

Marika Pöllänen

Älyvaatteen kehityskaari ja älykäs potilasvaate

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Hyvinvointiteknologia

Insinööriytyö

8.10.2014

Tekijä	Marika Pöllänen
Otsikko	Älyvaatteen kehityskaari ja älykäs potilasvaate
Sivumäärä	48 sivua
Aika	8.10.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Hyvinvointiteknologia
Suuntautumisvaihtoehto	Hyvinvointiteknologia
Ohjaajat	Metropolia, Yliopettaja Mikael Soini, TkT Metropolia, Yliopettaja Raija Hölttä, TaL
<p>Työssä kartoitettiin älyvaatteen ja puettavan teknologian kehitystä ensimmäisistä kehitelmistä nykyhetkeen ja tulevaisuuden näkymiin. Työssä kehitettiin myös konsepti peruselintoimintoja mittaavasta potilasvaatteesta. Tavoitteena oli tehdä laaja katsaus aiheeseen, kuitenkin rajaten sitä tarkoituksenmukaisesti.</p> <p>Älyvaatteen ja puettavan teknologian kehityskaarta varten tutkittiin kirjallisia lähteitä. Muita aiheita, kuten ihmisen elintoimintoja ja potilasvaatetta, varten haastateltiin eri alojen asiantuntijoita.</p> <p>Ensimmäiset puettavat tietokoneet olivat suurikokoisia ja kömpelöitä, ja ne tunnettiin vain alan kehittäjien keskuudessa. Vähitellen teknologian kehitys on johtanut nykyhetkeen, jolloin laitteet ovat kevyempiä ja huomaamattomampia, ja kaupallisia sovelluksia on saatavilla. Kun teknologia ja laitteet pienenevät ja niiden hinnat laskevat, niiden käyttö yleistyy ja tulee arkisemmaksi.</p> <p>Potilaan elintoimintoja mitataan sairaalalaitteilla erittäin tarkasti. Vaatteen avulla voitaisiin tehdä suuntaa antavaa arviota potilaan terveydentilasta tarkkailemalla peruselintoimintoja sairaalassa tai kotona. Työssä tarkastellaan sydämen toimintaa, sykettä, hengitystä ja happisaturaatiota sekä niiden mittaamista. Elintoimintoja voidaan mitata vaatteisiin tai asusteisiin integroitavalla teknologialla. Työssä esitetään älykkään potilasvaatteen suunnittelussa ja käytössä huomioitavia asioita ja tarkastellaan, mitkä ratkaisut ovat jo mahdollisia.</p> <p>Työssä esitetty potilasälyvaatekonsepti olisi tällä hetkellä mahdollinen toteuttaa, mutta vielä vaaditaan kehittelyä ennen kuin varsinainen tuote on valmis, ja se otetaan käyttöön. Seuraava vaihe olisi kehittää potilasälyvaatteen prototyyppi ja tutkia sitä käytännössä. Työ toimii pohjana Metropoliaa aloitettavalle älyvaatehankkeelle.</p>	
Avainsanat	älyvaate, kehitys, potilasvaate, elintoiminnot, mittaus

Author	Marika Pöllänen
Title	Development of Smart Clothing and the Possibilities of Smart Patient Clothing
Number of Pages	48 pages
Date	8 October 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Health Informatics
Specialisation option	Health Informatics
Instructors	Mikael Soini, Principal Lecturer, D.Sc. (Tech.), Metropolia Raija Hölttä, Principal Lecturer, Metropolia
<p>This thesis deals with the development of smart clothing and wearable technology from the early applications to present and future visions. The work also covers conceptualization of patient clothing that measure basic vital functions. The aim of the study was to obtain an extensive yet appropriately defined overview of the subject.</p> <p>The research of the development of smart clothing and wearable technology is based on written source material. Experts of different fields were interviewed for other themes such as vital functions and patient clothing.</p> <p>The first wearable computers were bulky and only known among their developers. Little by little the development of the technology has led to a point where the devices are lighter and more discreet and there are commercial applications available. When the size and cost of the technology and devices decrease they will become more common.</p> <p>Medical devices in hospitals measure the vital functions of a patient very precisely. With the help of smart clothing approximate assessment of the patient's health can be made by monitoring vital functions in the hospital or at home. In this thesis the function of the heart, pulse, respiration and oxygen saturation and the measurement of them are studied. Vital functions can be measured with technology integrated in clothes or accessories. Issues that need to be discussed when designing and using smart patient clothing are presented in the thesis. Also solutions available today are introduced.</p> <p>The concept for smart patient clothing outlined in the thesis is already practicable but more development is needed before an actual product can be implemented. The next step would be to develop a prototype of the smart patient clothing and research it in practice. This study will be used as a basis for a future smart clothing project in Metropolia.</p>	
Keywords	smart clothing, development, patient clothing, vital functions, measurement

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Puettavan tietokoneen ja älyvaatteen historiaa	3
2.1	Älyvaatteen määrittely	3
2.2	Puettavan tietokoneen historiaa	3
3	Kehitys tällä hetkellä ja tulevaisuudessa	16
3.1	Markkinoilla olevia ja juuri tulossa olevia tuotteita	16
3.2	Tulevaisuuden näkymiä	24
4	Ihmisen vitaalielintoiminnot ja niiden mittaaminen	27
4.1	Sydänsähkökäyrä eli EKG	27
4.2	Syke	29
4.3	Hengitys	30
4.4	Happisaturaatio	31
4.5	Älykkään potilasvaatteen hahmotelma	32
5	Elintoimintoja mittaavan potilasvaatteen mahdollisuudet ja haasteet	33
5.1	Potilasvaatteen tärkeimmät ominaisuudet	33
5.2	Mittareiden lisääminen potilasvaatteeseen	34
5.3	Langattomat sensorijärjestelmät ja terveydentilan monitorointi	39
6	Yhteenveto	41
	Lähteet	43

Lyhenteet

BBN Technologies	<i>Bolt, Beranek and Newman.</i> Korkean teknologian yritys.
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency.</i> Yhdysvaltain asevoimien tutkimusorganisaatio.
EEG	<i>Elektroenkefalogrammi.</i> Aivosähkökäyrä.
EKG	<i>Elektrokardiogrammi.</i> Sydänsähkökäyrä.
EMG	<i>Elektromyogrammi.</i> Lihassähkökäyrä.
ETH Zürich	<i>Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.</i> Teknillinen yliopisto Zürichissä, Sveitsissä.
GPS	<i>Global Positioning System.</i> Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
GSM	<i>Global System for Mobile communications.</i> Maailmanlaajuisen matkapuhelinjärjestelmä.
HMD	<i>Head-mounted display.</i> Päässä pidettävä näyttölaite, jossa on pieni optinen näyttö yhden tai molempien silmien edessä.
HUD	<i>Head-up display.</i> Läpinäkyvä näyttö, jota lukeakseen käyttäjän ei tarvitse siirtää katsettaan katselemastaan asiasta.
IBM	<i>International Business Machines.</i> Suurtietokoneiden ja raskaiden palvelimien valmistajana tunnettu teknologiayritys.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers.</i> Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
KARMA	<i>Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance.</i> Huoltotoimenpiteissä avustava lisätyn todellisuuden järjestelmä.

LART	<i>Linux Advanced Radio Terminal</i> . Linuxia pyörittävä sulautettu tietokone.
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> . Nestekidenäyttö.
LED	<i>Light-emitting diode</i> . Puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirta.
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> . Teknillinen korkeakoulu Yhdysvalloissa.
OQO	Erään kädessä pidettävän tietokoneen nimi.
PC	<i>Personal Computer</i> . Henkilökohtainen tietokone.
QBIC	<i>Q-Belt Integrated Computer</i> . Vyöhön integroitu tietokone.
QWERTY	Yleisin näppäimistön asettelu. Nimi tulee näppäimistön ylimmän rivin kuudesta ensimmäisestä kirjaimesta.
puoli-QWERTY	Yhdellä kädellä käytettävä versio QWERTY-näppäimistöstä.
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> . Yleisnimitys radiotaajuuksilla toimiville tekniikoille, joita käytetään tuotteiden tunnistamiseen.
USB	<i>Universal Serial Bus</i> . Väylä, jonka kautta laitteet voivat kommunikoida keskenään.
Valvira	Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto.
VGA	<i>Video Graphics Array</i> . Näyttöstandardi.
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> . Langaton lähiverkko.
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i> . Langaton sensorijärjestelmä.

1 Johdanto

Työssä tarkastellaan älyvaatteen ja puettavan teknologian kehityksen kulkua sekä vaatteen avulla tapahtuvaan ihmisen elintoimintojen mittaamiseen liittyviä mahdollisuuksia ja haasteita terveydenhuollossa. Älyvaatteen ja puettavan teknologian kehityskaarta pyritään kartoittamaan laajasti. Työn tavoitteena on selvittää kehityksen kulkua ensimmäisistä sovelluksista lähtien. Työssä tarkastellaan kehityksen tämänhetkistä tilannetta eli mikä on tällä hetkellä mahdollista ja minkälaisia sovelluksia on tehty ja on suunnitteilla. Myös kehityksen suuntaa tulevaisuudessa arvioidaan. Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle älyvaatteisiin liittyvän hankkeen esiselvityksenä.

Ihmisen elintoimintoja mittaavia vaatteita ja asusteita on kehitetty urheilusuoritusten mittaamiseen ja seuraamiseen. Tuotteita on kuluttajille jo melko paljon, ja alan kehitys ja kasvu jatkuvat. Urheilussa käytettäviä sovelluksia voitaisiin hyvin hyödyntää myös terveydenhuollossa. Siellä on paljon mahdollisuuksia, mutta kehitys on huomattavasti hitaampaa kuin urheilussa. Terveydenhuollon sovellusten kehitystä hidastavat muun muassa pitkät ja raskaat lupaprosessit, joissa vaikuttavat useat eri tahot.

Kaikkialla valtavat potilasjonot aiheuttavat suuren ongelman terveydenhuollolle. Julkisen terveydenhuollon kiinteät kustannukset kasvavat koko ajan ympäri maailmaa. Asioita on liian paljon tehtävänä, ja niitä on liian vähän ihmisiä tekemässä. Ratkaisuja on löydettävä.

Monet terveydentilaa seuraavat mittaukset voitaisiin siirtää kotona suoritettaviksi puettavan teknologian sovellusten avulla. Tällöin terveydenhuollon resursseja voitaisiin kohdistaa tehokkaammin. Terveydentilan mittaaminen puettavan teknologian avulla on potilaalle helppoa, ja se mahdollistaa jatkuvan mittaamisen, jolloin terveydentilan muutoksiin voidaan puuttua ajoissa. Vaatteen avulla tehtävää mittausta varten ei tarvita lääkärin tai hoitajan fyysistä paikallaoloa.

Uusien toimintatapojen hyväksyminen ja käyttöönotto voi olla hidasta ja mutkasta. Terveydentilan mittaamiseen vaatteen avulla liittyy monenlaisia huomioonotettavia asioita. Valmiita sovelluksia on, mutta haasteena on saada kokonainen järjestelmä toimimaan, ja tuoda se sujuvasti käyttöön. Keskeisenä haasteena esiin nousee myös kustannuskysymyksiä. Uusien ratkaisujen pitää olla selkeästi vanhoja parempia. Tekno-

logian kehittyessä ja tuotteiden yleistyessä niiden hinta laskee, mutta ainakin aluksi voidaan joutua miettimään, missä muussa voitaisiin säästää, jotta uusia teknisiä ratkaisuja voitaisiin edes harkita.

Tässä työssä tarkastellaan puettavan teknologian aluetta eli vaatteita, joihin on liitetty elektroniikkaa. Älyvaate voi myös olla vaate, joka on valmistettu älykkäästä materiaalista eli tekstiilimateriaalilla voi olla esimerkiksi lämmönsäätelyyn liittyviä ominaisuuksia.

Älyvaatteen kehityskaari alkaa puettavan tietokoneen ja yleensä mukana kannettavan teknologian kehityksestä. Kehitystä käsitellään esimerkkien avulla ensimmäisistä kehittämistä nykyhetken sovelluksiin. Tämän hetken tilannetta kartoitetaan esittelemällä ajankohtaisia ja juuri kehitteillä olevia tuotteita.

Kehityskaaren jälkeen käsitellään ihmisen elintoimintoja ja niiden mittaamista. Tarkastelussa ovat ihmisen vitaalinelintoiminnot eli ihmisen elämän kannalta välttämättömät elintoiminnot. Seuraavaksi käsitellään potilasvaatetta sekä elintoimintoja mittaavan vaatteen suunnittelussa ja käytössä huomioitavia asioita. Tämän yhteydessä tarkastellaan myös vaatteen toimimista osana langatonta järjestelmää. Lopuksi pohditaan eri näkökulmia aiheeseen.

Älyvaatteen ja puettavan teknologian kehityskaaresta tehtiin laaja kartoitus tutkimalla kirjallisia lähteitä. Muita aiheita varten haastateltiin eri alojen asiantuntijoita. Kokonaisuutta kartoitettiin eri näkökulmista. Näkökulmia olivat lääketiede ja lääkäri, sairaala- ja hoitohenkilökunta, yritys ja tuotevalmistaja sekä vaatetusala.

2 Puettavan tietokoneen ja älyvaatteen historiaa

2.1 Älyvaatteen määrittely

Älykäs tekstiilituote tai -materiaali ottaa informaatiota ympäristöstään, käsittelee tiedon ja toimii sen perusteella jollakin loogisella toistettavalla tavalla. Älyvaatteita ovat puettavan teknologian tuotteet eli vaatteet ja asusteet, joihin on liitetty elektronisia laitteita. Älyvaatteita ovat myös vaatteet, jotka on valmistettu älykkäistä materiaaleista. Tekstiili voidaan siis varustaa elektroniikalla, tai itse tekstiilimateriaalilla voi olla älykkäitä ominaisuuksia. Tekstiili tai tekstiiliin liitetty anturi reagoi mittauskohteen muutoksiin. Tästä syntyy impulssi, joka mitataan ja muutetaan ymmärrettävään muotoon. Älyvaatteen elektroniset osat tarvitsevat sähköä, joten vaatteeseen liitetään myös pienikokoinen akku tai paristo. [1.]

Älyvaatteen kriteerit liittyvät tuotteen toiminnallisuuteen ja käytettävyyteen sekä teknisiin haasteisiin. Laitteen tulee olla sellainen, että käyttäjä ei huomaa sen toimintaa, eikä tiedosta kantavansa mittauslaitetta. Hän vain pukee vaatteen ylleen, ja laitteisto huolehtii mittaamisesta ja tiedon käsittelystä. Käyttäjän tulee myös voida hallita laitetta, mutta tämän tulee tapahtua jopa tiedostamatta. Esimerkiksi lenkkeilyä mittaava laite voi pysäyttää ajan mittaamisen lenkkeilijän pysähtyessä pitämään taukoa. Käyttäjän tulee myös tietää, miten laite toimii. Laitteen toiminnan tulee olla käyttäjälle samanlaista paikasta ja tilanteesta riippumatta. [2.]

2.2 Puettavan tietokoneen historiaa

Ensimmäisiä kehitelmiä

Puettavan ja mukana kannettavan teknologian kehityksen voidaan katsoa alkaneen silmälasien sekä tasku- ja rannekellon kehittämisestä. Ihmisen toimintaa on pyritty tukemaan ja tehostamaan. [3.]

Ensimmäinen puettava tietokone oli laite, joka tehtiin ruletin ennustamiseen. Sen kehittivät Edward Thorp ja Claude Shannon 1960-luvulla. Laitteen käyttäjällä oli kenkäänsä piilotettu tupakka-askin kokoinen tietokone, joka laski rulettipyörän ja pallon kiertorataa ja nopeuksia sekä arvioi pelin tuloksen. Tietokone lähetti ennusteen radioteitse käyttäjän

korvanappiin. Laitteen kytkimiä ohjattiin varpailla, jolloin kädet jäivät vapaiksi ja näkyville. [3; 4.]

