

Helen Konttinen

# IHOPOHJAISTEN KÄYTTÖLIITTYMIEN SYÖTTEENANTOMAHDOLLISUUDET

# ABSTRACT

Helen Konttinen: Inmatningsmetoder för hudbaserade användargränssnitt  
Kandidatavhandling  
Tammerfors universitet  
Utbildningsprogrammet för datavetenskap  
Augusti 2021

---

Vi försöker jämt och ständigt utveckla nya, människonära interaktionsformer mellan människan och smart enheter. I ett hudbaserat användargränssnitt (eng. "on-body interface") ger användaren kommandon genom att röra huden, i stället för att till exempel röra skärmen på en smartklocka. Användaren får feedback till exempel i form av ljud eller vibrationer. Utvecklingen av dessa hudbaserade användargränssnitt är fortfarande på prototypnivå, men tack vare den snabba teknologiska utvecklingen kan dessa användargränssnitt komma på marknaden inom en snar framtid. I den här litteraturöversikten granskar jag olika inmatningsmetoder som finns för hudbaserade användargränssnitt, och undersöker hurdana utmaningar de för med sig.

I litteraturen jag hittade framkom fyra olika sätt att kategorisera inmatningen av data i hudbaserade användargränssnitt. Dessa är riktad beröring, kontinuerlig beröring, variation i kontaktytans area och förändring av hudens form. I riktad beröring fungerar ett fingertryck på ett specifikt, fördefinierat område på huden som bekräftelse av ett objekt i till exempel en meny. Med kontinuerlig beröring menas en taktill gest, till exempel då användaren "ritar" en form med fingret på huden. Med variation i kontaktytans area menas en flertrycksgest där fler än ett finger används vid beröring av huden. Förändring av hudens form innebär att till exempel knipa huden med pek-fingret och tummen för att ge ett kommando.

De fyra inmatningsmetoderna som nämnts tidigare verkar fungera bra för olika ändamål, såsom kontinuerlig beröring för menybläddring och förändring av hudens form för funktioner utförda utan att se. Det är ändå viktigt att överväga om dessa hudbaserade användargränssnitt kan användas för andra funktioner än för att endast förstora arean för inmatning i kroppsnära apparater, som till exempel i smartklockor och -armband. En utmaning i att utveckla dessa användargränssnitt är till exempel att människan är i konstant rörelse och att dessa användargränssnitt inte alltid är konstruerade därefter. Frågan uppstår om man har utvecklat dessa hudbaserade användargränssnitt med fokus på tekniken eller människan och hans behov. Målet är ändå att utforma ett användargränssnitt som betjänar människan, samt utveckla ett enkelt och intuitivt sätt att vara i växelverkan med teknologin.

Nyckelord: hud, hudbaserad, användargränssnitt, inmatningsmetod, användbarhet

Originaliteten av denna avhandling har granskats med Turnitin Originality Check-programmet.

# TIIVISTELMÄ

Helen Konttinen: Ihopohjaisten käyttöliittymien syöteenantomahdollisuudet  
Kandidaattitutkielma  
Tampereen yliopisto  
Tietojenkäsittelytieteiden tutkinto-ohjelma  
Elokuu 2021

---

Ihmisen ja älylaitteiden väliselle vuorovaikutukselle yritetään jatkuvasti kehittää uusia ihmisläheisempiä vuorovaikutustapoja. Ihopohjainen käyttöliittymä (eng. "on-body interface") tarkoittaa käyttöliittymää, missä käyttäjä antaa syötteitä koskettamalla ihoaan, eikä esimerkiksi koskemalla älykellon ruutua. Käyttäjä saa palautetta esimerkiksi äänen tai värinän muodossa. Iholla toteutettavat käyttöliittymät ovat vielä prototyypitasolla, mutta nopean teknologisen kehityksen ansiosta tällaisia käyttöliittymiä voisi tulla markkinoille lähitulevaisuudessa. Tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkastelen näiden ihopohjaisten käyttöliittymien eri syötemahdollisuuksia ja selvitan, millaisia haasteita nämä syötemuodot tuottavat.

Löytämässäni kirjallisuudessa nousi esille neljä tapaa kategorisoida syöteen antamista ihopohjaisissa käyttöliittymissä. Nämä ovat kohdennettu kosketus, jatkuva kosketus, kosketusalueen pinta-alan vaihtelu ja ihon muodon muuttaminen. Kohdennetussa kosketuksessa yhden sormen napauttaminen tai koskeminen tietylle, ennalta määritetylle alueelle toimii kohteiden valitsemisenä käyttöliittymässä. Jatkuvassa kosketuksessa on kyse kosketuseleestä, joka piirretään sormenpäällä tietylle ihoalueelle. Kosketusalueen pinta-alan vaihtelussa käytetään yhden sormen sijasta montaa sormea samanaikaisesti ihoa koskettaessa. Ihon muodon muuttamisessa kohteen valitsemisenä voi toimia esimerkiksi käden nipistäminen etusormella ja peukalolla.

Aiemmin mainitut neljä syötetapaa näyttäisivät soveltuvan eri käyttötarkoituksiin, kuten jatkuva kosketus valikon selailua varten ja ihon muodon muuttaminen, kun tarvitaan katsomatta tehtäviä toimintoja. On silti syytä miettiä voivatko nämä ihopohjaiset käyttöliittymät sopia muihinkin tarkoituksiin kuin puettavien käyttöliittymien, kuten älykellojen, jatkeena suurentamassa syötepinnaa. Yksi haaste kehitettäessä näitä käyttöliittymiä on esimerkiksi se, että ihminen on jatkuvassa liikkeessä ja näitä käyttöliittymiä ei ole aina suunniteltu sen mukaan. Herää kysymys, onko ihopohjaisten käyttöliittymien suunnittelussa menty teknologia edellä vai ihminen ja hänen tarpeensa edellä. Tarkoituksena on kumminkin suunnitella ihmisiä palveleva, mahdollisimman yksinkertainen ja intuitiivinen tapa olla vuorovaikutuksessa teknologian kanssa.

Avainsanat: iho, ihopohjainen, käyttöliittymä, syötetapa, käytettävyys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimusmenetelmä.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Ihopohjaiset käyttöliittymät .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Syötetyyppejä iholla .....</b>	<b>5</b>
	4.1 Kohdistettu kosketus	5
	4.2 Jatkuva kosketus	7
	4.3 Kosketusalueen pinta-alan vaihtelu	10
	4.4 Ihon muodon muuttaminen	13
<b>5</b>	<b>Haasteet ihopohjaisten käyttöliittymien suunnittelussa .....</b>	<b>14</b>
	5.1 Ihmiskehon fyysisten ominaisuuksien aiheuttamat haasteet	15
	5.2 Teknologian aiheuttamat haasteet	16
	5.3 Ihoperustaiset käyttöliittymät reaalikontekstissa	17
<b>6</b>	<b>Päätelmät ja yhteenveto .....</b>	<b>19</b>
	<b>Lähdeluettelo.....</b>	<b>20</b>

## 1 Johdanto

Käyttöliittymä on ihmisen ja teknologian välinen kosketuspinta. Käyttöliittymä sisältää myös ne toiminnot ja välineet, joilla käyttäjä on vuorovaikutuksessa ohjelman tai järjestelmän kanssa (MOT Tietotekniikan liiton ATK-sanakirja, 2021). Ihopohjainen käyttöliittymä perustuu, niin kuin nimi kertoo, vuorovaikutustapoihin, jotka tukevat ihon käyttöä syötteen antamista varten. Tällaisen käyttöliittymän avulla voi esimerkiksi selata älykellon valikkoa liu'uttamalla sormea kämmenselän iholla, sekä valita valikosta jokin kohde napauttamalla kämmenselkää sormella (Bergström & Hornbæk, 2019). Suomennosta tälle käyttöliittymämuodolle ei varsinaisesti ole, eikä myöskään englanniksi ole yhtä vakiintunutta termiä. Englanniksi käytetään termiä ”On-body Interaction” (Prätorius ja muut, 2015) tai ”Interaction on the skin” (Bergström & Hornbæk, 2019).

Puettava teknologia on ollut esillä paljon 2010-luvulla ja se kehittyy jatkuvasti esimerkiksi älykellojen ja älylasien muodossa. Puettavassa teknologiassa voidaan kumminkin havaita joitakin ongelmia, jotka vaikuttavat päälle puettavien laitteiden käytettävyyteen. Ensinnäkin puettava teknologia voi olla hyvin epäergonominen ja epämukavaa käyttää, esimerkiksi jos siinä käytetty materiaali ärsyttää ihoa tai sen jatkuva käyttö kuumentaa laitetta liikaa. Käyttäjän ei kuuluisi huomata teknologian olemassaoloa liikaa. Toiseksi akkujen kestoa on kritisoitu muun muassa Applen, Googlen ja Motorolan puettavissa laitteissa (Eadicicco, 2015). Akun pitäisi kestää vähintään 24 tuntia, jotta siitä olisi hyötyä arkielämässä. Käyttäjä todennäköisemmin lakkaa käyttämästä laitetta, jos joutuu jatkuvasti lataamaan sitä. Kolmanneksi laitteiden litiumakut voivat olla hyvin vaarallisia, varsinkin jos ne ylikuumentuvat. Esimerkkinä voidaan mainita Samsung-laitteiden akkuja, joita on aiemmin syttynyt tuleen käytön aikana. Voidaan siis todeta, että uusille, helppokäyttöisille ja turvallisille käyttöliittymille käyttäjän keholla olisi kysyntää.

