation syöttäminen myytäviin tuotteisiin on myös mahdollista, kuten seuraavan sivun kuvassa 14 olevasta Playboy-lehdestä nähdään.



Kuva 14. AR-sovellus Playboy-lehdessä [25].

Vaatteiden ja kenkien sovittaminen etukäteen AR-sovelluksilla on mahdollista, kuten myös oikean kokoisen paketin valitseminen tavaralle, jonka aikoo lähettää postissa. Kuvassa 15 seuraavalla sivulla on kuvakaappaus *SnapShot Showroom* -sovelluksesta. Kyseisellä sovelluksella voi selata tunnetuimpien huonekalubrändien katalogeja ja testata miltä eri huonekalut näyttäisivät omassa kodissa. Tuotteen ostaminen käy näppärästi samalla sovelluksella, mikäli asiakas on tyytyväinen siihen miltä tuote näyttää. [26.]

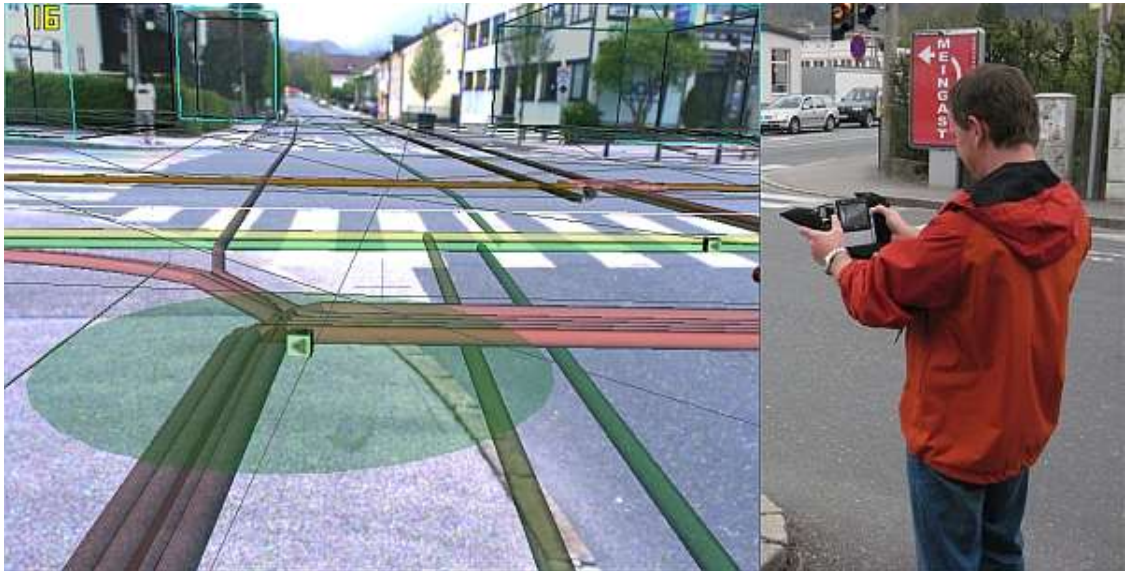


Kuva 15. SnapShop Showroom -sovellus [26].

### 3.8 Arkkitehtuuri ja arkeologia

AR-tekniikalla voidaan visualisoida rakennusprojekteja ja heijastaa rakennuksia oikeaan ympäristöön ja saada kuva siitä, miltä ne tulisivat näyttämään valmiina. AR-sovellusta hyväksikäyttämällä on myös mahdollista nähdä rakennusten sisäpuolelle katsomalla sen julkisivua. Korjaustyöntekijöillä on mahdollisuus nähdä seinien takana ja maan alla sijaitsevien johtojen, putkien ja muiden objektien sijainnit. Esimerkkinä

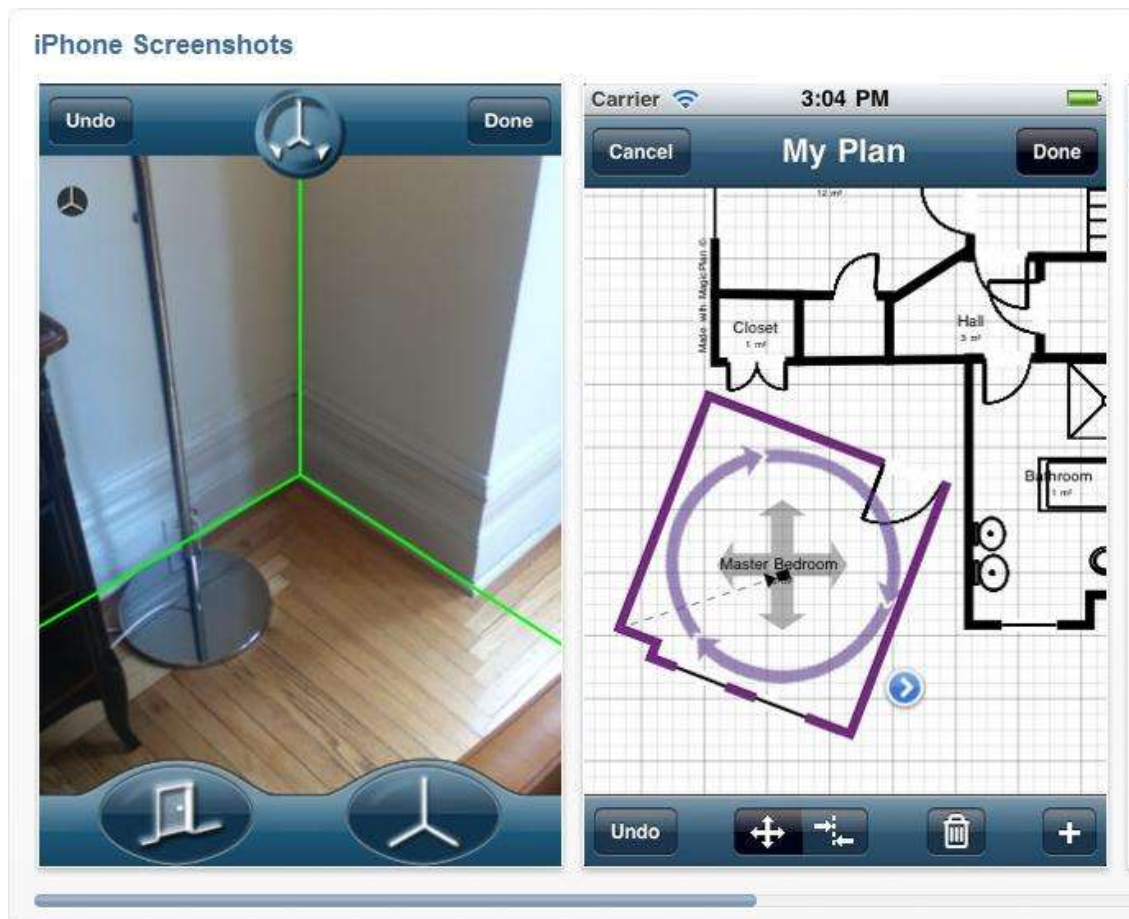
itävaltalainen Vivente-järjestelmä (kuva 16). Arkeologisesti historiallisia paikkoja voidaan lisätä moderniin ympäristöön, jolloin arkeologit voivat tehdä paremmin johtopäätöksiä paikan sijainnista ja rakenteesta. Käyttäjillä on myös mahdollista uudelleenrakentaa raunioita, rakennuksia ja jopa maisemia sen näköiseksi kuin ne ovat muinoin olleet. [8; 27.]



Kuva 16. Vivente-järjestelmä [28].

Yli 3,5 miljoonaa latausta kerännyt *MagicPlan* (kuva 17, ks. seur. s.) on pohjapiirustusohjelma Applen mobiililaitteille. Se käyttää hyväkseen kameras kuvantunnistusohjelmaa määrittääkseen etäisyyden jokaiseen nurkkaan huoneessa. Käyttäjä osoittaa kameralla vuoronperään eri nurkkia huoneessa ja sovellus piirtää vihreät viivat, joiden perusteella käyttäjä merkkää nurkan. Kun kaikki nurkat on merkattu, sovellus luo pohjapiirustuksen huoneesta oikeine mittoineen. [94.]





Kuva 17. MagicPlan-sovellus [94].

### 3.9 Jokapäiväinen elämä

Älypuhelinmarkkinoiden suosituimpia AR-sovelluksia on *Layer Reality Browser* (kuva 18, ks. seur. s.). Sovellus käyttää älypuhelimien kiihtyvyyssanturia, kameraa, kompassia ja GPS:ää määrittääkseen käyttäjän olinpaikan ja näkökentän. Tämä mahdollistaa rakennusten ja paikkojen tunnistamisen ja lisäinformaation antamisen. Esimerkiksi lähimmät hotellit, ravintolat, myynnissä olevat talot jne.



Kuva 18. Layar Reality Browser [29].

Tämän hetken suurin AR-projekti globaalisti koskien ihmisten jokapäiväistä elämää on Googlen kehittämät Google-lasit (kuva 19, ks. seur. s.). Lasien toisen linssin yläkulmassa on pieni prisma-näyttö ja käyttäjä näkee sen sisällön katsomalla ylöspäin. Sulautettu kamera, mikrofoni, GPS ja ääniohjaus mahdollistavat lasille monia käyttöominaisuuksia. Lasien ominaisuuksiin kuuluu mm.

- videon, kuvien ja äänen tallentaminen ja niiden jakaminen muille reaaliajassa
- kartat, navigointi ja ilmoitukset poikkeuksista julkisessa liikenteessä
- sisätilojen kartat ja navigointi
- olinpaikkatietojen jakaminen muiden kanssa
- tekstin sanelu ja sen lähettäminen muille
- kääntäjä, säätiedot, aikataulut, muistutukset jne.

Helmikuussa 2013 Google aloitti lasien beeta-testauksen jakamalla niitä tietyille valitulle joukolla ihmisiä. Massatuotannossa lasien pitäisi olla vuoden 2013 loppuun mennessä. [30.]



Kuva 19. Google-lasit [30].

## 4 Augmentoidun todellisuuden teknologia

AR-sovellusten kehittäminen vaatii sopivan näyttölaitteen ja paikannusmenetelmän, interaktiivisuutta, sekä tietokoneen ja ohjelmointitaitoja. Kaikki edellä mainitut teknologiat määrittävät sen, miten laadukkaita ja realistisia AR-sovelluksia pystytään luomaan.

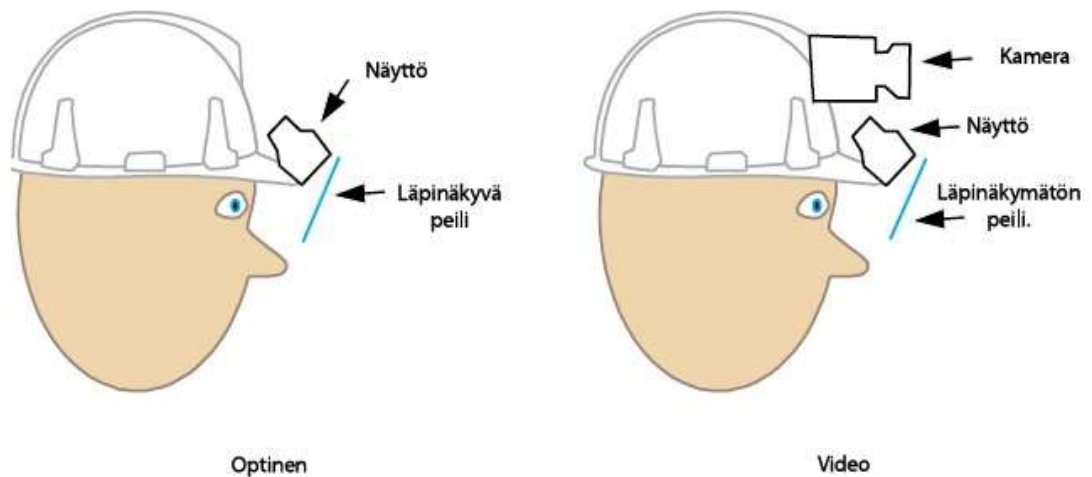
### 4.1 Näyttökategoriat

Näytöt, joita AR-sovelluksissa käytetään, voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan ja niiden aliluokkiin. AR-sovelluksen käyttötarkoitus ratkaisee sen, mikä mahdollisista näyttökategorioista valitaan.

#### 4.1.1 Päässä pidettävät näytöt

Päässä pidettävät näytöt ovat yleensä joko kypärään tai otsapantaan kiinnitettyjä laitteita. Ne voidaan jakaa optisiin eli läpinäkyviin näyttöihin ja videonäyttöihin (kuva 20, ks. seur. s.) ja niissä voi olla joko yhdelle tai kahdelle silmälle suunnattu näyttöoptiikka. Optisissa näytöissä käyttäjä näkee todellisuuden puolihopeoidun peilin läpi ja

virtuaalinen informaatio heijastetaan näyttölaitteesta tähän paneeliin. Videonäytöt vaativat kameran ja näytön. Kamera kuvaa todellista maailmaa ja näytöltä syötetään läpinäkymättömään peiliin kameran kuva, mihin on yhdistetty virtuaalinen informaatio. Optinen järjestelmä antaa luonnollisemman kuvan kuin videojärjestelmä, mutta reaaliaikaisuus aiheuttaa usein viiveongelmia. Videojärjestelmä voidaan synkronoida paremmin kuin optinen, koska kuvattu todellinen maailma ja virtuaalinen informaatio yhdistetään ennen kuin ne syötetään läpinäkymättömään peiliin. [31.]



Kuva 20. Optinen- ja videonäyttö [27, s. 21].

Seuraavan sivun kuvassa 21 oleva päässä pidettävä projektorinäyttö (*Head-Mounted Projector Display*) on myös yksi päässä pidettävien näyttöjen sovelluksista. Tässä sovelluksessa käyttäjän kasvojen edessä ei ole mitään optista laitetta, vaan esimerkiksi kypärään on kiinnitetty projektori ja projektoriin syötetty informaatio nähdään suuntaamalla katse johonkin lähistöllä sijaitsevaan takaisin heijastavaan pintaan. [32.]



Kuva 21. Päässä pidettävä projektorinäyttö [32].

Päässä pidettävät näytöt, joissa ei käytetä kypärää tai vastaavia laitteita ovat:

- silmälasit
- EyeTap-laite
- virtuaalinen retinanäyttö (*Virtual Retinal Display*)
- piilolinssit.

Tavallisten kuluttajien arkeen kypärät ja vastaavat AR-näyttölaitteet ovat liian raskastekoisia eivätkä tarpeeksi trendikkään näköisiä, jotta ne olisivat sosiaalisesti hyväksytympiä. Tämän takia markkinoille on tulossa yhä pienempiä, kevyempiä ja paremman näköisiä näyttölaitteita. Eniten huomiota ovat saaneet Googlen lasit, joita käsiteltiin tarkemmin sivuilla 20 - 21. Englantilainen teknologiayritys TTP (*The Technology Partnership*) lupaa tuoda markkinoille lähitulevaisuudessa kehittyneemmät lasit kuin Google. TTP:n laseissa käyttäjä näkisi syötetyn informaation suoraan

eteenpäin katsottaessa, eikä hänen tarvitsisi kohdistaa katsettaan lasin nurkkaan, kuten Googlen laseissa. Ulkopuoliset ihmiset eivät voisi myöskään huomata milloin käyttäjä katsoo syötettyä informaatiota, koska katseen suuntaa ei tarvitsisi muuttaa, eikä laseissa ole samanlaista ulospäin näkyvää prismanäyttöä kuin Googlen laseissa. [33.]

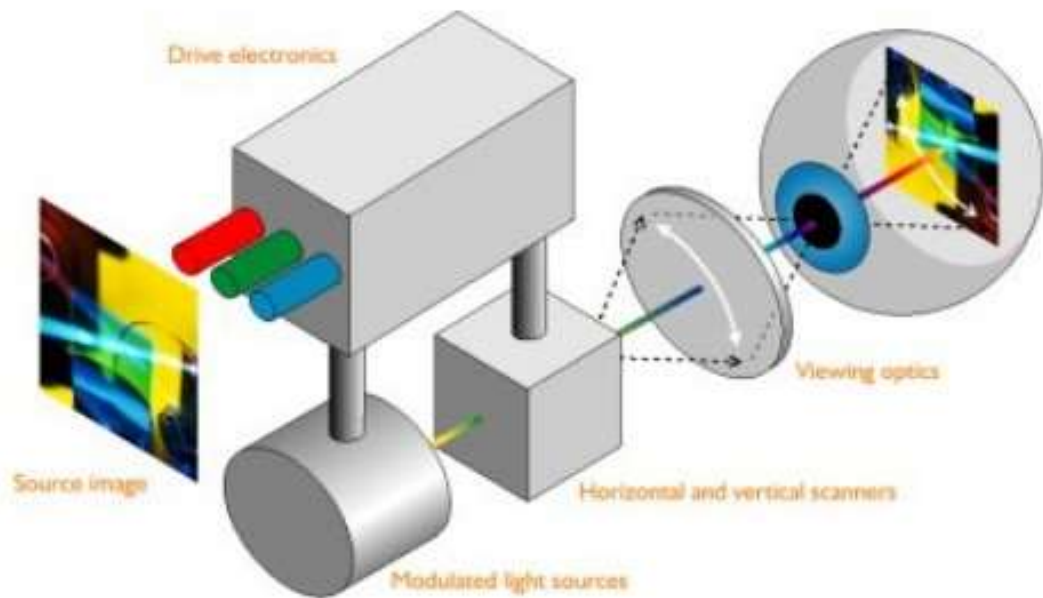
Yksi muunnelmä silmälasityyppisestä teknologiasta on ns. EyeTap-laite. Steve Mannin kehittämässä järjestelmässä käyttäjän silmä toimii sekä näyttönä että kamerana. EyeTap-laite käyttää valonsäteenjakaajaa ja lähettää käyttäjän näkemän kuvan sekä silmään että kameraan. Kamera digitalisoi heijastuneen kuvan ja lähettää sen tietokoneeseen, joka prosessoi kuvan ja lähettää sen projektoriin. Lopuksi projektori lähettää kuvan toiselle puolelle säteenjakajaa, jolloin tietokoneella luotu kuva yhdistetään alkuperäiseen kuvaan. Järjestelmää voidaan käyttää joko yhdellä (kuva 22) tai kahdella silmällä. [34.]



Kuva 22. EyeTap-näyttö [34].

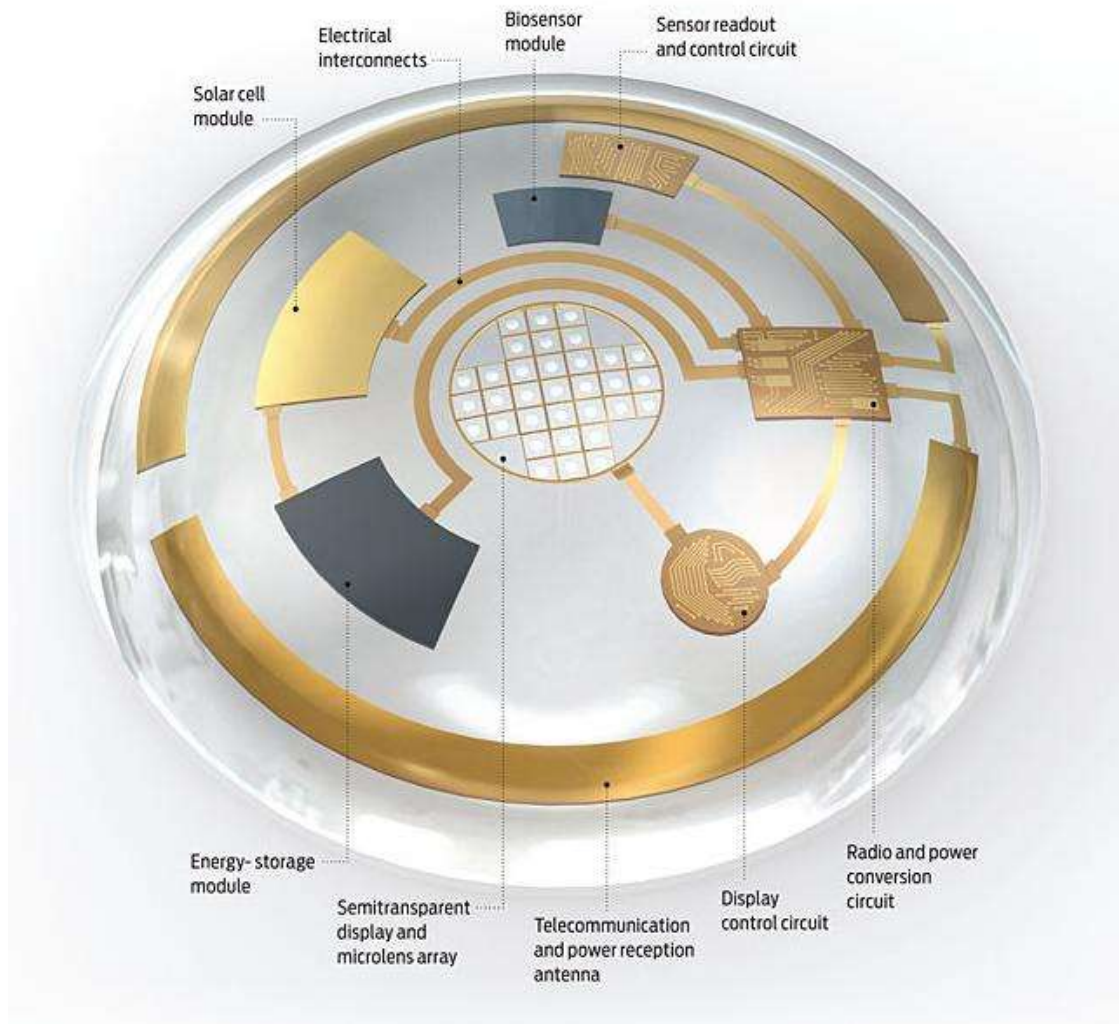
Virtuaalisessa retinanäytössä matalatehoinen laservalo skannataan suoraan käyttäjän verkkokalvolle. Tämän järjestelmän etuina ovat suurempi resoluutio ja kontrasti, sekä kirkkaus ja pieni tehonkulutus. Järjestelmä (kuva 23, ks. seur. s.) sisältää elektroniikkaosion, mikä muuntaa syötetyn kuva- tai videotiedoston digitaaliseksi pulssijonoksi. Tämä pulssijono moduloidaan ja syötetään skannausosioon, jossa vaaka- ja pystysuorat peilit skannaavat lasersäteen pikselirivi kerrallaan niin, että alkuperäinen kuva saadaan muodostettua. Tämän jälkeen kuva menee yleensä ns. pupillin laajentajaan, jossa se suurennetaan ja heijastetaan verkkokalvolle. Lopuksi

ohjauselektronikka synkronoi skannerit syötetyn signaalin kanssa niin, että stabiili kuva saavutetaan. Virtuaalista retinanäyttöä käytetään yleensä silmälaseissa, mutta sitä voidaan käyttää myös kypärässä, sovelluksesta riippuen. [35; 36; 37.]