1960-luvulla Ivan Sutherland rakensi ensimmäisen tietokonepohjaisen päässä kannettavan näyttölaitteen (HMD, head-mounted display) (kuva 1), jossa käyttäjän pään kummallakin puolella oli kuvaputkinäyttö, joiden kuvat heijastettiin peileillä käyttäjän silmiin. Toinen järjestelmä määrittä käyttäjän katseen suunnan ja heijasti yhdellä silmällä nähtävän ilmassa leijuvalta kuutiolta näyttävän kuvion. Suurin osa järjestelmästä oli kiinnitettynä kattoon käyttäjän pään yläpuolella. [3.] Sutherlandin laite oli digitaalisten näkölaitteiden ja virtuaalisen todellisuuden sovellusten edelläkävijä [5].



Kuva 1. Ensimmäinen tietokonepohjainen päässä kannettava näyttölaite [6].

Bell Helicopter Company teki 1960-luvulla kokeiluja varhaisilla kamerapohjaisilla lisätyn todellisuuden järjestelmillä. Eräässä järjestelmässä HMD-näyttöön oli yhdistetty infrapunakamera, joka mahdollisti armeijahelikopterilla laskeutumisen epätasaiseen maastoon yöllä. Infrapunakamera oli sijoitettu helikopterin pohjaan, ja se liikkui lentäjän pään liikkeiden mukaan. [3.]

Lisätty todellisuus on digitaalisen tiedon yhdistämistä käyttäjän ympäristöön. Tekniikan avulla luotava virtuaalisia objekteja ja tietoelementtejä sisältävä käyttöliittymä on luonteva osa käyttäjän ympäristöä. Se on tehokas työkalu tilannetietojen käyttämiseen tietorikkaassa ympäristössä. [7.]

1960-luvun loppupuolella kehitettiin huulitalukemisessa avustava järjestelmä, joka koostui analogisesta puettavasta tietokoneesta ja silmälaseihin liitettävistä LED-valoista (Light-emitting diode). Tuohon aikaan kehitettiin myös ensimmäisiä PC-tietokoneita (Personal Computer), jotka pohjustivat sekä interaktiivisen PC:n että yhteistyökäyttöisten verkko-ohjelmistojen kehitystä. [3.]

Avustavia laitteita

1970-luvulla kymmenen vuoden tutkimuksen tuloksena C.C. Collins kehitti sokeita avustavan puettavan järjestelmän. Päässä kannettava kamera muunsi kuvia 10-tuumaiselle käsin tunnusteltavalle liiviin liitetylle alustalle. [3.]

Hewlett-Packard julkaisi vuonna 1977 HP 01 -rannekellon (kuva 2), jossa oli algebrallinen laskin. Se oli aikansa taskulaskimia älykkäämpi. Se käsitteli ja yhdisteli aikaan ja kalenteriin liittyvää sekä numeerista dataa. Laitteessa oli kuusi interaktiivista toimintoa: aika, hälytys, ajastin/sekuntikello, päivämäärä/kalenteri, laskin ja muisti. Laitteessa oli 28 pientä painiketta, joita käytettiin osoitinkynän avulla. [8.]



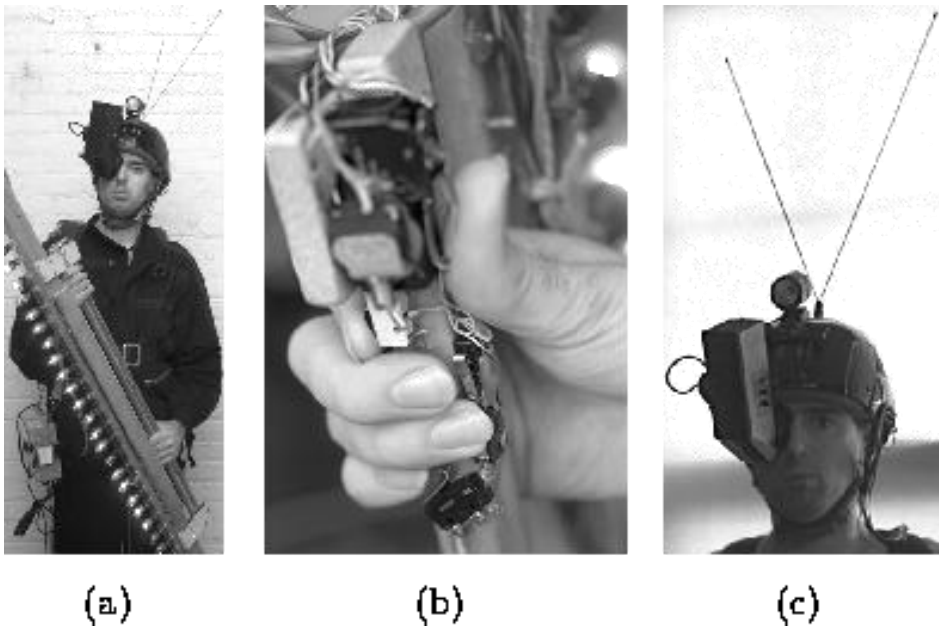
Kuva 2. HP 01 -rannekello [9].

Vuonna 1993 Columbian yliopiston Steve Feiner, Blair MacIntyre ja Dorée Seligmann kehittivät KARMA-nimisen (Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance) lisätyn todellisuuden järjestelmän. Järjestelmä oli tarkoitettu laitteiden tai koneiden huoltotoimenpiteiden avuksi. Käyttäjällä oli Private Eye -näyttö, joka tuotti virtuaalisen ja todellisen maailman yhdistävän ilmiön. KARMA-järjestelmä toi käyttäjän näky-mään korjattavan laitteen kaavakuvat ja huolto-ohjeet, jotka näkyivät korjattavan kohteen

päällä. Esimerkiksi tulostimen päälle piirtyi näyttölaitteen kautta katseltuun näkymään ohjeet, jotka opastivat tulostuspaperin vaihtamisessa. Järjestelmä käytti fyysisiin kohteisiin kiinnitettyjä sensoreita määrittääkseen niiden sijainnit. Koko järjestelmää pyöritti pöytäkone. [3.]

Kehitys jatkuu

1980-luvulla elektroniikan kehittyminen pienemmäksi oli vauhdikasta ja tietokoneen osia oli sopivasti saatavilla, mikä johti useiden puettavien tietokoneiden kehittelyyn. Laitteet kohdistettiin tiettyihin sovelluksiin. Esimerkiksi vuonna 1981 Steve Mann esitteli valokuvauslaitteiston ohjaamiseen tarkoitetun selkäreppussa kannettavan tietokoneen (kuva 3). Tietokoneella ohjattiin salamavalvoja, kameroita ja muita valokuvausjärjestelmiä. Tietokone oli integroitu teräsrunkoiseen selkäreppuun. Repun olkahihnojen lisäksi siinä oli vyö, jotta laitteen paino jakautuisi enemmän kantajan lantiolle kuin olkapäille. Virranmuunnin oli ripustettu toiselle hartialle. Antenneja oli ensin kolme ja myöhemmin kaksi. Ne toimivat eri taajuuksilla, mikä mahdollisti datan lähettämisen ja vastaanottamisen samanaikaisesti. [3; 10; 11.]



Kuva 3. (a) Steve Mannin "valokuvaajan apulainen". (b) Kädensija, jonka kytkimillä ohjattiin muun muassa valoja. (c) Päässä kannettava näyttölaite. [11.]

Vuonna 1986 Steve Roberts rakensi Winnebiko II -nimisen nojapyörän (kuva 4), joka oli hänen ensimmäinen liikkuvan tietokoneen kehitelmänsä. Kulkuvälineessä oli Hewlett-Packard Portable PLUS -tietokone, LCD-näyttö (Liquid Crystal Display) ja kädensijoissa

näppäimistö. Tietokonetta voi käyttää pyörällä ajaessa. PacComm-ohjain käsitteli pakettidatakommunikointia radioteitse, mikä mahdollisti verkon käytön. Polkupyörän hallintaan tarkoitettu prosessori käsitteli pyörän reaaliaikaiset hallinta- ja monitorointitoiminnot, kuten näppäimistön koodin kääntämisen, muiden järjestelmien toisiinsa linkittämisen ja aurinkopaneeleilla toteutettavan akunlatauksen. [3; 12.]



Kuva 4. Winnebiko II -polkupyörä [12].

Vuonna 1994 Toronton yliopiston Edgar Matias ja Mike Ruicci rakensivat rannetietokoneen, jossa oli pieni näyttö ja yhdellä kädellä käytettävä puoli-QWERTY-näppäimistö. Tämä oli uusi lähestymistapa HUD (head-up display) -näytön ja yhden käden näppäimistön yhdistelmään. Järjestelmässä käytettiin HP 95LX -kämmentietokonetta. Laitteet kiinnitettiin käyttäjän kyynärvarsiin. Pitämällä käsivarsiaan lähellä toisiaan käyttäjä pystyi kirjoittamaan ja seuraamaan syötettä näytöltä samanaikaisesti. Matias kaupallisti ratkaisun, jonka jälkeen IBM (International Business Machines) ja Panasonic tekivät omat samankaltaiset tuotteensa. Panasonicin vuonna 2002 esittelemä Brick Computer yhdistettiin langattomasti käsivarteen puettavaan näyttöön. 1990-luvulla ja sen jälkeen monet yritykset tutkivat käsivarsitietokoneiden konseptia. Muutamat järjestelmät menestyivät markkinoilla. Näitä olivat esimerkiksi ääniohjattava logistiikkaratkaisu Vocollect ja langattomat viivakoodinlukijat. [3; 10.]

Näyttölaitteita

Päässä kannettavien näyttöjen (HMD) kehittäminen ei ole johtanut niiden käytön yleistymiseen, vaan ne ovat lähinnä päätyneet armeijakäyttöön. Kehittäjät ovat kohdanneet erilaisia teknisiä rajoituksia, joiden takia näyttöjen kuvanlaatu on ollut huono, laitteet ovat olleet kookkaita ja kömpelöitä sekä paljon energiaa kuluttavia. Myöhemmin esteet ovat liittyneet ajurielektroniikkaan ja tuotannon ongelmiin. Nykyään useimmat tekniset haasteet on ratkaistu, mutta sen lisäksi tuotteen pitää saavuttaa sosiaalisesti hyväksytyä asemaa, jotta sen käyttö voi yleistyä. [13.]

Reflection Technology -nimisen yrityksen Private Eye -näyttö vuodelta 1989 oli päässä kannettava näyttö, jossa oli 720 x 280 pikselin resoluutio. Yleensä näyttölaite liitettiin hatun reunaan tai suojalaseihin (kuva 5), jolloin näyttö oli suoraan toisen silmän edessä. Käyttäjän aivot yhdistivät näytöllä näkyvän tekstin ja paljaan silmän näyttämän reaali maailman, kuten kuvassa 6. Tämä ilmiö on hyödyllinen lisätyn todellisuuden luomisessa. [3; 14.]



Kuva 5. Vasemmalla Private Eye kiinnitettynä hatun reunaan ja oikealla suojalaseihin [14].

```

EastFinchley:/tmp>
EastFinchley:/tmp>
EastFinchley:/tmp> zlocate finagler
zlocate finagler
lorenz                               :0.0  \
Thu Mar 20 16:34:45 1997
darkins                               :0.0  \
Sun Mar  2 18:58:13 1997
EastFinchley:/tmp> zwrite finagler
zwrite finagler
Type your message now.  End with control-D or a dot\
on a line by itself.
Hi...did Marvin ever find you?
finagler: Message sent
EastFinchley:/tmp>
EastFinchley:/tmp>
EastFinchley:/tmp>
EastFinchley:/tmp>
--*-Emacs: 'shell' 7:39pm 4.56 (Shell)

```

Kuva 6. Private Eye:n käyttäjän näkymä [14].

Ajan myötä päässä kannettavia näyttöjä on kehitetty hienovaraisemmiksi. 2000-luvun alkupuolella MicroOptical kehitti silmälaseihin liitettävän näytön, ja viimeisin esimerkki silmälaseiden kaltaisesta laitteesta on Google Glass (kuva 7). [13.]



Kuva 7. Professori Thad Starner esittelee päässä kannettavan näytön kolme sukupolvea; vasemmalla Private Eye 90-luvun puolivälistä, keskellä Microoptical 2000-luvun alkupuolelta ja oikealla nykyinen Google Glass [13].

Google Glass -älylaseilla (kuva 8) voi tehdä samoja asioita kuin älypuhelimella. Niillä voi muun muassa lähettää tekstiviestejä ja sähköpostia, ottaa kuvia, lukea uutisia ja navigoida. Lasit toimivat myös Bluetooth-kuulokkeen tavoin. Laseja käytetään äänikomennoilla ja oikean sangan kosketuspinnalla, jolloin kädet jäävät vapaiksi. Näyttö on sijoitettu lasien oikeaan yläkulmaan. Se ei ole suoraan käyttäjän näkölinjassa, vaan katse pitää kohdistaa yläviistoon nähdäkseen näytön. Tulevaisuudessa laseja ohjataan myös silmäniskulla. Lasit ovat testikäytössä, ja ensimmäinen kaupallinen malli julkaistaan vuoden 2014 aikana. [15.]



Kuva 8. Google Glass -lasit [16].

Tulevaisuuden visiointia

1990-luvun alussa nykypäivän puettavan tietokoneen pioneereja olivat muun muassa Thad Starner ja Steve Mann MIT:n teknillisessä korkeakoulussa (Massachusetts Institute of Technology). Kun tuolloin suurikokoiset ja kömpelöt PC-tietokoneet olivat vasta juuri yleistyneet kodeissa, he visioivat tietokoneita, joita voisi kantaa aina mukana ja käyttää missä vain ja milloin vain. Käyttöliittymät mahdollistaisivat tietokoneen käytön silloinkin kun käyttäjä keskittyy mutkikkaaseen tosimaailmaan sekä fyysisesti että henkisesti. Tietokoneet lisäisivät ja moninkertaistaisivat ihmisen havainnointikykyä ja henkistä kapasiteettia. Lisäksi tietokoneet olisivat tietoisia fyysisestä ympäristöstään, mitä ne osaisivat hyödyntää toiminnallisuudessaan. [10.]

1990-luvulla prosessointikyvyn kasvu pohjusti yleiskäyttöisten puettavien tietokoneiden kehittymistä. Monet ensimmäisistä järjestelmistä olivat vyötäröllä kannettavia laitteiden koon ja painon takia. Doug Platt kehitti vuonna 1991 Hip-PC-nimisen järjestelmän, jossa oli Intel 80286 -prosessori. Järjestelmä toimi perustana MIT:n Lizzy-nimiselle puettavalle tietokoneelle, johon voitiin liittää päässä kannettava yhdellä silmällä katseltava näyttölaite ja yhdellä kädellä käytettävä näppäimistö. Yksi ensimmäisistä kaupallisista tuotteista oli Xybernaut, joka tuli markkinoille vuonna 1990. Xybernaut-järjestelmän laitteisto koostui vyötärölle kiinnitettävästä tietokoneesta ja kädessä kannettavasta näytöstä. [10.]

Vuonna 1991 Mark Weiser esitteli ajatusta ubiikeista eli kaikkialla läsnä olevista tietokoneista tiedelehti Scientific Americanissa. Useimpiin jokapäiväisiin tavaroihin olisi upotettu tietoa käsitteleviä laitteita. [3.]