Käyttöliittymä iholla on suhteellisen uusi tapa lähestyä ja ratkaista puettavan teknologian tuottamia haasteita ja ongelmia. Iho on ihmiskehon suurin elin ja on aina saatavilla. Verrattuna standardin kokoisen älypuhelimien näyttöön (0,0112 m<sup>2</sup>) iho tarjoaa sata kertaa suuremman pinta-alan (1,5–2,0 m<sup>2</sup>). Iho on venyvää sekä mukautuvaa ja ihon kosketus on ihmisille luonnollinen tapa kommunikoida. Iho tuottaa siten myös luonnollisen käyttöliittymän. Ihopohjainen käyttöliittymä ei myöskään vaadi suuria lisälaitteita tai teknologioita, vaan niitä kehitettäessä pyritään pitämään käyttöliittymä mahdollisimman ihmisläheisenä. Tällainen käyttöliittymä tarjoaa uusia tapoja antaa syötettä ja saada palautetta

esimerkiksi nipistysten ja sormen liu'uttamisen muodossa. (Bergström & Hornbæk, 2019)

Tässä kirjallisuuskatsauksessa pyrin vastaamaan tutkimuskysymykseen ”Millaisia syötemahdollisuuksia ihopohjaiset käyttöliittymät tarjoavat?”. Lisäksi pohdin mitä hyötyä ihopohjaisista käyttöliittymistä voi olla arkielämässä ja mihin käyttötarkoituksiin ne soveltuvat. Käyttöliittymät iholla ovat vielä prototyypitasolla, mutta tutkimuksia tehdään jatkuvasti lisää. Jos ihoperustaisista käyttöliittymistä tulee seuraava suuri teknologinen läpimurto markkinoilla, on tärkeää tietää millaiseen käyttöön ne ovat sovellettavissa.

Pohjaksi tähän kirjallisuuskatsaukseen olen valinnut Harrisonin ja muiden (2010) julkaiseman tutkimuksen Skinput-teknologiasta. Tämä tutkimus nähdään uranuurtajana tällä alalla ja siihen viitataan paljon muissa tutkimuksissa. Harrison ja muut (2010) tutkivat miten ihmiskehoa ja bioakustiikkaa voidaan hyödyntää kehittäessä uudenlaista käyttöliittymää. He onnistuivat kehittämään käyttöliittymän, joka ottaa vastaan syötettä käyttäjältä hänen napauttaessaan sormella kättänsä. Heidän teknologiansa perustuu siihen, että älyrannekkeeseen lisätään sensori, joka tunnistaa sormen napautuksen aiheuttaman värähdyksen ihossa. Tämä värähdykys kulkee ääniaaltojen lailla ihossa. Sensori mittaa näitten akustisten värähdyksien eroavaisuutta eri kohdissa kättä sekä niiden frekvenssin. Näitten tietojen avulla voidaan tunnistaa missä kohtaa kättä kosketus tapahtuu. Keskimääräinen tarkkuusaste tutkimuksessa tehdyissä kokeissa oli 87,6 %. Harrisonin ja muiden mukaan tätä tekniikkaa voisi käyttää esimerkiksi projisoimalla hierarkkisen valikon vaihtoehdot käsivarteen ja tunnistamalla napautuskohdat älyrannekkeen avulla.

Harrisonin ja muiden (2010) julkaiseman tutkimuksen jälkeen on tehty monia muita tutkimuksia ihopohjaisista käyttöliittymistä. On kehitetty lukuisia tapoja tunnistaa kosketusta iholla. Lisäksi on myös kehitetty eri tapoja antaa syötettä iholla. Näitä eri syötetapoja tarkastelen tässä kirjallisuuskatsauksessa.

Aloitan tutkielmani kuvaamalla käyttämiäni tutkimusmenetelmiä luvussa 2. Luvussa 3 selitän ihopohjaisten käyttöliittymien perusteita. Luvussa 4 tutkin eri syötetapoja ihopohjaisissa käyttöliittymissä. Luvussa 5 käyn läpi ihopohjaisten käyttöliittymien haasteita. Viimeisessä luvussa on tutkielman yhteenveto.

## 2 Tutkimusmenetelmä

Tämän tutkielman tutkimusmenetelmä on kirjallisuuskatsaus. Hakuja on tehty Andor-hakupalveluun ja ACM Digital Library-, IEEE-, Science Direct ja Google Scholar -tietokantoihin. Hakusanoina käytin termejä ”on-skin”, ”skin-based”, ”interaction”, ”interface” ja ”input”. Haulissa käytin taulukon 1 mukaisia hakulauseita, joita muodostin mainittujen hakusanojen kombinaatioista. Tutkimusaihe on melko uusi, joten tutkimuksia ennen vuotta 2010 ei löytynyt monia. Rajasin silti julkaisuajankohdan vuoteen 2015, lukuun ottamatta Harrisonin ja muiden tutkimusta vuodelta 2010, johonka viitattiin muissa tutkimuksissa runsaasti.

Taulukko 1. Esimerkkejä hakulauseista

”on-body” AND interaction
”skin-based” AND input
input AND skin AND interaction
“on-body” AND interface

Suurin osa tutkielmassani käytetyistä artikkeleista löytyi ACM Digital Library-tietokannasta. Hakujen teko muissa mainituissa tietokannoissa ei tuottanut tutkielmaani sopivia osumia, joita en jo aikaisemmin ollut löytänyt ACM:stä. Tuloksista rajasin myös pois käyttöliittymät, jotka eivät tarjonneet syötteen antoa suoraan iholle. Tällaisiin käyttöliittymiin lasken tekoihon sekä erilaiset ihon päälle kiinnitettävät syöteliuskat, kuten ”tatuointiliuskat”. Tutkielmassani tarkastelen kumminkin ihon yllä tapahtuvaa syötteenantoa (in-depth) ja sensoreita, jotka tunnistavat sormen leijailua ihon yllä.

Olen koonnut tutkimusartikkeleista löytyviä teemoja ja listannut niitä käsittelevät artikkelit taulukkoon 2. ”Teknologia/Tekniikka” -sarake kertoo, keskittykö artikkeli selittämään uusia teknologioita, joilla toteutetaan ihopohjaisia käyttöliittymiä. Nämä artikkelit sisältävät käytettävyydestestauksia. ”Kehitysmallien tutkiminen” -sarake sisältää artikkeleita, jotka tutkivat uusia ihopohjaisten käyttöliittymien kehitysmalleja, kuten esimerkiksi, miten kartoitetaan käden ihoa ja miten sitä voidaan käyttää, kun kehitetään uusia teknologioita ihopohjaisille käyttöliittymille. Lähteistä ainoastaan yksi voidaan luokitella keskittyvän käyttäjäkokemukseen ja sen testaamiseen.

Taulukko 2. Artikkeleista koostettu teemataulukko

<b>Artikkelit:</b>	<b>Käyttäjäkokemus</b>	<b>Kehitysmallin tutkiminen</b>	<b>Teknologia/ Tekniikka</b>
Bergström-Lehtovirta, Coyle ja muut, 2018	X		
Bergström-Lehtovirta, Hornbæk ja Boring, 2018		X	
Harrison ja muut, 2010			X
Ogata & Imai, 2015			X
Prätorius ja muut, 2015		X	X
Sridhar ja muut, 2017			X
Stearns ja muut, 2018			X
Xiao ja muut, 2018			X
Zhang ja muut, 2016			X

Taulukosta on jätetty pois Bergströmin ja Hornbækin (2019) artikkeli, jossa vertaillaan ihopohjaisia käyttöliittymiä käsitteleviä artikkeleita keskenään. He ovat koonneet artikkelissaan tuloksia yli 40 artikkelista, joista osa on samoja kuin tässä kirjallisuuskatsauksessa.

### 3 Ihopohjaiset käyttöliittymät

Käyttöliittymät iholla saivat mullistuksen Harrison ja muiden (2010) kehittämän Skinput-tekniologian myötä. Tutkimus toi aivan uusia tapoja lähestyä käyttöliittymien kehitystä. Skinputin tarkoituksena oli keksiä käyttöliittymä, joka ei vaatisi käyttäjää kantamaan mukanaan oheis-/lisälaitteita. Ihopohjaisten käyttöliittymien suurimpana vahvuutena pidetään monissa artikkeleissa ihon suurta pinta-alaa, joka on selvästi suurempi verrattuna esimerkiksi kosketusnäytöllisiin käyttöliittymiin (Harrison ja muut, 2010; Prätorius ja muut, 2015; Zhang ja muut, 2016; Bergström & Hornbæk, 2019).

Toisia ihopohjaisten käyttöliittymien vahvuuksia, joita mainitaan Bergströmin ja Hornbækin (2019) tutkimuksessa sekä Harrisonin ja muiden (2010) tutkimuksessa, ovat käyttöliittymän saavutettavuus sekä se, että käyttöliittymä mahdollistaa sen käytön ilman, että käyttäjä näkee mitä on tekemässä. Ihopohjaiset käyttöliittymät siis vapauttavat meidät kantamasta mobiililaitteita käsissämme ja laajentavat syöttöaluetta sekä auttavat tukemaan näytön ulkopuolista syötteen antamista. Nämä käyttöliittymät voivat myös auttaa meitä saavuttamaan parempia käyttäjäkokemuksia ja käyttötehokkuutta.

Puettava teknologia (puettava tietokone, eng. wearable computing/computer) käsittää kaikkia päälle puettavia teknologioita sekä tietokoneita (TEPA-termipankki, 2021). Ihopohjaiset käyttöliittymät voidaan nähdä kuuluvan puettaviin teknologioihin, vaikka syötettä ei anneta oheislaitteelle vaan suoraan ihmisiholle. Tämä voidaan selittää sillä,



että ihopohjaiset käyttöliittymät tarvitsevat edelleen näitä päälle puettavia oheislaitteita toimiakseen. Ihopohjaisia käyttöliittymiä ei kumminkaan kuulu sekoittaa teko- ja älyihoon, jotka taas ovat ihmisihoa jäljitteleviä teknologioita.

