

Roni Koskinen

**Miten äly- ja urheilukellot suoriutuvat niille suunnitelluista
tehtävistä**

Tietotekniikan Template and manual for a thesis document class

14. huhtikuuta 2023

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Roni Koskinen

Yhteystiedot: rpkoskin@student.jyu.fi

Ohjaaja: Tytti Saksa

Työn nimi: Miten äly- ja urheilukellot suoriutuvat niille suunnitelluista tehtävistä

Title in English: L^AT_EX-tutkielmapohjan gradu3 käyttö

Työ: Template and manual for a thesis document class

Opintosuunta: Mathematical Information Technology

Sivumäärä: 19+0

Tiivistelmä: Urheilukellot ovat yleistyneet viime vuosina paljon. Laitteet tekevät useita erilaisia fysiologisia ja liikuntaan liittyviä mittauksia. Kuluttajat luottavat näihin mittauksiin ja kohdentavat esimerkiksi harjoitteluohjelmaansa tai levon määrää laitteiden mittauksien mukaisesti. Tässä Kandidaatintutkielmassa perehdytään siihen, kuinka tarkkoja nämä mittaukset ovat. Tutkielma käsittelee myös sitä, miten nämä mittaukset riippuvat ulkoisista muuttujista. Tulokset osoittavat, että laitteet suoriutuvat matkan pituuden, korkeuden, sykkeen ja askeleiden mittauksesta hyvin. Unen mittauksessa laitteet mittaavat unen pituuden tarkasti, mutta unen vaiheiden erottelu ei ole tarkkaa. Laitteet eivät myöskään suoriudu happisaturaa-tion mittaudesta kovin hyvin.

Avainsanat: L^AT_EX, gradu3, pro gradu -tutkielmat, kandidaatintutkielmat, käyttöohje

Abstract: Tiivistelmä in english

Keywords: L^AT_EX, gradu3, Master's Theses, Bachelor's Theses, user's guide

Jyväskylä, 14. huhtikuuta 2023

Roni Koskinen

Taulukot

| | |
|---|---|
| Taulukko 1. Älykellojen sykemittauksen tarkkuuden korrelaatio elektrodiagrammin sykemittaukseen (wang_accuracy_2017) | 5 |
| Taulukko 2. Apple Watch 3 ja Fitbit Charge 2 sykemittauksen ero EKG mittarin tuloksiin. Arvot kuvaavat suhteellisen virheen keskimääräistä arvoa (MAPE). Lähde: nelson_accuracy_2019 | 6 |

Sisällys

| | | |
|-----|---------------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | PUETTAVAT TEKNOLOGIAT | 2 |
| 2.1 | Puettavan teknologian määritelmä..... | 2 |
| 2.2 | Äly- ja urheilukellot | 2 |
| 3 | ÄLYKELLOJEN MITTAUKSET | 4 |
| 3.1 | Syke | 4 |
| 3.2 | Uni | 7 |
| 3.3 | Paikanninjärjestelmä | 9 |
| 3.4 | Korkeuden mittaus | 11 |
| 3.5 | Askeleet..... | 12 |
| 3.6 | Happisaturaation mittaus..... | 13 |
| 4 | JOHTOPÄÄTÖKSET | 14 |

1 Johdanto

Teknologian kehitys on johtanut liikunnan vähenemiseen, ja vapaa-ajan aktiviteetit on korvautunut aktiviteetteihin, joissa liikunta on vähäistä (**petrusevski_interventions_2021**). Aktiivisuutta mittaavat laitteet ovat kuitenkin poikkeus. Aktiivisuutta mittaavaavien laitteiden kerrotaan edistävän terveellisempiä elämäntapoja, tekemällä aktiivisuusdatasta näkyvän (**shin2015under**). Puettavat teknologiat ovat yleistyneet viimeisen kymmenen vuoden aikana tavallisten kuntoliijoiden käyttöön, sillä teknologia on kehittynyt nopeasti. Teknologian nopea kehittyminen on laskenut laitteiden hintaa. Laitteiden fyysinen koko on myös pienentynyt, joten niiden käyttö ja hankkiminen on mahdollista suuremmalle joukolle ihmisiä. Teknologian kehittyminen on tehnyt laitteista aiempaa tarkempia ja parempia melkein kaikilla osa-alueilla. Niihin on myös kehitetty paljon uusia ominaisuuksia. Kellot muun muassa seuraavat unta, mittaavat sykettä, mittaavat kuljettua matkaa sekä noustua korkeutta.