Yhdysvaltain asevoimien tutkimusorganisaatio DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) aloitti vuonna 1994 Smart Modules -ohjelman, jossa kehitettiin modulaarinen lähestymistapa puettaviin ja kannettaviin tietokoneisiin. Ohjelmassa kehitettiin muun muassa tietokoneita, radioita, navigaatiojärjestelmiä sekä ihmisen ja tietokoneen välisiä rajapintoja niin armeijan kuin kuluttajienkin käyttöön. [3.]

Vuonna 1997 järjestettiin älyvaatteiden muotinäytös Pompidou-keskuksessa Pariisissa. Muotinäytös tehtiin Pariisin Creapôle Ecole de Créationin opiskelijoiden ja opettajien sekä MIT Bostonin professori Alex Pentlandin yhteistyönä. Tapahtuman tavoitteena oli visioida muodin ja puettavien tietokoneiden yhdistämistä. [3.]

Paikannussovelluksia

Olivetti Research Oy kehitti 1990-luvun alussa aktiivisen tunnistejärjestelmän ihmisten sijainnin paikantamiseen toimistoympäristössä. Tunnistelaitteet (kuva 9), jotka toimivat myös nimikyltteinä, lähettivät 15 sekunnin välein henkilökohtaisia tunnistekoodoja, joita ympäri rakennusta sijoitetut infrapunasensorit vastaanottivat. Keskusasema haki dataa sensoreilta, käsitteli sen ja esitti sijaintitiedot. Tunnistelaitteen koko oli noin 55x55x7 mm ja paino 40 g. [17.]



Kuva 9. Olivetti Research Oy:n tunnistenimikyltti Active Badge vasemmalla rintataskuun kiinnitettynä [18] ja oikealla lähikuvassa [19].

Ensimmäinen GPS-järjestelmää (Global Positioning System) hyödyntävä puettava tietokone oli BBN Technologies -nimisen yrityksen (Bolt, Beranek and Newman) vuonna 1993 valmistunut Pathfinder-järjestelmä. Puettavaan järjestelmään kuului tietokone, GPS-järjestelmä ja säteilynhavaitsemisjärjestelmä. [20.]

Lisää laitteita

Mik Lamming ja Mike Flynn kehittivät vuonna 1994 jatkuvaa henkilökohtaista tietoa tallentavan Forget-Me-Not-nimisen järjestelmän. Puettava laite tallensi vuorovaikutusta ihmisten ja laitteiden kanssa sekä varastoi tiedon tietokantaan myöhempää tarkastelua varten. Laite kommunikoi langattomien lähettimien kautta ja muiden laitteiden avulla tarkkaili, keitä tilassa kävi, kenen kanssa puhuttiin puhelimesta ja mitä muita kohteita huoneessa oli. Tietokannasta saattoi etsiä esimerkiksi tiedon siitä, kuka omassa toimistossa oli käynyt silloin, kun oli itse ollut puhelimesta. [3.]

Reima julkisti ensimmäisen älyvaatteensa vuonna 2001. Smart Shout -vyö kehitettiin alun perin lumilautailijoiden ryhmäyhteydenpitoon GSM-verkkojen (Global System for Mobile communications) kautta. Asussa oli tasku ja liitin puhelimelle, prosessori, kaiuttimet ja mikrofoni. Vaate toimi puhelimen jatkeena, jolloin käyttäjä voi soittaa ryhmäpuhelun kahden vetimen avulla ilman puhelimen näppäilyä. Tuotekonseptin suunnittelussa olivat mukana Tampereen teknillinen korkeakoulu ja Nokia. [21.]

Vuonna 1994 Steve Mann alkoi lähettää kuvia verkkoon päässä kannettavasta kamerasta. Hän kehitti Wearable Wireless Webcam -nimisen laitteen, joka lähetti kuvia analogisesta päässä kannettavasta kamerasta tukiasemaan harrastelijoiden TV-taajuuksilla. Tukiasema käsitteli kuvat, ja ne näytettiin verkkosivulla lähes reaaliaikaisesti. Myöhemmin järjestelmä kehitettiin lähettämään käsiteltyä videota tukiasemalta takaisin HUD-näyttöön. Tätä käytettiin Thad Starnerin kanssa toteutetuissa lisätyn todellisuuden keiluissa. [3.]

2000-luvun alun jälkeen markkinoille tuli monenlaisia kämmentietokoneita, kuten Sharp Zaurus ja Nokia N770, joiden myötä on lopulta päädytty nykypäivän älypuhelimien moninaiseen tuotevalikoimaan. Kämmentietokonelaitteiden kehityksen rinnalla ilmestyi kehittämisympäristöjä, kuten Linux Advanced Radio Terminal (LART) -niminen sulautettu tietokone, jonka avoin lähdekoodi julkaistiin muidenkin kehittäjien saataville. [10.]

Vuonna 2000 Chandra Narayanaswami yhdessä IBM:n tiiminsä kanssa esitteli IBM Linux Watch -rannekellon, jossa oli Linux-käyttöinen tietokone. Vuonna 2004 sveitsiläisen teknillisen yliopiston ETH Zürichin (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich) ryhmä esitteli Q-Belt Integrated Computer (QBIC) -laitteen, joka oli tutkimuskäyttöön tarkoitettu vyönsolkeen integroitu tietokone. Siihen liitettiin oheislaitteita ja käyttöliittymiä, kuten akkuja ja HMD-näyttöjä, vyöhön integroiduilla liitännöillä. Tätä järjestelmää käytetään vieläkin reaali maailman datan tallentamisen ja aktiivisuuden tunnistamisen tutkimuksessa. [10.]

Vuonna 2007 Eurotech esitteli Zypad WL1100 -rannetietokoneen, joka oli tarkoitettu muun muassa hätätilanne-, turvallisuus- ja logistiikkasovelluksille. Tiedonsyöttöä ja toiminnallisuutta laajensivat GPS-, liike- ja äänisensorit. Toinen puettavan teknologian kehittäjien keskuudessa laajassa käytössä oleva laite on ollut OQO-kosketusnäyttötietokone. Sitä voi kantaa vyöllä, se toimii hieman kuin PC ja siinä on monia rajapintoja, kuten USB (Universal Serial Bus), Bluetooth, WLAN (Wireless Local Area Network) ja VGA (Video Graphics Array). Tällaiset laitteet ovat käytössä puettavan teknologian tutkimuksessa ja teollisuuden sovelluksissa. Ne ovat vielä liian kömpelöitä jokapäiväiseen kuluttajakäyttöön. Akunkesto on suurin haaste, sillä se ei yllä yleensä vaadittuun 12–24 tuntiin. Toinen haaste liittyy oheislaitteiden liitännöihin, jotka usein vaativat kookkaan kaapeloinnin. [10.]

Tutkimusta ja kehittelyä

Kansainvälisen tekniikan alan järjestön IEEE:n (Institute of Electrical and Electronics Engineers) järjestämä ensimmäinen puettavien tietokoneiden konferenssi pidettiin vuonna 1997 Massachusettsin Cambridgessä. Sen järjestivät kolme yhdysvaltalaista teknillistä korkeakoulua. Akateemisissa konferenssissa esiteltiin tieteellisiä julkaisuja muun muassa sensoreista ja uusista laitteistoista sekä puettavien tietokoneiden uusista sovelluksista. Tapahtumassa kävi 382 ihmistä. [3.]

Vyötäröllä ja selkärepussa kannettavien yksiköiden kehittämisen lisäksi tutkijat selvittivät 2000-luvun alussa lisää integroitavan tietokoneen konseptia. Compaq Itsy oli puheen-tunnistukseen ja reaaliaikaisen videon dekodaukseen tarkoitettu taskutietokone. ETH Zürichin tutkijat selvittivät lähestymistapoja vaatteisiin kiinnitettävään elektroniikkaan, minkä tuloksena syntyi WearARM vuonna 2001. WearARMin komponentit liitettiin toisiinsa taipuisan tulostettavan elektroniikan menetelmällä, jotta tuotteen profiilista saatiin litteä. [10.]

Monet tutkijoiden kehitelmät ja raportit ovat todenneet, että sujuva vuorovaikutus kannettavien ja puettavien tietokoneiden kanssa on suuri haaste. On huomioitava käyttäjän tarkkaavaisuuden vaatimukset ja tarjottava sopivia ohjaimia tiedon syöttämiseen. Bruce Thomas kollegoineen kehitti Tinmith-järjestelmän, joka esiteltiin vuonna 2003 tutkiakseen ulkotiloissa tiedon tuomista ihmisen näkökenttään puettavalla tietokoneella. [10.]

Sensoreita käytettiin ensin ylimääräisinä tiedonlähteinä puettavissa tietokoneissa. Myöhemmin niistä on tullut manuaalista tiedonsyöttöä täydentäviä ja jopa sen korvaavia välineitä. Mobiili ja puettava teknologia on ollut edellytyksenä sensoridatan tallentamiselle tutkimuskäytössä ja ympäristön kontekstin tunnistamisessa. Eräs historiallinen esimerkki yleisestä sensoreita käyttävästä ja tietoa prosessoivasta järjestelmästä on MIT:n MIThril-takki, joka esiteltiin vuonna 2003. [10.]

MIT Media Labin tutkijoiden kehittämä MIThril oli 2000-luvun alussa uuden sukupolven tutkimusalusta. MIThril-projektin tavoite oli ihmisen ja tietokoneen välisen vuorovaikutuksen uusien teknologioiden kehittäminen ja puettavan sovelluksen prototyypin luominen. Laitteistoalusta yhdisti puettavan tietokoneen, sensoreita ja verkkotoiminnan vaatteen integroituna. Linux-käyttöjärjestelmään rakennettu ohjelmistoalusta oli yhdistelmä käyttöliittymäelementtejä ja työkaluja, joilla tietokone voi oppia. [22.]

Viime vuosina älypuhelimien suorituskyky ja toiminnallisuus ovat kehittyneet huimasti, ja ne ovat valtavirran kuluttajalaitteita jokapäiväisessä käytössä. Puettavan teknologian tutkijat ovat alkaneet ottaa niitä yhä enemmän käyttöön varsinkin pitkäaikaisessa sensoridatan keräämisessä ja aktiivisuuden seurannan sovelluksissa. Älypuhelimien peruskäyttö ei ole puettavan teknologian konseptin mukaista. Tyypillisesti älypuhelimien käyttö vaatii molempien käsien käyttämistä ja käyttäjän täyttä huomiota, jolloin sen käyttö ei onnistu keskittyneenä tosimaailman tehtäviin. Älypuhelimista on kuitenkin tulossa enemmän puettavan tietokoneen kaltaisia erilaisten käyttöliittymien myötä. Näitä ovat esimerkiksi Bluetooth-kuulokkeet, kuluttajille suunnatut HMD-laitteet, kuten MyVu (kuva 10), sekä yksinkertaiset takkeihin integroidut näppäimistöt. [10.] Esimerkiksi Burton Amp -laskettelutakin hihaan on integroitu näppäimet iPodin käyttöä varten [23].



Kuva 10. MyVu-lasit liitetään esimerkiksi iPodiin, ja niillä katsellaan videoita [24].

2000-luvun alussa Tampereen teknilliseen yliopistoon perustettiin älypukeutumisen ja -tekstiilien tutkimuslaboratorio Smartwearlab. Laboratorio tutkii ja kehittää puettavaa teknologiaa, toiminnallisia vaatteita, jalkineita ja älytekstiilejä. Uusia innovaatioita on pyritty löytämään yhdistämällä materiaali-, tekstiili- ja vaateustekniikkaa elektroniikkaan ja signaalinkäsittelyyn poikkitieteellisen yhteistyön avulla. [25.]

3 Kehitys tällä hetkellä ja tulevaisuudessa

3.1 Markkinoilla olevia ja juuri tulossa olevia tuotteita

Urheilusovelluksia

Vuonna 1977 Polar Electro Oy kehitti Suomen maastohiittomaajoukkueelle sykkeenmittausjärjestelmän, johon kuului rintakehän ympärille puettava anturipanta sekä vastaanottimella ja näytöllä varustettu rannekello. Järjestelmää pidetään langattoman ja mobiilin sykkeenmittauksen alkuna. Elektroniikka on kehittynyt helppokäyttöisemmäksi ja laitteet mukavammiksi, mutta muuten järjestelmän malli on pysynyt hyvin samanlaisena nykyyhetkeen asti. [26.]

Sykkeennmittausta on tutkittu ja kehitetty jo vuosikymmeniä, joten syke on biosignaaleista ymmärretyin. Tekstiiliset sykevyöt korvaavat muoviset, ja sykkeennmittausta integroidaan urheiluvaatteisiin. Tuotteita on jo useilla urheilumerkeillä. Suomalainen Clothing+ Oy toimittaa integroituja sykeantureita urheilurintaliiveihin ja -paitoihin (kuva 11) muun muassa tanskalaiselle PureLimelle, Adidakselle ja amerikkalaiselle Under Armourille. [26.]



Kuva 11. Sykettä mittaava urheilupaita [27].

Suomalainen Myontec Oy on kehittänyt lihasaktiivisuutta mittaavat shortsit (kuva 12). Patentoitu teknologia mittaa työ- tai urheilusuorituksen aikana lihasten tuottamia sähköimpulsseja. Järjestelmä tutkii lihassähkökäyrää eli elektromyogrammia (EMG), ja näyttää tietoa lihasten toiminnasta reaaliaikaisesti älypuhelimien näytöllä. [28.]

Shortseilla voidaan mitata muun muassa lihasryhmien välisiä kuormituseroja ja tasapainoa. Niiden avulla voidaan havaita piileviä hermolihasarjestelmän ongelmia ja arvioida suoritustekniikkaa ja lihastoiminnan taloudellisuutta. Housuja voidaan käyttää myös urheilijan kuntoutusprosessin seurantaan. [29.]

Tuote on aluksi suunnattu urheiluvalmennukseen ja aktiiviliikkuville [30]. Shortseissa käytettävälle teknologialle nähdään monta soveltamisalaa, mutta rajallisten resurssien ja epäkypsän markkinatilanteen takia niitä ei vielä lähdetä kehittämään [28]. Shortseja voitaisiin käyttää esimerkiksi työergonomian mittaamisessa tai kuntoutuksessa [30].



Kuva 12. Myontecin lihasaktiivisuutta mittaavat shortsit [31].

Yhdysvaltalainen Heapsylon on kehittänyt juoksijoille tarkoitetun urheilusuoritusta seuraavan järjestelmän (kuva 13). Tekstiilisensoreilla varustetut sukat mittaavat askelia, matkaa, nopeutta ja kaloreita. Tieto siirtyy sukista nilkan ympärille asetettavan lähettimen kautta Bluetoothin avulla älypuhelinsovellukseen, joka näyttää juoksijalle tietoa har-

joituksen kulusta. Teknologia toimii myös virtuaalisena valmentajana, joka tarkkailee jalan asentoja astuessa ja pyrkii estämään loukkaantumisia huomauttamalla jalan virheasunnoista. [32.]



Kuva 13. Heapsylonin Sensoria Fitness -älysukkaan (vasemmalla) on integroitu tekstiilisensoreita, ja se näyttää ja tuntuu tavalliselta urheilusukalta. Lähetin (keskellä) kiinnitetään sukan varteen nilkan ympärille magneetin avulla. Älypuhelinsovellus (oikealla) näyttää harjoittelun analyysin. [33.]