Ihopohjaisia käyttöliittymiä voidaan soveltaa moniin eri käyttötarkoituksiin. Harrisonin ja muiden (2010) artikkelissa esitettiin muun muassa kolme käteen ja käsivarteen projisoitua käyttöliittymää, hierarkkinen valikko, vieritettävä valikko sekä numerovalikko (kuva 1). Käyttöliittymän käyttäjät saivat myös palautetta erilaisten äänien muodossa.



Kuva 1. Harrisonin ja muiden (2010) Skinput-teknologian kehittämisen puitteissa käytetty pico -projektorit, joka heijastaa tulosteet iholle. Kuvissa näkyy (vasemmalta oikealle) kaksi hierarkkista valikkoa sekä numerovalikko.

Ihopohjaisia käyttöliittymiä voidaan myös nähdä esimerkiksi musiikkisovelluksissa äänenvoimakkuuden tai kappaleen vaihtoon, sekä AR- ja VR-peleissä tietynlaisena ohjaimena (Sridhar ja muut, 2017). Valitsemisnäin lähteissä ihopohjaisten käyttöliittymien käyttötarkoitus vaikuttaisi olevan eräänlaisena lisänä jo olemassa oleville, puettaville teknologioille ja niiden käyttöliittymille.

## 4 Syötetyyppejä iholla

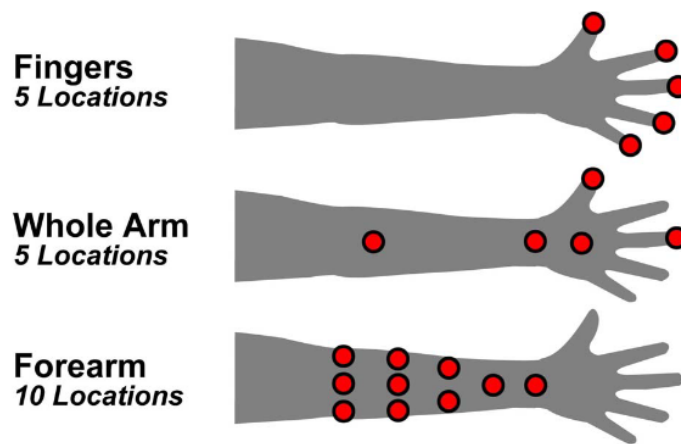
Tässä luvussa käsitellään eri syötetapoja ihopohjaisissa käyttöliittymissä. Lisäksi tutkitaan kuinka tavallisia nämä syötetavat ovat ja millä ihoalueilla niitä suurimmaksi osaksi käytetään. Syötetavat on jaettu neljään eri kategoriaan kosketustyylin perusteella. Kategoriat ovat kohdistettu kosketus, jatkuva kosketus, kosketus monella sormella sekä ihon venyttäminen. Jotkin löytämistäni lähteiden teknologioista lasketaan kuuluvan moneen syötetyyppiin.

### 4.1 Kohdistettu kosketus

Kohdistettu kosketus merkitsee sitä, että kosketus tapahtuu tiettyyn, ennalta määriteltyyn ja rajattuun pisteeseen iholla. Bergström ja Hornbæk (2019) vertaavat tutkimuksessaan tätä kosketustyyliä kosketusnäytöllisissä käyttöliittymissä näppäimen napauttamiseen.

Kosketustyyli voidaan myös rinnastaa älypuhelimien ja älykellojen käyttöliittymissä valikosta yksittäisen kohteen valitsemiseen napauttamalla sitä. Toinen tapa antaa syötettä kohdistetulla kosketuksella on liu'uttamalla sormea iholla ja valitsemalla haluttu kohde nostamalla sormi iholta tai tuplanapauttamalla ihoa (Bergström & Hornbæk, 2019). Bergströmin ja Hornbækin (2019) kirjallisuuskatsauksessa tämä syötetyyppi on tavallisin: 50 % heidän lähteistään käyttää tätä syötetyyppiä. Nykyään harvat ihopohjaiset käyttöliittymät tukeutuvat ainoastaan kohdistettuun kosketukseen, vaan niihin on monesti liitetty myös jatkuva kosketus, jota käsitellään seuraavassa alaluvussa.

Harrison ja muiden (2010) kehittämässä Skinput-teknologiassa lähdettiin kehittämään järjestelmää, joka tunnistaisi kosketuksen tietyillä käden ja käsivarren osilla. Harrison ja muut (2010) hyödynsivät teknologiassaan ääniaaltoja ja niiden kulkua ihossa, lihaksissa ja luissa. Heidän rakentamansa sensoriranneke pystyy tunnistamaan ääniaaltoja lähellä infraääniä, eli noin 25Hz, ja näitä ääniaaltoja voidaan sitten verrata tunnettuihin tulosteisiin. Koska käsi on kompleksinen kokonaisuus erilaisia osia, jotka vaimentavat ääniaaltoja eri määrän, voidaan tunnistaa kosketuksen sijainti hyvin tarkasti. Lihaiset osat käsivarresta, kuten hauislihaksen alue, lähettävät äänisignaaleja matalammalla frekvenssillä kuin luisemmat osat, kuten ranne. Tutkimuksessa käytettiin kolmea eri sijaintiasetelmaa, sormenpäät, koko käsi ja käsivarsi. Kahdessa ensimmäisessä on käytetty viisi kosketuspistettä ja kolmannessa kymmenen. Kuvassa 2 on näytetty nämä alueet.



Kuva 2. Harrisonin ja muiden (2010) tutkimuksessa käytetyt kosketuspisteet ja -alueet. Ylin: sormet, keskimmäinen: koko käsivarsi ja käsi, alin: käsivarsi.

Harrisonin ja muiden (2010) tekemä tutkimus tuotti hyviä tuloksia kosketuksen tunnistamisen suhteen. Kosketuksen tunnistamisen tarkkuusasteet olivat kaikilla aiemmin kuvatuilla ihoalueilla yli 80 % ja keskimääräinen tarkkuusaste 87,6 %. Parhaan tuloksen (tarkkuusaste 95,5 %) tuotti koko käsivarren alueen kosketusalue ja sensorirannekkeen sijoittaminen kyynärpään alapuolelle. Tulosten antamista varten Harrison ja muut (2010)

kokeilivat lisätä käsivarteen kiinnitettävän pico-projektorin. Tämä kumminkin lisää epä-mukavuutta ja epäkäytännöllisyyttä.

Tarkkuusasteeseen vaikuttaa kehon rakenne, kehon rasvapitoisuus sekä luutiheys. Rasvakudos ja tiheä koostumus luissa vaimentavat akustista energiaa, kuten ääniaaltoja. Harrison ja muut (2010) totesivat, että kolme heidän koeosallistujistansa, joiden painoindeksit olivat korkeimmat, tuottivat myös kolme huonointa keskimääräistä kosketustarkkuusastetta testitilanteissa. Painoindeksin voidaan todeta vaikuttavan kosketustarkkuuteen akustisia sensoreita käyttävissä käyttöliittymissä. Tämä kumminkin vaatisi lisää tutkimusta aiheesta.

Zhang ja muut (2016) esittävät tutkimuksessaan tapaa tunnistaa sormen kosketusta iholla elektromagneettisilla aalloilla niitä erittävän sormuksen ja sensorirannekkeen avulla. Tekniikka pohjautuu siihen, että eri puolella ranneketta sijaitsevat sensorit reagoivat viiveellä toisistaan sormuksen lähettämiin elektromagneettisiin aaltoihin. Näitä viivästyksiä vertailemalla Zhang ja muut (2016) pystyivät paikantamaan missä kosketus tapahtuu. Toisin kun Harrisonin ja muiden (2010) kehittämä Skinput-teknologia, Zhangin ja muiden (2016) kehittämä SkinTrack-teknologia ei tunnista pelkästään kosketusta erilisillä ennalta määritellyillä ihoalueilla, vaan myös jatkuvaa kosketusta.

Kohdennettu kosketus on helppo toteuttaa melkein missä vaan kehon osassa, sillä se ei vaadi tasaista, isoa pintaa. Kohdennettu kosketus on silti yksinkertaisin toteuttaa helposti identifioitavissa ihon kohdissa, joita voi erottaa muista, kuten esimerkiksi sormen päät sekä arven tai luomen kohdalla. (Bergström & Hornbæk, 2019). Tämä on tärkeää pitää mielessä, koska ilman tiettyä iholle piirrettyä tai heijastettua ruudukkoa käyttäjän on vaikeaa tunnistaa kosketusalueita käyttöliittymässä.

## **4.2 Jatkuva kosketus**

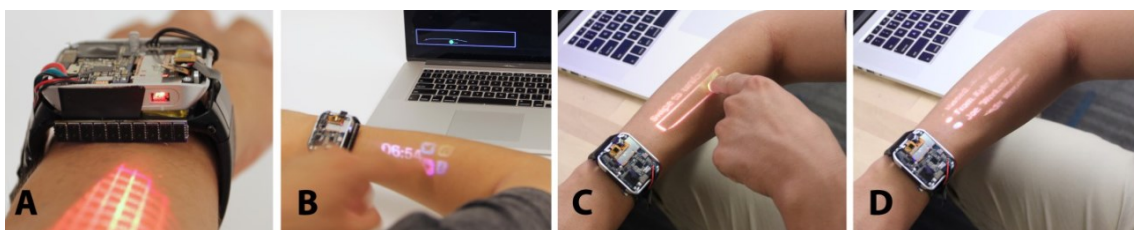
Jatkuvalla kosketuksella tarkoitetaan sellaista kosketuselettä, joka tehdään iholle, ja joka tunnistetaan tietyksi komennoksi. Tällaisia voivat olla esimerkiksi muotojen piirtäminen iholle, zoomaus, panorointi, pyyhkäisy ja sipaisu. Tämä kosketusmuoto ei vaadi tiettyä kohdistettua pistettä iholla, kuten kohdistetussa kosketuksessa. Syöte tunnistetaan sen eleen ja muodon perusteella. (Bergström & Hornbæk, 2019). Esimerkiksi piirtämällä kirjaimen "N" käteen, käyttäjä voi aukaista älykellon uutisovelluksen ("News"), kuten kuvassa 3 (Zhang ja muut, 2016). Jatkuva kosketus voidaan nähdä jatkeena tai eräänlaisena lisänä kohdennetulle kosketukselle. Tässä kirjallisuuskatsauksessa käytetyistä artikkeleista suurin osa käsittelee jatkuvaa kosketusta.