Tässä tutkielmassa tutkin sitä, miten puettavat hyvinvointiteknologiat suoriutuvat toiminnoistaan, keskittyen äly- ja urheilukellojen suorittamiin mittauksiin. Valitsin aiheen siksi, että puettavat teknologiat ovat mielestäni kiinnostavia. Käytän päivittäisessä elämässäni älykelloa, ja haluaisin tietää mitä tutkimukset kertovat siitä, miten hyvin nämä teknologiat soveltuvat ja suoriutuvat tarkoituksestaan hyvinvointia edistävinä laitteina.

Tutkimus tehdään kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsaus valittiin tutkimussuunnitelmaksi siksi, sillä puettavista teknologioista on tehty paljon tutkimusta. Tutkimusstrategia on myös soveltuva siksi, että aihe on laaja, ja siinä on yhdisteltävä useita eri lähteitä. Yhden tutkimuksen tekeminen aiheesta on käytännössä mahdotonta, sillä aihe sisältää tutkimuksia useista eri mittaustavoista ja mittaustilanteista. Aion ensin tutkielmassani määritellä, mitä tarkoittaa puettava teknologia sekä mitä tarkoitetaan äly- ja urheilukelloilla. Tämän jälkeen käyn läpi älykellojen mittauksista sykkeen, unen, matkan pituuden, korkeuden, askeleiden sekä Happisaturaation mittauksen. Nämä ovat jaettu omiin kappaleisiinsa. Jokaisen kappaleen lopussa tiivistän, suoriutuvatko laitteet mittauksesta hyvin.

2 Puettavat teknologiat

2.1 Puettavan teknologian määritelmä

Puettavat teknologiat tarkoittavat laitteita, jotka ovat suoraan suoraan tai irtonaisesti kiinni ihmisessä. Suoraan kiinni olevat laitteet ovat esimerkiksi äly- tai urheilukelloja. Irtonaiset puettavat teknologiat tarkoittavat yleensä puhelimia (**godfrey2018z**.) Puettavia teknologioita voi olla monessa eri muodossa, ne voivat olla esimerkiksi koruja, lisävarusteita, lääketieteellisiä laitteita, vaatteita tai vaatteisiin liitettäviä laitteita (**Yasar_what_wearable**).

Puettavat teknologiat voidaan jakaa kahteen kategoriaan. Ensisijaisiin, eli laitteisiin jotka toimivat itsenäisesti ja yhdistävät muita laitteita toisiinsa (**godfrey2018z**). Tällaisia ovat esimerkiksi äly -ja urheilukellot, puhelimet ja älysormukset. Toinen kategoria on toissijaiset, eli sellaiset laitteet, jotka tarvitsevat toimiakseen ensisijaisen laitteen johon ne lähettävät dataa. Ensisijaiset laitteet mittaavat yleensä jotain tiettyä arvoa. Tällaisia ovat esimerkiksi rinnan ympärillä puettava sykevyö (**godfrey2018z**.)

2.2 Äly- ja urheilukellot

Älykellot ovat suosituin laite puettavien teknologioiden kategoriassa (**godfrey2018z**). Älykellot tarkoittavat puhelimenkaltaisia laitteita, joita puetaan ranteessa (**Gregersen_watch_2023**). Älykelloissa on myös yleensä joukko erilaisia antureita (**rawassizadeh_wearables_2014**).

Urheilukellot tarkoittavat tietokonepohjaisia älykelloja, joka on kestävästi valmistettu, vedenkestävä ja siinä on ominaisuuksia kuten sykemittari sekä muita urheiluun, liikkumiseen ja terveyteen liittyviä seuranta ominaisuuksia (**sportswatch_tfd**). Urheilukellojen ero älykelloon on siis se, että nämä ovat usein kestävämminkin valmistettu, ja tarjoavat ensisijaisesti hyvinvoinnin ja urheilun seuraamiseen liittyviä ominaisuuksia. Erot ovat siis pienet, ja esimerkiksi urheilukelloja valmistava Garmin käyttää sivuillaan kelloistaan "Smart watch"termiä (**garmin_site**).

3 Älykellojen mittaukset

Tässä luvussa käydään läpi älykellojen sykkeen, matkan pituuden, korkeuden, unen sekä askelmittauksen tarkkuuksia. Älykellot suorittavat myös muita mittauksia, mutta niitä ei ole sisällytetty tähän tutkielmaan.