Adidaksen vuonna 2005 esittelemä juoksukenkä adidas_1 (kuva 14) sisälsi tietokoneohjatun iskunvaimennusjärjestelmän. Kenkä sääтели iskunvaimennusta jalan vaatimusten mukaan. Välipohjan anturit keräsivät tietoa, jota pieni tietokone käsitteli ja jonka perusteella kengän kantaosan moottori sääтели iskunvaimennusta juoksun aikana. Magneettisen tunnistimen avulla kenkä toimi juoksijan oman hermorefleksin kaltaisesti. Magneetitunnistin sijaitsi kannan alla. Sensori mittasi jalkaan kohdistuvan paineen juoksuaskeleella ja laski tarvittavan iskunvaimennuksen määrän. Kengän mikroprosessori pystyi viiteen miljoonaan laskutoimitukseen sekunnissa. Kengän ohjelmisto havaitsi kengän pehmeiden tai jäykkyyden juoksualueen kovuuden muuttuessa. Kenkä määrätti tilanteeseen sopivan tukiasteen ja sääti iskunvaimennuksen sen mukaan. Moottori sai voimaa pienestä vaihdettavasta paristosta, jonka käyttöikä oli noin sata tuntia. [34.]



Kuva 14. adidas_1-kenkä [35].

Nike ja Apple julkistivat vuonna 2006 Nike+iPod-sarjan juoksulenkin seurantaan. Sarjaan kuului juoksukengän sisällä oleva tunnistin ja iPodiin liitettävä vastaanotin (kuva 15). Musiikin kuuntelun ohessa juoksija voi seurata juoksemaansa matkaa, aikaa, rytmiä ja kulutettuja kaloreita iPod Nanon näytöltä tai kuulokkeiden kautta. Juoksuun liittyviä ennätyksiä ja tavoitteita pystyi seuraamaan lataamalla mittaustiedot lenkin jälkeen PC- tai Mac-tietokoneelle ja siirtämällä ne iTunes- ja NikePlus-verkkosivuille. Verkon kautta sai myös haastaa muita juoksijoita. Hyvä paristojen kestävyys ja mittausten tarkkuus olivat laitteiston vaatimuksina. Myöhemmin Nike toi markkinoille muitakin iPodin kanssa yhteensopivia tuotteita. [36.]



Kuva 15. Nike+iPod-sarja: kengän sisäpohjaan on liitetty tunnistin ja iPodiin vastaanotin [37].

Vireystilan seuranta

Australialaisen EdanSafen kehittämä lippalakki SmartCap (kuva 16) mittaa käyttäjän väsymystä reaaliaikaisesti tarkkailemalla käyttäjän aivokäyrää eli aivojen sähköistä toimintaa. Väsymys ja uupumus aiheuttavat työtapaturmia varsinkin raskaiden koneiden käyttäjille ja ammatikseen ajaville. Joskus voi olla vaikea tunnistaa oman väsymyksen taso tai uneliaisuudesta huolimatta työ halutaan tehdä loppuun pitämättä taukoa. [38.]

Algoritmi analysoi dataa kerran sekunnissa ja määrittää käyttäjän virkeyden tasoa. Tieto siirretään Bluetoothin avulla linkitettyyn laitteeseen, kuten älypuhelimeen tai SmartCap-monitoriin, josta käyttäjä näkee visuaalisen esityksen väsymyksen tasostaan. Väsymyksen ollessa vaarallisella tasolla tuottaa laite äänellisen ja visuaalisen hälytyksen. Sensorit tunnistavat, onko lakki päässä vai ei. [38.]

Elektroniikka on kortinomaisessa moduulissa, joka kiinnitetään lakkiin lipan alle. Kun lakki ei ole käytössä, kortti voidaan telakoida tukiasemaan tai monitorilaitteeseen lataukseen. Työnantaja voi seurata työntekijöidensä käyttämien lakkien antamaa tietoa reaaliaikaisesti tai tarkastella aiemmin tallentunutta tietoa. [38.]

Sensorit lukevat käyttäjän aivosähkökäyrää eli elektroenkefalogrammia (EEG) hiusten läpi, jolloin minkäänlaisia päänahan valmisteluita ei tarvita. Lakki näyttää ja tuntuu tavalliselta lippalakilta. Järjestelmä on helppokäyttöisempi ja hyväksyttävämpi kuin aikaisemmat tavat, joissa on käytetty kameroita ja reaktioon perustuvia tekniikoita. [39.]

Australian kaivosteollisuus tuki SmartCap-teknologian kehittämistä, kun kaivostyöntekijöiden turvallisuutta haluttiin parantaa. Järjestelmä sopii kuitenkin käytettäväksi missä tahansa tilanteessa, jossa mitattava henkilö voi käyttää lippalakkia. Esimerkkejä muista käyttäjistä ovat rekan, junan ja bussin kuljettajat. [39.]

SmartCap on kaupallisesti saatavilla. Tuote on kehitetty niin, että sen asetukset voidaan säätää myös kevyiden ajoneuvojen käyttöön sopivaksi. Sensorit ovat vedenkestäviä, joten lakin voi pestä. [39.]



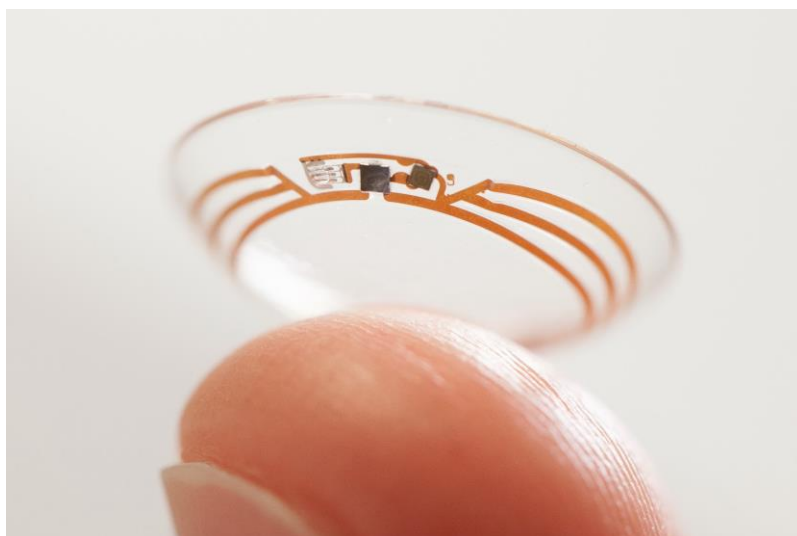
Kuva 16. SmartCap-lakki [38].

Terveyssovelluksia

Eurooppalainen Biotex-yhteenliittymä on kehittänyt prototyyppisiä ihmisen terveydentilaa seuraavista älyvaatteisiin soveltuvista sensoreista. Sensorit mittaavat terveyttä käyttäjän hiestä ja verestä. Järjestelmä mittaa hikoilun määrää, suolamäärää ja happamuutta. Se tarkkailee veren tulehdusarvoja sekä mittaa veren happipitoisuutta. Nestettä hylkivät ja puoleensavetävät kuidut ohjaavat hien sensoriin. Veriarvoja mitataan heijastamalla valoa kaulaan. [40.] Sensoreita voitaisiin käyttää esimerkiksi sairaalasta kotiutettujen henkilöiden, pitkäaikaissairaiden ja urheilijoiden terveydentilan seurantaan [41].

Kanadassa toteutetussa ja Neuroscience 2012 -konferenssissa esitetyssä kokeilussa tutkittiin makuuhaavojen estämistä heikon sähkövirran avulla. Ihmisen ollessa pitkään samassa asennossa paineen alle joutuvan ihon verenkierto estyy. Painehaavat ovat yleinen ongelma sairaaloissa ympäri maailman. Niitä muodostuu ihmisille, jotka ovat liian sairaita noustakseen vuoteesta, ja erityisesti ikääntyneillä muutenkin heikentynyt verenkierto aiheuttaa riskejä. Painehaavat ovat kivuliaita ja tulevat terveydenhuollolle kalliiksi. Kokeiluun osallistui 37 henkilöä, ja se kesti kuukauden. Ihoa stimuloitiin kymmenen sekunnin ajan joka kymmenes minuutti 12 tunnin ajan päivässä. Alushousuihin integroidut elektrodit toivat testihenkilön pakaroihin heikon sähkövirran, joka jäljitteli nykivää liikettä, ja stimuloinnin jälkeen henkilö jäi istumaan hieman eri asentoon. Kokeilun aikana henkilöille ei muodostunut makuuhaavoja. Hoitajat ja potilaat pitivät housuista, mutta vielä tarvitaan laajempia tutkimuksia, jotta ratkaisun tehokkuudesta voidaan varmistua. [42.]

Google kehittää parhaillaan älykästä piilolinssiä (kuva 17), joka mittaa verensokeria. Tutkijat ovat vuosia yrittäneet löytää helpompia tapoja seurata verensokeria tutkimalla muun muassa kyyneliä. Googlen kehittelemä piilolinssi mittaa kyyneleiden glukoositasoja pienpienen langattoman mikrosirun ja minimaalisen glukoosimittarin avulla. Elektroniikka on upotettu kahden linssikerroksen väliin. Testattavana on prototyyppejä, jotka mittaavat kerran sekunnissa. Suunnitteilla on, että tuote myös varoittaisi liian alhaisesta tai korkeasta glukoositasosta, mitä varten siihen pyritään liittämään hyvin pienet LED-valot. Piilolinssin prototyyppiä testataan ja kehitetään, mutta vielä vaaditaan paljon työtä, jotta ratkaisusta voidaan kehittää valmis tuote ihmisten käyttöön. [43.]



Kuva 17. Googlen älykäs piilolinssi [43].

HipGuard-järjestelmä on tarkoitettu lonkkaleikkauksesta toipuville henkilöille. Järjestelmä tarkkailee jalan asentoa. Järjestelmässä on keskusyksikkö ja seitsemän asentoanturiyksikköä. Mikrokontrolleri ohjaa langattoman anturiteknologian toimintaa. [44.]

Japanilainen puhelinoperaattori NTT Docomo ja materiaalikehittäjä Toray ovat kehittäneet Hitoe-nimisen sykettä mittaavan vaatteen (kuva 18). Tuote koostuu tavallisesta vaatteesta ja siihen liitettävistä laastarinomaisista sensoriosista, jotka sisältävät nanokuituja. Sensorit mittaavat sykettä, ja mittaustuloksia voi seurata älypuhelinsovelluksesta. Tuotteen esittelyn yhteydessä on puhuttu urheiluvaatteiden lisäksi pyjamien ja muiden yöasujen lanseeraamisesta. Sensorit ovat kevyitä, taipuisia ja pesunkestäviä. Seuraavaksi pyritään pienentämään hubisensoria, jotta puettavasta järjestelmästä tulee vielä hienovaraisempi. [45.]



Kuva 18. Sykettä mittaava vaate Hitoe [45].

Hengitykseen liittyvästä sairaudesta tai vaivasta kärsiville henkilöille tarkoitettu liivi auttaa hengitysteiden puhdistamisessa. Ilmalla täyttyvä liivi täyttyy ja tyhjenee nopeasti, jolloin se hellävaraisesti puristaa rintakehää ja vapauttaa sen 25 kertaa sekunnissa. Tämä tuottaa pieniä yskähdyksiä, jotka irrottavat limaa keuhkoputkista ja siirtävät sitä pienemmistä hengitysteistä suurempiin, jolloin lima on helppo yskiä pois. [46.]

Heart Cycle -projekti

EU:n rahoittamassa ja Philipsin johtamassa Heart Cycle -tutkimusprojektissa pyrittiin parantamaan sydänpotilaiden hoitoa kehittämällä etäseurannan ratkaisuja. Projekti on yksi suurimmista terveydenhuollon tutkimusprojekteista EU:ssa. [47.]

Heart Cycle -projektissa oli esimerkkiryhmänä henkilöt, joilla oli todettu sydämen vajaatoiminta tai jotka kuuluivat riskiryhmään. Yhtenä oireena, kun sydän alkaa heikkeneään, keuhkoihin ja muualle kehoon alkaa kertyä nestettä, mutta potilas ei välttämättä itse huomaa tätä. Tähän asti potilasta on kannustettu punnitsemaan itsensä päivittäin, ja jos paino alkaa yhtäkkiä nousta, voidaan miettiä, onko kehoon kertynyt nestettä vai joutuuko se jostain muusta. Projektissa suomalainen Clothing+ ja Philips kehittivät liivin, jonka käyttäjä pukee viideksi minuutiksi joka aamu. Liivi skannailee keuhkot ja hälyttää

sekä potilaalle että lääkärille havaitessaan ylimääräistä nestettä. Lääkäri määrää potilaalle nesteenpoistolääkitystä ja muita tarvittavia lääkkeitä. Liivin avulla ylimääräisen nesteen kertyminen voidaan havaita hyvissä ajoin, jopa kymmenen päivää ennen kuin henkilön tila heikkenee vaarallisesti. Jos nesteen kertymistä keuhkoihin ei tutkittaisi, henkilön tila heikkenisi hänen huomaamattaan, mikä lopulta johtaisi yhtäkkiseen sydämen toiminnan romahtamiseen. [48.]

Tuotekehityksessä oli mukana monta tahoja, muun muassa sairaaloita, akateemisia tutkimuskeskuksia ja materiaalitoimittajia. Clothing+’n osuus oli suunnitella ja integroida anturit, jotka mittaavat bioimpedanssia, jonka avulla skannataan sähkönjohtavuuden ja nestemäärän muutoksia. Clothing+ on myös tehnyt muutamia tuhansia kappaleita prototyyppejä, joita on testattu potilastesteissä ympäri Eurooppaa. [48.]

3.2 Tulevaisuuden näkymiä

Älyvaatteiden ja puettavan teknologian alan odotetaan kasvavan nopeasti koko maailmassa. Elintoimintoja mittaavilla vaatteilla ja muilla puettavilla tuotteilla nähdään paljon mahdollisuuksia muun muassa terveydenhuollossa, urheilussa, kuntoutuksessa sekä suoja- ja työvaatteissa. [30.]

Teknologian ja laitteiden pienentyessä ja hintojen lasiessa niiden käyttö yleistyy ja tulee arkisemmaksi. Puettava teknologia näyttää olevan vasta kehityskaarensa alussa. Sen kehityksen tilannetta voidaan verrata matkapuhelimien kehitysvaiheeseen 1990-luvun lopulla. Laitteet ovat vielä liian kömpelöitä ollakseen yleisessä käytössä luontevana osana arkea. [49.]

Yhdysvalloissa voimakkaan Quantify self -liikkeen filosofia tuo esiin potilaiden geneettisen yksilöllisyyden. Sama hoito ei sovi kaikille. Ihmisen mitatessa aktiivisesti oman kehonsa ominaisuuksia ja muutoksia on lääkärillä hoitotilanteessa käytössään tietoa potilaasta pidemmältä aikaväliltä, jolloin hän voi tehdä parempia johtopäätöksiä potilaan tilasta. Puettava teknologia tekee elintoimintojen mittaamisesta arkista ja helppoa. [50.]

Ihmiset mittaavat itseään pystyäkseen paremmin hallitsemaan elämänsä ja tekemään itse muutoksia, jotta voisivat paremmin. Itsensä mittaamiseen tarkoitettut tuotteet yleistyvät, kun mittaamista tutkitaan ja tuotteita kehitetään koko ajan lisää. [48.]

Yhtenä trendinä nähdään, että fitness- ja wellness-alue sekoittuu lääketieteellisen ja terveydenhuollon mittauksen kanssa eli tulossa on enemmän ja enemmän tuotteita, jotka mittaavat ihmiskehosta esimerkiksi aivokäyrää tai bioimpedanssia, mutta joilla ei ole aikomustakaan hakea hyväksyntää lääkintälaitteiksi. Tuotteet eivät siis tule sairaalakäyttöön vaan kuluttajille, mutta mitattava asia on sellainen, joka olisi vielä muutama vuosi sitten ollut selkeästi sairaalalaitteella mitattava. Nykyään laitteet pystytään tekemään tarpeeksi pieniksi ja tuotteita muotoillaan kuluttajaystävällisiksi. Tämä edistää juuri sitä, että ihmiset voivat mitata itsestään erilaisia asioita. Esimerkiksi tiedoista voi tarkastella elintapojen muutosten vaikutusta terveyteen. [48.]