Kuva 23. Virtuaalinen retinanäyttö [37].

Piilolinssit ovat lähitulevaisuudessa yleistynä näyttötekniikka AR-tekniikan kentällä. Sotateollisuutta käsittelevässä kappaleessa kerrottiin jo USA:n armeijan suunnittelemista *iOptik*-piilolinssistä. Washingtonin yliopistossa kehitellään parhaillaan piilolinssijä tavallisille kuluttajille ja niiden oletetaan tulevan markkinoille muutaman vuoden päästä. Polymeerisistä kalvoista muodostettu linssi (kuva 24, ks. seur. s.) sisältää optoelektronisia komponentteja ja satoja ledejä, jotka muodostavat kuvan silmälle. Käyttöenergian linssit saavat joko langattomasti ulkoisesta virtalähteestä (esim. kännykkä) tai kalvoon integroidusta aurinkopaneelista. [38.]



Kuva 24. Piilolinssinäyttö [38].

#### 4.1.2 Kädessä pidettävät näytöt

Kädessä pidettävät näytöt ovat tällä hetkellä ylivoimaisesti suosituimpia näyttölaitteita AR-tekniikan saralla. Nykyaikaiset älypuhelimet (kuva 25, ks. seur. s.) ja tablettitietokoneet ovat suorituskyvyiltään tarpeeksi tehokkaita ja sisältävät kaikki augmentoidun tekniikan vaatimat ominaisuudet (GPS, kamera, kiihtyvyysanturit, kompassi, gyroskoopit jne.). Ne ovat myös tavallisten kuluttajien kohdalla sosiaalisesti hyväksytyimpiä tämän hetken näyttötekniikoista ja kulkevat käyttäjän mukana, joten AR-sovellukset näille laitteille tulevat jatkuvasti lisääntymään. Huonoina puolina kädessä pidettävissä laitteissa voidaan pitää akun lyhyttä kestoa ja sitä, että käyttäjän kädet eivät ole vapaana muulle toiminnalle, mikä estää niiden käytön useissa sovelluksissa.



Kädessä pidettävien näyttöjen alalajina voidaan pitää HUD (*Heads Up Display*) – näyttöä, joka esiteltiin jo sotateollisuus-osiossa. Näyttöä ei pidetä varsinaisesti kädessä, vaan se laitetaan yleensä kiinteään paikkaan ja se on käytössä lähinnä erinäisissä kulkuneuvoissa ja tiloissa, joihin se voidaan asettaa pysyvästi.



Kuva 25. AR-sovellus Nokian Lumia-älypuhelimessa [39].

#### 4.1.3 Projisoivat näytöt

Projisoivalla näytöllä tarkoitetaan laitetta, jossa kuva heijastetaan projektorilla jollekin pinnalle. Tämä sopii hyvin esimerkiksi ryhmien käyttöön, koska tarvitaan vain yksi laite, jonka heijastamaa informaatiota useat henkilöt voivat seurata samaan aikaan. Mitään erillisiä näyttöjä ei siis tarvita ja nykyaikaiset projektorit ovat jo niin pieniä, että niitä on helppo kuljettaa mukana. Heikkoutena on, että projisoivat näytöt eivät toimi kovin hyvin auringonvalossa ja tarvitsevat pinnan mihin kuva heijastetaan.

*SixthSense* on MIT:n yliopistossa kehitetty projektio-järjestelmä, jota pystytään ohjaamaan käden liikkeillä. Järjestelmä käsittää kaulariipuksessa pidettävän kameran, peilin ja projektorin, jotka on kytketty langattomasti käyttäjän taskussa sijaitsevaan

älypuhelimeen. Projektori heijastaa näkyvän informaation halutulle pinnalle ja kamera tunnistaa ja seuraa käyttäjän käden liikkeitä ja fyysisiä objekteja tietokonenäköön perustuvalla tekniikalla. Älypuhelin prosessoi kameran syöttämän kuvan ja seuraa käyttäjän sormissa olevia värillisiä kohdistusmerkkejä (kuva 26), jolloin haluttu vuorovaikutus saavutetaan. Järjestelmää voi käyttää myös useampi henkilö samaan aikaan. [40.]



Kuva 26. SixthSense-järjestelmä [40].

#### 4.2 Paikannus ja kohdentaminen

Yksi suurimpia rajoitteita augmentoidun todellisuuden sovellusten luomisessa on paikannus ja kohdentaminen. Todellisen ja virtuaalisen elämän objektien tulee olla tarkasti synkronoituja toisiinsa nähden, jotta käyttäjän kokema illuusio niiden välillä ei häviäisi. Esimerkiksi lääketieteessä koepalan ottaminen kasvaimesta vaatii tarkkaa kohdentamista, koska jos virtuaalinen kasvain ei ole siellä missä oikea kasvain sijaitsee, koepalan ottaminen epäonnistuu. Ilman kunnollista paikannusta ja

kohdentamista ei useimpia augmentoidun todellisuuden sovelluksia pystytä toteuttamaan. [5.]

Tekniset sovellukset, joita paikannukseen käytetään, ovat mm. kamera, RFID, infrapunakamera, GPS, ultraäänianturi, mekaaninen- ja optinen gyroskooppi, kiihtyvyyssanturi, magneetti- ja painovoimakenttätunnistimet, kompassi, sekä näiden yhdistelmät. Useimmat näistä ominaisuuksista löytyvät esimerkiksi nykyaikaisista älypuhelimista ja tablettitietokoneista. Niitä kaikkia voidaan käyttää samaan aikaan paikannuksessa ja kohdentamisessa, jolloin saavutetaan paras mahdollinen tarkkuus. Esimerkiksi GPS antaa laitteen sijainnin, kiihtyvyyssanturista ja magnetometristä saadaan laitteen kallistuma jokaisen akselin suuntaan ja digitaalinen kompassi antaa katselusuunnan. Kaikki nämä yhdessä mahdollistavat laitteen asennon määrittämisen.

Paikannusjärjestelmät jaetaan perinteisesti kahteen eri ryhmään, merkkipaikannukseen ja merkittömään paikannukseen. Merkkipohjainen paikannus on vanhempi ja yksinkertaisempi menetelmä ja sopii ominaisuuksiensa perusteella lähinnä sisäkäyttöön. Merkitön paikannus on monimutkaisempi menetelmä ja vaatii yleensä useiden eri paikannusmenetelmien samanaikaista käyttöä toimiakseen kunnolla.

#### 4.2.1 Merkkipaikannus

Merkkipaikannuksessa (kuva 27, ks. seur. s.) ympäristöön lisätään helposti havaittavia ennalta määriteltyjä merkkejä, jotka tietokonenäkö pystyy havaitsemaan. Merkki (*marker*) on sellainen tunnus tai kuva, jonka tietokone pystyy tunnistamaan videokuvasta käyttäen hyväksi kuvankäsittelyä, kuviontunnistusta ja tietokonenäköä. Kun merkki on tunnistettu, se määrittää sen jälkeen kameran oikean mittakaavan ja asennon. Merkinjäljitysprosessi sisältää yleensä seuraavat osiot:

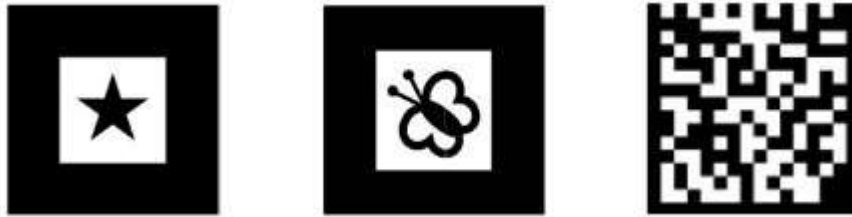
- kuvan ottaminen
- esiprosessointi
- potentiaalisten merkkien löytäminen ja selvien ”ei-merkkien” hylkääminen
- merkkien tunnistaminen ja dekodaus
- merkin asennon laskeminen.

Aluksi järjestelmä siis ottaa kuvan ympäristöstä ja sen jälkeen kuva esiprosessoidaan poistamalla siitä mm. säröt ja vääristymät. Tämän jälkeen järjestelmä etsii kuvasta reunoja ja kulmia. Selvät- ja epäselvät merkit hyväksytään tai hylätään, sopivat merkit tunnistetaan ja datamerkit dekodataan. Lopuksi järjestelmä laskee merkin arvioidun asennon ja sen jälkeen iteroimalla tarkkan asennon, minkä jälkeen virtuaalinen objekti voidaan renderöidä paikalleen. [41.]



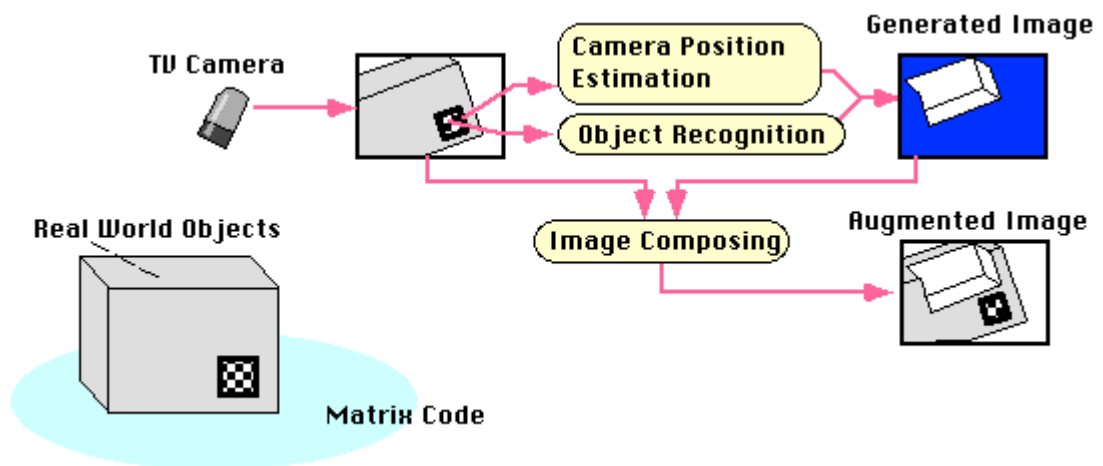
Kuva 27. Merkkipaikannus [42].

Hyvä merkki on helposti ja luotettavasti tunnistettava kaikissa olosuhteissa. Erot kirkkaudessa ovat helpommin havaittavissa kuin erot väreissä. Jotta järjestelmä pystyisi laskemaan kameran asennon havaitun merkin perusteella, tarvitsee se vähintään neljä tunnistettua pistettä. Tämän takia monet merkkijärjestelmät käyttävät mustavalkoisia ja neliönmuotoisia merkkejä. Tyypilliset merkit (kuva 28, ks. seur. s.), joita käytetään ovat yleensä mallinmerkkejä (*template markers*) tai 2D-viivakoodimerkkejä, jotka voivat olla myös ympyrän muotoisia. Joissakin sovelluksissa vaaditaan huomaamattomia merkkejä, joten on mahdollista tehdä niistä joko niin pieniä, ettei ihmissilmä niitä erota, käyttää infrapunavaloa, tai sulauttaa ne ympäristöön niin, ettei niihin kiinnitä huomiota. [41.]



Kuva 28. Erilaisia merkkejä [41, s. 46].

Kuvassa 29 oleva Matriisi-metodi, mikä tunnetaan myös nimellä *CyberCode*, on eräs 2D-viivakoodimerkkeihin perustuva seurantatekniikka. Se on suunniteltu niin, että heikommatkin kamerat perusmobiililaitteissa pystyvät sitä käyttämään ja CyberCode-merkki on suunniteltu luettavaksi monista eri kulumista, mikä mahdollistaa sen sijainnin ja suunnan määrittämisen kolmiulotteisesti. Näiden ominaisuuksien takia se sopii hyvin AR-sovelluksiin.



Kuva 29. Matriisi-metodi [43].

#### 4.2.2 Merkitön paikannus

Merkittömässä paikannuksessa ei käytetä mitään ylimääräisiä merkkejä, vaan ympäristössä jo alunperin olevia piirteitä, kuten reunoja, nurkkia ja rakenteita. Järjestelmä perustuu joko esiinpistävien piirteiden havaitsemiseen kuvista tai ennalta määriteltujen 3D-mallien (kuva 30, ks. seur. s.) vastaavuuksien havaitsemiseen kuvista. Kuva, sijainti, katselusuunta yms. saadaan käytettävän laitteen ominaisuuksista (kamera, GPS, gyroskooppi jne.).



Kuva 30. Merkitön paikannus [42].

Ongelma merkittömässä paikannuksessa on ympäristön objektien epäsäännölliset muodot ja rakenteet. Varsinkin syvyyskoordinaatin laskeminen on ongelmallista kameran stereonäön takia. Jos paikannusympäristö on sen sijaan sisällä tai kaupungissa, on käytössä yleensä useita suorakulmioita, yhdensuuntaisia linjoja ja tasaisia pintoja, joita voidaan käyttää merkkien korvikkeena. Huonona puolena on myös se, että paikannusta ei voi käyttää silloin, jos taustakuviointi on toistuva tai yhtenäinen, kuten tiiliseinä tai yksivärinen seinä. [44; 45.]

### 4.3 Vuorovaikutus

Vuorovaikutus käyttäjän ja tietokoneen välillä AR-sovelluksissa voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla. Kosketusnäytöt älypuhelimissa ja tablettitietokoneissa ovat vähentäneet perinteisen hiiren ja näppäimistön käyttöä, varsinkin kun useimmat AR-sovellukset on suunniteltu käytettäväksi muualla kuin pöydän ääressä. Osoitinkynät, hansikkaat ja muut vaatekappaleet ovat varteenotettavia vaihtoehtoja tulevaisuuden käyttöliittymissä. Myös puheen- ja liikkeen tunnistusjärjestelmät ovat jatkuvan tutkimuksen alaisena AR-sovellusten vuorovaikutuksen lisäämisessä.

Sivuilla 27 - 28 kerrottiin SixthSense-järjestelmästä, missä seurantamerkit oli kiinnitetty käyttäjän sormiin. Toinen vastaavanlainen järjestelmä on Etelä-Australian yliopistossa kehitetty Tinmith-järjestelmä (kuva 31), missä käyttäjä pitää käsineitä, joihin on liitetty seurantamerkit sekä sormien painallukset tunnistava laitteisto [46]. Tämä mahdollistaa virtuaalisten objektien hallinnoimisen pelkillä käsien liikkeillä.



Kuva 31. Tinmith-järjestelmä [46].

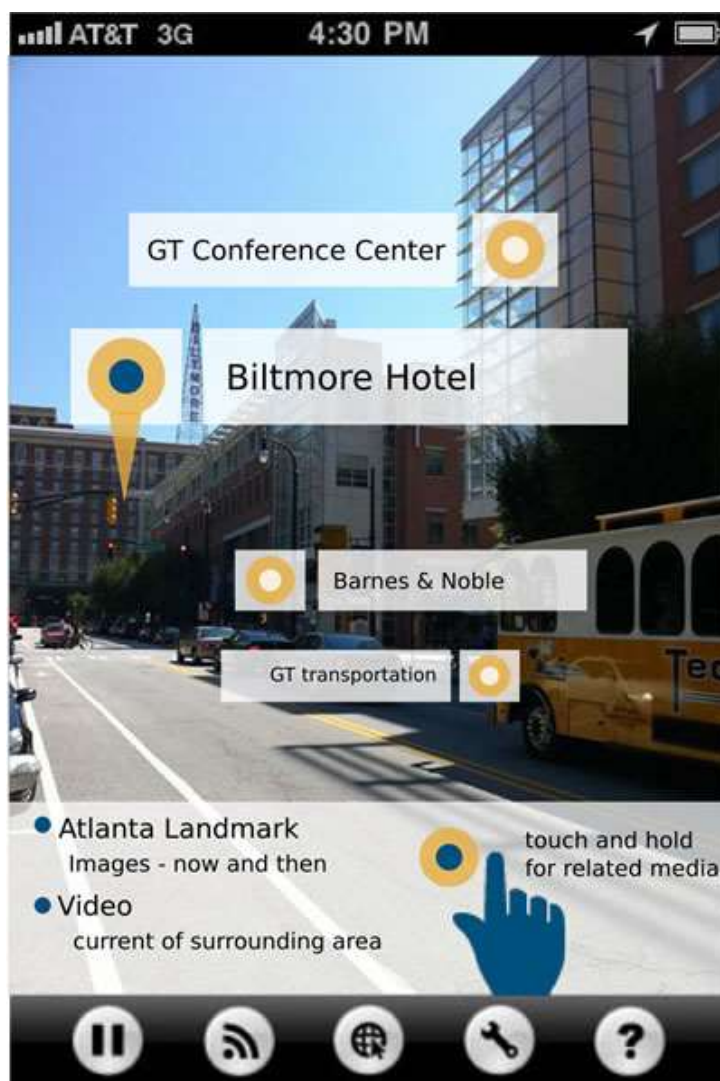
#### 4.4 Tietokone ja ohjelmointi

Nyky aikaisten tehokkaiden tietokoneiden ansiosta AR-sovellusten luominen ei ole enää tehosta kiinni, edes mobiililaitteissa. Muutenkin AR-sovellukset vaativat tietokoneelta vähemmän suorituskykyä kuin esimerkiksi täysin virtuaaliset sovellukset, koska augmentoidussa todellisuudessa vain osa ympäristöstä on rakennettu tietokoneavusteisesti. Ohjelmistopuolella markkinoilla on useita vapaan lähdekoodin ohjelmakirjastoja, joilla käyttäjä voi luoda omia AR-sovelluksia.

Ensimmäinen AR-sovelluksille kehitetty ohjelmakirjasto oli *ARToolKit* ja se on edelleenkin ehkä tunnetuin ja käytetyin työkalu AR-sovellusten luomisessa. Merkkipaikannusta tukevalla *ARToolKitilla* on myös versiot esim. *Flashille* ja *Silverlightille* (*FLARToolKit* ja *SLARToolKit*). [41.]

VTT:n kehittämä ohjelmakirjasto, *ALVAR*, tukee monia eri alustoja PC- ja mobiiliympäristöissä sekä myös merkitöntä paikannusta, toisin kuin *ARToolKit*. *ALVAR* toimii Windows- ja Linux-käyttöjärjestelmissä sekä eri mobiililaitteissa ja käyttää kolmannen osapuolen kirjastoista ainoastaan *OpenCV* (*Open Source Computer Vision Library*) –ohjelmakirjastoa tietokonenäön luomisessa. [47.]

*Argon* on AR-selain iPhoneille ja iPadille, mikä käyttää KML:ää ja HTML/JavaScript/CSS -ohjelmointikielien sekoitusta. AR-sovellusten ohjelmoimisessa mikä tahansa internet-sisältö voidaan muuntaa AR-sisällöksi. [48.] Kuvassa 32 näkyy kuvakaappaus *Argonilla* tehdystä VTG (*Virtual Tour Guide*) -sovelluksesta iPhoneille.



Kuva 32. VTG-sovellus [49].



## 5 Augmentoidun todellisuuden lääketieteelliset sovellukset

Lääketieteessä augmentoitua todellisuutta voidaan käyttää leikkauksissa, harjoittelun apuvälineenä, diagnoosien tekemisessä ja terveysopetuksessa. Myös erilaisissa terapioissa ja potilaiden kuntouttamisessa ovat AR-sovellukset varteenotettavia vaihtoehtoja. Nykyaikaiset älypuhelimet ja tablettitietokoneet ovat myös mahdollistaneet sen, että tavalliset kuluttajat voivat ladata itselleen erilaisia lääketieteen AR-sovelluksia, joilla he voivat valvoa ja saada tietoa terveydestään.