Kuva 3. Zhangin ja muiden (2016) kehittämän SkinTrack-tekniikan avulla avataan älykellon News -sovellusta piirtämällä ”N” -kirjaimen muoto käsivarteen. Palaute näkyy älykellon näytöllä. (Siniset pisteet visualisoivat sormen liikerataa iholla).

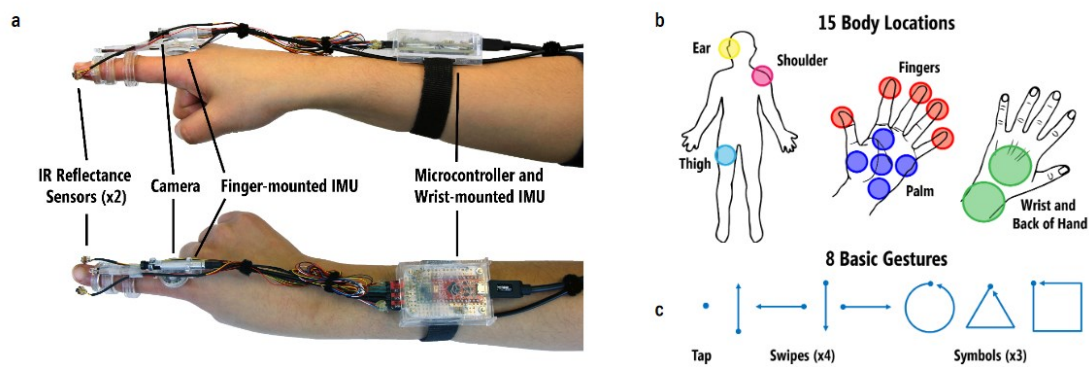
Kosketuseleitä on paras toteuttaa ihoalueella, joka on helposti näkyvillä. Tällaiset alueet ovat kyynärvarret, ranteet, kädet ja kämmenet. Alueen pitää myös olla melko sileä ja tasainen, sillä kosketuseleen tunnistaminen on silloin helpompaa.

Xiaon ja muiden (2018) kehittämä LumiWatch-tekniikka tukee SkinTrack-tekniikan tyyliin sekä kohdistettua että jatkuvaa kosketusta. Heidän kehittämänsä tekniikka liittyy tavalliseen älykelloon iholle projisoitavan ”lisäkosketusnäytön” joka kasvattaa käyttöliittymän kokoa melkein viisinkertaisesti. Tekniikka hyödyntää optista tunnistusta infrapunakameroiden muodossa. Toisin kuin aiemmat iholle projisoitavat käyttöliittymät LumiWatch-tekniikka projisoi käyttöliittymän käsivarrelle vaakatasossa, 22,5° kulmassa. Lisäksi LumiWatch on ensimmäisiä tekniikoita, missä optiikkaa käytetään sekä projisointiin että syötteen lukemiseen. Kohdistettu kosketus ilmenee käyttöliittymässä esimerkiksi iholle projisoitavan painikevalikon muodossa (katso kuva 4, B). Kuvassa 4 näkyy myös LumiWatchin muita käyttötapauksia, kuten lukituksen poistaminen (kuva C), sekä älykellon sovellusten käyttäminen (kuva D).



Kuva 4. LumiWatch-tekniikan käyttötapauksia. A kuvassa näkyy käyttöliittymä normaalitilassa. Kuvassa B näkyy painikevalikko. Kuvassa C, lukituksen poistaminen. Kuvassa D, älykellon sovelluksen näkymä käyttöliittymässä. (Xiao ja muut, 2018).

TouchCam-tutkimuksessa Stearns ja muut (2017) lähestyivät ihopohjaisia käyttöliittymiä näkövammaisten näkökulmasta kehittääkseen heille sopivaa, intuitiivista käyttöliittymää. Aiempien tutkimusten pääpainona on ollut sormien päälle puettavat sensorit, mutta koska näkövammaiset tukeutuvat tuntoaistiin, teknologiassa ei ole järkevää käyttää sormenpäihin puettavia sensoreita. Stearns ja muut (2017) käyttivät infrapunakameroita ja sensoreita prototyypeissään ja kokeilivat näitä prototyyppejä 15 eri kehon kohdissa. Testeissä suoritettiin kahdeksan perusliikettä: napautuksia, neljä eri pyyhkäisyettä sekä kolme eri muodon piirtämistä (katso kuva 5).

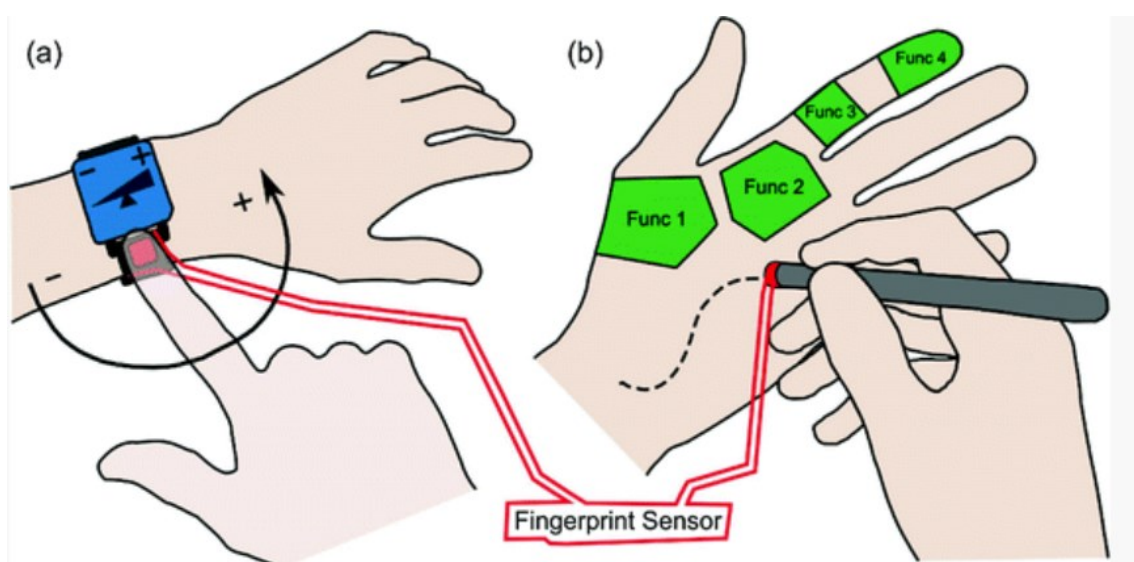


Kuva 5. TouchCam-teknologian prototyyppi (kuva a) ja prototyypin testeissä käytetyt kehon alueet ja eleet (kuva b). (Stearns ja muut, 2017)

Ennen virallisia testejä kaikilta osallistujilta kerättiin pohjadataasettejä, jota voitaisiin varsinaisten testien jälkeen verrata testeissä kerättyyn dataan. Näitten pohjalta TouchCam pystyi ns. offline-tilassa (ei-reaaliaikaisessa tilassa) paikantamaan kosketuksen keskimäärin 98,0 % todennäköisyydellä, kun sensorit oli asetettu karkeasyiselle asetukselle ja keskimäärin 88,7 % todennäköisyydellä hienosyisellä asetuksella. Reaaliaikaisissa testeissä vastaavat keskimääräiset kosketuksen tunnistamisen todennäköisyydet olivat 97,5 % ja 84,5 %. Stearnsin ja muiden (2017) kehittämän TouchCam-teknologian yhtenä etuna verrattuna muihin ihopohjaisiin käyttöliittymiin kehitettyihin teknologioihin on sen monikäyttöisyys ihon eri alueilla. TouchCamia voidaan käyttää käden ja käsivarren lisäksi myös reidessä tai korvassa. Tekniikka kumminkin vaatii jatkuvaa uudelleen kalibroimista, joka vie aikaa.

Prätorius ja muut (2015) selvittivät heidän Skinteract-tutkimuksessaan, miten vertaamalla kameran ottamia kuvia ihosta tehtyyn kartoitukseen voidaan tunnistaa kosketuskohta iholla. Heidän ajatuksensa perustuivat älylaitteissa käytettävien sormenjälkitunnistimiin, joista he saivat idean lähteä kehittämään tapaa hyödyntää isompia ihoalueita suu-

rentamaan ihmisen ja teknologian vuorovaikutusalueita. Toisin kuin Skintrack, LumiWatch ja TouchCam-teknologioissa, Skinteract-teknologia perustuu ihon kartoitukseen, joka mahdollistaa kosketusalueen sijainnin tunnistamisen. Prätorius ja muut (2015) käyttivät tutkimuksessaan sormenjälkitunnistimen sensoria kartoittaakseen käden. Sensorin ottamat kuvat siirretään koneelle, jossa kuvia kohdistetaan oikeisiin kohtiin. Kuvista ei luotu yhtä globaalia mallia, sillä monien pienten kuvien saamaaminen aiheuttaisi kartoituksen vääristymän. Kuvien tunnistamista varten kehitetyt algoritmit pystyivät testitilanteessa tunnistamaan 99,15 % tarkkuudella oikean alueen kartoituksesta. Prätorius ja muut (2015) tarkastelivat myös kuinka pieniä alueita heidän algoritminsa tunnistaa kämmenestä ja totesivat, että raja menee  $32 \times 32$  pikselin ( $2,24 \times 2,24 \text{ mm}^2$ ) kokoisessa kuvassa, jota pienempää kuvaa algoritmi ei pystynyt tunnistamaan. Skinteractia voisi Prätoriusen ja muiden (2015) mukaan soveltaa käytettäväksi staattisena sensorina älykellossa tai dynaamisena sensorina liitettynä kynän kärkeen (katso kuva 6). Tarkoituksena näissä tilanteissa olisi mallintaa tietty ihoalue vastaamaan tiettyä toimintaa älylaitteessa, jonka lisäksi sitä käytetään.