Monet terveydentilaa seuraavat mittaukset voitaisiin siirtää kotona suoritettaviksi puettavan teknologian sovellusten avulla, jolloin sairaalassa jäisi enemmän aikaa muuhun työhön [51]. Joka paikassa maailmassa on valtavat potilasjonot, mikä on suuri ongelma. Ratkaisuja odotetaan, ja koko terveydenhuolto on viime aikoina keskustellut siitä, mitä keinoja olisi käytettävissä, jotta ongelmallisesta tilanteesta päästäisiin pois. Puettava teknologia pystyisi auttamaan tässä, mistä hyvänä esimerkkinä on Philipsin Heart Cycle -liivi. Ihmisestä ja hänen terveydestään kerättäisiin ja tallennettaisiin tietoa, joka voitaisiin tarvittaessa ottaa esiin, jos jotain tapahtuu. [48.]

Jotta uusia tekniikoita otetaan käyttöön, on niiden oltava selkeästi vanhoja ratkaisuja parempia. Lääkäriin pitää varmistua siitä, että puettavasta mittarista tieto siirtyy turvallisesti ja että siirrettävä tieto on hoidon kannalta merkityksellistä. Puettava teknologia tulee olemaan tärkeä osa terveydenhuoltoa tulevaisuudessa. Terveydenhuollon resurssit voidaan kohdistaa tehokkaammin, kun mittaamista siirretään koteihin. Terveydentilan mittaaminen puettavan teknologian avulla on potilaalle helppoa, ja se mahdollistaa jatkuvan mittaamisen, jolloin terveydentilan muutoksiin voidaan puuttua ajoissa. [50.]

Tekstiiliin integroituja antureita valmistavan Clothing+:n visio on, että anturit häviävät vaatteisiin. Anturit häviävät paitsi näkyvistä myös tunnultaan, logistiikaltaan ja kustannuksiltaan. Clothing+ pyrkii jatkuvasti siihen, että vaatevalmistajilla ja muilla asiakkaila olisi mahdollisimman pieni kynnyks ottaa tuotteisiinsa tekstiiliin integroituja antureita. Ei tarvitsisi miettiä lisäkustannuksia, vaan anturit voisi liittää vaatteeseen yhtä helposti kuin esimerkiksi printtikuvan t-paitaan eli se olisi yhtä halpaa, mukavaa ja helppoa. [48.]

Varmaa on, että jossain vaiheessa sairaalassa potilaan terveydentilaa jatkuvasti seuraavat vaatteet yleistyvät. Kehityssuunta voi hyvin mennäkin niin, että tuotteita tulee ensin

sairaaloihin. On muistettava, että pelkästään anturit eivät tee älyvaatetta. Sairaalakäytössä tuotteen ulkoisella olemuksella ei välttämättä ole merkitystä, mutta ennen kuin tuote tuodaan sairaalasta kuluttajaympäristöön, se pitää saada niin pieneksi, siistiksi ja käytettävyydeltään mukavaksi, että ihmiset suostuvat käyttämään sitä. [48.]

4 Ihmisen vitaalielintoiminnot ja niiden mittaaminen

Ihmisen vitaalisignaaleja eli ihmisen elämän kannalta välttämättömiä elintoimintoja on mitattu ihmisestä jo tuhansien vuosien ajan. Vitaalielintoimintoja ovat muun muassa sydämen toiminta, hengitys, hapetusaste ja syke. Vitaalielintoimintoja seurataan esimerkiksi sairaalahoidossa olevilta henkilöiltä sekä poikkeuksellisissa ja erittäin vaarallisissa tilanteissa työskenteleviltä henkilöiltä. Vitaalielintoimintoja seuraamalla saadaan tieto, jos henkilön peruselintoiminnoissa tapahtuu merkittävä muutos, joka vaarantaa hänen terveytensä. [52.] Vitaalielintoimintoja mittaamalla voidaan myös arvioida henkilön kipua [53].

Potilasvaatteeseen integroitavaa sensoria ajatellen on järkevää keskittyä perusvitaali-funktioiden rekisteröintiin. Sairaalalaitteilla potilasta mitataan hyvinkin tarkasti. Vaatteen tekemän mittauksen avulla voidaan helposti ja mukavasti saada suuntaa antavaa arviota terveydentilasta, jolloin tietoa terveydentilan muutoksista saadaan hyvissä ajoin ennen sairaalahoidon tarvetta. Muitakin fysiologisia toimintoja voidaan mitata vaatteeseen integroitavilla antureilla, mutta potilaan yleisen terveydentilan seurannan kannalta peruselintoimintoihin keskittyminen riittää. Vaatteen avulla voidaan seurata terveydentilaa helposti myös esimerkiksi kotona. [52.]

Potilasvaatetta käsitellään tarkemmin luvussa 5. Tässä luvussa tarkastellaan edellä mainittuja vitaalielintoimintoja sekä miten ja minkälaisilla antureilla niitä mitataan.

4.1 Sydänsähkökäyrä eli EKG

Sydänsähkökäyrä eli elektrokardiogrammi (EKG) perustuu sydämen supistumista säätelevien heikkojen sähköimpulssien mittaamiseen. Sähköimpulssi etenee sydämen eteisen seinämän solmukkeesta ensin eteisiin ja sitten kammioihin. [54.]

EKG-laitteen piirtämästä käyrästä erottuvat rytmihäiriöiden ja muiden sydämen sairauksien siihen aiheuttamat muutokset [54]. EKG kuvaa graafisesti sydämen johtoratajärjestelmän ja sydänlihassolukon aiheuttamaa jännitekenttää [55]. EKG:ssä näkyy eteisten aktivaatio, kammioiden aktivaatio (depolarisaatio) ja kammioiden palautuminen sähköiseen lepotilaan (repolarisaatio). EKG:ssä nähdään myös sydämen rytmi, ja siitä on helppo todeta lisälyönnit, eteisvärinä ja muut rytmihäiriöt. Myös muun muassa vanhojen

sydäninfarktien arvet, haarakatkokset ja sydämen eri osien laajenemis- ja kuormitusilmiöt voidaan havaita EKG:stä. [56.] Sydänfilmistä voidaan myös arvioida hapetusmuutoksia tai johtumishäiriöitä ja missä osassa sydäntä niitä esiintyy [52].

Heikot sähkövirtauksset mitataan herkällä EKG-laitteella ihon päältä. 12-kanavaisen EKG:n kuusi elektrodi mittaavat sähköimpulsseja raajoista ja toiset kuusi rintakehästä. Elektrodiin paikat on standardoitu tarkkaan, koska elektrodit rekisteröivät sydämen toimintaa eri puolilta ja niiden sijainnit vaikuttavat käyrän muotoon. Standardointi helpottaa EKG:n tulkintaa. Nykyään EKG-laitteet lukevat EKG-käyrää ja antavat ehdotuksia löydöksistä, mutta koska laitteisiin ei voi täysin luottaa, tarkistaa ja tulkitsee lääkäri mittaukset aina itse. [54.]

EKG-rekisteröinnissä mitataan potentiaaliero oikean yläraajan elektrodin ja jalan referenssielektrodin välillä sekä vasemman yläraajan elektrodin ja referenssielektrodin välillä. Potentiaaliero mitataan ajan funktiona. Siinä on amplitudi ja taajuus, joita tarkastellaan graafiseen muotoon muutettuina. Raajaelektrodien muodostamaa kolmiota kutsutaan Einthovenin kolmioksi. Raajat toimivat mittauksessa sähköjohtimina. Lisäksi mitataan rintakehälle kiinnitettyjen kuuden elektrodin ja raajaelektrodeilla keinotekoisesti muodostetun referenssipisteen välistä jännitettä. Rintakytkentöjä kutsutaan Wilsonin rintakytkennöiksi. [52; 55.]

Yksinkertaisempi mittaus voidaan tehdä yhdellä tai muutamalla elektrodilla. Esimerkiksi yritysten Maxim Integrated, Clearbridge VitalSigns ja Orbital Research yhteistyönä on kehitetty Fit-paita (kuva 19), joka monitoroi langattomasti kolmekanavaista EKG:tä ja sykettä. Pestävään paitaan on upotettu neljä tekstiilistä EKG-sensoria. Paitaan voidaan liittää kolme erilaista laitetta, joista yksi on tarkoitettu kuluttajakäyttöön, toinen ammattikäyttöön ja kolmas tutkimuskäyttöön. [52; 57; 58.]



Kuva 19. Fit-paita [57].

4.2 Syke

Syke eli pulssi on sydämen supistumiskertojen lukumäärä minuutissa [59]. Sykettä ymmärretään erityisen hyvin, koska sitä on mitattu ja tutkittu vuosikymmeniä. Sykevälivaihtelun avulla voidaan arvioida henkilön fyysistä kuntotasoa, palautumista, stressitasoja, unen laatua ja fyysistä kipua. [26.]

Perifeerinen syke kertoo, onko ääreisalueilla verenvirtausta. Mittaamalla syke ääreisvaltimosta eli esimerkiksi ranteesta saadaan tietoa siitä, kulkeeko sydämen supistuksen liikkeelle lähettämä valtimoveri ääreisalueelle eli periferiaan. Jos sydämen supistus on erittäin heikkoa, kuten ihmisellä, jolla on hyvin vaikea sydämen vajaatoiminta tai joka tekee kuolemaa, veri ei kierrä ääreisalueilla eli raajoissa. Tällöin pystyasennossa myös aivojen verenkierto on riittämätöntä. Jos perifeerinen syke on tunnettavissa, sydämen supistusvaihe kykenee tuottamaan tarpeeksi mekaanista liike-energiaa siirtääkseen valtimoveren vasemmassa kammiossa ja työntääkseen sen ääreisalueille asti. [52.]

Tyypillisesti sykemittari koostuu rintakehän ympärille puettavasta anturipannasta ja näyttöisestä rannekellosta. Anturipannan elektrodit mittaavat, ja pantaan joko kiinnitettävä tai siihen integroitu lähetin kerää mittaustiedon, käsittelee sen ja lähettää vastaanottiin rannekelloon. Vastaanotin tekee laskelmia ja esittää tietoa käyttäjälle ymmärrettävässä muodossa. [60.]

Mittausanturit voidaan integroida vaatteeseen samaan tapaan kuin edellä mainitussa paidassa (kuva 19). Paitaan integroitua sykkeenmittausta käsiteltiin luvussa 3 (kuva 11). Nyt syke voidaan mitata myös suoraan ranteesta. Kuvassa 20 on sykettä mittaava PulseOn-ranneke. Mittausmenetelmä perustuu verisuonien lähellä olevan ihon värin muutoksiin, jotka aiheutuvat veren liikkeestä suonissa. Pulssi mitataan valonlähteen ja optisen sensorin avulla. [61.]



Kuva 20. PulseOn-sykemittari [61].

4.3 Hengitys

Solujen jatkuva hapensaanti on ihmisen elintoiminnoille välttämätöntä. Hengityksen ja verenkierron vakavat häiriötilat estävät solujen hapensaannin, jolloin ne alkavat vaurioitua nopeasti. Aivokudoksen solut kestävät hapenpuutetta heikoimmin. [62.]

Hengitystä seurattaessa oleellisinta on tietää, hengittääkö potilas ja mikä on hengitystaajuus. Normaalisti lepotilassa aikuinen ihminen hengittää 10-11 sykliä minuutissa. Sykli on yksi sisään- ja yksi uloshengitys. Taajuudesta tarkkaillaan myös, onko se normaalialueella vai sen ylä- tai alapuolella. Seuraavaksi voitaisiin mitata hengitystilavuutta, mutta se on monimutkaisempaa. Tulisi miettiä, olisiko hengitystilavuutta tarkoituksenmukaista mitata vaatteeseen liitettävällä sensorilla, jonka on tarkoitus seurata vain perustoimintoja eli hengitystä ja sen taajuutta. [52.]

Hengitystä voidaan mitata niin, että rintakehän vastakkaisille puolille asetetaan kaksi anturia. Rintakehän tilavuus muuttuu hengityksen mukana, ja tilavuuden muutoksista voidaan laskea hengitystaajuus. [52.]

4.4 Happisaturaatio

Veren punasolujen hemoglobiini sitoo happea sisään hengitetystä ilmasta ja vie happea elimistöön. Veren hapetusasteen eli happisaturaation mittaaminen perustuu punasoluissa tapahtuvaan optiseen ilmiöön, joka riippuu punasolun hemoglobiinin sitomasta hapen määrästä. Keuhkoista ja sydämen vasemmasta kammioista tulevasta hyvin hapetusta verestä tulee mitattaessa tietynlainen signaali, ja hemoglobiinista, joka on luovuttanut hapen, tulee toisenlainen signaali. Tällä perusmenetelmällä ei mitata laskimoita. [52.]

Mittauksessa pyritään määrittelemään, minkälaisessa hapetusasteessa punasolujen hemoglobiini on. Mittaus kertoo saturaatioasteen. 100 %:n saturaatio tarkoittaa, että punasolun hemoglobiinin kaikki hapensidontapaikat ovat täynnä happea, ja happisaturaatio nolla tarkoittaa, että hemoglobiinissa ei ole ainuttakaan happimolekyyliä sitoutuneena. Valtimoveressä normaali hemoglobiinin happisaturaatio on > 96 % [63]. Tämä kuvastaa kaasujenvaihtoa keuhkoissa. Jos happisaturaatio on heikko, kudokset eivät saa riittävästi hapetusta, vaikka sydän sykkisi ja perifeerinen syke olisi hyvä. [52.]

Usein happisaturaatio mitataan fotopletysmografisesti. Optiseen tekniikkaan perustuvaa menetelmää käyttävä mittauslaite läpivalaisee tai heijastaa mittauskohtaan punaista tai infrapunaista LED-valoa. Takaisin tulevan valon muodostama signaali kertoo veritilavuuden muutoksista mittauskohdan kudoksen kapillaari- eli hiussuonistossa. Happisaturaatiota mitataan pulssioksimetrillä, jonka anturi koostuu valoa lähettävistä ja vastaanottavista diodeista. [63.]

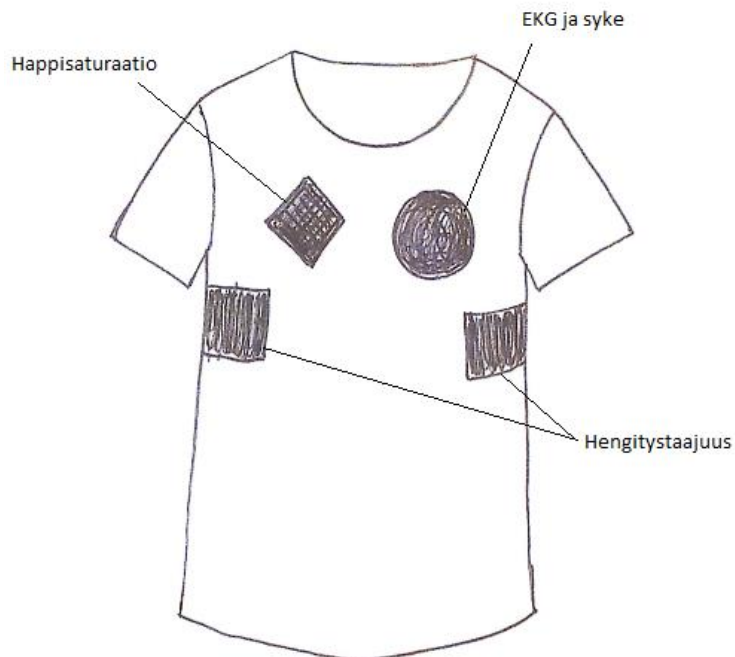
Happisaturaatio mitataan yleensä sormesta, sillä se on ollut optimaalinen ja helppo kohta kehossa, mutta se voidaan mitata myös esimerkiksi korvanlehdessä, nenästä tai muusta kehonosasta, johon mittauslaite on helppo kiinnittää. Kuvassa 21 on kannettava pulssioksimetri, jota voidaan käyttää myös unenaikaiseen monitorointiin. Happisaturaatio voidaan mitata ihon pinnalta muualtakin kehosta, jolloin mittausanturi voidaan liittää esimerkiksi vaatteeseen, kunhan anturilla on riittävä ja mekaanisesti stabiili ihokontakti. [52; 64.]