### 5.1 Leikkaukset

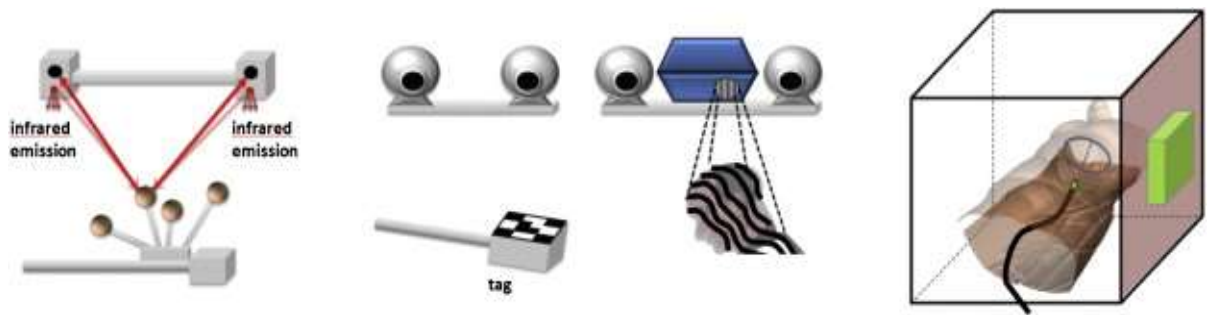
Huolimatta augmentoidun todellisuuden nopeasta kasvusta viime vuosien aikana, vaatii se edelleen suuria kehitysaskelia lyödäkseen kunnolla läpi leikkausten saralla. Kuitenkin jo kehitettyjen AR-sovellusten käyttäminen leikkauksissa on ollut lupaavaa ja onnistunutta. Toistaiseksi AR-sovelluksia on käytetty lähinnä erilaisissa täyhystyksissä, neurokirurgiassa ja koepalojen otossa. Peruseriaate leikkauksissa on, että ensiksi luodaan erilaisilla kuvantamismenetelmillä, kuten magneettikuvaus, tietokonetomografia tai ultraäänikuvaus, näkymä ihmisen "sisään" (kuva 33, ks. seur. s.) ja tästä näkymästä rakennetaan kolmiulotteinen malli, mikä heijastetaan kirurgin näyttölaitteeseen. Tämä helpottaa esimerkiksi tähystysleikkauksia, koska kirurgi näkee potilaan elinten paikat samalla, kun hän suorittaa tähystystä. Myös elintoiminnot, kuten verenpaine, pulssi ja lämpötila, voidaan syöttää suoraan kirurgin näytölle, jotta hänen ei tarvitse siirtää katsettaan pois leikkauksesta. [50; 51.]



Kuva 33. Tietokoneella luotu malli potilaan nilkasta [52].

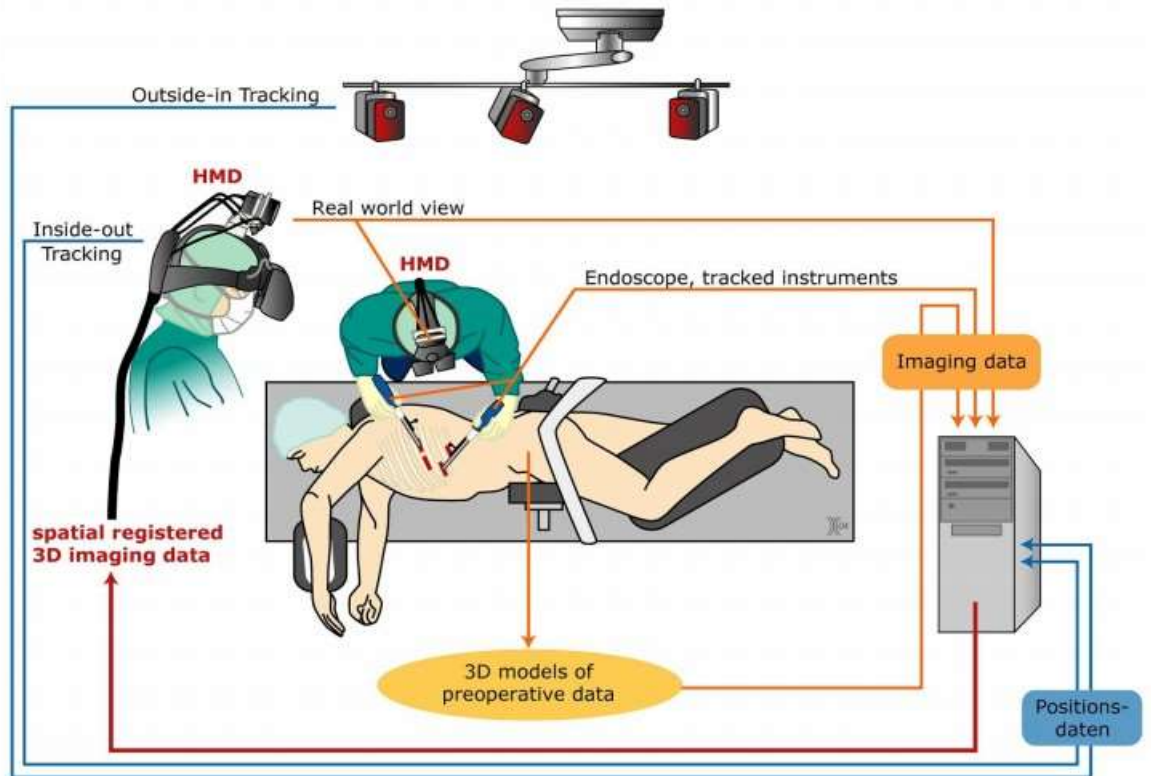
#### 5.1.1 Leikkaussaliympäristö

Päässä pidettävä näyttö on yleisin käytössä olevista näyttötekniikoista leikkaussaliympäristössä. Kaksi värikameraa on integroitu samaan näyttöön hieman erilleen toisistaan niin, että yhdistämällä ne saadaan kolmiulotteinen kuva. Tähän kuvaan heijastetaan ennakkoon tallennetut kuvat, jotka on otettu esimerkiksi magneettikuvauksella tai tietokonetomografialla. Jotta nämä kuvat saadaan synkronoitua toistensa suhteen oikein, pitää tietokoneohjelman kaiken aikaa tietää, missä kirurgi ja potilas ovat, minne kirurgi katsoo ja miten hän liikkuu. Tämän takia tarvitaan tarkka paikannusjärjestelmä, mikä toimii millimetrin kymmenysten tarkkuudella. Paikannusjärjestelmät, joita leikkaussaliympäristössä yleensä käytetään, ovat seuraavan sivun kuvan 34 vasemmalta oikealle lueteltuna infrapunapaikannus, merkkipaikannus, valo-ohjattu optinen (*Structure Light Optical*) paikannus ja elektromagneettinen paikannus. [52; 53.]



Kuva 34. Paikannusjärjestelmiä leikkaussaliympäristössä [53].

Tarkimpaan paikannustarkkuuteen päästään yhdistämällä useampi toisiinsa synkronoitu paikannusmenetelmä, kuten seuraavan sivun kuvassa 35. Kirurgin päässä oleva näyttö sisältää ylimääräisen infrapunakameran, mikä määrittää kirurgin pään asennon paikannusmerkkien perusteella. Toisen paikannusjärjestelmän kamerat on sijoitettu sisäkaton telineeseen. Paikannusmerkit on kiinnitetty potilaaseen ja leikkausinstrumentteihin. Molemmat paikannusjärjestelmät laskevat samat koordinaatit yhteisten merkkien perusteella, mikä mahdollistaa myös siirron eri paikannusjärjestelmien välillä. [54.]



Kuva 35. Kaksinkertainen paikannusjärjestelmä [54].

Leikkauksissa on myös mahdollista käyttää AR-todellisuudessa ns. virtuaalista peiliä (kuva 36, ks. seur. s.), jolla on mahdollisuus nähdä virtuaalisen kehon tai elimen toiselle puolelle. Tästä on etua operaatioissa, joissa kaikista suurin tarkkuus on oleellista. Esimerkiksi ruuvien asettamisessa selkänikamaan, kirurgi näkee nikaman taakse ja huomaa käytetystä kulmasta riippuen, mistä poran terä tulee ulos. Optimaalinen porauskulma on määritetty ennen operaatiota ja se heijastetaan päässä pidettävään näyttöön. [52; 54.]



Kuva 36. Virtuaalinen peili [52].

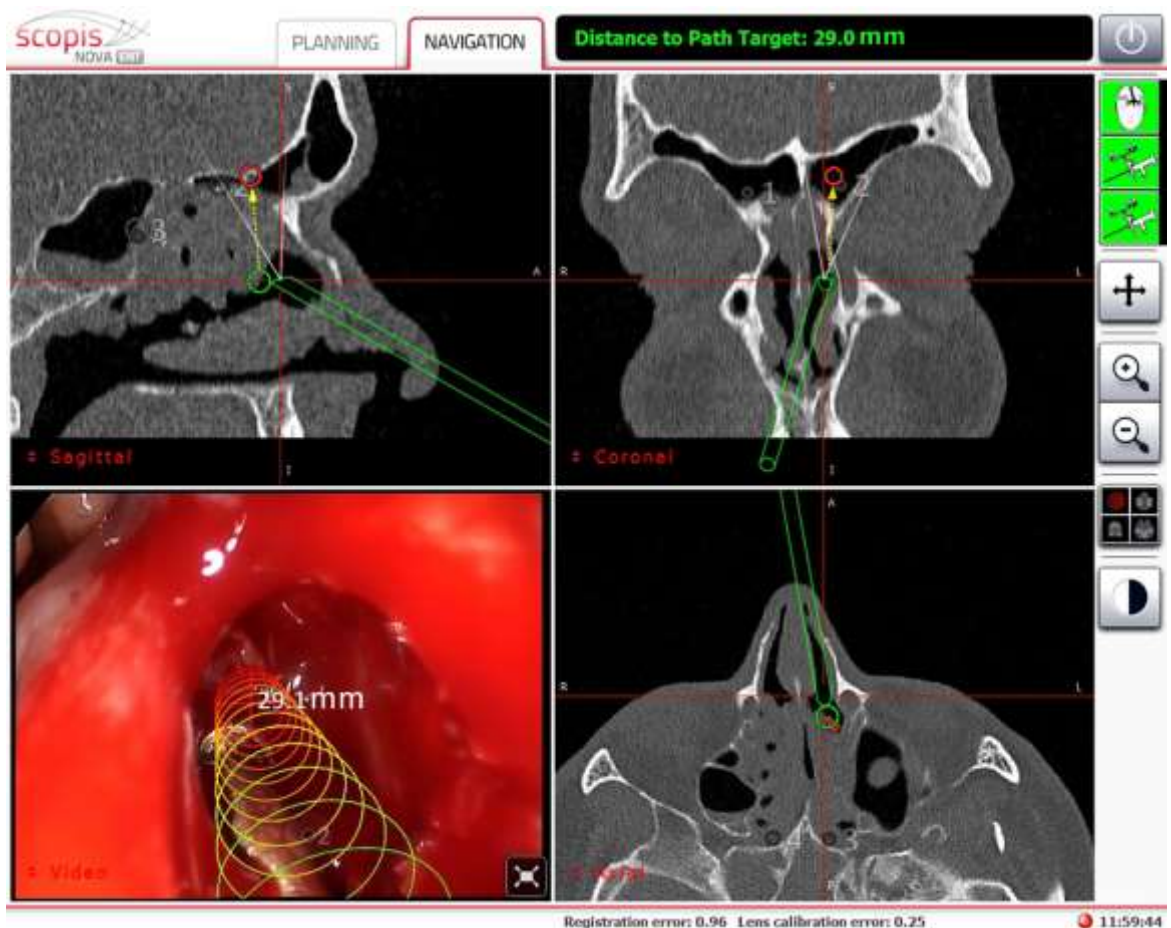
Leikkaussaliympäristössä on yhä etenemissä määrin alettu käyttämään järjestelmien ohjaamiseen erilaisia liikkeentunnistus- ja puheentunnistusjärjestelmiä ja nämä tulevat oletettavasti lisääntymään tulevaisuudessa. Esimerkiksi Xboxin Kinect-ohjain mahdollistaa järjestelmien ohjaamisen käyttäjän käsien liikkeillä. Tällöin kirurgin ei tarvitse poistua steriililtä alueelta esimerkiksi näppäimistön tai hiiren luokse ohjaamaan eri järjestelmiä, jolloin hänen olisi puhdistettava kädet yhä uudelleen ennen palaamistaan steriilille alueelle. [58.]

### 5.1.2 Tähystysleikkaukset

Viime vuosina perinteisiä avoleikkauksia on pyritty korvaamaan tähystysleikkauksilla, koska niillä saavutetaan pienempi leikkausvuoto, vähäisempi kipu leikkauksen jälkeen ja nopeampi paluu arkirutiineihin ja työelämään. *Scopis GmbH* on yritys, joka on suunnitellut augmentoitua todellisuutta hyväksikäyttävän navigointijärjestelmän tähystykseen. Lähinnä korva-, nenä- ja kurkkutaudeissa käytetty järjestelmä sisältää perinteisen tähystimen, johon on integroitu seurantajärjestelmä, mikä paikallistaa

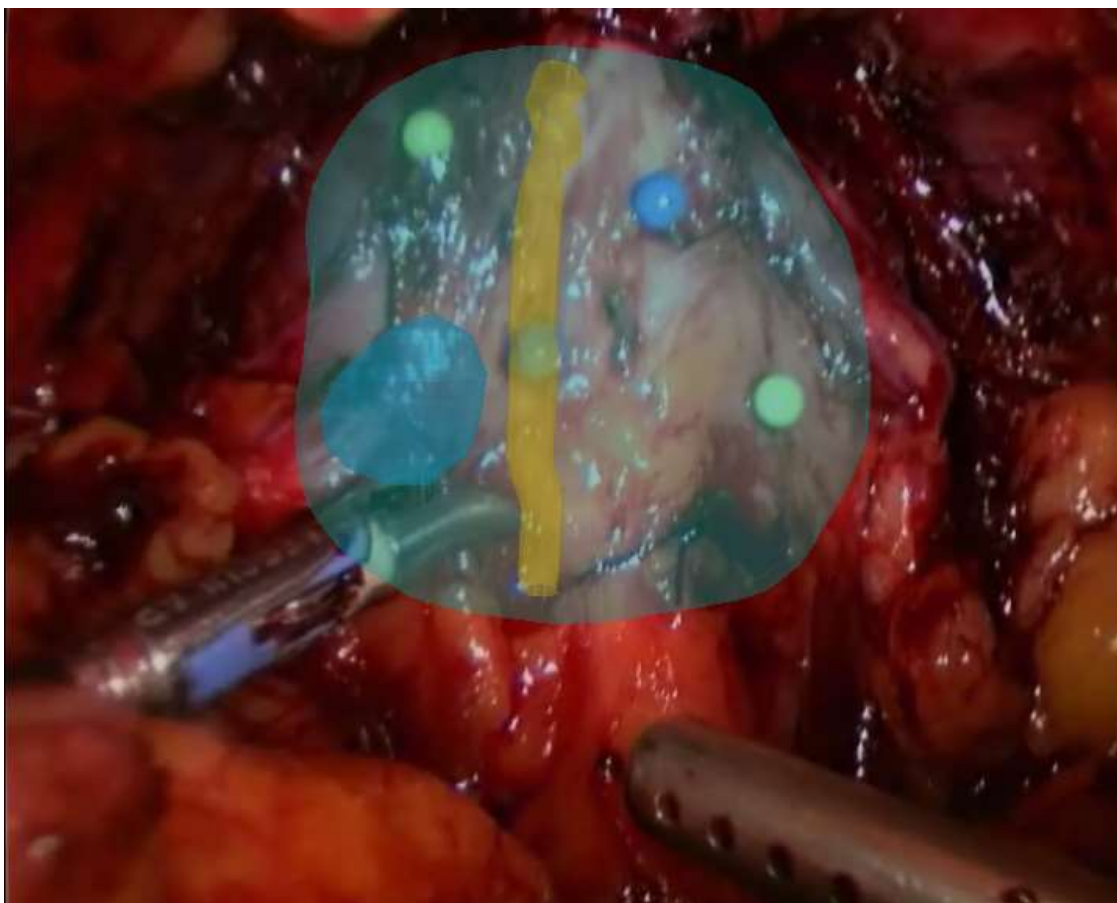
tarkasti ja varmasti tähtystimen, potilaan ja mahdolliset muut instrumentit operointialueella.

Virtuaaliset suunnittelumerkit korvaavat puuttuvat anatomiset maamerkit. Nämä paikat voidaan määrittää suunnitteluvaiheessa, jolloin kirurgin on helpompi kohdentaa operoitava paikka, kuten kasvain tai sisääntulopaikat kammioihin ja onkaloihin. Kirurgin on myös helpompi navigoida riskialttiimpien rakenteiden, esimerkiksi valtimoiden ja hermojen lähellä. Suunnittelumerkkien ympärille voidaan myös määrittellä hälytysalue, jolloin järjestelmä varoittaa visuaalisesti ja äänimerkillä, mikäli ollaan liian lähellä määriteltyä aluetta. Näiden virtuaalisten maamerkkien lisäksi järjestelmä voi heijastaa virtuaalisen ohjaus-apuvälineen tähtystyskuvaan, jolloin tähtystintä voi liikuttaa suunniteltua rataa pitkin kohti operointipaikkaa. Kuvassa 37 vasemmalla alhaalla näkyy rautalankamallinen sylinteri, mikä näyttää tähtystimen oikean kulkuradan ja etäisyyden kohdepaikkaan. [55; 56.]



Kuva 37. Apuväline tähtystykseen [55].

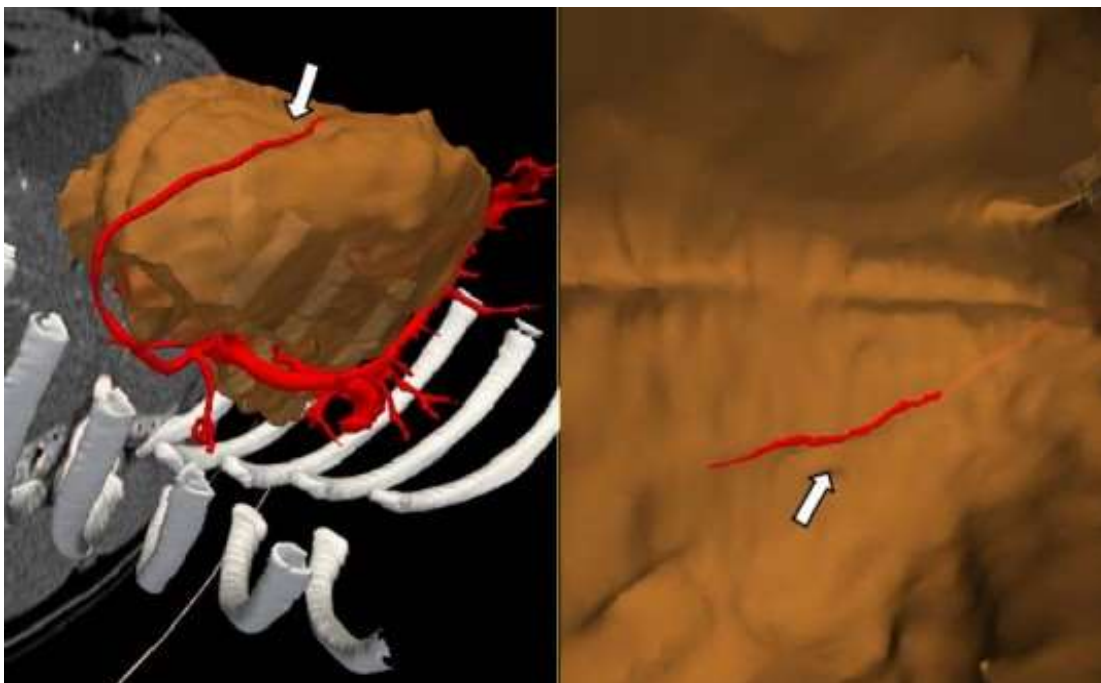
Vatsaontelon tähytyksessä haasteena kirurgilla on pienellä lantion alueella rajoitettu näkökenttä ja vähentynyt tuntoaistiin perustuva palaute. Augmentoidun todellisuuden avulla kirurgille voidaan antaa hyödyllistä tietoa oleellisista rakenteista toimenpidealueen läheisyydessä. Piilossa olevat anatomiset rakenteet, kuten virtsarakko, peräsuoli tai kudokset, jossa on syöpäsoluja, voidaan heijastaa tähytyskuvaan. Kuvassa 38 näkyy kuvakaappaus eturauhasen poistoleikkauksesta, jossa on hyödynnetty AR-teknologiaa. Vihreällä värillä näkyy eturauhasen rajat, keltaisella virtsaputki eturauhasen sisällä ja sinisellä kasvaimen alue. Yksilöllinen 3D-malli potilaan lantion alueelta on luotu peräsuoleen asetetulla 3D-ultraäänianturilla. Koska eturauhanen on pehmeää kudosta, on sillä taipumus vaihtaa paikkaa leikkauksen aikana. Reaaliaikaisen seurannan ansiosta AR-järjestelmä kykenee havaitsemaan eturauhasen asennon vaihtumisen välittömästi ja korjaamaan uuden anatomisen paikan näytölle. [57.]