Kuva 6. Skinteract-teknologian käyttötarkoituksia havainnollistavia kuvia. Kuvan a-osassa sormen kääntäminen lisää älykellon äänenvoimakkuutta. Kuvan b-osassa kynän päässä oleva sensori tunnistaisi tietylle ihoalueelle mallinnetut toiminnot (merkitty vihreällä kuvassa). (Prätorius ja muut, 2015)

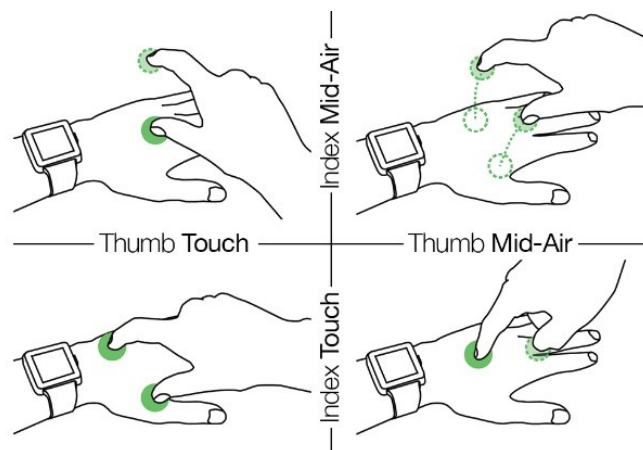
### 4.3 Kosketusalueen pinta-alan vaihtelu

Kosketusalueen pinta-alan vaihtelu eroaa kohdistettu kosketuksesta siinä, että kohdistetussa kosketuksessa käytetään ainoastaan yhtä sormea, kun taas kosketusalueen pinta-alan vaihtelussa käytetään montaa sormea samanaikaisesti. Esimerkkinä tästä syötetyypistä voidaan antaa kynävarteen tarttuminen hallitsevalla kädellä (Bergström & Hornbæk, 2019). Bergströmin ja Hornbækin (2019) mukaan tätä syötetyypä käytettiin

30 %:ssa heidän vertaamistaan artikkeleista ja tutkimuksista. He toteavat myös tutkimuksessaan, että vaihtelemalla kosketuksessa käytettävien sormien määrää, käyttäjä voi valita useita kohteita pienellä kosketusalueella. Syötetyyppiä voidaan vertailla kannettaviin tietokoneisiin, joissa on kosketuslevyhiiri. Kosketuslevyhiirellä yhdellä sormella koskeminen liikuttaa kursoria ympäri näyttöä, kun taas kahden sormella koskettaminen vierittää näytöllä näkyvää sivua alaspäin tai ylöspäin. Toisin kun jatkuva kosketus, kosketusalueen pinta-alan vaihtelu ei vaadi sileää ja tasaista pintaa, vaan käyttöliittymä voidaan toteuttaa melkein missä vaan kehon kohdassa, riippuen sensorien asettamista vaatimuksista.

Watchsense-tutkimuksessa lähestytään käyttöliittymää kosketuslevyhiiren tyyllillä (Sridhar ja muut, 2017). Sridhar ja muut (2017) kertovat WatchSensen kykenevän tunnistamaan sormenpäiden sijainnin sekä käyttäjän koskettaessa käden takaosaan että syöteenannon tapahtuessa ihon yläpuolelta ilmassa.

Kosketuslevyn-tyyliin, WatchSensellä pystytään tunnistamaan milloin kosketusoperaatio alkaa ja päättyy. Lisäksi Sridhar ja muut (2017) tuovat tutkimuksessaan esille, että WatchSensellä kyetään myös yksilöimään sormia ja niiden kosketusliikkeiden aikaansäämiä toimintoja (esimerkiksi etusormella koskettaminen on kytketty eri toimintoon kuin saman kosketusliikkeen suorittaminen peukalolla). Kuvassa 7 näkyy kosketusliikkeiden eri kombinaatioiden mahdollisuudet WatchSense-käyttöliittymässä. Ne ovat täysi ihokontakti, täysin ilmassa tapahtuva tunnistus, puoleksi ilmassa puoleksi ihokontakti, sekä peukalon ja etusormen erittely.

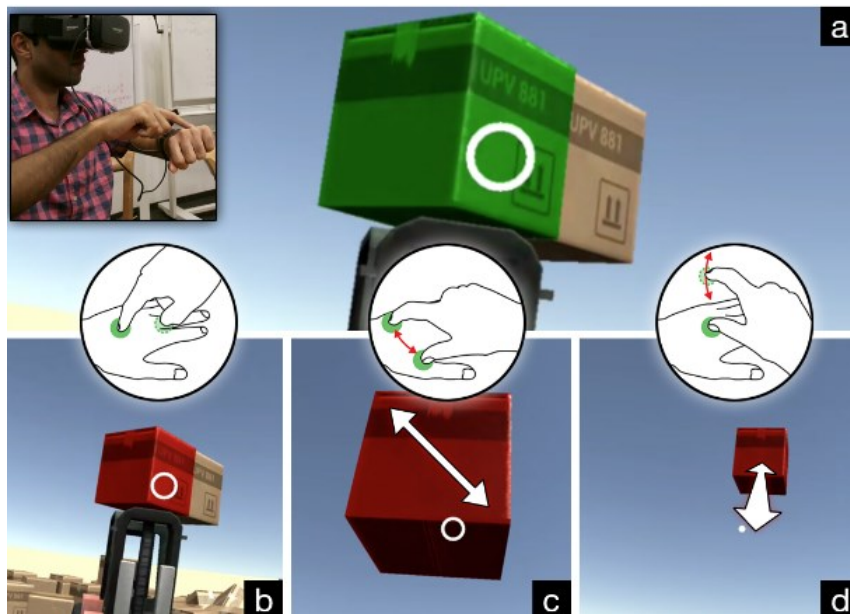


Kuva 7. WatchSense-teknologiassa (Sridhar ja muut 2017) eriteltyt kosketuksentunnistuksen mahdollisuudet ja niiden eri kombinaatioita. Ylävasen: peukalolla ihokontakti ja etusormella ei ihokontaktia. Yläoikea: Etusormi ja peukalo molemmat ilmassa. Alavasen: Sekä etusormella että peukalolla ihokontakti. Alaoikea: Etusormella ihokontakti, peukalolla ei ihokontaktia.

WatchSense-teknologiassa käytetään syvyysnäköä hyödyntäviä sensoreita, jotka sijoitetaan 20 cm ranteen yläpuolelle. Sormien erittelyä varten sensoreita harjoitetaan lisäämällä käyttäjän sormenpäihin eri väriset teippipalat. Sridhar ja muut (2017) toteuttivat kaksi

erillistä käyttäjätestausta WatchSense-tekniikalle: kosketuksen tunnistamisen täsmällisyyttä mittaava testi (erikseen käyttäjän istuessa sekä seistessä), sekä kosketuksen ja leijailutilan välissä tunnistettavaa tilaa mittaava testi. Keskimäärin sormen kosketuspiste poikkesi 3,7–5,1 mm tarkoitetusta pisteestä ja sormen leijailun tunnistaminen onnistui 1–10 mm päästä ihon pinnasta.

Sridhar ja muut (2017) esittivät tutkimuksensa yhteydessä viisi käyttötapausta WatchSenselle: musiikkisovelluksen hallintaa varten, VR/AR peliä varten, karttasovelluksen käyttöä varten älykelloissa, kuvien tutkailua varten isolla näytöllä, sekä videopelejä varten. Esimerkkinä on kuvattu VR/AR-peli kuvassa 8, jossa sormien liikkeet on kytketty tiettyihin pelissä suoritettaviin toimintoihin ja liikkeisiin.



Kuva 8. WatchSense-tekniikan käyttöä VR/AR pelissä. Pelissä pahvilaatikoita valitaan (kuva b), muokataan kokoa (kuva c) ja siirretään (kuva d) etusormen ja peukalon yhdistetyillä liikkeillä (katso valkoiset ympyrät). (Sridhar ja muut, 2017)

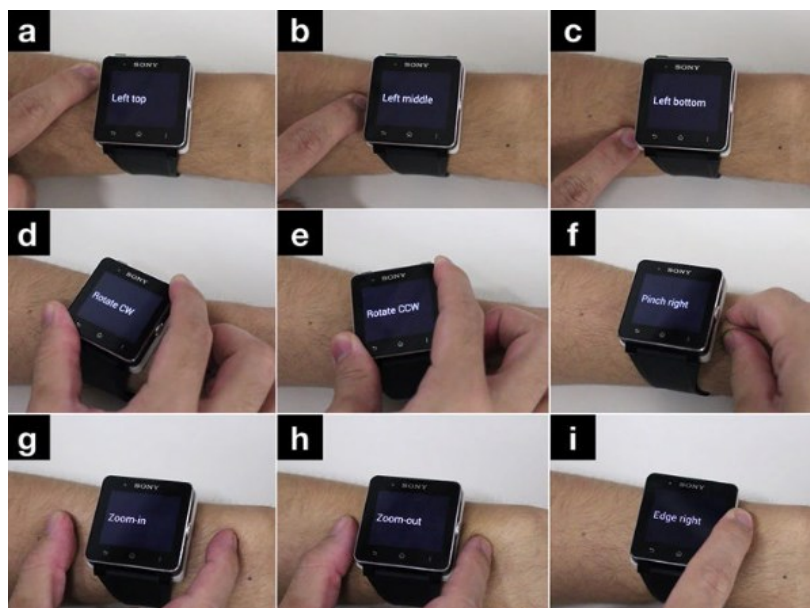
Vaikka Sridharin ja muiden (2017) WatchSense-tekniikka tukee uusia kosketustyylien yhdistelmiä (kosketus ja ilmassa leijailu), siinä on vielä kehiteltävää. Esimerkiksi sensori on nykytilassa kömpelö ja toivottua olisi saada se pienemmän rannekkeen muotoon. Lisäksi, Sridhar ja muut (2017) implementoivat ainoastaan etusormen ja peukalon erittelyn käyttöliittymässä. Tulevaisuudessa erittelytekniikkaa voisi käyttää kaikille käden sormille.