Kuva 21. Pulssioksimetri [64].

4.5 Älykkään potilasvaatteen hahmotelma

Kuvassa 22 esitetään hahmotelma potilasvaatteesta, johon on liitetty edellä käsiteltyjä peruselintoimintoja mittaavia sensoreita. Kuvan tummennetut kohdat merkitsevät mittauslaitteiden ja sensorien paikkoja. Happisaturaatio mitataan ihon pinnalta. EKG- ja sykkesensorit voidaan liittää samaan laitteeseen. Hengitystaajuuden mittaamista varten rintakehän molemmille puolille asetetaan sensorit.



Kuva 22. Piirros potilasälyvaatekonseptista.

5 Elintoimintoja mittaavan potilasvaatteen mahdollisuudet ja haasteet

5.1 Potilasvaatteen tärkeimmät ominaisuudet

Sairaalassa potilas pukeutuu potilasvaatteeseen. Siihen, miksi omia vaatteita ei käytetä sairaalassa, on monta syytä. Potilasvaatteen tärkeimmät ominaisuudet ovat käytännöllisyys ja hinta. Vaatteen pitää olla helposti puettava ja riisuttava. Monet erilaiset henkilöt käyttävät samaa vaatetta, ja ulkonäköasioilla ei ole merkitystä. Tällä hetkellä peruspotilasvaatetus koostuu pyjamasta, aamutakista, tossuista ja putkisukista. Kun potilaat käyttävät tietynlaisia vaatteita, on helppo erottaa esimerkiksi potilaat ja vierailijat toisistaan. Toisaalta potilasvaate korostaa potilaan asemaa. [65.]

Puhtaus on sairaalassa tärkeä asia. Vaatteen täytyy kestää standardoitua pesua korkeassa lämpötilassa. Vaatteita käytetään monta kertaa uudestaan, ja monet ihmiset käyttävät niitä. Sairaalassa vaatteet likaantuvat melko helposti. Omat vaatteet eivät käy läpi standardoitua pesua, joten ne ovat liian likaisia sairaalaan. [65.]

Helppokäyttöisyys on tärkeää, kun hoitaja pukee vaatteen potilaalle, jolloin se pitää pu-jotella. Vaate ei saa painaa ihoa, eikä edesauttaa painehaavojen muodostumista, jos potilas ei sängyssä maatessaan kykene vaihtamaan asentoa itse tai kun nukutuksessa kehosta häviää itsepuolustusmekanismi. Leikkausta varten potilaalle puetaan avopaita, joka leikkaustilanteessa hajotetaan ja heitetään roskiin. Jos vaate on vaikea riisua, on helpompi vain hajottaa se ja heittää pois. [65.]

Vaatteisiin ja pukeutumiseen liittyy kuitenkin myös esteettisyysasioita. Se, miltä vaate näyttää, tuntuu päällä ja mitä se kertoo kantajastaan, vaikuttavat mielialaan ja parantumiseen. [66.]

Nykyistä potilasvaatetta suunniteltaessa ei ole ajateltu teknologian liittämistä vaatteeseen. Teknologian lisääminen vaatteeseen nostaa sen hintaa. Teknologiaa voitaisiin yhdistää vaatteisiin niin, että muita kuluja vähennetään. Potilas voisi käyttää omia vaatteitaan älykkäiden alusvaatteiden päällä esimerkiksi hoivakodissa. Yksi vaatteeseen liittyvä turvallisuusasia on se että hätätilanteessa vaate pitää saada helposti ja nopeasti pois henkilön päältä ja toimenpiteiden tieltä. [65; 66.]

5.2 Mittareiden lisääminen potilasvaatteeseen

Älykäs potilasvaate mittaa elintoimintoja, ilmoittaa terveydentilan muutoksista ja esittää mittaustuloksia tiedon käyttäjille eli lääkärille ja hoitajalle sekä mahdollisesti potilaalle itselleen. Mittaavaa vaatetta suunniteltaessa tulee huomioida kaikki tavallisen vaatteen suunnittelussa huomioitavat asiat ja sen lisäksi teknologian vaatimukset, ja kokonaisuus pitää saada toimimaan. Seuraavaksi käsitellään mittaavan potilasvaatteen suunnittelussa ja käytössä huomioonotettavia asioita.

Tarkoituksenmukaisuus

Potilaan elintoimintoja mittaavassa vaatteessa ei tarvitse olla paljon erilaisia funktioita. Sairaalalaitteet mittaavat elintoimintoja erittäin tarkasti. Vaatteen tekemä mittaus on yksinkertaisempaa. Tällaisella vaatteella ei pyritä esimerkiksi tehohoidossa vaadittavaan lääketieteellisesti validoituun diagnostiseen tasoon. Vaatteessa käytettävällä mittausmenetelmällä voitaisiin monitoroida potilaan yleistä terveydentilaa ja sen muutoksia. [52.]

Jokaista mitattavaa elintoimintoa varten tarvitaan oma sensorinsa, joten tulee miettiä, kuinka monta eri toimintoa vaatteeseen on järkevä yhdistää. Kaikki sensorit kuluttavat energiaa ja vievät tilaa vaatteen pinta-alasta ja kehon mitattavista osista. Laadukkaaseen älyvaatteeseen liittyvät mittausten tarkoituksenmukaisuus ja toimintojen selkeys ja helppokäyttöisyys. [2.]

Huomaamattomuus ja mukavuus

Vaatteeseen integroidut mittauslaitteet eivät saa häiritä käyttäjää. Laitteiden tulee olla pieniä ja kevyitä, ja ne pitää piilottaa vaatteeseen hyvin. Mittaavan vaatteen ylle pukemisen ja päällä pitämisen pitää olla yhtä helppoa ja mukavaa kuin tavallisen vaatteen, mikä ei vielä ole mahdollista. Esimerkiksi sykettä mittaava anturi voidaan integroida paitaan, ja mittauslaitteen elektroniset osat voidaan tehdä suhteellisen huomaamattomiksi. Sykemittarin lähetinosa on irrotettava, mutta se on pieni, kevyt ja langaton. Paidan pitää kuitenkin istua hyvin ja anturin pitää asettua hyvin ihoa vasten. Paidan käyttäminen voi olla epämukavaa, jos se päällä pitää maata sängyssä pidemmän aikaa tai se pitää pukea ja riisua usein. [2.]

Käyttäjälähtöisyys

Käyttäjälähtöisyys tulee huomioida sekä potilaan että ammattihenkilön kannalta. Potilas kantaa vaatetta yllään. Se on osa hänen pukeutumistaan, johon liittyy mukavuus- ja esteettisyysasioita. Lääkäri ja sairaanhoitaja ovat kiinnostuneita signaaleista, jotka kertovat potilaan elimistön fysiologiasta. On tärkeää, että mittaava vaate on toiminnaltaan varma ja luotettava ja että se ei ole häiriöille altis. [52.]

Paristot

Puettavissa tuotteissa on usein irrotettava elektroniikka muun muassa virrankulutuksen takia. Niissä käytetään nappiparistoja, jotka ovat kaupallisesti ainoa järkevä vaihtoehto vielä tällä hetkellä. Paristoja ei voi laittaa pesukoneeseen. Heti kun akkuteknologia kehittyy, esimerkiksi kalvoparistot (thin film batteries) saattavat olla jo ominaisuuksiltaan sellaisia, että ne eivät esimerkiksi sisällä raskasmetalleja tai muita aineita, jotka eivät kestä pesukonetta. Kun tällaiset alkavat yleistyä, ollaan hyvin pitkällä siinä, että kaikki voidaan oikeasti rakentaa vaatteeseen sisään huomaamattomaksi osaksi vaatetta. [48.]

Istuvuus ja ihokontakti

Elintoimintoja mittaavan vaatteiden pitää olla hyvin istuva, jotta antureilla on hyvä ihokontakti. Anturit tarvitsevat hyvän ihokontaktin, jotta ne pystyvät mittaamaan ja mittaavat luotettavasti. Kun vaatteeseen puetaan päälle, antureiden tulee asettua paikoilleen ilman erityisiä asetteluja. Potilasvaatteessa istuvuus voi olla haastava ominaisuus, sillä vaatteiden pitää olla helposti puettava ja riisuttava sekä monelle henkilölle sopiva. Yhtenä mahdollisuutena voisi ajatella, että älyvaate sairaalassa ei olisikaan sidottu niin sanottuun perinteiseen potilasvaatteeseen, vaan älykäs osa voisi olla sellainen, joka liitetään tavalliseen vaatteeseen tai se voi olla erillinen alusvaate perinteisen vaatetuksen alla. [52.]

Sensorien sijoittelu

Sensorien ja muiden teknisten laitteiden sijoittelua vaatteessa tulee miettiä tarkkaan. Eri antureilla mitataan erilaisia asioita. Mitattaville elintoiminnoille on kehossa optimaalisia kohtia, joista saadaan mahdollisimman tarkkoja mittaustuloksia. Sensorien sijoittelussa tulee huomioida myös se, että laitteet eivät saa rajoittaa käyttäjän liikkeitä. Käyttäjän liikkeen vaikutus mittaukseen on myös huomioitava. [2.]

Vaatteen sensorit voisivat olla kiinnitettäviä ja irrotettavia, jotta niistä voitaisiin ottaa käyttöön ne, joita missäkin tilanteessa tarvitaan. Sensorit voitaisiin kiinnittää tarranauhalla, joka on kestävä ja voidaan vaihtaa sen kuluessa tai hajotessa. Irrotettavat sensorit olisi kuitenkin päällystetty, jotta ne eivät vahingoitu, jos ne vahingossa kastuvat tai unohtuvat vaatteeseen pesun ajaksi. Sensoreita voisi myös liittää jonkinlaiseen joustavaan rannekeeseen, jolloin ne eivät vaikuttaisi vaatteeseen. [66.]

Lääkintälaitte ja vaatimukset

Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira valvoo, että terveydenhuollon laitteet ja tarvikkeet täyttävät niille asetetut vaatimukset, jotka liittyvät muun muassa tuotteen turvallisuuteen, käyttötarkoitukseen sopivuuteen ja suorituskykyyn. Valvira myös edistää laitteiden ja tarvikkeiden turvallista käyttöä. [67.]

Lääketieteellistä arviota, diagnoosia, hoidon määrittelyä tai hoidon seuranta varten laitteen pitää olla lääkinnällinen laite. Vaatteen avulla pystytään tekemään jonkinlaista arviota. On pohdittava, kuinka laadukasta mittausta halutaan eli riittääkö suuntaa antava arvio vai tarvitaanko tarkempi ja kalliimpi laite. [52.]

Sairaalassa voidaan kuitenkin myös käyttää teknologiaa, jolle ei ole haettu lääkintälaitteen hyväksyntää. Potilasälyvaatteen ei välttämättä tarvitse olla lääkintälaitteeksi hyväksytty, jolloin siihen pätevät samat standardit kuin esimerkiksi kuluttajille suunnattuihin urheiluälyvaatteisiin. Se, että tuote hyväksytään lääkintälaitteeksi, nostaa tuotteen hintaa huomattavasti, joten jos riittää, että vaate täyttää kuluttajavaatimukset, päästään pienempiin kustannuksiin. [52.]

Luotettavuus

Terveydentilan seurannassa ei voida tarkastella pelkästään mittaustietoja. Jos tarkastellaan vain fysiologisia tietoja, voidaan tehdä virheellisiä havaintoja. Esimerkiksi sykkeen äkillinen muutos voi aiheutua fyysisestä voimistelusta eikä sydämen rytmihäiriöstä. [68.]

Esimerkiksi verenpainetta mitattaessa potilaan pitää olla paikallaan istuen tai makuulla. Kiihtyvyyssanturin avulla voidaan määrittää henkilön asento. Anturi voi sallia muiden mitausantureiden toiminnan vasta, kun henkilö on oikeanlaisessa asennossa tietynlaista mittausta varten. [69.]

Sairaala voi olla erittäin hankala ympäristö radiotaajuuksilla toimivalle viestinnälle. Tähän vaikuttavat esimerkiksi rakenteelliset tekijät, kuten metalliset ovet ja säteilysuojaukset. Radiotaajuudet ovat alttiita langattomien nettiyhteyksien, Bluetooth-laitteiden ja langattomien puhelinten aiheuttamille häiriöille. [70.]

Tietoturva ja yksityisyys

Käyttäjän henkilökohtaisia tietoja mitattaessa, tallennettaessa ja säilytettäessä on huolehdittava tietoturvasta. Tiedot eivät saa päätyä väärin paikkoihin ja niiden säilyttämisestä on huolehdittava esimerkiksi varmuuskopioinnilla. Henkilökohtaisten tietojen suojaukseen ja käyttäjäloukkumuksellisuuteen liittyy lainsäädännöllisiä ja eettisiä asioita. [2.]

Turvallisuus on välttämätön osa mitä tahansa järjestelmää. Langattomaan tiedonvälitykseen liittyy monia turvallisuusuhkia. Turvallisuusuhat ja -hyökkäykset voivat aiheuttaa sosiaalisia ongelmia sensoreita käyttävälle henkilölle. Hän voi joutua esimerkiksi kiristyksen tai syrjinnän kohteeksi. Terveystietojen sovellusten turvallisuusasioita on tutkittu aktiivisesti. [71.]

Turvallisuushyökkäyksissä pyritään ensisijaisesti varastamaan arvokkaita henkilökohtaisia tietoja. Hyökkäys voi tapahtua datapakettien reitityksen yhteydessä. Hyökkääjä saattaa muuttaa paketin kulkureittiä ja määränpäättä ja varastaa tietoja. Tietoja voidaan salakuunnella tai muuttaa, hälytyksiä voidaan väärentää, käyttäjien sijaintia seurata, laitteita peukaloida fyysisesti ja tehdä häirintähyökkäyksiä. [71.]

Turvallisuushilta suojaautumisessa voidaan käyttää salaus- ja todentamismekanismia. Kaikki henkilökohtaisiin terveystietoihin liittyvä verkossa tapahtuva tiedonvälitys pitää suojata salauksella. Hyökkäyksiä voidaan välttää estämällä tietojen luvaton muuttaminen ja varmistamalla, että vain sallitut laitteet voivat luoda ja syöttää tietoja järjestelmään. Todentamismenetelmillä voidaan varmistaa tiedonsyöttäjän henkilöllisyys. [71.]

Jotkut maat ovat lisänneet lainsäädäntöönsä, että kaiken langattomasti tapahtuvan tiedonvälityksen pitää olla salattua käyttäjän yksityisyyden suojaamiseksi. Yhdysvallat, Euroopan unioni, Japani, Korea, Australia ja Intia ovat säätäneet tiukkoja lakeja nettirikollisuuteen liittyen. Koska hyökkääjät voivat olla mistäpäin maailmaa tahansa, olisi hyvä kehittää jonkinlaisia maailmanlaajuisia standardeja ja lakeja. [71.]