Kuva 38. Eturauhasen poistoleikkaus [57].

Perinteisiä tähystysleikkauksiakin potilasystävällisempi toimenpide on ihmisen luonnollisia ruumiinaukkoja hyödyntävä tähystys. Minkäänlaisia viiltoja ei siis tarvitse tehdä potilaan kehoon ja toipuminen on nopeaa, koska mitään arpia ei tule. Tämä asettaa kuitenkin merkittäviä haasteita leikkausprosessille ja vaatii uusia teknisiä lähestymistapoja ollakseen tehokas ja turvallinen. Esimerkiksi suun kautta tehtävässä vatsalaukun tähystyksessä käyttäjä on yli puolen metrin päässä toimenpidekohdasta ja on tärkeää, ettei tähystin puhkaise vatsalaukun takapinnalla tai läheisyydessä sijaitsevia valtimoita. Augmentoitu todellisuus voi edesauttaa tämänkaltaisissa operaatioissa esimerkiksi tähystimen ohjaamisessa, tähystimen oikean asennon saavuttamisessa ja näyttämällä kaukana sijaitsevat anatomiset rakenteet sekä etäisyydet toisiin instrumentteihin. [59.]

Kuvassa 39 näkyy tietokonetomografiakuvista renderöitynä porsaan verisuoniston rakennetta vatsalaukun seinämässä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on tähystimen näkymä, missä ruokatorvesta katsotaan alaspäin vatsalaukun etuseinämää ja verisuoniston rakenne on heijastettu vatsalaukun seinämään. Oikeanpuoleisessa kuvassa on vatsalaukun ulkopuolinen näkymä oikeasta näytteenotto paikasta ja valkoinen nuoli näyttää vatsalaukun ja pohjukaissuolen yhdistävän valtimon. [59.]



Kuva 39. Porsaan vatsalaukun verenkiertojärjestelmää [59].



### 5.1.3 Koepalat

Augmentoitu todellisuus sopii ominaisuuksiensa ansiosta erityisen hyvin koepalojen ottamisen kaltaisiin toimenpiteisiin ja sillä on saatu hyviä tuloksia mallinukeilla suoritetuissa kokeissa. Pohjois-Carolinan yliopistossa järjestetyssä kokeessa vertailtiin perinteistä ultraääniohjattua koepalan ottoa kuvaputkinäytön kanssa ja augmentoitua todellisuutta hyväksikäyttävää ohjausjärjestelmää. Kokenut radiologi otti neulalla koepaloja mallinukkien rinnoista yhteensä kaksikymmentäviisi kappaletta molemmilla menetelmillä ja toinen kokenut radiologi arvioi tallennettujen koepalapaikkojen etäisyyden optimaalisesta paikasta. Tulokseksi saatiin, että keskiarvon poikkeama halutusta kohteesta oli perinteisellä menetelmällä 2,48 mm ja AR-järjestelmällä vain 1,62 mm. [60.]

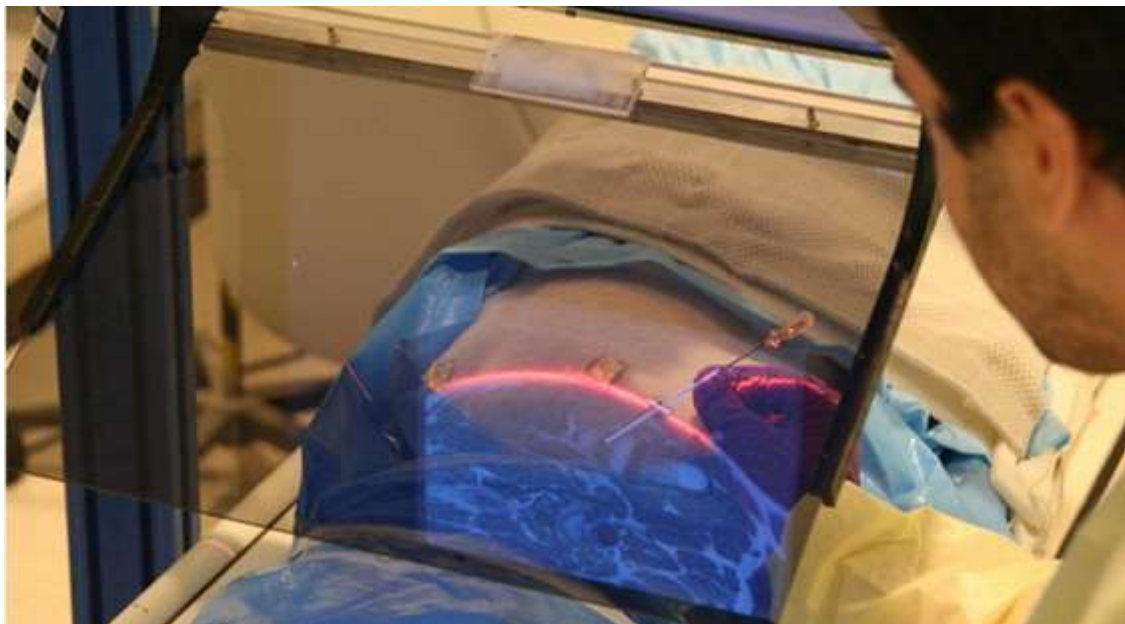
Kokeen AR-järjestelmässä käytettiin päässä pidettävää näyttöä ja kohdentamisessa käytettiin optoelektronista paikannusjärjestelmää. Optoelektroninen paikannusjärjestelmä sisälsi infrapunaLED:jä, mitkä oli kiinnitetty päässä pidettävään näyttöön, ultraäänilaitteen mittapähän ja koepalaneulaan. Seuraavan sivun kuvassa 40 on päässä pidettävän näytön näkymä koepalan ottamisen aikana. Vasemmassa kädessä näkyy ultraäänilaitteen mittapää ja oikeassa kädessä koepalaneula. Neulalla tähdätään ultraäänikuvan viipaleen muotoisessa alueessa näkyvään kirkaaseen kohtaan. Neulan ulkonema ultraäänikuvan viipaleen pinnasta näkyy vihreinä viivoina ja keltaiset merkit osoittavat oikean radan kohteeseen. [60.]



Kuva 40. Koepalan ottaminen [60].

Toinen vastaavanlainen tutkimus tehtiin Johns Hopkinsin yliopistossa ja sairaalassa, missä tutkittiin neulan laittamista niveliin sidekudos- ja rustovauriotilanteissa. Testissä käytettiin apuna seuraavan sivun kuvan 41 mukaista potilaan yläpuolelle asetettavaa puoliksi läpinäkyvää peiliä, mihin syötettiin tarvittava informaatio neulan ohjaamiseen. Ensiksi tehtiin kaksitoista erillistä neulanlaittoa eläinten ruumiisiin olkapään nivelalueelle ja kymmenen neulanlaittoa ihmisruumiiden lantioiden nivelalueelle. Magneettikuvat testien tuloksista tutki kaksi riippumatonta kokenutta radiologia, jotka arvioivat oliko neulan kärki saatu halutulle nivelalueelle. [61.]

Tulokseksi saatiin, että neulat oli saatu onnistuneesti nivelalueelle jokaisessa tapauksessa. Tämän jälkeen tehtiin vielä kolmenkymmenen neulanlaiton testi, missä verrattiin puoliksi läpinäkyvää peiliä käyttävää tekniikkaa kolmeen muuhun perinteiseen neulanlaittotekniikkaan (laser, astelevy ja vapaa käsi) ja todettiin, että AR-avusteisella tekniikalla keskiarvo virheelle neulan ja kohteen välillä oli alle 2 mm, kun perinteisillä menetelmillä se oli 2,6 mm – 7,4 mm (vapaalla kädellä suurin virhe). [61.]



Kuva 41. Puoliksi läpinäkyvä peili [62].

#### 5.1.4 Neurokirurgia

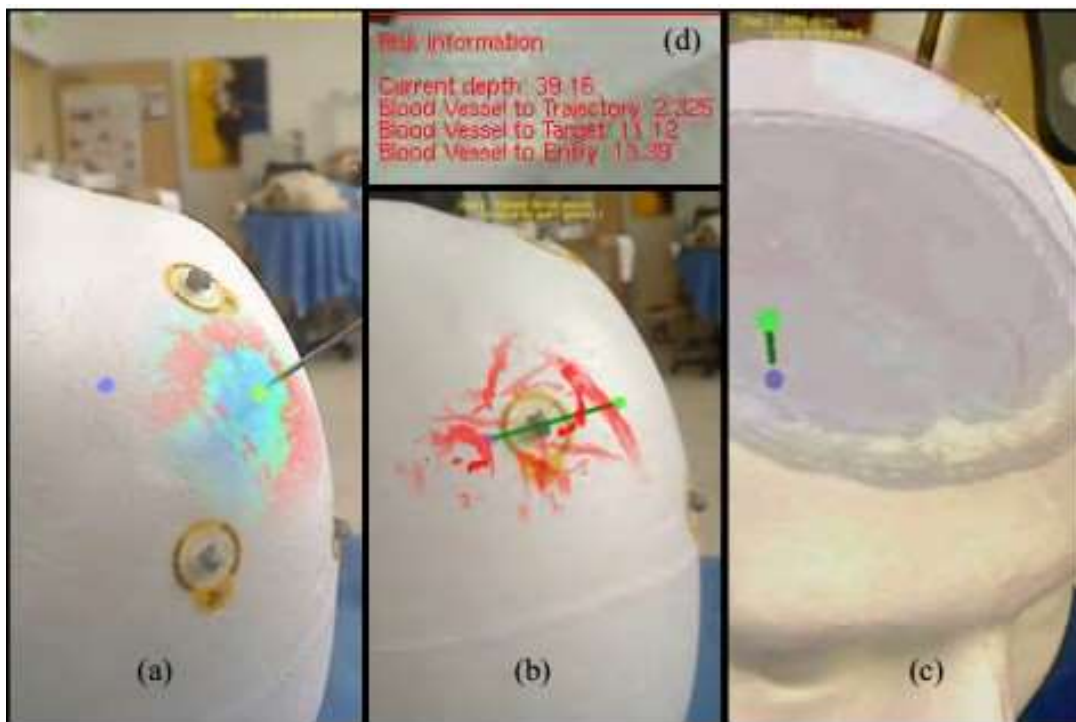
Neurokirurgia vaatii tarkkaa kasvainten ja anatomisten rakenteiden kohdentamista tietokonetomografia- ja magneettikuvausten perusteella. Leikkaustyökalujen virheellinen sijainti suunnitellulta reitiltä voi johtaa väärään kudospäätteeseen tai vakaviin neurologisiin komplikaatioihin. Sen takia on tärkeää valita kulkureitti, mikä on turvallisen etäisyyden päässä kriittisistä rakenteista, kuten verisuonistosta tai motorisista ja toiminnallisista alueista. Perinteisesti suunnittelu on tehty manuaalisesti kaksiulotteisten magneetti- ja tietokonetomografiakuvien perusteella, jolloin kirurgin on täytynyt uudelleenrakentaa potilaan aivojen kolmiulotteinen malli mielessään. [63.]

Münchenin ja Jerusalemin yliopistoissa on kehitetty suunnittelumenetelmä vähentämään leikkaustyökalujen käytön riskejä neurokirurgisissa leikkauksissa. Uudenlainen menetelmä yhdistää kehittyneen kulkureittisuunnitelman ja AR-järjestelmän. Se määrittää riskit leikkaustyökalujen useiden mahdollisten eri kulkureittien välillä ja esittää reitit augmentoidun todellisuuden avulla riskiarvioiden mukaan, mikä auttaa neurokirurgia valitsemaan turvallisimman reitin. [63.]

Järjestelmä sisältää kaksi synkronoitua paikannusjärjestelmää, päässä pidettävän näytön sekä mallipään, kehyksen ja työkalun, joihin on kiinnitetty kohdistusmerkit.

Ensiksi neurokirurgi valitsee kohteen sijainnin magneetti- ja tietokonetomografiakuvien perusteella, joiden avulla luodaan riskitiedosto. Tämä tiedosto sisältää mallit kohteen verisuonistosta ja onkaloista sekä riskikartan. Riskikarttaan on värikoodattu riskialttiita ja turvalliset sisäänmenopisteet, mitkä heijastetaan päämallin pinnalle. Sininen ja vihreä väri osoittavat turvallisia sisäänmenopaikkoja, keltainen ja punainen väri riskialttiita paikkoja (kuva 42a). [63.]

Kirurgi valitsee turvallisimman sisäänmenopisteen siniseltä tai vihreältä alueelta ja tämän jälkeen näyttöön heijastetaan kolmiulotteinen kuva, mikä sisältää mm. verisuoniston ja onkalot kulkureitin läheisyydessä (kuva 42b). Kulkureittien riskiarviot lasketaan tietyllä kaavalla, missä verisuonet ja onkalot saavat tietyt vakiot. Kirurgi voi myös tarkastella valittua kulkureittiä suhteessa alkuperäisiin magneettikuviin (kuva 42c). Magneettikuvien heijastaminen näyttöön antaa tarvittavaa lisätietoa riskeistä, mikä on oleellista oikean reitin valitsemisessa. Lisäksi leikkaustyökalun kärjen sijainti ja etäisyys lähellä oleviin rakenteisiin ja kohteeseen heijastetaan näyttöön (kuva 42d). [63.]



Kuva 42. Kulkureitin suunnittelu AR-todellisuuden avulla [63].

Kaksi kokenutta neurokirurgia testasivat järjestelmää ja totesivat sillä olevan monia merkittäviä etuja, erityisesti monimutkaisissa tapauksissa, joissa kohde sijaitsee syvällä

aivojen sisällä tai lähellä verisuonistoa. Kirurgit totesivat järjestelmän sopivan hyvin neurokirurgisten leikkausten suunnitteluun tai opiskelijoiden kouluttamiseen. [63.]

## 5.2 Harjoittelun apuväline

Leikkausten ja erilaisten toimenpiteiden harjoittelu on se lääketieteen ala, mihin AR-sovellukset soveltuvat toistaiseksi parhaiten, koska sovellusten turvallisuus, luotettavuus ja hinta eivät ole vielä sillä tasolla, että niitä olisi kannattavaa käyttää oikeissa leikkauksissa ensiarvoisesti ja järjestelmällisesti. Seuraavassa luvussa esitellään muutamia erilaisia esimerkkejä eri lääketieteen aloilta, joissa AR-sovelluksia käytetään harjoittelussa. Kaikkia edellisissä luvuissa mainittuja leikkauksia ja toimenpiteitä on toki mahdollista myös harjoitella mallinukeilla, eläimillä tai ruumiilla, joten niitä ei käsitellä enää uudestaan.

### 5.2.1 Toimenpiteet

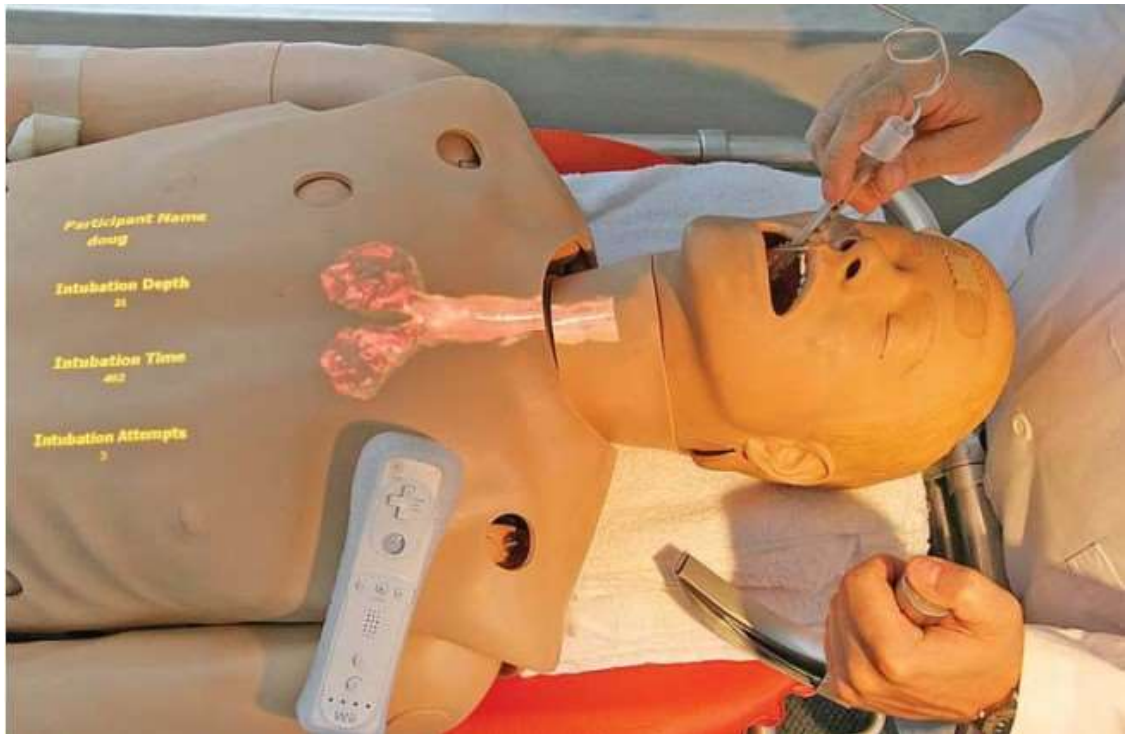
Perinteiset menetelmät hammaslääkärin leikkausten harjoittelussa perustuvat harjoitteluun muovihampailla tai oikeilla potilailla kokeneemman hammaslääkärin valvonnassa. Augmentoidun todellisuuden hyödyntäminen harjoittelussa mahdollistaa loputtomat toistokerrat ilman satsauksia ylimääräisiin välineisiin, eikä tämä harjoittelutapa myöskään vaaranna potilasturvallisuutta.

Useamman eri yliopiston ja tutkimuslaitoksen yhteistyönä on syntynyt AR-sovellus hammaslääketieteen opiskelijoille. Sovelluksen pohjana on aikaisemmin kehitetty virtuaalista todellisuutta hyödyntävä simulaattori, mikä mahdollistaa hampaan tutkimisen, poraamisen ja leikkaamisen. Tämä simulaattori muunnettiin AR-ympäristöön ottamalla käyttöön päässä pidettävä näyttö ja hyödyntämällä avoimen lähdekoodin AR-kirjastoja ohjelmoinnissa. Opiskelijat hallitsivat hammastyökalujen käytön paremmin AR-sovelluksessa verrattuna VR-sovellukseen, koska erillistä näyttöä mihin kohdistaa katse, ei enää tarvittu. Erona aikaisempiin sovelluksiin oli myös se, että sovellus mahdollisti hammaspeilin käytön. Seuraavan sivun kuvassa 43 näkyy miten toinen kohdistusmerkki on sijoitettu paikalle, missä hampaan halutaan olevan ja toinen hammaspeiliin, mikä mahdollistaa hampaan tarkastelun joka puolelta, aivan kuten oikeassakin tilanteessa. [64.]



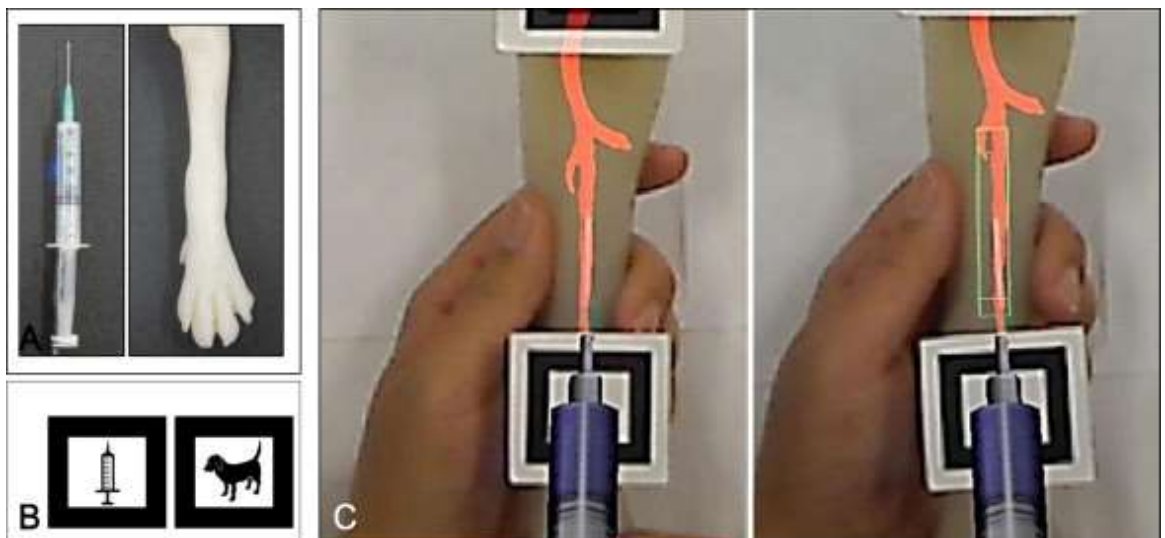
Kuva 43. AR-sovellus hammaslääketieteen opiskelijoille [64].