#### 4.4 Ihon muodon muuttaminen

Neljäntenä syötetyyppinä tarkastellaan ihon muodon muuttamista. Bergströmin ja Hornbækin (2019) mukaan ihon muodon muuttumisena voidaan tulkita ihon painamista tai työntämistä, sekä ihon nipistämistä ja venyttelyä. Tämä on ainoa syötetyypeistä tässä kirjallisuuskatsauksessa, joka tarjoaa kosketusnäyttöjen käyttämistä tyypeistä poikkeavan syötetavan. Bergströmin ja Hornbækin (2019) mukaan tätä syötetyyppiä voidaan käyttää esimerkiksi pisteen valitsemiseksi liukuvalikossa, tunteen ilmaisemiseksi tai jopa 3D-mallien hallintaan yhdellä sormella. Ihon muodon muuttaminen on tämän kirjallisuuskatsauksen syötetyypeistä epätavallisin. Tämä voi johtua ihmisten tottumuksesta käyttöliittymiin, joissa käytetään kohdennettua ja jatkuvaa kosketusta, kuten kosketusnäyttöisiin puhelimiin.

Ogatan ja Imain (2015) tekemässä tutkimuksessa tarkastellaan SkinWatch-nimistä teknologiaa, joka tunnistaa ihon muodon muutoksia älykellon alla. He perustelevat tarpeen tällaiselle toiminnolle älykelloissa sillä, että älykellojen pieni näytön koko hankaloittaa tulosten näkemistä eikä mahdollista monen sormen samanaikaista käyttöä. Ihon muodon muuttaminen tunnistetaan ihoa heijastavilla (eng. photo-reflective) sensoreilla, jotka asennetaan älykellon takaosaan (kohtaan, joka koskettaa ranteeseen). Sensorit mittaavat etäisyyden ihosta ja luokittelevat sen kosketustyylin mukaan ihon painamiseksi, venytykseksi tai nipistämiseksi. Lisäksi Ogatan ja Imain (2015) tutkimuksessa käsiteltiin syötteen antoa kääntämällä itse älykelloa sekä koskemalla älykellon näytön sivuosiin. Kaikki mainitut syötetavat näkyvät kuvassa 9.



Kuva 9. Ogatan ja Imain (2015) kehittämä SkinWatch-älykello tunnistaa ihon muodon muutokset, kuten ihon painaminen (kuvat a-c), ihon nipistäminen (kuva f) sekä ihon venyttäminen (kuvat g ja h). Lisäksi SkinWatch tunnistaa kosketuksen kosketusnäytön sivuista (kuvat d ja e).

Ihon muodon muuttamista tukevat käyttöliittymät voivat joissakin tilanteissa tuntua ihmisille paljon luonnollisemmilta kun esimerkiksi kohdennettu kosketus. Esimerkkinä voidaan tutkia älykellossa kartan suurentamista: älykellon viereisen ihon venyttäminen liikkeenä on huomattavasti lähempänä oikean kartan suurentamista kuin tietystä kohtaa ihoa napauttaminen, ikään kuin suurennuspainiketta painamalla. Ihon venyttäminen on intuitiivisempaa tällaisissa tilanteissa.

On kumminkin tärkeä huomioida, että mitataksemme ja tunnistaaksemme ihon venyttämistä sensorien on pakko olla jatkuvassa kontaktissa ihon kanssa (Ogata & Imai, 2015). Tämä on haasteellista toteuttaa SkinWatchin tyyllisillä älykelloilla, sillä käyttäjä harvoin on täysin paikallaan antaessaan syötettä laitteelle. Käyttäjän luonnolliset liikkeet voivat myös aiheuttaa virheellisiä syötteitä.

## 5 Haasteet ihopohjaisten käyttöliittymien suunnittelussa

Suunnittelussa käyttöliittymää iholle päästään ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksen suunnittelun ytimeen. Haasteita on monia ja niitä voi luokitella ihmiskehon fyysisten ominaisuuksien aiheuttamiin haasteisiin ja teknologian kehityksen aiheuttamiin haasteisiin. Koska ihmiskeho on jatkuvassa liikkeessä, pitää myös käyttöliittymät suunnitella sen mukaisesti. Verrattuna ulkoisiin syötepintoihin, ihopohjaisia käyttöliittymiä voidaan käyttää ilman palautetta sekä käden ja katseen koordinaatiota.

Taulukossa 3 on kuvattu tässä kirjallisuuskatsauksessa käytettyjen lähteiden esille nostamia fyysisiä, teknillisiä ja reaalikontekstin aiheuttamia haasteita.

Taulukko 3. Artikkeleista koostettu haasteiden aiheuttaja -taulukko

	Fyysinen	Tekninen	Reaali-konteksti
Skinput (Harrison ja muut, 2010)	X	X	X
SkinTrack (Zhang ja muut, 2016)	X	X	X
Skinteract (Prätorius ja muut, 2015)	X	X	
TouchCam (Stearns ja muut, 2018)		X	
SkinWatch (Ogata & Imai, 2015)		X	
WatchSense (Sridhar ja muut, 2017)		X	X
LumiWatch (Xiao ja muut, 2018)	X	X	X

Luvussa 5.1 tarkastellaan ihmiskehon fyysisten ominaisuuksien aiheuttamia haasteita ja luvussa 5.2 teknologian aiheuttamat haasteet. Luvussa 5.3 tarkastellaan ihopohjaisten käyttöliittymien käyttöä reaalikontekstissa ja miten ihmisten käsitys kosketuskohdasta monesti eroaa ohjelmoidusta käsityksestä.

### **5.1 Ihmiskehon fyysisten ominaisuuksien aiheuttamat haasteet**

Suurin ihmiskehon fyysisten ominaisuuksien aiheuttama haaste on miten tietty sijainti iholla vaikuttaa syötteeseen ja palautteen antamiseen. Syötteen ja palautteen antaminen iholle pitää olla tehokasta ja luontevaa, mutta samalla yhteensopivaa käyttöliittymään käytetyn teknologian kanssa. Ihon ominaisuudet ja muodot, kuten kaarevuus ja pehmeys, vaikuttavat panoksen tehokkuuteen. Esimerkkinä voidaan ottaa Harrisonin ja muiden (2010) tutkimus, jossa kohdennettuun kosketukseen voi vaikuttaa ihoalueen kaarevuus. Kaarevissa kohdissa ihoa heidän sensorinsa ei kykene tunnistamaan kosketusta yhtä tarkasti kuin sileällä alueella. Sijainti vaikuttaa myös käsitykseen syötteestä ja palautteesta sekä siihen, miten sosiaalisesti hyväksyttävää käyttöliittymän käyttäminen on (Bergström ja Hornbæk, 2019). Voidaan esimerkiksi päätellä, että oman käden koskettaminen on julkisilla paikoilla hyväksytympää kun esimerkiksi reiden koskettaminen.

Toisia tekijöitä ovat esimerkiksi ihon kosteus ja rasvaisuus. Prätorius ja muut (2015) totesivat tutkimuksessaan ihon kosteuden vaikuttavan negatiivisesti sensorien kyvykkyyteen tunnistaa mikä ihoalue on kyseessä. Zhangin ja muiden (2016) tutkimuksessa ihon kosteudella ei siitä vastoin ollut merkitystä testitilanteissa: sensori onnistui tunnistamaan kosketussijainnin ja kosketuksen vs. ei kosketuksen luokituksen normaalisti. Zhang ja muut (2016) toisaalta arvelivat ihon karvaisuudella olevan pieni vaikutus liikkeen ja kosketuksen tunnistamiseen. Testeissä sensorien spatiaalinen tarkkuusaste oli hieman matalampi karvaisella käsivarrella, mutta Zhang ja muut (2016) totesivat, että tutkimusta pitäisi tehdä suuremmalla osallistujajoukolla, jotta tämä tieto voitaisiin varmistaa.

Lumiwatch-teknologiassa haasteena nousi esiin ihonväri ja ympäristön valoisuus. Ihonväri vaikuttaa projisoinnin näkyvyyteen, koska eri värit imeytyvät vaihtelevasti ihoon. Ulkovalotestissä iholle projisoitu käyttöliittymä näkyi neljällä ihonvärillä, mutta ei tummimmalla ihonvärillä. (Xiao ja muut, 2018).

Optisiin sensoreihin tukeutuvat teknologiat, kuten Prätoriusen ja muiden (2015) SkInteract- ja Xiaon ja muiden (2018) LumiWatch-teknologiat, vaikuttavat kärsivän enemmän kehon fyysisten ominaisuuksien aiheuttamista haasteista. Bioakustisiin sensoreihin tukeutuvat teknologiat eivät niinkään kärsi tästä samasta ongelmasta.