Hinta

Teknologian lisääminen vaatteeseen nostaa sen hintaa. Älyvaatteesta on mahdotonta tehdä yhtä halpaa kuin tämänhetkisestä potilasvaatteesta. Jotta uutta kalliimpaa potilasvaatetta edes harkittaisiin, täytyisi sen tuoman hyödyn olla niin suuri, että siitä oltaisiin valmiita maksamaan enemmän. Koska siirtyminen tavallisesta potilasvaatteesta älyvaatteeseen on valtava muutos, on myös palvelujen ja prosessien muututtava. Älyvaate tulee maksamaan enemmän kuin tavallinen vaate, mutta prosessien pitää olla sellaisia, että tuomansa lisäarvon kautta älyvaate maksaa itsensä takaisin.

Haasteet

Itse vaate, ja miten vaatteeseen saadaan mukavasti integroitua antureita, ei ole ongelma, sillä se voidaan tehdä tänä päivänä. Teknologia ja tuotanto ovat olemassa. Haasteet liittyvät elektroniikkaan, signaalinkäsittelyyn, analyysiin ja siihen, mitä tietoa käyttäjälle tarjotaan ja missä muodossa. Sykkeenmittaus on tästä hyvä esimerkki. Sykeväilivaihtelusta saadaan laskettua kaikenlaisia asioita, kuten urheilun tai liikunnan vaikutus kehoon, fyysinen kunto eri hetkinä ja stressitaso. Kuitenkin tällä hetkellä sykemittarit edelleen näyttävät käyttäjälle tietoa sellaisessa muodossa, että käyttäjän pitää olla jollain tavalla koulututtunut sykkeenmittaukseen. Hänen täytyy ymmärtää esimerkiksi omat sykerajansa ja sykealueensa. Tiedon esittäminen käyttäjälle on suuri haaste. [48.]

Haasteena on siis, miten tieto esitetään käyttäjälle tai tarvitseeko sitä esittää ollenkaan, jos kyseessä on esimerkiksi vaate, joka kaikessa hiljaisuudessa mittaa henkilöstä jotakin, ja mittaustietoja voi tarvittaessa ottaa tarkasteluun. Toinen asia on, pitäisikö tieto esittää jotenkin muuten eli voitaisiinko esimerkiksi muodostaa jonkinlainen indeksi, kuten numero tai palkki, joka ilmaisee, onko kaikki hyvin tai huonosti ja mitä pitäisi tehdä. [48.]

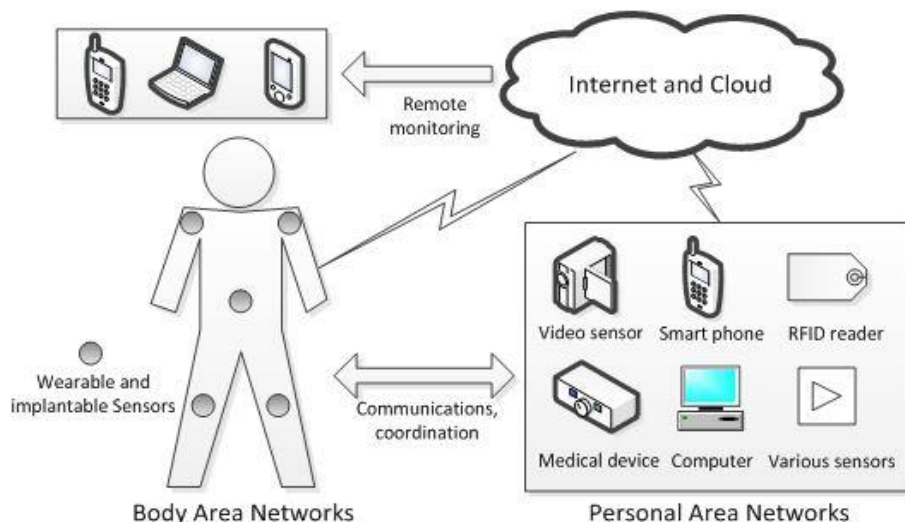
Yhä enemmän ja enemmän pitää tutkia sitä, mitä signaalia ja mitä dataa yhdistämällä saataisiin paras käsitys henkilön terveydentilasta. Koko ajan tulee lisää mitattavia suureita. Tällä hetkellä syke on selkeästi mitattavin ja mitatuin asia. Urheilun mittaamisessa kovana haasteena on lihasaktiivisuuden mittaaminen. Verenpaineen ja nestetasapainon mittaaminen ovat mahdollisesti seuraavia kehityskohteita. [48.]

5.3 Langattomat sensorijärjestelmät ja terveydentilan monitorointi

Terveydentilaa mittaavia sensoreita sisältävä vaate toimii osana suurempaa järjestelmää. Vaate mittaa henkilön elintoimintoja sairaalassa tai kotona ja monitoroi terveydentilaa ja sen muutoksia. Mittaustulokset pitää siirtää henkilölle, joka tulkitsee niitä ja toimii niiden perusteella.

Terveydentilaa monitoroivan langattoman sensorijärjestelmän, Wireless Sensor Network (WSN), avulla voidaan seurata potilaiden terveydentilaa reaaliaikaisesti ja havaita ajoissa hätätilanteita ja sairauksia. Terveydentilan monitorointijärjestelmään voi kuvan 23 esimerkin mukaan kuulua puettavia ja käyttäjään kiinnitettäviä sensoreita, jotka mittaavat fysiologisia signaaleja. Järjestelmään voi kuulua myös mobiililaitteita ja ympäristöä mittaavia sensoreita, kuten RFID-lukijoita (Radio Frequency Identification) sekä video-, lämpötila- ja paikannussensoreita. Järjestelmän keräämä tieto siirretään internetiin ja käsitellään pilvijärjestelmässä. Etäkäyttäjät, kuten omaishoitajat ja lääkärit, voivat seurata käyttäjien reaaliaikaisia tietoja netin kautta. [72.]

Järjestelmässä, jossa henkilö käyttää useita laitteita, voidaan tiedonsiirtoon käyttää keskitettyä ohjauslaitetta. Laite voi myös toimia porttina sisäisten yhteyksien ja ulkopuolisen maailman tiedonvälityksessä. Turvallisuustoimenpiteet, kuten todentamiset, palomuurit ja muut tarkistukset, voidaan toteuttaa ohjauslaitteessa. [71.]



Kuva 23. Terveydentilan monitorointijärjestelmä [72].

Langattomien sensorijärjestelmien sovellukset tulevat mullistamaan terveydenhuollon. Kroonisten ja iäkkäiden potilaiden terveydentilasta voidaan kotimonitoroinnilla kerätä jaksollista tai jatkuvaa tietoa, joka lähetetään lääkärille. Tämä mahdollistaa pitkäaikaisen hoidon ja terveydentilan kehityksen analysoinnin. Tällä voidaan myös lyhentää sairaalassa vietettävää aikaa. Pitkäaikaisesti kerättyä tietoa voidaan hyödyntää tulevilla diagnooseilla. [71.]

Langattomien sensorijärjestelmien sovellusalueet kehittyvät nopeasti, kun sensorilaitteiden koko ja hinta pienenevät. Viime vuosina langattomia ihmisen toimintojen aktiiviseen monitorointiin tarkoitettuja sensorilaitteita on tutkittu paljon. Terveydentilan monitoroinnin sovelluksilla on kysyntää, ja useita terveydenhuollon projekteja on kehitys- ja toteutusvaiheessa. [71.]

Potilaiden etämonitorointi on yksi tapa helpottaa terveydenhuollon nykyhetken ongelmallista tilannetta. Sen tavoitteena on vähentää ensiapupoliklinikoiden ruuhkautumista, pienentää kuluja ja mahdollistaa terveydenhuollon saatavuus kaikille. On paljon erilaisia terveydentilaan liittyviä asioita, joita voidaan seurata. Pitää myös arvioida, tulisiko niitä seurata reaaliaikaisesti vai jaksoittain ja kuinka usein. [71.]

Lääkärin on arvioitava, ketkä potilaista voidaan laittaa etäseurantaan sairaalahoidon sijaan. Potilas on kotonaan ja hänen elintoimintojaan mittaavat laitteet lähettävät tietoja lääkärille, joka seuraa ja arvioi potilaan tilaa ilman fyysistä paikallaoloa. Lääkäri tekee hoitoon liittyviä päätöksiä monitoroinnin perusteella. [71.]

Elintoimintoja mittaavien sensorien yhdistettävyyden erilaisiin laitteisiin on kehittynyt tietotekniikan kehittymisen myötä. Aluksi mittausensorit näyttivät tuloksensa mittauslaitteen omalla näytöllä. Seuravaksi sensoreita voitiin liittää ulkoisiin laitteisiin langallisilla käyttöliittymillä, kuten USB ja Ethernet. Nyt sensorit ovat alkaneet käyttää langattomia yhteyksiä. Lyhyen etäisyyden langattomilla yhteyksillä, kuten Bluetooth ja Zigbee, sensorit kommunikoivat lähellä olevien tietokoneiden, kämmentietokoneiden ja älypuhelimien kanssa. Pitkän etäisyyden yhteyksillä kommunikoidaan suoraan pilvipalveluiden kanssa. Näitä ovat esimerkiksi langaton internetyhteys tai matkapuhelinverkko. [70.]

6 Yhteenveto

Yhtenä työn tavoitteena oli kartoittaa älyvaatteen ja puettavan teknologian kehityskaarta. Toisena tavoitteena oli pohtia elintoimintoja mittaavien anturien lisäämistä potilasvaatteeseen ja potilaan terveydentilan seuraamista älyvaatteen avulla. Tarkasteltiin, mikä on tällä hetkellä mahdollista ja mitä asioita pitää ottaa huomioon, jos lähdetään suunnittelemaan potilaan terveydentilaa seuraavaa vaatetta ja järjestelmää. Älyvaate ja puettava teknologia sekä niiden hyödyntäminen terveydenhuollossa on hyvin laaja aihe, ja sitä piti tässä työssä rajata merkittävästi.

Puettavan tietokoneen kehitys on alkanut aiheesta kiinnostuneiden kehittämistä ensimmäisistä laitteista, joiden tutkimusta ja kehitystä on jatkettu eteenpäin. Ensimmäiset laitteet olivat suurikokoisia ja raskaita. Vähitellen teknologian kehitys on johtanut nykyhetkeen, jolloin laitteet ovat kevyempiä ja huomaamattomampia, ja ne alkavat yleistyä jokapäiväisessä käytössä. Esimerkiksi päässä kannettavan näyttölaitteen vaiheissa kehitys havainnollistuu hyvin. Ensimmäiset laitteet olivat suurikokoisia ja kömpelöitä, ja niitä piti nimenomaisesti kantaa mukana. Laitteet ovat kehittyneet pienemmiksi ja kevyemmiksi, ja ne ovat nykyään hyvin lähellä tavallisten silmälasien kokoa ja muotoa. Ne eivät ole kuitenkaan vielä täysin saavuttaneet yleistä sosiaalista hyväksyntää, joka on tärkeä, jotta ne voivat yleistyä.

Potilasälyvaateosiota varten haastateltiin eri alojen asiantuntijoita, ja aihetta tarkasteltiin eri näkökulmista. Mittaavan potilasvaatteen suunnitteluun, valmistamiseen, käyttöön ottamiseen ja käyttämiseen sekä huoltamiseen liittyy eri osapuolia ja tahoja, jotka omalta osaltaan vaikuttavat tuotteeseen, järjestelmään ja niiden käyttöön. Eri tahoilla on omat näkökulmansa ja tavoitteensa asiaan, mutta on myös paljon ominaisuuksia, jotka ovat kaikille tärkeitä.

Potilaan elintoimintoja mitataan sairaalalaitteilla erittäin tarkasti. Vaatteen avulla tehtävä mittaus on yksinkertaisempaa, ja sillä saadaan suuntaa antavaa arviota terveydentilasta ja sen muutoksista.

Laitteiden tulee olla pieniä ja kevyitä, ja ne pitää piilottaa vaatteeseen hyvin, jotta ne eivät häiritse käyttäjää. Mittaavan vaatteen ylle pukemisen ja päällä pitämisen pitää tuntua samalta kuin tavallisen vaatteen kanssa, jolloin mittaus ei vaikuta käyttäjän tavallisiin toimintoihin, ja mittaus tapahtuu huomaamatta. Vaate on osa potilaan pukeutumista, jolloin siihen liittyy mukavuusasioiden lisäksi esteettisyyskysymyksiä.

Mittaustuloksia tarkastelevan ja niiden perusteella toimivan ammattihenkilön kannalta käyttäjälähtöisyys tarkoittaa muun muassa sitä, että laitteen toiminta on varmaa ja luotettavaa ja mittaustulosten käsittely helppoa. Laitteen tulee mitata sellaisia fysiologisia toimintoja, joiden seuraaminen on tärkeää ja oleellista potilaan hoidon kannalta. Voidaan esimerkiksi keskittyä perusvitaalifunktioiden tai tietyn diagnoosin seurantaan.

Työssä esitelty potilasälyvaatekonsepti voisi olla tällä hetkellä mahdollinen toteuttaa ja varmasti hyödyllinen älyvaatesovellus. Muiden elintoimintojen mittaamisen sovelluksia on myös kehitetty, ja niitäkin tutkitaan koko ajan lisää. Esimerkiksi vielä tällä hetkellä vain urheilusovelluksia varten kehitetyllä lihasaktiivisuuden mittaamisella nähdään paljon mahdollisuuksia myös terveydenhuollossa.

Älyvaate ja ihmisen mittaaminen ovat ajankohtaisia aiheita. Niitä tutkitaan ja kehitetään koko ajan. Alalle odotetaan nopeaa kasvua koko maailmassa, ja tuotteilla nähdään paljon mahdollisuuksia. Sairaalassa potilaan terveydentilaa seuraavat vaatteet tulevat yleistymään. Kun teknologia ja laitteet pienenevät ja niiden hinnat laskevat, niiden käyttö yleistyy ja tulee arkisemmaksi. Langattomien sensorijärjestelmien sovellusalueita kehitetään ja tutkitaan paljon. Puettava teknologia näyttää olevan vasta kehityskaarensa alussa.

Lähteet

- 1 Heinola, Juha. 2007. Alytekstiilit ja puettava teknologia. Verkkodokumentti. <<http://www2.amk.fi/digma.fi/eetu/www.amk.fi/opintojak-sot/030507/1086702350450/1086705291164/1172832868124/1173266859950.html>>. 7.3.2007. Luettu 6.8.2014.
- 2 Hellman, Linda. Älykkäät hyvinvointivaatteet. Tietojenkäsittelytieteen laitos, Helsingin yliopisto.
- 3 Rhodes, Bradley. A brief history of wearable computing. Verkkodokumentti. <<http://www.media.mit.edu/wearables/lizzy/timeline.html>>. Luettu 25.3.2014.
- 4 Thorp, Edward O. The Invention of the First Wearable Computer.
- 5 Farber, Dan. 2013. Google Glass ancestors: 45 years of digital eyewear (photos). 1968: Ivan Sutherland's Sword of Damocles. Verkkodokumentti. <<http://www.cnet.com/pictures/google-glass-ancestors-45-years-of-digital-eyewear-photos/>>. 7.6.2013. Luettu 6.8.2014.
- 6 Ivan Sutherland. Photographs. Verkkodokumentti. Association for Computing Machinery. <http://amturing.acm.org/photo/sutherland_3467412.cfm>. Luettu 6.8.2014.
- 7 Lisätty todellisuus elävöittää tiedon. Verkkodokumentti. VTT. <http://www.vtt.fi/service/ict2_augmented_reality.jsp>. Luettu 6.8.2014.
- 8 HP-01 wrist instrument, 1977. Verkkodokumentti. Hewlett-Packard. <<http://www.hp.com/hpinfo/abouthp/histnfacts/museum/personalsystems/0022/>>. Luettu 26.3.2014.
- 9 HP-01. Close up of the Gold HP-01 face. Verkkodokumentti. The Museum of HP Calculators. <<http://www.hpmuseum.org/hp01.htm>>. Luettu 6.8.2014.
- 10 Amft, Oliver & Lucowicz, Paul. 2009. From Backpacks to Smartphones: Past, Present, and Future of Wearable Computers. IEEE CS.
- 11 Mann, Steve. 1998. An historical account of the `WearComp' and `WearCam' inventions developed for applications in `Personal Imaging'. Verkkodokumentti. <<http://wearcam.org/historic-split0/>>. 6.1.1998. Luettu 6.8.2014.
- 12 Roberts, Steven K. 1987. The Anatomy of the Winnebiko II. Verkkodokumentti. <<http://microship.com/articles/anatomy-of-the-winnebiko-ii/>>. 16.3.1987. Luettu 6.8.2014.