Monissa tapauksissa olisi hyödyllistä, jos harjoittelija näkisi mitä tapahtuu kehon sisällä samalla, kun hän liikuttaa tai käyttää työvälineitä kehon ulkopuolelta. Esimerkiksi erilaisten katetrointien harjoittelussa tästä olisi hyötyä. Pittsburghin yliopistossa on kehitetty järjestelmä intuboimisen harjoitteluun (kuva 44, ks. seur. s.). Järjestelmä koostuu mallinuden henkitorveen ja oikeanpuoleiseen keuhkoputkeen kiinnitetyistä seitsemästä Hall-anturista ja intubointiputkesta, minkä kärkeen on kiinnitetty poikittain magneettina toimiva neodyymi-levy. Harjoittelijan liikuttaessa putkea, anturit rekisteröivät sen paikan ja LabVIEW:llä kirjoitettu ohjelma valitsee oikean toistokohdan esitallennetusta digitaalisesta videosta. Mallinuden yläpuolelle kiinnitetty projektori heijastaa kuvan mallinuden pinnalle. Lisäksi yksi anturi on kiinnitetty ruokatorveen. Mikäli harjoittelija alkaa intuboimaan virheellisesti ruokatorvea, ilmoittaa järjestelmä siitä äänimerkillä. Järjestelmää ohjataan Nintendo Wiin ohjaimella. [65.]



Kuva 44. Intuboimisen harjoittelua [65].

Erialaisten ruiskeiden ja pistosten antamisen harjoittelu on mahdollista AR-sovellusten avulla. Kuvassa 45 on eläinlääketieteen opiskelijoille tarkoitettu sovellus. Kohdistusmerkit on kiinnitetty ruiskun ja silikonista valmistetun mallin pinnoille. Kuution mallinen vihreä ohjauslaatikko esittää oikeaa pistosaluetta. [66.]



Kuva 45. AR-sovellus pistosten simuloimiseen [66].

### 5.2.2 Ensiapu

Mobiililaitteet mahdollistavat ensiavun harjoittamisen sekä terveydenhoitohenkilöstön että tavallisten kuluttajien kohdalla. Käyttäjä voi ladata sovelluksen omaan älypuhelimeen ja valita halutun harjoittelusimulaation erilaisista lääketieteellisistä toimenpiteistä. Esimerkiksi perinteinen ensiapu, epileptinen kohtaus, pyörtyminen jne. Kun käyttäjä valitsee jonkin toimenpiteistä, sovellus näyttää mihin kohtaan kehoa kohdistusmerkit pitää asettaa ja tämän jälkeen harjoitussimulointi alkaa. Harjoitusohjelma esittää 3D-animaation ja näyttää tarkasti miten, milloin ja minne eri toimenpiteet pitää suorittaa. Kuvassa 46 on näkymä tämänkaltaisesta sovelluksesta. [67.]



Kuva 46. AR-sovellus ensiavun harjoittamiseen [67].



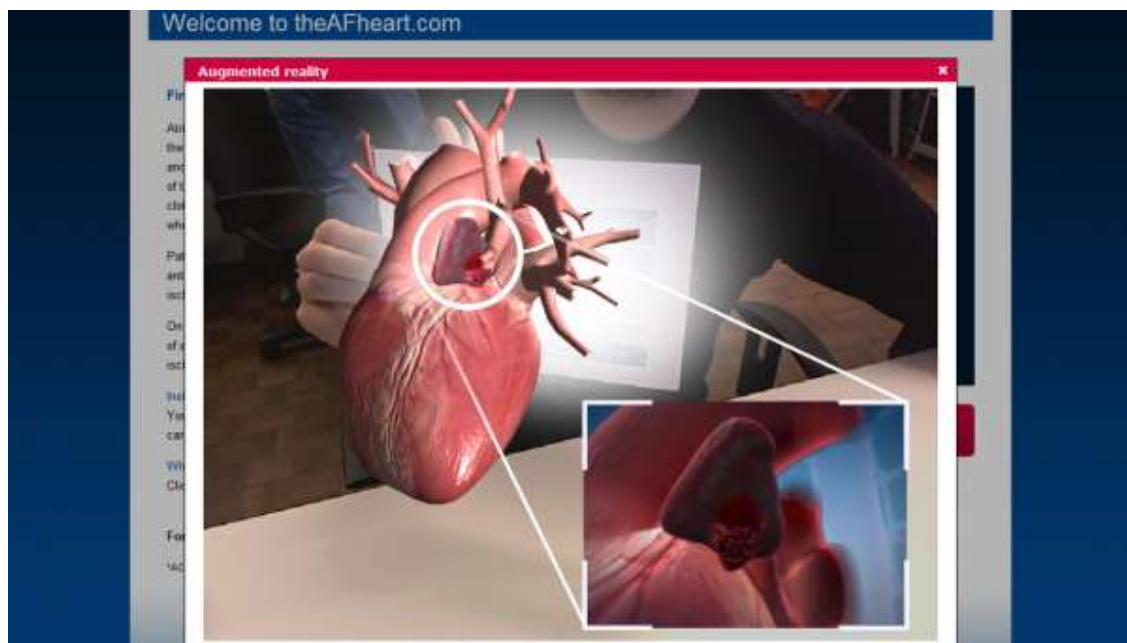
### 5.2.3 Lääketieteen opiskelu

Lääketieteen opiskelusta voidaan tehdä AR-sovellusten avulla mielenkiintoisempaa, havainnollisempaa ja vuorovaikutteista. Perinteiset kirjat saadaan elävimmiksi erilaisilla 3D-malleilla ja animaatioilla, kuten esimerkiksi kuvan 47 molekulaarinen malli. Projisoivat näytöt mahdollistavat sovellusten esittämisen useammalle henkilölle tai vaikka koko luokkahuoneelle samanaikaisesti.



Kuva 47. Molekulaarinen malli pulpahtaa kirjasta [43].

Erilaisia kehon sairauksia ja elinten epänormaaleja toimintoja voidaan esittää 3D-animaatioina lataamalla AR-sovellus ja printtaamalla kohdistusmerkki valmistajan sivuilta. Seuraavan sivun kuvassa 48 näkyy AR-sovellus sydämen eteisvärinän havainnollistamiseen.



Kuva 48. 3D-animaatio sydämen eteisvärinän havainnollistamiseen [68].

Tärkein ominaisuus AR-sovelluksissa, koskien lääketieteen opiskelua, on eittämättä vuorovaikutteisuus. AR-sovellukset, jotka mahdollistavat ihmisen ”sisään” näkemisen ja joissa käyttäjä itse voi toimia ”koekaniiniina”, kuten kuvassa 49, helpottavat varmasti opiskelijoiden anatomian opiskelua ja asioiden sisäistämistä perinteisiin kirjoihin verrattuna.



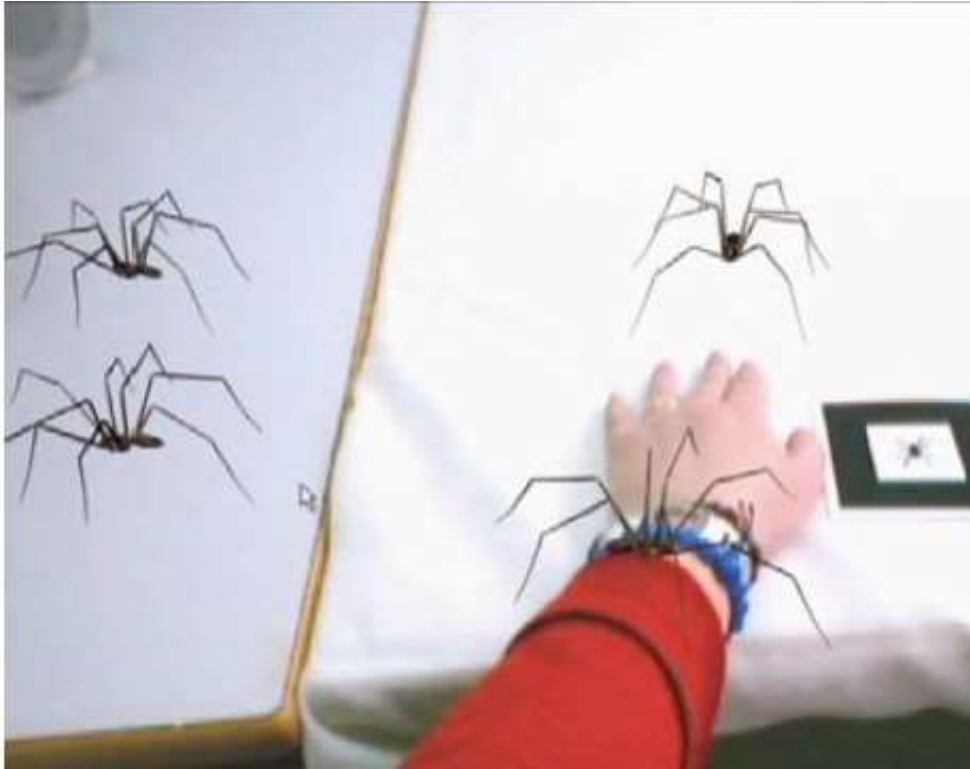
Kuva 49. Lääketieteen opiskelua AR-sovelluksen avulla [69].

## 5.3 Terapia ja kuntoutus

### 5.3.1 Terapia

Viime vuosina augmentoitua todellisuutta on alettu käyttämään erilaisissa terapioiden ja fobioiden hoidossa. Yhdysvalloissa augmentoitua todellisuutta on käytetty esimerkiksi Irakin sodasta palanneille sotilaille ja World Trade Centerin terrori-iskuista selvinneille henkilöille post-traumaattisen stressihäiriön hoitoon. Tämän taudin oireina voivat olla mm. paniikkihäiriöt, painajaiset ja ärtymys. Terapian tarkoituksena on viedä potilas takaisin autenttiseen ympäristöön, missä hän voi käydä turvallisesti trauman aiheuttamat tapahtumat läpi yhä uudelleen. Käsittelyä jatketaan niin kauan, kunnes potilaan oireet hellittävät. Perinteisessä terapiassa potilas käy keskustellen tapahtumat läpi terapeutin kanssa yhä uudelleen ja uudelleen, jolloin terapian kesto voi venyä pitkäksi. Augmentoidun todellisuuden avulla on mahdollisuus toistaa tapahtumat uudelleen realistisessa ympäristössä, minkä pitäisi tehostaa paranemisprosessia. [70.]

Muuan muassa korkeanpaikankammo, klaustrofobia sekä hämähäkki- ja hyönteisfobia, ovat fobian lajeja, joihin augmentoidulla todellisuudella on todettu olevan parantava vaikutus. Valencian yliopisto järjesti kokeen yhdeksälle pahoista hämähäkki- ja torakkafobioista kärsivälle henkilölle. Ensimmäisessä vaiheessa AR-ympäristöön tuotiin yksi hämähäkki tai torakka ja hyönteisten määrää lisättiin vähitellen. Seuraavassa vaiheessa potilaan käden läheisyyteen tuotiin hämähäkkejä (kuva 50, ks. seur. s.) tai torakoita. Kolmannessa vaiheessa hyönteinen oli piilotettu laatikon alle, minkä tarkoitus oli simuloida tilannetta, missä potilas etsii hämähäkkiä/torakkaa esimerkiksi kotona. Viimeisessä vaiheessa potilas alkoi tappamaan hyönteisiä. Tämän jälkeen AR-sessio lopetettiin ja potilas yritettiin saada lähestymään ja tappamaan oikea hämähäkki/torakka. Tulokseksi saatiin, että jokainen kokeeseen osallistunut henkilö pystyi AR-session jälkeen lähestymään ja tappamaan oikean hämähäkin tai torakan. [71.]



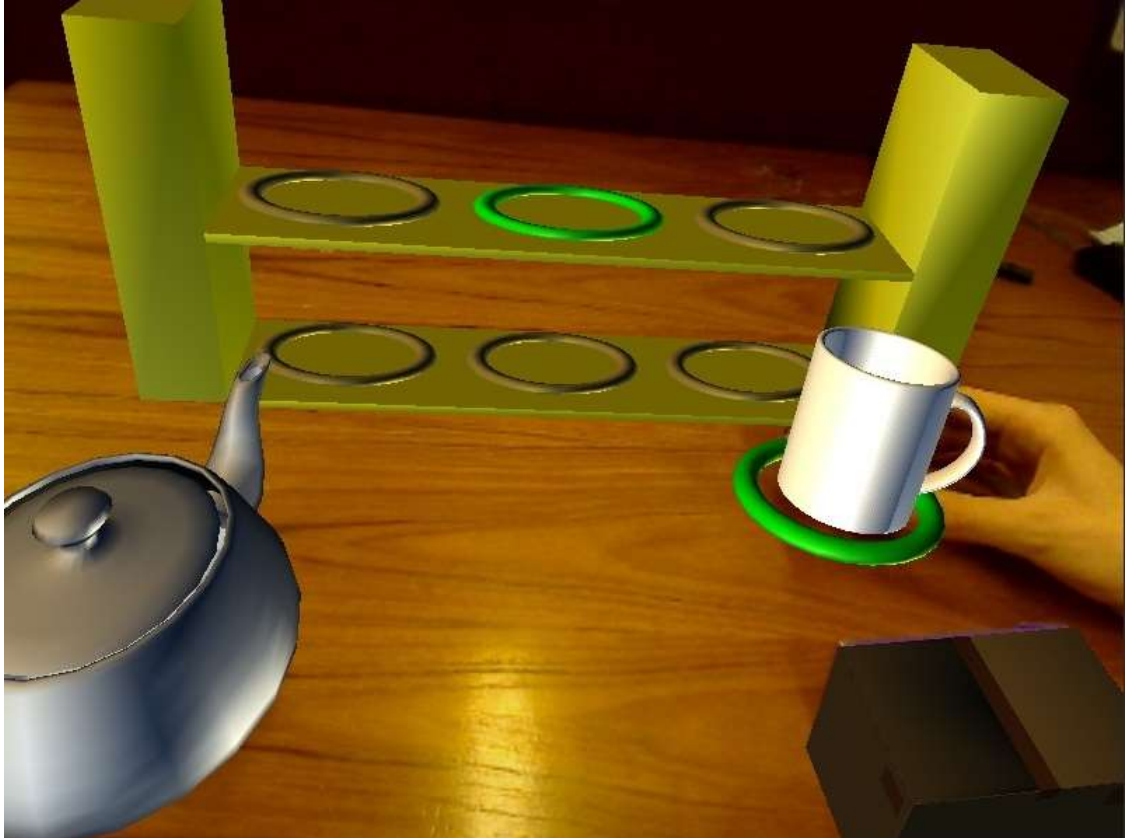
Kuva 50. Augmentoidun todellisuuden käyttö hämähäkkifobiassa [71].

### 5.3.2 Kuntoutus

Augmentoitua todellisuutta voidaan hyödyntää potilaan kuntouttamisessa ja se sopii hyvin esimerkiksi neurologiseen kuntoutukseen. AR-sovelluksilla on potentiaalia vaikuttaa perinteisiin kuntoutusmenetelmiin, koska perinteiset fysioterapiat ja kuntoutustekniikat ovat yleensä raskaita ja kalliita. Kuntoutustehtävien helppo muokattavuus eri potilaiden tarpeiden mukaan on kustannustehokasta, koska mitään erillisiä kuntoutuslaitteita tai järjestelmiä ei tarvitse valmistaa. Tutkimukset ovat osoittaneet, että augmentoitu todellisuus parantaa erityisesti potilaiden motivaatiota tehtävien suorittamiseen pitkän kuntoutusprosessin aikana [72, s. 28 – 29].

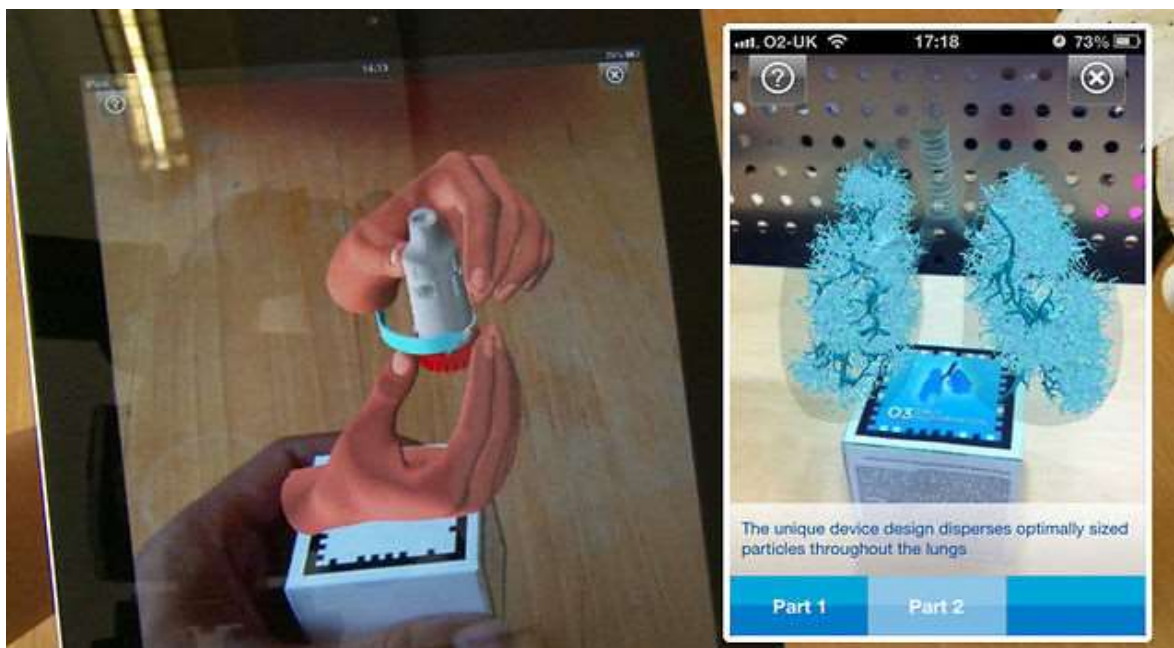
Aivohalvaus tuhoaa aivosoluja ja aiheuttaa heikkoutta tai puutetta motorisissa toiminnoissa. Esimerkiksi yläraajojen kuntoutus aivoinfarktin jälkeen voidaan suorittaa erinäisten AR-pelien avulla. Pelien tarkoitus on parantaa potilaan motoriikkaa ja niitä voidaan muokata riippuen siitä onko potilaalla ongelmia suurten liikkeiden vai hienompien liikkeiden, kuten kurottamisen, tarttumisen ja irrottamisen kanssa. Kuvassa 51 seuraavalla sivulla on kuvakaappaus eräästä pelistä, mikä on tarkoitettu potilaan hienomotoriikan parantamiseen. Pelissä on tarkoitus kaataa nestettä kahvipannusta

kahvikuppiin ja laittaa kuppi hyllyyn. Peli toimii tavallisella webbikameralla varustetussa tietokoneessa, joten se on halpa ja sopii hyvin kotikäyttöön. Tämänkaltainen kuntoutusjärjestelmä on myös turvallinen, koska mitään oikeaa nestettä ei voi kaatua esineille ja johdoille. [73.]



Kuva 51. AR-pelisovellus aivohalvauspotilaalle [73].

Potilaita voidaan myös opastaa erilaisten lääketieteellisten välineiden käytössä. Seuraavan sivun kuvan 52 *Symbicort Turbuhaler* on AR-sovellus astmasta kärsiville henkilöille. Kohdistusmerkki on liitetty pakkaukseen ja 3D-animaatio tulee näkyviin, kun pakkausta osoittaa iPadilla tai iPhoneella. Tämä animaatio näyttää laitteen osat ja käyttöohjeen, sekä sen miten laite syöttää itse lääkkeen keuhkoihin. [74.]



Kuva 52. Astmalääkkeen oton opastusta AR-sovelluksella [75].

#### 5.4 Lääketieteellisiä sovelluksia älypuhelimille ja tablettitietokoneille

Lääketieteelliset AR-sovellukset mobiililaitteille, joita sekä terveydenalan ammattilaiset että kuluttajat voivat käyttää hyväkseen, lisääntyvät jatkuvasti. Suurin osa sovelluksista keskittyy yleensä potilaiden opastamiseen koskien sairauksia, terveydentilaa tai hoitomuotoja. Seuraavaksi esitellään eräitä alan uusimpia ja tunnetuimpia sovelluksia.

##### 5.4.1 MITK pille -sovellus

*MITK pille* (kuva 53, ks. seur. s.) on AR-sovellus iPadille, jota voidaan käyttää apuvälineenä oikean sisäänmenopaikan määrittämisessä neulalle, tähystimelle tai vastaaville instrumenteille. Sovellusta kehitetään parhaillaan niin, että sisäännyönnettävä instrumentti pystyttäisiin ohjaamaan haluttuun paikkaan (esim. kasvaimen kohdalle), pelkän sisäänmenopaikan määrittämisen lisäksi. Syötettävä informaatio on tallennettu etukäteen esimerkiksi tietokonetomografia- tai ultraäänikuvien perusteella ja paikannus perustuu potilaan ihoon kiinnitettyihin kohdistusmerkkeihin. Kuva iPadistä *streamataan* langattomasti toiseen tietokoneeseen, jonka tehtävä on suorittaa laskutoiminnot ja luoda AR-kuva, mikä sitten *streamataan* takaisin iPadiin. [76.]



Kuva 53. MITK pille -sovellus [76].