## 5.2 Teknologian aiheuttamat haasteet

Yksi suuri haaste ihopohjaisten käyttöliittymien käyttämissä teknologioissa on jatkuvuus. Oheislaitteet ja anturit vaativat jatkuvan kosketuksen ihoon, jotta ne keräisivät sekä antaisivat oikeata ja luotettavaa tietoa käyttäjille. Jos laite joudutaan ottamaan pois päältä, tämä jatkuva tiedonkeruu keskeytyy ja joudutaan kalibroimaan laite uudelleen (Zhang ja muut, 2016). Tämä tarkoittaisi, että jouduttaisiin kalibroimaan laite uudelleen joka kerta kun käyttäjä ottaa laitteen pois päältä, esimerkiksi älykellon yöksi pois ranteesta. Kehityskohteenä olisi siis suunnitella oheislaitteita ja antureita, jotka pystyisivät tekemään tämän kalibroinnin automaattisesti ja nopeasti. Zhangin ja muiden (2016) mukaan ei voida olettaa, että käyttäjät pitäisivät oheislaitteita päällä koko ajan, joten he tekivät tutkimuksessaan testejä myös, kun osallistujat olivat ottaneet rannekkeen hetkeksi pois päältä. Zhang ja muut (2016) halusivat tutkia miten tämä vaikuttaa tulosten tarkkuuteen ja huomasivat, että rannekkeen poistaminen hetkeksi ilman uudelleen kalibrointia laski tarkkuutta 99,0 prosentista 96,8 prosenttiin. Muutos ei ole suuri, mutta vaikuttaa silti ohjauksen luotettavuuteen.

Toinen suuri haaste ihopohjaisten käyttöliittymien kehittämisessä on sensorien sijoittaminen tarpeeksi lähelle syötekohtaa. Muun muassa bioakustisiin ja elektromagneettisiin sensoreihin perustuvien Skinput- (Harrison ja muut, 2010) ja Skintrack-(Zhang ja muut, 2016) teknologioiden haasteena on sensorien sijoittaminen liian kauas syötteenannon kohtaa. Ääniaallot ja elektromagneettiset aallot heikkenevät kohdatessaan esteitä ja myös mitä kauemmas ne kulkevat, ja tällöin kosketus tunnistetaan huonommin. Tehokkaampaa olisi pyrkiä sijoittamaan nämä sensorit lähemmäs syötepisteitä, jolloin saadaan mahdollisimman tarkka sijainti kosketukselle. Bioakustisilla sensoreilla suurimpana haasteena vaikuttaisi silti olevan taustääänit ja ympäristön aiheuttama melu. Taustääniä ja melua voidaan helposti tulkita virheellisinä syöteinä, kun kyseessä on hyvin herkäät mikrofonit sensoreissa.

Vaikka TouchCam-teknologia tuotti hyviä tuloksia näkövammaisten käytettävyydestessään, sensorikamerat vaativat silti manuaalista kohdistamista (Stearns ja muut, 2018). Myös kameran kapea näkökenttä vääristää kosketuskohdan ja sen, mitä käyttäjä tuntee koskevansa. Stearns ja muut (2018) mainitsivat, että tulevaisuudessa prototyyppieihin olisi hyvä saada automaattisesti fokusoiva, laajakulmainen kamera vähentääkseen näitä ongelmia. Lisäksi käytettävyydesteissä testaajat olivat staattisissa asennoissa, jotka eivät normaalitilanteissa olisi luonnollisia syötteen annossa. Tämä takia olisi myös tärkeää tutkia teknologian käytettävyyttä muissakin tilanteissa, esimerkiksi kun käyttäjä on liikkeessä.

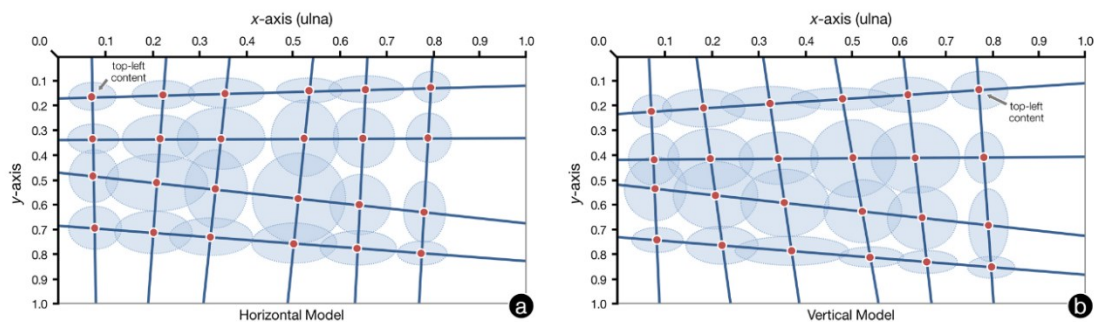
### 5.3 Ihoperustaiset käyttöliittymät reaalikontekstissa

Bergström-Lehtovirran, Hornbækin ja Boringin (2018) tavoitteena oli tutkia, miten ihmisen mielikuvat oman kehon ja teknologian välisistä kytkennöistä kohtaavat ihopohjaisissa käyttöliittymissä. He halusivat mallintaa palautteeseen käytettävän näytön ja käsivarren kosketuksen välistä kytkentää, sekä arvioida miten hyvin yksi kytkentä toimii eri ihmisillä. He tarkastelivat myös miten aiemmin mainitut mielikuvat voivat muuttua syöttömuodosta ja tulostenäytöstä riippuen. He toteuttivat käyttäjätestauksia selvittääkseen, eroaako ihmisen käsitys kosketusalueista erillisellä näytöllä annetusta kohdistuspisteestä. Testiosallistujien liikkeitä ja kosketuksia seurattiin OptiTrack-liiketunnistussysteemillä eri kameroiden avulla. Kuvassa 10 näkyy OptiTrack-liikkeentunnistusjärjestelmän testausta. Kuvassa c käyttäjä kartoittaa näytöllä näkyviä pisteitä käteen, kuvassa d älykellosta käteen ja kuvassa e AR-laseista käteen.



Kuva 10. OptiTrack-liikkeentunnistusjärjestelmän avulla käyttäjä kartoittaa pisteitä kuvassa c näytöltä käteen, kuvassa d älykellosta käteen ja kuvassa e AR-laseista käteen. (Bergström-Lehtovirta, Hornbæk ja Boring, 2018).

Tutkimuksessa selvisi, että ihmisten käsitykset kosketuskohdasta eroavat näyttöteknologiasta ja kosketuksen kohteesta riippuen jonkin verran, josta syystä Bergström-Lehtovirta, Hornbæk ja Boring (2018) loivat kaksi kartoitusta kosketusta varten: vaakasuoran ja pystysuoran mallin. Mallit ovat nähtävissä kuvassa 11. Kuvan vasemmassa osassa näkyy vaakasuora malli ja oikeassa osassa pystysuora malli.



Kuva 11. Bergström-Lehtovirran, Hornbækin ja Boringin (2018) kartoitus ihmisten käsityksestä ruudukossa sijaitsevista kosketuspisteistä käsivarressa. Kuvan a osassa näkyy vaakasuoran malli ja kuvan b osassa pystysuora malli. Siniset ympyrät viivojen kohtaamispaikkojen ympärillä merkkäävät kartoitettuja sormen kosketuskohtia iholla. Punaiset pilkut ovat näiden mallien kohtauspisteet.

Kuvassa 11 näkee, etteivät koordinaattiviivat ole suorina, ja tämä kertoo siitä, että ihmisen käsitys kosketusalueista ei ole täysin lineaarinen, kuten tietokoneeseen ohjelmoitu käsitys. Tämä saattaa tuottaa ongelmia kehittäessä muita ihopohjaisia käyttöliittymiä, sillä kosketustarkkuus saattaa laskea huomattavasti.

Yksi keskeinen käyttökohde ihopohjaisille käyttöliittymille on esimerkiksi musiikkisovelluksen ohjaus (Sridhar ja muut, 2017; Zhang ja muut, 2016). Sridharin ja muiden (2017) tutkimuksessa heidän WatchSense-tekniikan yhdistäminen älypuhelimien musiikintoistoa varten vaikutti käyttäjien nopeuteen vaihtaa kappaletta ja muuttaa äänenvoimakkuutta. Lisäksi tekniikka mahdollisti käyttäjän toiminnan ilman, että tämä näkee mitä on tekemässä. Myös Zhang ja muut (2016) hyödynsivät SkinTrack-tekniikkaansa musiikintoistossa. Heidän tekniikkansa toimi älykellon jatkeena selattaessa ja valitessa kappaleita musiikintoistosovelluksesta.

Monet tekniikat vaikuttavat toimivan hyvin staattisissa olosuhteissa, kun ihminen on paikallaan ja keskittyy siihen mitä on tekemässä. Usein tutkimuksista kumminkin puuttuu liikkeessä olevan ihmisen näkökulma tekniikan toimintaan. Miten esimerkiksi jalkojen tömähähdys maahan ja hien erittyminen vaikuttaa kosketustarkkuuteen? Zhang ja muut (2016) tunnistivat tutkimuksessaan ongelmaksi käyttäjän liikkumisesta johtuva muutos esimerkiksi ihmisen ihon kosteudessa. Kosteus vaikuttaa kosketussensorien tarkkuuteen ja ei siksi sopisi nykyisessä olotilassa hyvin esimerkiksi lenkkeilyn yhteydessä käytettäväksi. Sridharin ja muiden (2017) WatchSense-tekniikan oheislaitteet ovat liian suuret ja kömpelöt edes arkiliikunnan yhteydessä käytettäväksi. Lisäksi bioakustiikkaa hyödynnettävissä tekniikoissa, kuten Harrisonin ja muiden (2010) Skinput-tekniikassa, ympäristön äänet ja taustamelu vaikuttaa kosketuksen tunnistukseen ja tarkkuuteen. Juostessa käyttäjä aiheuttaa tätä niin sanottua taustamelua ja tärähdyksiä, jotka vaikuttavat negatiivisesti sensorien kosketukseen.