- 13 Lucowicz, Paul. 2013. Head-Mounted Displays: From Cyborgs to Google Glass. Verkkodokumentti. <<http://www.wearable-technologies.com/2013/05/head-mounted-displays-from-cyborgs-to-google-glass/>>. 3.5.2013. Luettu 6.8.2014.
- 14 Starner, Thad. 1999. Wearable Computing and Contextual Awareness. Massachusetts Institute of Technology.
- 15 Mikkonen, Eija. 2013. Älylasit tuovat tietokoneen nenälle. Verkkodokumentti. <<http://www.kaleva.fi/teemat/digi/alylasit-tuovat-tietokoneen-nenalle-katso-video-google-laseista/634972/>>. 5.7.2013. Luettu 6.8.2014.
- 16 Green, Carter. 2014. Notable Wearables: Who is the Google Glass Consumer? (Part One in a Series). Verkkodokumentti. <<http://www.mportal.com/notable-wearables-google-glass-consumer-part-one-series/>>. 12.3.2014. Luettu 6.8.2014.
- 17 Want, R., Hopper, A., Falcão, V. & Gibbons, J. 1992. The Active Badge Location System. Olivetti Research Ltd.
- 18 Bokun, Igor & Zielinski, Krzysztof. 1998. Active Badges — The Next Generation. Figure 2. Alex Laurentowski wearing Active Badge. Verkkodokumentti. <<http://www.linuxjournal.com/article/3047>>. 1.10.1998. Luettu 6.8.2014.
- 19 Definition of Terms. Infrared Identification. Fig. 13 Olivetti Laboratory's Active Badge. Verkkodokumentti. SmartLab. <<http://www.smartlab.at/proceedings/phd-thesis-context-awareness/chapter-1/>>. Luettu 6.8.2014.
- 20 Popat, Kalpesh & Sharma, Priyanka. 2013. Wearable Computer Applications A Future Perspective. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Vol. 3, No. 1, July 2013.
- 21 Holopainen, Reijo. 2001. Reiman ensimmäinen älyvaate markkinoille syksyllä. Verkkodokumentti. <<http://www.digitoday.fi/mobiili/2001/08/23/reiman-ensimmainen-alyvaate-markkinoille-syksylla/20014701/66>>. 23.8.2001. Luettu 6.8.2014.
- 22 MIThril. Verkkodokumentti. MIT Media Lab. <<http://www.media.mit.edu/wearables/mithril/>>. Luettu 9.8.2014.
- 23 Burton and Apple Deliver the Burton Amp Jacket. 2003. Verkkodokumentti. Apple Press Info. <<http://www.apple.com/pr/library/2003/01/07Burton-and-Apple-Deliver-the-Burton-Amp-Jacket.html>>. 7.1.2003. Luettu 6.8.2014.
- 24 Raley, Josh. 2013. Google gets the patent. Verkkodokumentti. <<http://buymegoogle.com/tag/myvu/>>. 7.5.2013. Luettu 6.8.2014.
- 25 Riihonen, Risto. 2003. Smartwearlab vahvistaa TTY:n älyvaatetutkimusta. Kaupalehti 8.4.2003, s. 15.
- 26 Malmivaara, Mikko. 2013. Kehoa mittaavat urheilutekstiilit. Tekstiili 4/2013, s. 13.

- 27 Davies, Ste. 2012. Professional Teams Are Becoming Body Data Driven. Verkkodokumentti. <<http://bionicy.com/2012/08/professional-teams-are-becoming-body-data-driven/>>. 9.8.2012. Luettu 6.8.2014.
- 28 Issakainen, Kari-Pekka & Manninen, Kari. 2014. Urheiluhifistin housut ajattelevat. Verkkodokumentti. <<http://www.savonsanomat.fi/uutiset/talous/urheiluhifistin-housut-ajattelevat/1746397>>. 5.1.2014. Luettu 6.8.2014.
- 29 Kuopiolaisen Myontecin älyshortsit voittivat ykkössijan Saksassa. 2014. Verkkodokumentti. Kuopio Innovation Oy. <<http://www.kuopioinnovation.fi/news/311/34/Kuopiolaisen-Myontecin-aelyshortsit-voittivat-ykkoessijan-Saksassa/d,sisasivu>>. Luettu 6.8.2014.
- 30 Kervinen, Kaija. 2014. Älyvaatteista odotetaan maailmalla miljardibisnestä jo lähivuosina. Verkkodokumentti. <http://yle.fi/uutiset/alyvaatteista_odotetaan_maailmalla_miljardibisnesta_jo_lahivuosina/7029847>. 15.1.2014. Luettu 6.8.2014.
- 31 Mbody. Verkkodokumentti. Mainostoimisto Ad Kiivi Oy. <<http://www.adkiivi.fi/site/fi/asiakkaat/mbody/>>. Luettu 6.8.2014.
- 32 Ramachandran, Vignesh. 2013. Smart Socks Act As Your Running Coach. Verkkodokumentti. <<http://mashable.com/2013/06/13/sensoria-smart-socks/>>. 14.6.2013. Luettu 6.8.2014.
- 33 Would you wear smart socks if they could prevent injuries?. 2013. Verkkodokumentti. Hearst Electronic Products. <http://www.electronicproducts.com/Software/Development_Tools_and_Software/Would_you_wear_smart_socks_if_they_could_prevent_injuries.aspx>. Luettu 6.8.2014.
- 34 Karvonen, Tuomas. 2005. Adidaksen tietokoneohjattu älykenkä Suomeen. Verkkodokumentti. <<http://www.digitoday.fi/data/2005/04/15/adidaksen-tietokoneohjattu-alykenka-suomeen/200510439/66>>. 15.4.2005. Luettu 6.8.2014.
- 35 Adidas Uncovers New Intelligence Level 1.1 Shoe, adidas_1. 2005. Verkkodokumentti. PRWeb. <<http://www.prweb.com/releases/2005/11/prweb315067.htm>>. 25.11.2005. Luettu 6.8.2014.
- 36 Mannila, Marko. 2006. Niken tossut kertovat lenkkeilytiedot iPodin kautta. Verkkodokumentti. <<http://www.digitoday.fi/vimpaimet/2006/05/24/niken-tossut-kertovat-lenkkeilytiedot-ipodin-kautta/20067690/66>>. 24.5.2006. Luettu 6.8.2014.
- 37 Baig, Edward C. 2006. Apple, Nike exercise iPods to track workouts. Verkkodokumentti. <http://usatoday30.usatoday.com/tech/products/2006-05-23-apple-nike_x.htm>. 23.5.2006. Luettu 6.8.2014.
- 38 Coxworth, Ben. 2012. SmartCap monitors workers' fatigue levels by reading their brain waves. Verkkodokumentti. <<http://www.gizmag.com/smartcap-measures-fatigue-brain-waves/21271/>>. 30.1.2012. Luettu 6.8.2014.

- 39 SmartCap Overview. 2014. Verkkodokumentti. SmartCap. <<http://smartcap.com.au/smartcap-overview/>>. Luettu 6.8.2014.
- 40 Sulopuisto, Olli. 2008. Älyvaate haistaa sairauden hiestä. Verkkodokumentti. <<http://www.itviikko.fi/teknologia/2008/04/20/lyvaate-haistaa-sairauden-hiesta/200810987/7>>. 20.4.2008. Luettu 6.8.2014.
- 41 Smart clothes to monitor health. 2007. Verkkodokumentti. BBC News. <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/6740325.stm>>. 11.6.2007. Luettu 6.8.2014.
- 42 Gallagher, James. 2012. Electric pants aim to stop bedsores. Verkkodokumentti. <<http://www.bbc.com/news/health-19946428>>. 15.10.2012. Luettu 6.8.2014.
- 43 Otis, Brian & Parviz, Babak. 2014. Introducing our smart contact lens project. Verkkodokumentti. <<http://googleblog.blogspot.de/2014/01/introducing-our-smart-contact-lens.html>>. 16.1.2014. Luettu 6.8.2014.
- 44 Halme, Aki. 2010. HipGuard-järjestelmän keskusyksikkö. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 45 Smith, Mat. 2014. Japanese 'smart clothing' uses nanofibers to monitor your heart-rate. Verkkodokumentti. <<http://www.engadget.com/2014/01/30/ntt-docomo-toray-smart-cloth/>>. Luettu 6.8.2014.
- 46 The Vest Airway Clearance System. Verkkodokumentti. Hill-Rom Services, Inc. <<http://www.thevest.com/products/>>. Luettu 6.8.2014.
- 47 Philips Research, HeartCycle project. Verkkodokumentti. Philips. <<http://www.research.philips.com/technologies/heartcycle/index.html>>. Luettu 6.8.2014.
- 48 Malmivaara, Mikko. 2014. Myynti- ja markkinointipäällikkö, Clothing+ Oy, Kaanpää. Puhelinhaastattelu 4.4.2014.
- 49 Honka, Niina. 2014. Teknologia tulee iholle – "Puettava elektroniikka kuin kännykät 1990-luvulla". Verkkodokumentti. <http://yle.fi/uutiset/teknologia_tulee_iholle__puettava_elektroniikka_kuin_kannykat_1990-luvulla/7067745>. 4.2.2014. Luettu 6.8.2014.
- 50 Heino, Elina. 2013. Älyvaate muuttaa sairaanhoidon. Verkkodokumentti. <<http://www.medi uutiset.fi/uutisarkisto/alyvaate+muuttaa+sairaanhoi don/a927757>>. 6.9.2013. Luettu 6.8.2014.
- 51 Alavalkama, Satu. 2013. Mittaava älyvaate valloittaa massoja. Verkkodokumentti. <<http://www.taloussanomat.fi/i ihmiset/2013/09/21/mittaava-alyvaate-valloittaa-massoja/201313093/137>>. 21.9.2013. Luettu 6.8.2014.
- 52 Kuikanvirta, Jukka. 2014. Lehtori, älykäs teknologia, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Haastattelu 17.3.2014.

- 53 Mustakangas, Helena. 2012. ”Kyllä kai se on niin, että silmät on sielun peili”, Dementoituneen asiakkaan kivun tunnistaminen hoitajien kuvaamana. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu.
- 54 Mustajoki, Pertti & Kaukua, Jarmo. 2008. EKG (sydänfilmi). Verkkodokumentti. <http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=snk03210>. 9.7.2008. Luettu 7.8.2014.
- 55 Honkanen, Jukka. 2006. EKG:n perusteet. Verkkodokumentti. <<http://www.kolumbus.fi/jukka.u.honkanen/tdata/ekgperusteet.pdf>>. 27.6.2006. Luettu 7.8.2014.
- 56 EKG. Verkkodokumentti. Suomen Sydänliitto ry. <http://www.sydanliitto.fi/ekg#.U3dOfPI_vOU>. Luettu 7.8.2014.
- 57 Wearable Sensors And Monitors. Verkkodokumentti. Actner Group. <<http://actnergroup.com/wearable/wearable-sensor-and-monitor/>>. Luettu 14.9.2014.
- 58 CardioLeaf FIT Shirt. Intelligent Wearable Cardiac Monitoring. Verkkodokumentti. Clearbridge VitalSigns. <<http://www.clearbridgevitalsigns.com/shirt.html>>. Luettu 14.9.2014.
- 59 Syke. Verkkodokumentti. Duodecim, Terveyskirjasto. <http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=ltt03343&p_haku=syke>. Luettu 7.8.2014.
- 60 Moisander, Olli. Syke. Verkkodokumentti. <http://users.jyu.fi/~peltsi/ali/opetus/hyvotek/LBIA020_raportit.htm#_Toc272841386>. Luettu 7.8.2014.
- 61 Tervola, Janne. 2014. Nokia-taustainen yhtiö kehitti laitteen, joka mittaa pulssin ilman sykevyötä. Verkkodokumentti. <<http://summa.talentum.fi/article/tt/uusimmat/68181>>. 3.6.2014. Luettu 7.8.2014.
- 62 Castrén, M., Korte, H. & Myllyrinne, K. 2012. Hengityksen, verenkierron ja tajunnan häiriöt. Verkkodokumentti. <http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=spr00005&p_haku=hengitys>. 31.5.2012. Luettu 7.8.2014.
- 63 Ehrström, N., Forsström, I., Garam, J., Honkkila, M., Lukkarinen, E., Mattila, E., Mikkola, A., Munge, S., Soini, J., Somersalo, L. & Stjernvall, M. 2013. Fotopletysmografian käyttö kriittisesti sairaan potilaan tunnistamisessa vuodeosastoilla. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 64 PulseOx 7500tm. Verkkodokumentti. Spira. <http://www.spira.fi/tuotteet/index.php?mag_nr=9&kategoria=7&tuote=11>. Luettu 14.9.2014.
- 65 Salmenperä, Ritva. 2014. Ylihoitaja, Töölön sairaala, HUS, Helsinki. Haastattelu 3.4.2014.

- 66 Vaatetusalan opiskelijat. 2014. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Tikkurila. Työpaja 19.3.2014.
- 67 Terveysthuollon laitteet ja tarvikkeet. Verkkodokumentti. Valvira. <http://www.valvira.fi/luvat/terveydenhuollon_laitteet_ja_tarvikkeet>. Luettu 18.9.2014.
- 68 Lo, B. P. L., Thiemjarus, S., King, R. & Yang, G-Z. Body Sensor Network – A Wireless Sensor Platform for Pervasive Healthcare Monitoring. Department of Computing, Imperial College London, South Kensington Campus, United Kingdom.
- 69 Aminian, Media & Najj, Hamid Reza. 2013. A Hospital Healthcare Monitoring System Using Wireless Sensor Networks. Health & Medical Informatics Vol. 4, No 2, 2013.
- 70 Ko, J., Lu, C., Srivastava, M. B., Stankovic, J. A., Terzis, A. & Welsh, M. 2010. Wireless Sensor Networks for Healthcare. Proceedings of the IEEE Vol. 98, No. 11, November 2010.
- 71 Al Ameen, Moshaddique & Kwak, Kyung-sup. 2011. Social Issues in Wireless Sensor Networks with Healthcare Perspective. The International Arab Journal of Information Technology Vol. 8, No. 1, January 2011.
- 72 Leung, Y.-W. ym. Wireless Sensor Networks for Real-time Healthcare Monitoring. Verkkodokumentti. <<http://www.comp.hkbu.edu.hk/v1/proj/hkpfs/yw/1/>>. Luettu 7.8.2014.
- 73 Dinkar, P., Gulavani, A., Ketkale, S., Kadam, P. & Dabhade, S. 2013. Remote Health Monitoring using Wireless Body Area Network. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) Vol. 2, No. 4, April 2013.