#### 5.4.2 Hallux Angles -sovellus

*Hallux Angles* on iPhonella käytettävä apuväline kirurgeille jalkapöytäleikkausten suunnittelussa. Goniometrinä eli sormikulmamittarina toimiva sovellus mittaa luiden väliset kulmat röntgenkuvasta. Haluttua röntgenkuvaa (kuva 54, ks. seur. s.) osoitetaan iPhonella ja näyttöön tuleva opastin auttaa kohdentamaan laitteen jalkapöydän luiden kanssa. Kun luiden paikat on määritetty, mittaa sovellus niiden väliset kulmat iPhoneen sijainnin perusteella, käyttäen hyväksi laitteen kiihtyvyyssantureita. [95.]

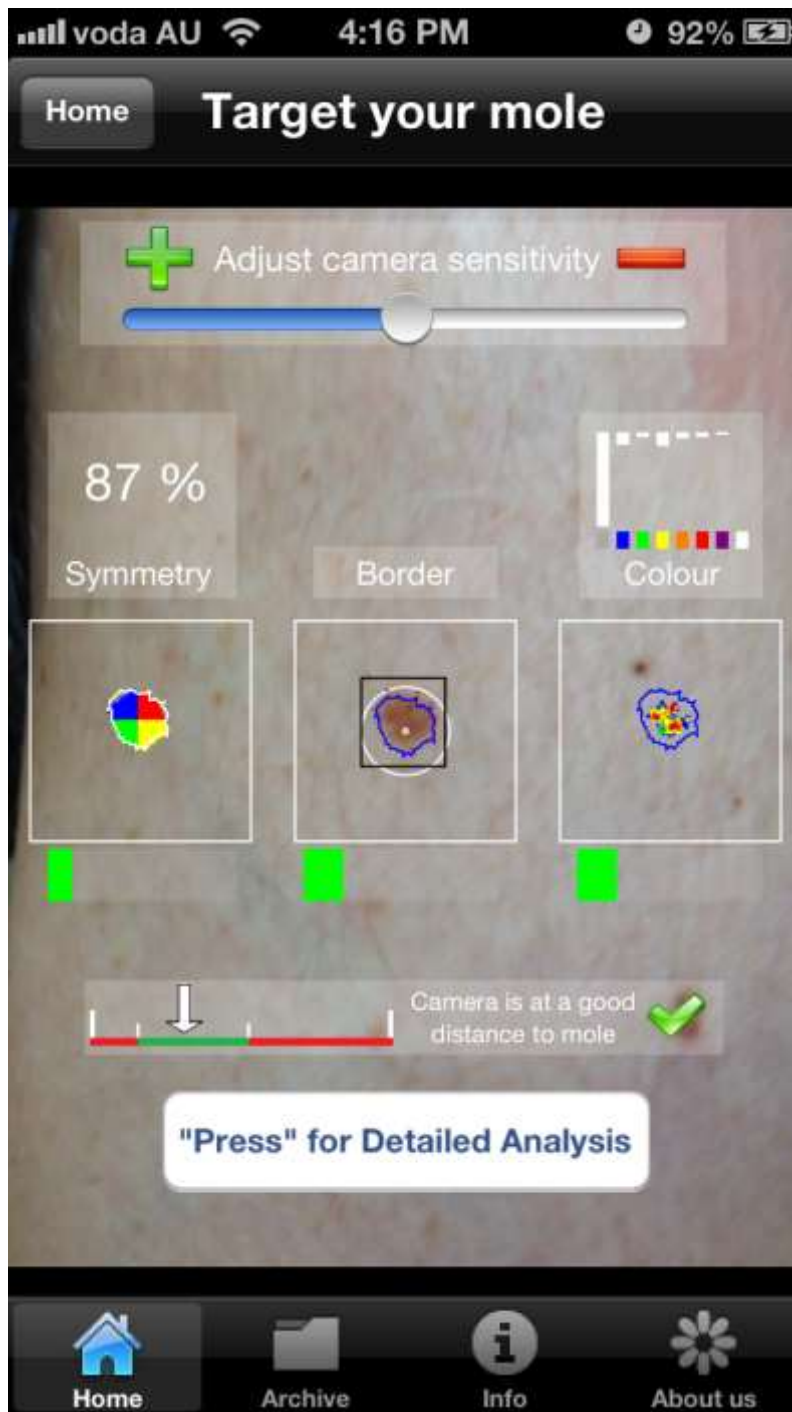


Kuva 54. Hallux Angles -sovellus [95].

#### 5.4.3 DoctorMole-sovellus

Markkinoilla on muutamia erilaisia sovelluksia luomien tarkastamiseen ihosyövän varalta. Seuraavan sivun kuvassa 55 on kuvakaappaus DoctorMole-sovelluksesta, mikä käyttää hyväkseen mobiililaitteiden tietokonenäköä. Käyttäjä ottaa kuvan luomesta ja sovellus antaa välittömän riskiarvion luomesta perustuen mm. sen väriin, asymmetriaan, reunan epätasaisuuteen ja halkaisijaan. Sovellus voi myös arkistoida kuvat ja verrata muutoksia myöhemmin otettaviin kuviin sekä muistuttaa milloin on aika tarkastaa luomet uudestaan. [77.]





Kuva 55. DoctorMole-sovellus [78].

AR-sovellukset lumien tarkastamiseen ovat saaneet myös kritiikkiä lääkäreiltä. Vaarana on viivästynyt diagnoosi, jos sovellus pitääkin pahanlaatuista luomea hyvänlaatuisena, jolloin käyttäjälle ei tule mieleen mennä näyttämään sitä lääkärille. Tämä voi olla hengenvaarallista, jos kyseessä on melanooma. Tutkimukset osoittavat suuria eroja ja vaihtelevuutta sovellusten tarkkuudessa lumien oikeaan

tunnistamiseen. Eräs tutkimus neljän eri älypuhelinsovelluksen välillä osoitti, että kolme neljästä sovelluksesta luokitteli jopa yli 30 prosenttia melanoomatapauksista hyvänlaatuisiksi luomiksi [79].

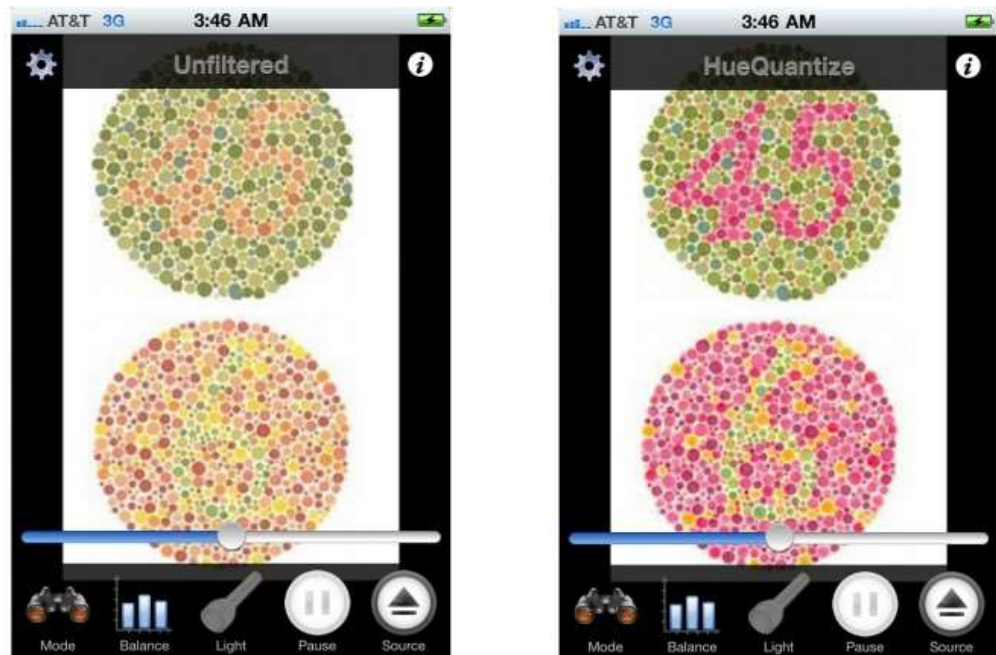
#### 5.4.4 BlindSquare-sovellus

Suomalaisen Ilkka Pirttimaan kehittämä *BlindSquare* on näkövammaisille suunniteltu sovellus, mikä on lyhyessä ajassa noussut maailmanlaajuiseen suosioon. *BlindSquare* käyttää GPS:ää ja kompassia paikantaakseen käyttäjän. Sitten se hakee lähistön paikkoja avoimen rajapinnan FourSquare- ja OpenStreetMap -tietokannoista ja kertoo puhesyntetisaattorin avulla niistä oleellimmat käyttäjän ennalta määrittelemän säteen (esim. 100 metriä) sisällä. [80; 81; 82.]

Valitsemalla halutun kohteen, sovellus opastaa käyttäjän sinne kertoen etäisyyden ja suunnan. *BlindSquare* tunnistaa milloin käyttäjä on matkalla autolla, linja-autolla tai junalla ja ilmoittaa mielenkiintoisista paikoista edessä tai tienristeyksissä. Sovelluksen käyttämä Acapela-puhesyntetisaattori tukee melkein kolmeakymmentä eri kieltä. Kehittäjä suosittelee *Bone Conduction* -kuulokkeiden käyttöä sovelluksen kanssa. Tällöin kuulokkeen luurit tulevat korvan taakse ja ääniaallot johtuvat käyttäjän kallon kautta hänen korvaansa, jolloin hän kuulee myös ympäröivän äänimaailman, mikä on tärkeää sokeille henkilöille. [80; 81; 82.]

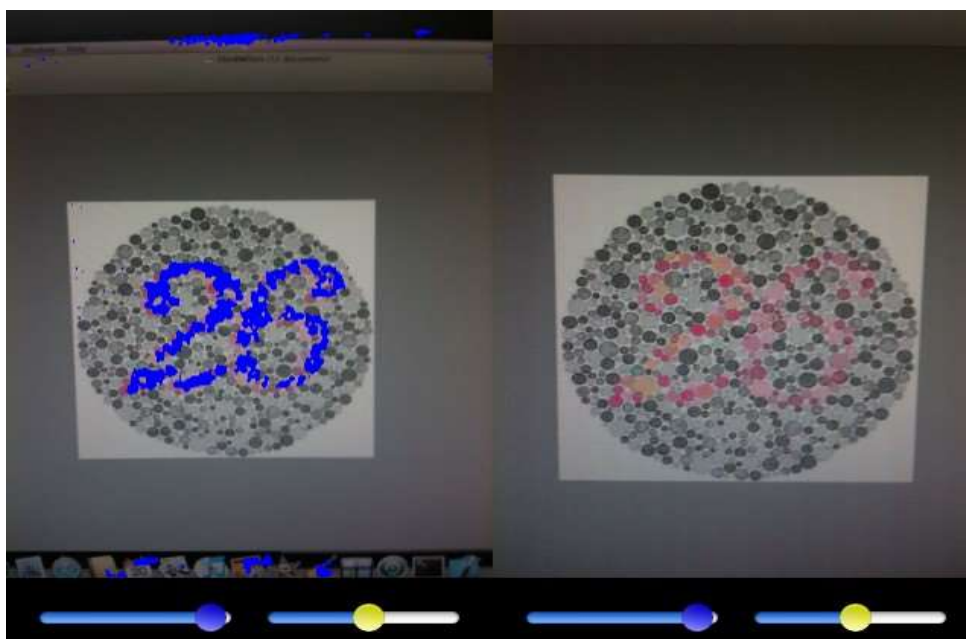
#### 5.4.5 DanKam- ja Color Blind Aid 1.1 -sovellukset

*DanKam* on sovellus, mikä auttaa epätarkasti värisävyt näkeviä ihmisiä (noin yksi prosentti maailman ihmisistä) näkemään paremmin. Nämä henkilöt näkevät yleensä useimmat värit, mutta vihreät värit sekoittuvat punaiseen. Sovelluksen tarkoituksena on muokata väriavaruutta niin, että värisävyt erottuisivat paremmin näköongelmalliselle. Mobiililaitteen kamera kuvaa ympäristöä ja sovellus muuttaa videokuvan värejä kevyesti niin, että ne ovat tietyn spektrin alueella, minkä värisokeat voivat nähdä. Käyttäjä voi myös säätää spektriä ja asetuksia, koska kaikki värisokeat eivät näe asioita samanlaisina. Kuvassa 56 seuraavalla sivulla on Ishiharán testilevy. Ihmisten, jotka eivät ole värisokeita, pitäisi nähdä numerot vasemmanpuoleisessa esimerkissä. Oikeanpuoleisessa esimerkissä on *DanKam*-sovelluksen tuottama kuva, jonka numeroiden pitäisi näkyä myös värisokeille. [83; 84.]



Kuva 56. DanKam-sovellus [83].

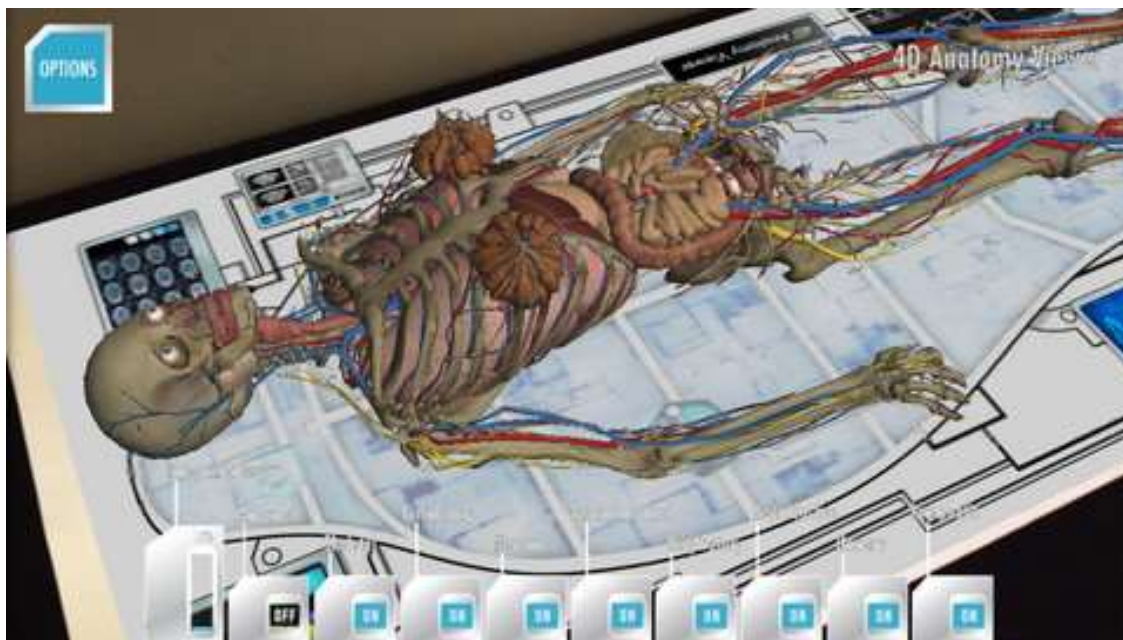
Toinen vastaavanlainen sovellus on puna-vihersokeille suunniteltu *Color Blind Aid 1.1* (kuva 57). Se perustuu algoritmiin, mikä muuttaa punaiset objektit sinisen värisiksi ja vihreät objektit keltaisen värisiksi. Puna-vihersokea henkilö voi siis kuvata ympäristöään ja nähdä esimerkiksi eri hedelmien kypsyyssot kaupassa mobiililaitteensa ruudulta. [85.]



Kuva 57. AR-sovellus puna-vihersokeille [86].

#### 5.4.6 Anatomy 4D -sovellus

*Anatomy 4D* (kuva 58) on sovellus, mikä mahdollistaa monimutkaisen informaation ymmärtämisen helpommin, nopeammin ja syvällisemmin. Sovellus tarjoaa kolmiulotteisen ja vuorovaikuttaisen oppimisympäristön ihmiskehoon. Tämä sopii hyvin esimerkiksi lääketieteen opiskelijoille, jotka haluavat tutustua ihmiskehon eri osaluoiisiin. [87.]



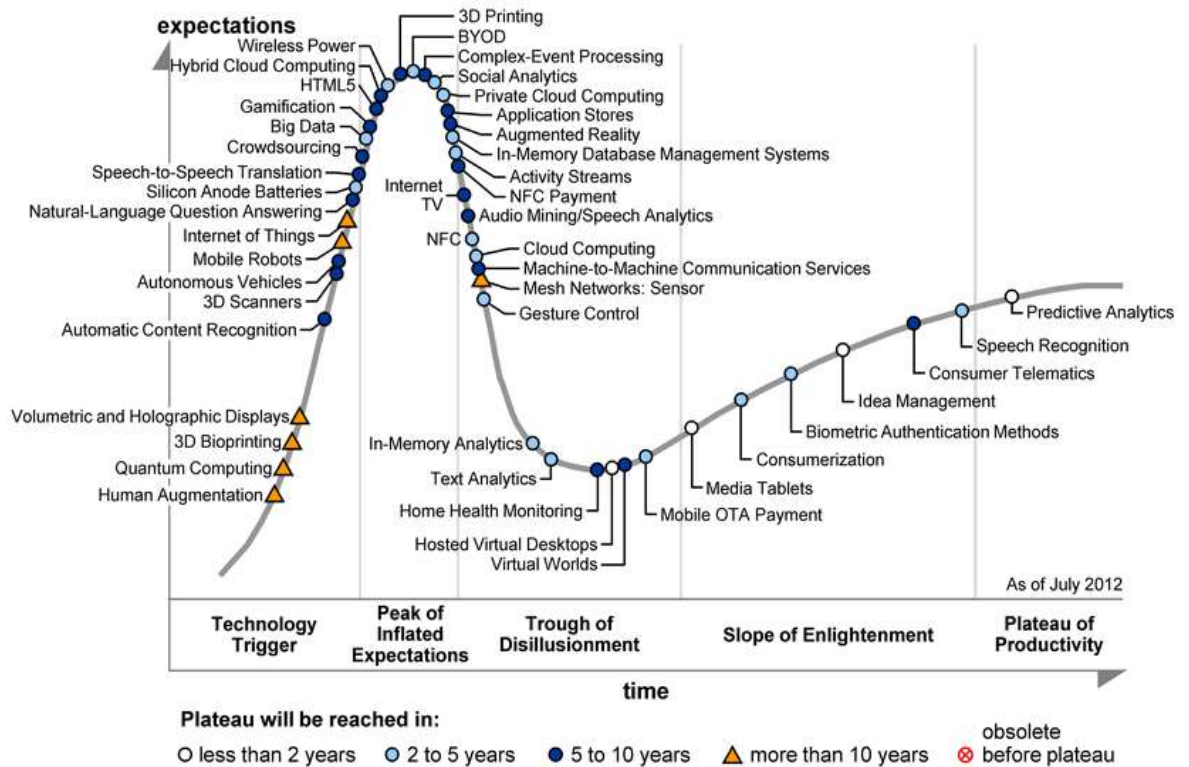
Kuva 58. Anatomy 4D -sovellus [87].

## 6 Augmentoitu todellisuus tulevaisuuden sovelluksissa

Amerikkalaisen tutkimus- ja konsultointiyritys Gartnerin vuosittain julkaisema selvitys arvioi, missä kehitysvaiheessa eri tietotekniikan teknologiat ovat ja kuinka kauan menee siihen, että ne ovat jokapäiväisessä käytössä. Seuraavan sivun kuvan 59 Gartnerin viisiosainen hypekäyrä osoittaa, että augmentoitu todellisuus on nyt (vuoden 2012 heinäkuussa) vaiheessa *Peak of Inflated Expectations*, mikä tarkoittaa, että teknologia on noussut hypen huipulle ja julkisuuteen tulee uusien teknologioiden menestystarinoita, joita usein seuraa myös pettymyksiä. [88.]

Seuraavassa vaiheessa kiinnostus laskee, jos teknologian kokeilut epäonnistuvat ja investoinnit teknologiaan jatkuvat vain, mikäli tekniikkaa onnistutaan parantamaan.

Neljännessä vaiheessa yhä useammalle yritykselle alkaa hahmottumaan miten teknologiaa voisi hyödyntää ja tuotteista alkaa tulemaan myyntiin toisen ja kolmannen sukupolven versioita. Viimeisessä vaiheessa teknologia alkaa yleistymään suurelle yleisölle. [88.]



Kuva 59. Gartnerin hypekäyrä [89].

Hypekäyrän mukaan augmentoitu todellisuus tulee 5 - 10 vuoden päästä vaiheeseen, missä teknologia alkaa yleistymään suurelle yleisölle. Googlen tulevien lasien vastaanotto näyttää todennäköisesti merkittävää osaa siinä tuleeko augmentoidusta todellisuudesta osa ihmisten jokapäiväistä elämää vai ei. AR-sovellukset mobiililaitteissa tulevat joka tapauksessa lisääntymään vielä vuosia, koska itse mobiililaitteet yleistyvät vielä nopeaa tahtia. On arvioitu, että augmentoidun todellisuuden mobiilisovellusten latausmäärä vuodessa tulee yltämään 2,5 miljardiin vuonna 2017 [90]. Muun muassa tunnettu mobiilialan konsultti, tietokirjailija ja ex-nokialainen Tomi Ahonen on sitä mieltä, että augmentoitu todellisuus tulee olemaan ns. kahdeksas massamedia [91]. Kyseessä olisi siis maailmanlaajuinen teknologiamenestys, koska seitsemänneksi massamediaksi Ahonen määritteli matkapuhelimen, kuudenneksi internetin, viidenneksi television jne.