Vaikka ihopohjaisten käyttöliittymien käyttö liikkeessä on keskeinen ja tärkeä asia tutkia, tutkimusta aiheesta ei ole vielä tehty paljoa. Useimmissa tutkimuksissa on ainoastaan tutkittu käyttöliittymän käyttöä, kun keho on paikallaan, ja jossain tietyssä, staattisessa asennossa. Käyttöliittymää on kumminkin turha tutkia staattisissa olosuhteissa, muun muassa sen takia, että ihminen liikkuu jatkuvasti ja tätä tekniikkaa kehitetään, jotta se olisi helpompi käyttää. Lisäksi on hyvä minimoida lisälaitteiden käyttöä, sillä ne ovat kömpelöitä käyttää.

Bergström ja Hornbæk (2019) ehdottavat, että jatkuva kosketus voisi toimia tehokkaammin käyttöliittymässä, jota käytetään liikkeessä. Heidän mielestään käyttöliittymä olisi tarkempi ja käytännöllisempi kuin käyttöliittymä, jossa käytetään kohdistettua kosketusta. Bergström-Lehtovirta, Coyle ja muut (2018) analysoivat tutkimuksessaan käyttäjien toimivuuden ja hallinnan tunnetta ihopohjaisissa käyttöliittymissä. He tulivat lopputulokseen, että ihopohjaisten käyttöliittymien käyttö lisää hallinnan tunnetta käyttäjillä

verrattuna painikekäyttöliittymiin ja kosketuslevy-käyttöliittymiin. Bergström-Lehtovirta, Coyle ja muut (2018) tutkivat myös johtuuko tämä siitä, että napautusliike luo enemmän hallinnan tunnetta toiminnon suorittamisesta kun painikkeen painaminen. Heidän tutkimuksensa kumminkin todisti toisin, ja he päättelivät, että hallinnan tunne johtuu ihon luonnollisesta kyvystä antaa suoraa palautetta käyttäjälle.

## 6 Päätelmät ja yhteenveto

Tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin ihopohjaisten käyttöliittymien syötemahdollisuuksia ja niiden tuomia haasteita. Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin lyhyesti mitä tarkoitetaan ihopohjaisilla käyttöliittymillä ja miten ne eroavat muista samankaltaisista käyttöliittymistä, kuten puettavan teknologian tuottamista käyttöliittymistä. Viimeiseksi pohdittiin mitä haasteita ihopohjaiset käyttöliittymissä voidaan tavata ja aiheutuvatko ne teknologian rajoitteista, ihmisen fyysisistä ominaisuuksista vai ympäristön muuttujista.

Kirjallisuudesta tunnistettiin ihopohjaisten käyttöliittymien neljää eri syötetyyppiä (kohdennettu kosketus, jatkuva kosketus, kosketusalueen pinta-alan vaihtelu, sekä ihon muodon muuttaminen) ja mihin käyttötarkoituksiin näitä käytetään. Näillä syötetyypeillä huomattiin olevan eri vahvuudet, kuten se, että kohdennettu kosketus toimii moitteitta laajalla ihoalueella ja myös epätasaisilla pinnoilla. Jatkuvassa kosketuksessa vahvuutena taas on, että kosketuksen ei tarvitse tapahtua tiettyyn pisteeseen, vaan sijainti voi heitellä hieman, mutta kosketus vaati sileän pinnan. Kosketusalueen pinta-alan vaihtelu, samoin kun kohdennettu kosketus, ei vaadi sileää pintaa. Ihon muodon muuttamisen vahvuutena todettiin ihon monimuotoinen käyttö. Sen sijaan, että syötteen anto olisi pelkästään klikkauksen tyylillä yksi kosketus, tämä syötötyyppi mahdollistaa tavanomaisista kosketusnäytöllisistä käyttöliittymistä poikkeavan syötteenantomahdollisuuden.

Yleinen vaikutelma ihopohjaisista käyttöliittymistä on positiivinen tämän kirjallisuuskatsauksen perusteella. Ihopohjaiset käyttöliittymät tarjoavat koko ajan saavutettavissa olevan ja suhteellisen suuren syötteenantoalueen. Käyttäjä tuntee olevansa hallitseva osapuoli käyttöliittymästä ja tällöin myös tuntee sen toimivan. Lisäksi syötteen antaminen iholle on luonnollinen siirtymä kosketusnäytöistä, sillä samat syötetyypit toimivat myös ihopohjaisissa käyttöliittymissä (napautukset ja kosketuseleet). Toisaalta ihopohjaiset käyttöliittymät tarjoavat myös täysin uuden syötetyypin, ihon muodon muuttamisen, joka monissa tilanteissa tuntuu käyttäjälle paljon luontevammalta käyttää.

Ihopohjaisten käyttöliittymien kehitys on vielä alussa, ja kirjallisuuskatsauksessa käytettyjen artikkeleiden teknologiat ovat vielä prototyyppitasolla. Aihe vaatii vielä lisää tutkimusta, ennen kuin voimme saada markkinoille syötteenantoa iholle tukevia

teknologioita. Edessä on vielä eri kosketussensoreiden aiheuttamat haasteet, kuten sensorien tarvitsema jatkuva kosketus ihoon, sekä ihmiskehon fyysisten ominaisuuksien aiheuttamat ongelmat, kuten kehon rasvaprosentti ja ihon kosteus. Palautteen antaminen käyttäjälle näyttäisi myös vielä olevan alkutekijöissä. Harvassa ihoa syötteen antoa varten käytävässä teknologiassa käyttäjälle annetaan riittävästi palautetta, ja palautetta antavat teknologiat ovat nykytilanteessa kömpelöitä ja haastavia käyttää arkipäiväisessä elämässä. Lisäksi on syytä miettiä miten tehokkaita ja helppoja ihopohjaiset käyttöliittymät lopulta ovat, kun käyttäjän tulee muistaa mitkä eleet ja kosketuskohdat ovat kytköksissä mihinkäkin toimintaan. Tämä on käytettävyyden kannalta huonoa, sillä käyttäjänä sinun ei tulisi tarvita painaa mieleen järjestelmän toimintaan liittyviä seikkoja.

Ihopohjaisten käyttöliittymien tulevaisuus näyttää näistä ongelmakohdista huolimatta kirkkaalta, ja voi olla, että siirrymme yhä enemmän iholla annettaviin ohjauskomentoihin, joilla puettavaa teknologiaa ohjataan. Mahdollinen jatkotutkimuskohde voisi olla millaisiin käyttötarkoituksiin ihopohjaiset käyttöliittymät sopivat parhaiten, lisänä esimerkiksi älykellojen syötepintaan, vaiko ihan omina natiivisovelluksina? Toinen jatkotutkimuskohde voisi olla tutkia miten sosiaalisesti hyväksyttävää ihopohjaisten käyttöliittymien käyttö on; millaisissa tilanteissa ihopohjaisten käyttöliittymien käyttö on hyväksyttyä, ja lisääkö sen käyttö joitain tietoturvariskejä? Lisäksi olisi kiinnostavaa tutkia tarkemmin, miten ihon kosketukseen perustuvaa teknologiaa voitaisiin hyödyntää näkövammaisille suunnatuissa käyttöliittymissä.

## Lähdeluettelo

Bergström, J., & Hornbæk, K. (2019). Human--computer interaction on the skin. *ACM Computing Surveys*, 52(4), 1–14. <https://doi.org/10.1145/3332166>

Bergström-Lehtovirta, J., Coyle, D., Knibbe, J., & Hornbæk, K. (2018). I really did that: sense of agency with touchpad, keyboard, and on-skin interaction. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–8. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173952>

Bergström-Lehtovirta, J., Hornbæk, K., & Boring, S. (2018). It's a Wrap: mapping on-skin input to off-skin displays. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18). Paper 564, 1–11*. <https://doi.org/10.1145/3173574.3174138>

Eadicicco, L. (2015). INTEL: Here's one of the biggest problems we need to solve with wearable tech. Insider. <https://www.businessinsider.com/biggest-problems-with-wearable-tech-2015-2?r=US&IR=T> (haettu 22.6.2021)

Harrison, C., Tan, D., & Morris, D. (2010). Skinput: appropriating the body as an input surface. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 453–462. <https://doi.org/10.1145/1753326.1753394>



MOT Tietotekniikan liiton ATK-sanakirja. (2021). Kielikone Oy, MOT Online. (haettu 20.03.2021)

Ogata, M., & Imai, M. (2015). SkinWatch: skin gesture interaction for smart watch. *In Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference (AH '15)*. 21–24. <https://doi.org/10.1145/2735711.2735830>

Prätorius, M., Scherzinger, A., & Hinrichs, K. (2015). SkInteract: an on-body interaction system based on skin-texture recognition. *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015*, 425–432. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22723-8\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22723-8_34)

Sridhar, S., Markussen, A., Oulasvirta, A., Theobalt, C., & Boring, S. (2017). WatchSense: on- and above-skin input sensing through a wearable depth sensor. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 3891–3902. <https://doi.org/10.1145/3025453.3026005>

Stearns, L., Oh, U., Findlater, L., & Froehlich, J. E. (2018). TouchCam: realtime recognition of location-specific on-body gestures to support users with visual impairments. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.* 1, 4, Article 164 (December 2017), 23 pages. <https://doi.org/10.1145/3161416>

TEPA-termipankki. Sanastokeskus TSK, Erikoisalojen sanastojen ja sanakirjojen kokoelma. (haettu 21.03.2021)

Xiao, R., Cao, T., Guo, N., Zhuo, J., Zhang, Y., & Harrison, C. (2018). LumiWatch: on-arm projected graphics and touch input. *In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. Paper 95, 1–11. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173669>

Zhang, Y., Zhou, J., Laput, G., & Harrison, C. (2016). SkinTrack: using the body as an electrical waveguide for continuous finger tracking on the skin. *In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. 1491–1503. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858082>