Teknologian alueella käyttäjäkokemus AR-todellisuudessa pyritään tekemään yhä realistisemmaksi. Historia-osiossa mainittiin jo Sensorama-laite, missä käyttäjä pystyi muun muassa haistamaan eri tuoksua. Tulevaisuudessa on mahdollista hankkia televisio tai näyttö, mikä pystyy välittämään myös tuoksua. Tokion yliopistossa kehitteillä olevan näytön jokaiseen kulmaan on sijoitettu höyrystyvää geeliä sisältäviä panoksia, joiden tuottamaa tuoksua ohjataan puhaltimilla haluttuun paikkaan näytöllä. Toistaiseksi järjestelmä pystyy tuottamaan vain yhtä tuoksua kerrallaan, mutta kehittäjät suunnittelevat tulostimen mustepatruunan kaltaisen tuoksupatruunan käyttöönottoa, mikä mahdollistaisi tuoksujen vaihdon helposti. [92.]

Piilolinssit ovat tulevaisuudessa yleistyvä näyttötekniikka AR-todellisuudessa. On myös ehdotettu, että tekniikan kehittyessä AR-näyttö voitaisiin istuttaa suoraan ihmisen päähän. Vielä pidemmälle mentynä istuttaminen voitaisiin tehdä jo ihmisen syntyessä ja lopulta näyttö istutettaisiin suoraan ihmisten geeneihin. [93.]

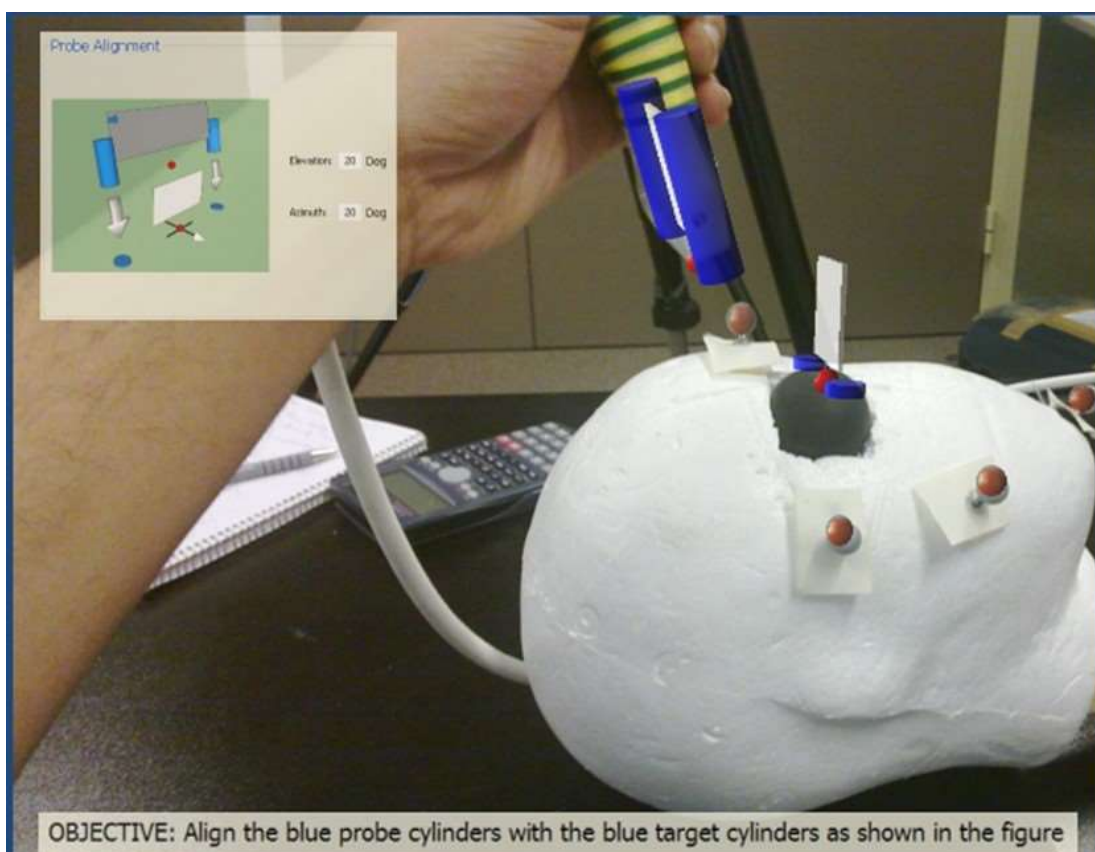
Tulevaisuudessa Googlen lasit tai vastaavat jokapäiväisessä elämässä käytössä olevat näyttötekniikat voisivat auttaa ihmisiä henkilökohtaisessa terveydentilan valvonnassa ja terveellisempien valintojen tekemisessä. Esimerkiksi kaupoissa ruokien kalorimäärät ja ravintoarvot voidaan heijastaa näytölle. Mikäli henkilöllä on jo erinäisiä antureita seuraamassa hänen elintoiintojaan, voidaan esimerkiksi sydämen pulssi, verenpaine ja verensokeri heijastaa näytölle langattomasti Bluetoothin avulla. Ajoneuvoissa käytettävien vikakoodien kaltaiset merkkivalot voitaisiin ottaa käyttöön kroonisia tauteja sairastavilla henkilöillä. Merkkivalot varoittaisivat käyttäjiä tai neuvoisivat heitä menemään lääkäriin. Diabeetikot saisivat hälytyksen reaaliajassa, jos heidän veren glukoositaso olisi liian alhainen ja sydämen rytmihäiriöstä kärsiviä henkilöitä varoitettaisiin epänormaalista sydämen rytmistä. [96; 97.]

Myös lääkäreillä olisi mahdollisuus hyödyntää päässä pidettäviä laseja vastaanotolla. Pelkästään katsomalla potilasta lääkäri voisi nähdä hänen koko potilashistorian ja mahdolliset loukkaantumiset sekä sairaudet. Luonnollisesti lääkäriillä olisi myös käytössä lääketieteellinen tietokanta, josta hän saisi apua diagnoosien tekemiseen ja ohjeita toimenpiteiden suorittamiseen. [96; 97.]

AR-sovellukset ovat leviämässä maapallon ulkopuolelle. CAMDASS (*Computer Aided Medical Diagnostics and Surgery System*) -projektissa augmentoitua todellisuutta on tarkoitus hyödyntää pitkällä avaruuslennoilla. Normaalisti lennoilla ei ole lääkäreitä

mukana ja ajat joita avaruudessa vietetään ovat pitkiä. Esimerkiksi kansainvälisellä avaruusasema ISS:llä (*International Space Station*) työskentelyjakson pituus saattaa olla kuusi kuukautta. Tämän takia on tärkeää, että astronautteilla on apuväline lääketieteellisiin toimenpiteisiin onnettomuuden tai vamman sattuessa. Toistaiseksi projektissa on keskitytty lähinnä ultraäänikuvantamiseen, koska ISS on jo varustettu ultraäänilaitteella. [98.]

CAMDASS-järjestelmä auttaa käyttäjää ohjaamaan ultraäänianturin mittapään oikeaan paikkaan potilaan kehossa. Käyttäjällä on päässä pidettävä näyttö, mikä sisältää myös infrapunakameran ultraäänilaitteen paikantamiseen. Paikannusmerkit on kiinnitetty potilaan kehon siihen kohtaan mitä tutkitaan. Systemi tunnistaa potilaan ja kalibroi näytön sen perusteella. Järjestelmä käyttää sisäistä tietokantaa heijastaakseen käyttäjän näyttöön vertailukuvia ja -asentoja siitä, miltä kuvan pitäisi näyttää ja mistä se pitäisi ottaa, sekä ohjaa ultraäänianturin mittapään oikeaan paikkaan, kuten kuvassa 60. [99.]



Kuva 60. Ultraäänikuvantamista CAMDASS-järjestelmän avulla [100].

Kun tulevaisuuden kehittynyt augmentoitu todellisuus ja robotiikka yhdistetään leikkaussaliympäristössä, potilaista tulee virtuaalisesti läpinäkyviä ja roboteista tulee uusi kirurginen instrumentti kirurgeille. Tämä johtaa edistykseen kaikenlaisissa kirurgisissa toimenpiteissä, koska inhimilliset virheet leikkauksissa vähenevät ja leikkauksiin kuluva aika vähenee. Kuva 61 havainnollistaa augmentoidun todellisuuden, robotiikan ja niiden yhdistelmän käyttöä leikkaussaliympäristössä. Vasemman laidan augmentoitu todellisuus ja keskikohdan robotiikka yhdistämällä saadaan tulevaisuuden automoidut leikkaukset. [101.]



Kuva 61. Augmentoidun todellisuuden, robotiikan ja niiden yhdistelmän käyttöä leikkaussaliympäristössä [101].

## 7 Päätelmät

Insinööriyössä tutkittiin augmentoidun todellisuuden lääketieteellisiä sovelluksia. Aiheesta löytyi hyvin tietoa, onhan lääketiede augmentoidun todellisuuden yksi keskeisimpiä sovellusalueita. Ongelmana oli usein kuitenkin tutkimusten ja julkaisujen samankaltaisuus. Esimerkiksi augmentoidun todellisuuden hyödyntämistä täyhystysleikkauksissa käsiteltiin lukuisissa eri tutkimuksissa, kun taas monista muista toimenpiteistä ei löytynyt mitään tietoa. Suomeksi augmentoidusta todellisuudesta, puhumattakaan sen hyödyntämisestä lääketieteestä, on kirjoitettu hyvin vähän. Käytännössä yhtäkään julkisesti saatavilla olevaa suomenkielistä ja lääketieteeseen liittyvää tutkimusta tai julkaisua ei löytynyt.

Kustannuskysymys ja erityisesti kustannustehokkuus on ongelma, mitä augmentoitua todellisuutta hyödyntävät sairaalat ja muut tahot joutuvat pohtimaan. Onko järkevää hankkia kalliita järjestelmiä, jos niistä saatava hyöty on minimaalinen? Toistaiseksi vain vakavaraisimmilla sairaaloilla ja yliopistoilla on ollut varaa hankkia augmentoitua



todellisuuteen tarvittavaa tekniikkaa ja rahoittaa AR-todellisuuteen perustuvaa tutkimusta. Toisaalta, erityisesti toimenpiteiden nopeampi suorittaminen augmentoidun todellisuuden avulla oli asia, mikä nousi esiin useissa tutkimuksissa. Mikäli yhteen potilaaseen käytettävä toimenpideaika vähenee, on sairaalan mahdollista suorittaa useampi toimenpide samassa ajassa, mikä tarkoittaa parempaa kustannustehokkuutta.

Augmentoidun todellisuuden käyttämisestä teknologiasta erityisesti tarkat kohdennus- ja paikannusjärjestelmät ovat kalliita ja monimutkaisuutensa takia vaikeita toteuttaa. Elektromagneettinen kohdennus ja infrapunavaloon perustuva kohdennus sekä näiden yhdistelmät ovat tarkkuutensa ja nopeutensa ansiosta käytetyimmät paikannus- ja kohdennusjärjestelmät leikkaussaliympäristössä.

Päässä pidettävät kypärämalliset näytöt ovat olleet toistaiseksi suosituimpia leikkaussaliympäristössä. Niiden haittapuolena on kuitenkin paino, mistä on haittaa etenkin pitkissä leikkauksissa. Tulevaisuuden näytöt ovatkin todennäköisesti silmälasityyppisiä, koska tämän tyyppiset näytöt ovat kevyitä ja helppokäyttöisiä, mikä mahdollistaa pidemmätkin leikkaukset ilman, että käyttäjän kaula tai niska väsyvät. Myös projektionäytöt ovat varteenotettava vaihtoehto tulevaisuudessa, erityisesti opetussairaaloissa, joissa lääketieteen opiskelijat voisivat seurata leikkauksia ja nähdä saman näkymän kuin leikkaava kirurgi.

Sopivien ohjelmakirjastojen puute on myös rajoittanut AR-sovellusten luontia, varsinkin merkitöntä paikannusta käyttävien sovellusten. Pitkään *ARToolKit* oli ainoa ohjelmakirjasto AR-sovellusten ohjelmoimiseen, mutta viime vuosina erilaisia ohjelmakirjastoja on ilmestynyt useampia. Hyvänä esimerkkinä on muun muassa VTT:n kehittämä *ALVAR*, mikä tukee myös merkitöntä paikannusta ja useita eri käyttöjärjestelmiä.

Mobiililaitteiden yleistymisen on mahdollistanut AR-sovellusten luomisen tavallisille kuluttajille. Nykyaikaiset älypuhelimet ovat sosiaalisesti hyväksytyjä ja kulkevat jatkuvasti käyttäjän mukana, joten ne tarjoavat AR-sovelluskehittäjille monia mahdollisuuksia luoda erilaisia sovelluksia esimerkiksi ihmisen terveyteen liittyen. Googlen kehittämät silmälasit tai vastaavantyyppiset silmälasit tai piilolinssit korvaavat todennäköisesti tulevaisuudessa nykyiset mobiililaitteet kuluttajien arjessa.

## Lähteet

- 1 Milgram, Paul, Takemura, Haruo, Utsumi, Akira & Kishino, Fumio. 1994. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. PDF-dokumentti. <[http://wiki.comres.org/pds/Project\\_7eNrf2010/\\_5.pdf](http://wiki.comres.org/pds/Project_7eNrf2010/_5.pdf)>. Muokattu 8.5.2012. Luettu 20.2.2013.
- 2 Milgramin virtuaalisen todellisuuden jatkumo. Verkkodokumentti. 2012. <[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laajennettu\\_todellisuus\\_5\\_milgram.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laajennettu_todellisuus_5_milgram.png)>. Muokattu 15.12.2012. Luettu 24.2.2013.
- 3 Schnabel, Marc, Wang, Xiangyu, Seichter, Hartmut & Kvan, Tom. 2007. From virtuality to reality and back. PDF-dokumentti. <<http://www.sd.polyu.edu.hk/iasdr/proceeding/papers/From%20Virtuality%20to%20Reality%20and%20Back.pdf>>. Muokattu 24.1.2008. Luettu 25.2.2013.
- 4 Laajennettu todellisuus. 2012. Verkkodokumentti. <[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laajennettu\\_todellisuus\\_5\\_Schnabel.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laajennettu_todellisuus_5_Schnabel.png)>. Muokattu 15.12.2012. Luettu 25.2.2013.
- 5 Azuma, Ronald T. 1997. A Survey of Augmented Reality. PDF-dokumentti. <<http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>>. Muokattu 19.8.1997. Luettu 25.2.2013.
- 6 Inventor in the field of virtual reality. 2003. Verkkodokumentti. <<http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html>>. Muokattu 28.11.2003. Luettu 18.2.2013.
- 7 Sung, Dan. 2011. The history of augmented reality. Verkkodokumentti. <<http://www.pocket-lint.com/news/38803/the-history-of-augmented-reality/>>. Muokattu 1.3.2011. Luettu 20.2.2013.
- 8 Augmented reality. 2013. Verkkodokumentti. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented\\_reality](http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality)>. Muokattu 28.2.2013. Luettu 1.3.2013.
- 9 Miller, Claire Cain. 2013. Google searches for style. Verkkodokumentti. <[http://www.nytimes.com/2013/02/21/technology/google-looks-to-make-its-computer-glasses-stylish.html?pagewanted=all&\\_r=1&](http://www.nytimes.com/2013/02/21/technology/google-looks-to-make-its-computer-glasses-stylish.html?pagewanted=all&_r=1&)>. Muokattu 20.2.2013. Luettu 1.3.2013.
- 10 Fly By Fire Dot Com. 2011. Verkkodokumentti. <<http://shirshosengupta.blogspot.fi/2011/04/f-15c-heads-up-display.html>>. Muokattu 29.4.7.2011. Luettu 2.3.2013.

- 11 Lockheed Martin F-35 Lightning 2. 2013. Verkkodokumentti. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_Martin\\_F-35\\_Lightning\\_II](http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Martin_F-35_Lightning_II)>. Muokattu 3.3.2013. Luettu 4.3.2013.
- 12 Barrie, Allison. 2012. Military places order for augmented reality contact lens. Verkkodokumentti. <<http://www.foxnews.com/tech/2012/05/03/military-places-order-for-augmented-reality-contact-lens/>>. Muokattu 3.5.2012. Luettu 6.3.2013.
- 13 Anthony, Sebastian. 2012. US military developing multi-focus augmented reality contact lenses. Verkkodokumentti. <<http://www.extremetech.com/computing/126043-us-military-developing-multi-focus-augmented-reality-contact-lenses>>. Muokattu 13.4.2012. Luettu 6.3.2013.
- 14 London 2012 Olympics. Kuvakaappaus internet-videosta. <<http://www.youtube.com/watch?v=2aIP2ZImmFA>>. Muokattu 4.2.2012. Luettu 8.3.2013.
- 15 Victor, Bret. 2011. FoxTrax Puck Trecking Failure. Verkkodokumentti. <<http://ictvictor.wordpress.com/tag/foxtrax/>>. Muokattu 24.4.2011. Luettu 8.3.2013.
- 16 AR for maintenance and repair. 2011. Verkkodokumentti. <<http://ar-door.com/2011/12/ar-dlya-obsluzhivaniya-i-remonta-texniki/?lang=en>>. Muokattu 2.12.2011. Luettu 8.3.2013.
- 17 Rosales, Lani. 2012. What's going on in augmented reality in 2012. Verkkodokumentti. <<http://agbeat.com/tech-news/whats-going-on-in-augmented-reality-in-2012/>>. Muokattu 29.10.2012. Luettu 8.3.2013.
- 18 Newth, Alex. 2013. What Is Augmented Reality Navigation. Verkkodokumentti. <<http://www.wisegeek.com/what-is-augmented-reality-navigation.htm>>. Luettu 8.3.2013.
- 19 McGlaun, Shane. 2013. iOnRoad augmented reality navigation app promises to make you a safer driver. Verkkodokumentti. <<http://www.slashgear.com/ionroad-augmented-reality-navigation-app-promises-to-make-you-a-safer-driver-04263066/#entrycontent>>. Muokattu 4.1.2013. Luettu 8.3.2013.
- 20 Myers, Ken. 2012. How Augmented Reality Can Change Teaching. Verkkodokumentti. <[http://gettingsmart.com/cms/blog/2012/12/how-augmented-reality-can-change-teaching/?\\_tmc=HYfiT-PA2pDKaYpQijuz3CDWxU9LZOg2clqSCS\\_FtI](http://gettingsmart.com/cms/blog/2012/12/how-augmented-reality-can-change-teaching/?_tmc=HYfiT-PA2pDKaYpQijuz3CDWxU9LZOg2clqSCS_FtI)>. Muokattu 11.12.2012. Luettu 10.3.2013.
- 21 Kalalahti, Joanna. 2013. Lisätyn todellisuuden hyödyntäminen opetuksessa. Verkkodokumentti. <<http://finnedmob.blogspot.fi/2013/02/lisatty-todellisuus-opetuksessa.html>>. Muokattu 21.2.2013. Luettu 10.3.2013.

- 22 Johnson, Ryan. 2010. Star Walk. Verkkodokumentti.  
<<http://www.slapapp.com/star-walk/>>. Muokattu 9.11.2010. Luettu 10.3.2013.
- 23 Perdue, Tim. Applications of Augmented Reality. Verkkodokumentti.  
<<http://newtech.about.com/od/softwaredevelopment/a/Applications-Of-Augmented-Reality.htm>>. Luettu 10.3.2013.
- 24 Augmented Reality the next big thing in Middle East. 2011. Verkkodokumentti.  
<<http://virtualmob.co.uk/BlogWP/2011/05/augmented-reality-in-dubai/>>. Muokattu 17.5.2011. Luettu 10.3.2013.
- 25 Playboy Augmented Reality. 2010. Kuvakaappaus videosta.  
<<http://www.youtube.com/watch?v=KwhfuOxmiGw>>. Muokattu 24.5.2010. Luettu 10.3.2013.
- 26 SnapShop Showroom 2.0. 2012. Verkkodokumentti.  
<<https://itunes.apple.com/us/app/snapshop-showroom/id373144101?mt=8>>. Muokattu 17.11.2012. Luettu 10.3.2013.
- 27 Suhonen, Mika. Lisätyn todellisuuden käyttö rakentamisessa. 2010. PDF-dokumentti.  
<[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/20842/lisatyn\\_todellisuuden\\_kaytto\\_rakentamisessa.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/20842/lisatyn_todellisuuden_kaytto_rakentamisessa.pdf?sequence=1)>. Muokattu 13.9.2010. Luettu 10.3.2013.
- 28 Smart Vidente. Verkkodokumentti.  
<<http://vidente.grintec.com/images/stories/gallery/interaction-modes/img02.jpg>>. Luettu 19.3.2013.
- 29 Blandford, Rafe. 2011. Layer Reality Browser available in Ovi Store. Verkkodokumentti.  
<[http://www.allaboutsymbian.com/news/item/12643\\_Layar\\_Reality\\_Browser\\_avaiabl.php](http://www.allaboutsymbian.com/news/item/12643_Layar_Reality_Browser_avaiabl.php)>. Muokattu 3.3.2011. Luettu 21.3.2013.
- 30 Rivington, James. 2013. Google Glass: what you need to know. Verkkodokumentti. <<http://www.techradar.com/news/video/google-glass-what-you-need-to-know-1078114>>. Muokattu 13.3.2013. Luettu 21.3.2013.
- 31 Carmigniani, Julie & Furht, Borko. 2011. Augmented Reality: An Overview. PDF-dokumentti. <<http://pire.fiu.edu/publications/Augmented.pdf>>. Luettu 25.3.2013.
- 32 Bolas, Mark. 2011. REFLCT: A Head Mounted Projektor Display. Verkkodokumentti. <<http://ict.usc.edu/prototypes/reflct/>>. Luettu 25.3.2013.
- 33 Arthur, Charles. 2012. UK company's 'augmented reality' glasses could be better than Google's. Verkkodokumentti.  
<<http://www.guardian.co.uk/technology/2012/sep/10/augmented-reality-glasses-google-project>>. Muokattu 10.9.2012. Luettu 25.3.2012.

- 34 EyeTap. 2012. Verkkodokumentti. <<http://en.wikipedia.org/wiki/EyeTap>>. Luettu 25.3.2013.
- 35 Viirre, Erik, Pryor, Homer, Nagata, Satoru & A.Furness, Thomas. 1998. The Virtual Retinal Display: A New Technology for Virtual Reality and Augmented Vision in Medicine. PDF-dokumentti. <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-98-21/r-98-21.pdf>>. Luettu 25.3.2013.
- 36 Tidwell, Michael, Richard, S.Johnston, Melville, David & A.Furness, Thomas. 1995. The Virtual Retinal Display – A Retinal Scanning Imaging System. Verkkodokumentti. <<http://www.hitl.washington.edu/publications/p-95-1/>>. Luettu 25.3.2013.
- 37 Klepper, Sebastian. 2007. Augmented Reality – Display Systems. PDF-dokumentti. <[http://campar.in.tum.de/twiki/pub/Chair/TeachingSs07ArProseminar/1\\_Display-Systems\\_Klepper\\_Report.pdf](http://campar.in.tum.de/twiki/pub/Chair/TeachingSs07ArProseminar/1_Display-Systems_Klepper_Report.pdf)>. Muokattu 4.7.2007. Luettu 25.3.2013.
- 38 Hand, Randall. 2009. Augmented Reality in a Contact Lens. Verkkodokumentti. <<http://www.vizworld.com/2009/09/augmented-reality-in-a-contact-lens/>>. Muokattu 1.9.2009. Luettu 25.3.2013.
- 39 Walton, Zach. 2012. AOL's Entrance Rolls Augmented Reality And Entertainment Into One Impressive Package. Verkkodokumentti. <<http://www.webpronews.com/aols-entrance-rolls-augmented-reality-and-entertainment-into-one-impressive-package-2012-09>>. Muokattu 5.9.2012. Luettu 26.3.2013.
- 40 Kashyap, Kalpesh. 2012. Sixth Sense Technology. Verkkodokumentti. <<http://kalpeshkashyap.blogspot.fi/2012/11/sixth-sense-technology.html>>. Muokattu 7.11.2012. Luettu 26.3.2013.
- 41 Siltanen, Sanni. 2012. Theory and applications of marker-based augmented reality. PDF-dokumentti. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/science/2012/S3.pdf>>. Luettu 26.3.2013.
- 42 Dolz, Jose. 2012. Markerless Augmented Reality. Verkkodokumentti. <<http://www.arlab.com/blog/markerless-augmented-reality/>>. Muokattu 17.5.2012. Luettu 26.3.2013.
- 43 Rekimoto, Jun. Matrix: A Realtime Object Identification and Registration Method for Augmented Reality. PDF-dokumentti. <<http://www.sonyosl.co.jp/person/rekimoto/papers/apchi98.pdf>>. Luettu 26.3.2013.
- 44 Ten, Sergey. 2009. Why 3d markerless tracking is difficult for mobile augmented reality. Verkkodokumentti. <<http://mirror2image.wordpress.com/2009/03/30/why->

- 3d-markerless-tracking-is-difficult-for-mobile-augmented-reality/>. Muokattu 30.3.2009. Luettu 26.3.2013.
- 45 Puumila, Sami. 2012. Lisätty todellisuus robottisolun simuloinnissa. PDF-dokumentti. <[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40080/Puumila\\_Sami.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40080/Puumila_Sami.pdf?sequence=1)>. Luettu 26.3.2013.
- 46 Avery, Benjamin, Smith, Ross, Piekarski, Wayne & Thomas, Bruce. 2009. Designing Outdoor Mixed Reality Hardware Systems. PDF-dokumentti. <<http://www.tinmith.net/papers/avery-springer-2010.pdf>>. Muokattu 31.9.2009. Luettu 27.3.2013.
- 47 VTT. 2012. ALVAR. Verkkodokumentti. <<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar/index.html>>. Luettu 27.3.2013.
- 48 Wikipedia. List of augmented reality software. Verkkodokumentti. <[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_augmented\\_reality\\_software](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_augmented_reality_software)>. Luettu 27.3.2013.
- 49 Virtual Tour Guide. Verkkodokumentti. <<http://rnoc.gatech.edu/drupal/FocusAreas/Convergence/AlcatelLucent/VTG?destination=node%2F931>>. Luettu 27.3.2013.
- 50 Medical Augmented Reality. Verkkodokumentti. <[http://wg11.sc29.org/augmentedReality/?page\\_id=1154](http://wg11.sc29.org/augmentedReality/?page_id=1154)>. Luettu 19.4.2013.
- 51 Shuhaiber, Jeffrey H. 2004. Augmented Reality in Surgery. Verkkodokumentti. <<http://archsurg.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=396410>>. Muokattu 1.2.2004. Luettu 19.4.2013.
- 52 Horn, Martin. A Look into the Body – Augmented Reality in Computer Aided Surgery. Verkkodokumentti. <<http://www.in.tum.de/en/research/research-highlights/augmented-reality-in-medicine.html>>. Luettu 19.4.2013.
- 53 Nicolau, Stephane, Soler, Luc, Mutter, Didier & Marescaux, Jacques. 2011. Augmented reality in laparoscopic surgical oncology. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960740411000521>>. Luettu 21.4.2013.
- 54 Bichlmeier, Christoph, Sielhorst, Tobias & Navab, Nassir. The Tangible Virtual Mirror: New Visualization Paradigm for Navigated Surgery. PDF-dokumentti. <[http://campar.in.tum.de/files/amiarcs06/Bichlmeier\\_-\\_Virtual\\_Mirror.pdf](http://campar.in.tum.de/files/amiarcs06/Bichlmeier_-_Virtual_Mirror.pdf)>. Luettu 21.4.2013.
- 55 Bichlmeier, Christoph. 2013. Endoscope Augmentation by Scopis GmbH. Verkkodokumentti. <<http://medicalaugmentedreality.com/2013/04/endoscope-augmentation-by-scopis-gmbh/>>. Muokattu 9.4.2013. Luettu 25.4.2013.

- 56 Scopis Augmented Reality. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.scopis.com/en/products/scopis-augmented-reality/>>. Luettu 25.4.2013.
- 57 Baumheier, Matthias & Muller, Michael. 2010. Navigation in Prostate Surgery. Verkkodokumentti. <<http://www.dkfz.de/en/mbi/projects/prostata.html>>. Muokattu 31.8.2010. Luettu 25.4.2013.
- 58 Amrich, Denise. 2011. Xbox Kinect helps surgeons in the operating room. Verkkodokumentti. <<http://www.zdnet.com/blog/health/xbox-kinect-helps-surgeons-in-the-operating-room/277>>. Muokattu 13.7.2011. Luettu 26.4.2013.
- 59 Vosburgh, Kirby & San Jose Estepar, Raul. 2007. Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES): An Opportunity for Augmented Reality Guidance. PDF-dokumentti. <<http://lmi.bwh.harvard.edu/papers/pdfs/2007/vosburgh07-b.pdf>>. Luettu 26.4.2013.
- 60 Michael, Rosenthal, Andrei, State, Joohi, Lee, Gentaro, Hirota, Jeremy, Ackerman, Kurtis, Keller, Etta D. Pisano, Michael, Jiroutek, Keith, Muller & Henry, Fuchs. 2002. Augmented Reality Guidance for Needle Biopsies: A Randomized, Controlled Trial in Phantoms. PDF-dokumentti. <<http://www.cs.unc.edu/Research/us/AugmentedRealityAssistance.pdf>>. Muokattu 1.9.2002. Luettu 6.5.2013.
- 61 Gregory S. Fischer, Anton, Deguet, Csaba, Csoma, Russell H. Taylor, Laura, Fayad, John A. Carrino, S. James, Zinreich & Gabor, Fichtinger. 2007. MRI Image Overlay: Application to Arthrography Needle Insertion. PDF-dokumentti. <[http://campar.in.tum.de/files/amiarcs06/Fischer\\_-\\_MR\\_Image\\_Overlay.pdf](http://campar.in.tum.de/files/amiarcs06/Fischer_-_MR_Image_Overlay.pdf)>. Muokattu 1.1.2007. Luettu 6.5.2013.
- 62 MR Image Overlay for Joint Arthrography. Verkkodokumentti. <[http://aimlab.wpi.edu/research/projects/MRI\\_Image\\_Overlay](http://aimlab.wpi.edu/research/projects/MRI_Image_Overlay)>. Luettu 6.5.2013.
- 63 Shamir, Reuben R. TRAJECTORY PLANNING WITH AUGMENTED REALITY FOR IMPROVED RISK ASSESMENT IN IMAGE-GUIDED KEYHOLE NEUROSURGERY. PDF-dokumentti. <<http://www.cs.huji.ac.il/~caslab/material/papers/c115-trajaugmented-isbi11.pdf>>. Luettu 6.5.2013.
- 64 Rhienmora, Phattanapon, Gajananan, Kugamoorthy & Haddawy, Peter. Augmented Reality Haptics System for Dental Surgical Skills Training. PDF-dokumentti. <[http://iist.unu.edu/sites/iist.unu.edu/files/biblio/Rhienmora\\_VRST10.pdf](http://iist.unu.edu/sites/iist.unu.edu/files/biblio/Rhienmora_VRST10.pdf)>. Luettu 20.4.2013.
- 65 Samosky, Joseph T. 2011. Real-Time "X-Ray Vision" for Healthcare Simulation: An Interactive Projective Overlay System to Enhance Intubation Training and Other Procedural Training. PDF-dokumentti.

- <<http://citscentral.com/smtrdc/Portals/0/pdfs/Samosky%20et%20al%20%282011%20MMVR18%29%20IPO%20System.pdf>>. Luettu 21.4.2013.
- 66 S. Lee, J. Lee, A. Lee, N. Park, S. Lee, S. Song, A. Seo, H. Lee, J.-I. Kim & K. Eom. 2012. Augmented reality intravenous injection simulator based 3D medical imaging for veterinary medicine. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1090023312004005>>. Muokattu 25.10.2012. Luettu 21.4.2013.
- 67 Augmented Reality Training. 2010. Verkkodokumentti. <[http://www.fabiangarzon.com/ar\\_training\\_2010.html](http://www.fabiangarzon.com/ar_training_2010.html)>. Luettu 22.4.2013.
- 68 Atrial Fibrillation in Augmented Reality. 2012. Verkkodokumentti. <<http://inition.co.uk/news/atrial-fibrillation-augmented-reality>>. Muokattu 17.5.2012. Luettu 23.4.2013.
- 69 Manoj, Kumar S. 2013. Augmented Reality – The future you Will be in. Verkkodokumentti. <<http://myexitoblog.wordpress.com/2013/02/23/augmented-reality-the-future-you-will-be-in/>>. Muokattu 23.2.2013. Luettu 23.4.2013.
- 70 Stone, David. 2011. Customizable Augmented Reality Environments for Therapy. Verkkodokumentti. <<http://augmentedrealitytherapy.com/>>. Muokattu 13.9.2011. Luettu 24.4.2013.
- 71 Juan M.C, Botella C, Baños R, Alcañiz M, Guerrero B, Monserrat C. 2005. Using Augmented Reality to Treat Phobias. PDF-dokumentti. <<http://users.dsic.upv.es/~mcarmen/docs/ARanimals1.pdf>>. Luettu 24.4.2013.
- 72 Correa, Ana Grasielle Dionisio. Augmented Reality Musical System for Rehabilitation of Patients with Duchenne Muscular Dystrophy. PDF-dokumentti. <[http://www.abdim.org.br/wp-content/uploads/2012/10/augmented\\_reality\\_musical\\_system\\_for\\_rehabilitation\\_of\\_patients\\_with\\_duchenne\\_muscular\\_dystrophy.pdf](http://www.abdim.org.br/wp-content/uploads/2012/10/augmented_reality_musical_system_for_rehabilitation_of_patients_with_duchenne_muscular_dystrophy.pdf)>. Luettu 25.4.2013.
- 73 Burke, James. Games for Upper Limb Stroke Rehabilitation. Verkkodokumentti. <<http://www.burkazoid.com/portfolio/projects/games4rehab/>>. Luettu 26.4.2013.
- 74 Symbicort Turbuhaler Augmented Reality. Verkkodokumentti. <<http://enapp.appvv.com/436641.html>>. Luettu 27.4.2013.
- 75 Verkkodokumentti. <[http://b.vimeocdn.com/ts/366/070/366070809\\_640.jpg](http://b.vimeocdn.com/ts/366/070/366070809_640.jpg)>. Luettu 27.4.2013.
- 76 Bichlmeier, Christoph. 2012. Mobile Medical Augmented Reality App for the Apple iPad – Interview with Prof. Hans-Peter Meinzer. Verkkodokumentti. <<http://medicalaugmentedreality.com/2012/03/mobile-medical-augmented-reality-app-for-the-apple-ipad-interview-with-prof-hans-peter-meinzer/>>. Muokattu 5.3.2012. Luettu 3.5.2013.



- 77 Doctor Mole HD - Skin Cancer App 1.6. 2013. Verkkodokumentti.  
<<http://appfinder.lisisoft.com/app/doctor-mole-hd-skin-cancer-app.html>>.  
Muokattu 17.3.2013. Luettu 4.5.2013.
- 78 Augmented Reality App for Moles. 2012. Verkkodokumentti.  
<<http://library.uthscsa.edu/2012/10/augmented-reality-app-for-moles/>>. Muokattu  
28.10.2012. Luettu 4.5.2013.
- 79 Wolf, Joel A. Diagnostic Inaccuracy of Smartphone Applications for Melanoma  
Detection. 2013. Verkkodokumentti.  
<<http://archderm.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=1557488#qundefined>>.  
Muokattu 16.1.2013. Luettu 4.5.2013.
- 80 Pirttimaa, Ilkka. 2012. BlindSquare ja maailmanvalloitus. Verkkodokumentti.  
<<http://softaajarautaa.blogspot.fi/2012/06/blindsquare-ja-maailmanvalloitus.html>>.  
Muokattu 10.6.2012. Luettu 5.5.2013.
- 81 BlindSquare. 2013. Verkkodokumentti.  
<<https://itunes.apple.com/us/app/blindsquare/id500557255?mt=8>>. Luettu  
5.5.2013.
- 82 Lundvall, Marjo. 2012. Uutta teknologiaa näkövammaisten avuksi.  
Verkkodokumentti.  
<[http://ohjelmat.yle.fi/akuutti/uutta\\_teknologiaa\\_nakovammaisten\\_avuksi](http://ohjelmat.yle.fi/akuutti/uutta_teknologiaa_nakovammaisten_avuksi)>.  
Muokattu 31.10.2012. Luettu 5.5.2013.
- 83 Ridden, Paul. 2011. DanKam app clears up color blind confusion.  
Verkkodokumentti. <<http://www.gizmag.com/dankam-smartphone-app-helps-color-blind/17451/>>. Muokattu 4.1.2011. Luettu 6.5.2013.
- 84 Mills, Elinor. 2010. DanKam smartphone app aids the color-blind. Verkkodoku-  
mentti. <[http://news.cnet.com/8301-27080\\_3-20026054-245.html](http://news.cnet.com/8301-27080_3-20026054-245.html)>. Muokattu  
17.12.2010. Luettu 6.5.2013.
- 85 Color Blind Aid 1.1. 2010. Verkkodokumentti.  
<<http://appfinder.lisisoft.com/app/351425486.html>>. Muokattu 3.5.2010. Luettu  
6.5.2013.
- 86 Color Blind Aid. Verkkodokumentti. <<http://www.idisrupt.com/ColorBlindAid.html>>.  
Luettu 6.5.2013.
- 87 Anatomy 4D. 2012. Verkkodokumentti.  
<<https://itunes.apple.com/us/app/anatomy-4d/id555741707?mt=8>>. Muokattu  
16.11.2013. Luettu 7.5.2013.
- 88 Lehtinen, Jukka. 2012. Nämä ovat tulevaisuuden teknologiat. Verkkodokumentti.  
<[http://www.3t.fi/artikkeli/uutiset/teknologia/nama\\_ovat\\_tulevaisuuden\\_teknologia](http://www.3t.fi/artikkeli/uutiset/teknologia/nama_ovat_tulevaisuuden_teknologia)  
t>. Muokattu 31.8.2012. Luettu 10.5.2013.

- 89 Aalto-yliopisto. 2012. Gartnerin tutkimusraportit ovat arvokas lisä tietojärjestelmien opetuksessa. Verkkodokumentti. <<https://into.aalto.fi/pages/viewpage.action?pagelId=9391260>>. Muokattu 7.1.2013. Luettu 10.5.2013.
- 90 Seeds, Catherine. 2012. MOBILE TRENDS TO WATCH: AUGMENTED REALITY IN COMMERCE. Verkkodokumentti. <<http://www.themobileretailblog.com/in-store-shopper-marketing/mobile-trends-augmented-reality-in-commerce/>>. Muokattu 6.11.2012. Luettu 10.5.2013.
- 91 Ahonen, Tomi. 2012. Tomi Ahonen Calls out: Augmented Reality is the 8th Mass Medium. Verkkodokumentti. <<http://www.brightsideofnews.com/news/2012/4/11/tomi-ahonen-calls-out-augmented-reality-is-the-8th-mass-medium.aspx>>. Muokattu 4.11.2012. Luettu 10.5.2013.
- 92 Hodson, Hal. 2013. Smell-o-vision screens let you really smell the coffee. Verkkodokumentti. <<http://www.newscientist.com/article/mg21729105.900-smellovision-screens-let-you-really-smell-the-coffee.html>>. Muokattu 29.3.2013. Luettu 10.5.2013.
- 93 Sung, Dan. 2011. Augmented reality: a long way off? Verkkodokumentti. <<http://www.pocket-lint.com/news/108949-augmented-reality-interview-steve-feiner>>. Muokattu 3.3.2011. Luettu 10.5.2013.
- 94 Smart Interior Design Apps. 2011. Verkkodokumentti. <<http://musingsfromthegreenroom.blogspot.fi/2011/06/smart-interior-design-apps.html>>. Muokattu 7.6.2011. Luettu 11.5.2013.
- 95 Lewis, Tom. 2011. Augmented Reality for surgeons comes via mobile medical technology – Hallux Angles app. Verkkodokumentti. <<http://www.imedicalapps.com/2011/07/hallux-angles-augmented-reality-mobile-medical-technology/>>. Muokattu 15.7.2011. Luettu 11.5.2013.
- 96 Buntz, Brian. 2012. Potential Medical Applications of Google's Augmented Reality Project. Verkkodokumentti. <<http://www.medicalelectronicsdesign.com/blog/medblog/what-will-medical-and-health-applications-be-google-goggles>>. Muokattu 4.4.2012. Luettu 12.5.2013.
- 97 Cameron, Chris. 2010. How Augmented Reality Helps Doctors Save Lives. Verkkodokumentti. <[http://readwrite.com/2010/06/02/how\\_augmented\\_reality\\_helps\\_doctors\\_save\\_lives](http://readwrite.com/2010/06/02/how_augmented_reality_helps_doctors_save_lives)>. Muokattu 2.6.2010. Luettu 12.5.2013.
- 98 Augmented Reality May Provide Medical Expertise in Space. 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.spacesafetymagazine.com/2012/02/07/augmented-reality-provide-medical-expertise-astronauts/>>. Muokattu 7.2.2012. Luettu 13.5.2013.

- 99 Boyle, Rebecca. 2012. Augmented Reality Will Help Future Astronauts Perform Surgery on Each Other. Verkkodokumentti. <<http://www.popsci.com/technology/article/2012-02/augmented-reality-will-help-future-astronauts-perform-surgery-each-other>>. Muokattu 2.6.2012. Luettu 13.5.2013.
- 100 Augmented reality surgery with CAMDASS. 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.designboom.com/technology/augmented-reality-surgery-with-camdass/>>. Muokattu 7.2.2012. Luettu 13.5.2013.
- 101 Soler, L et al. 2004. Virtual Reality and Augmented Reality in Digestive Surgery. PDF-dokumentti. <[http://www-sop.inria.fr/asclepios/Publications/Xavier.Pennec/Nicolau\\_ISMAR04.pdf](http://www-sop.inria.fr/asclepios/Publications/Xavier.Pennec/Nicolau_ISMAR04.pdf)>. Luettu 14.5.2013.