3.1 Syke

Sykkeeseen mittaamisen tarkkuuteen äly- ja urheilukelloissa löytyy eniten tutkimusta verrattuna muihin mitattaviin arvoihin. Sykkeen mittaamiseen käytetään pääosin kahta erilaista menetelmää. Ensimmäinen menetelmä on elektrokardiografia (EKG, eng. ECG), jossa mitataan sydämen lyönnin synnyttämiä sähköaaltoja (**noauthor_heart_nodate**). Käytän tässä tutkielmassa jatkossa mittaustavasta lyhennettä EKG. Toinen metodi taas on fotopletysmografinen (Optinen, FPG, eng. PPG), jossa mitataan infrapunavaloa käyttäen valtimoiden supistumista ja laajenemista (**noauthor_heart_nodate**). Käytän tässä tutkielmassa jatkossa termiä "optinen" viitaten fotopletysmografiseen mittaukseen. Optisen mittauksen haittapuoli on siinä, että sykkeen mittaukseen vaikuttaa erilaiset yksilölliset tekijät. Tällaisia eroja on todettu olevan esimerkiksi ihonvärin tummuus ja sukupuoli (**shcherbina_accuracy_2017; hochstadt_continuous_2020**.) Yksilöllisten tekijöiden vaikutuksesta on kuitenkin saatu riskitöitäisiä tutkimustuloksia (**pasadyn_accuracy_2019**). Esimerkiksi **sanudo_pilot_2019; bent_investiga** mukaan ihonvärin tummuudella ei ollut merkittävää vaikutusta sykemittauksen tarkkuuteen.

Nelsonin ja Allenin (2019) mukaan älykellojen valmistajat käyttävät omia patentoituja algoritmeja optisen sensorin signaalien muuntamiseksi syke arvoiksi. Tämä vaikuttaa myös siihen, miksi eri valmistajien kelloilla saattaa olla isoja eroja sykemittauksen tarkkuudessa. Optisen mittauksen hyöty on myös, että valon avulla voidaan arvioida veren happipitoisuuden määrää (**noauthor_heart_nodate**). Tämä onkin ollut viime vuosina suosittu tutkimuksen kohde.

EKG mittaamista käytetään yleensä rinnan ympärillä puettavissa sykevöissä, kun taas optista

tekniikkaa ranteessa puettavissa laitteissa (**noauthor_heart_nodate**). Optisten sensoreiden tarkkuutta tutkiessa vertailukohtana käytetään usein Polarin EKG-mittausta hyödyntäviä sykevoimia, sillä ne ovat todettu olevan hyvin lähellä lääketieteessä käytettävien EKG-laitteen mittauksia. Varsinkin alhaisen, keskisuuren ja jopa suuren harjoittelu intensiteetin aikana (**gilgen-ammann_rr_2019; nelson_accuracy_2019.**)

wang_accuracy_2017 tutkivat miten Polar H7 sykevyö, sekä neljän erilaisen älykellon sykemittaukset vertautuivat lääketieteessä käytettävään EKG-laitteen sykemittaukseen. Osallistujien sykettä mitattiin elektrodiagrammin avulla siten, että heillä oli neljä johtoa kiinnitettyinä elektrodeihin jokaisessa raajassa. Polar H7 sykevyön sekä kaksi satunnaista älykelloa molemmissa ranteissa. Osallistujat juoksivat matolla 2, 3, 4, 5 ja 6 mailin nopeuksilla, jokaisella nopeudella kolmen minuutin ajan (**wang_accuracy_2017**). Tutkimuksen mukaan laitteet korreloivat elektrodiagrammin mittauksiin seuraavan kaavion mukaisesti.

| Älykello | Korrelaatio |
|------------------|--------------------|
| Polar H7 | 0,99 (0,987-0,991) |
| Apple Watch | 0,91 (0,884-0,929) |
| Mio Fuse | 0,91 (0,882-0,929) |
| Fitbit Charge HR | 0,84 (0,791-0,872) |
| Basis Peak | 0,83 (0,779-0,865) |

Taulukko 1. Älykellojen sykemittauksen tarkkuuden korrelaatio elektrodiagrammin sykemittaukseen (**wang_accuracy_2017**)

Laitteet olivat levossa tarkempia kuin harjoittelun aikana (**wang_accuracy_2017**). Tämän näkee kuviosta vertaamalla korrelaation ylärajaa sen alarajaan. Polar H7 sykevyön mittasi siis sykettä tutkimuksen mukaan hyvin tarkasti, korreloiden 0,99 EKG-laitteen mittauksiin (**wang_accuracy_2017**). Kuten taulukosta huomataan, kahden kellon mittausten korrelaatio oli keskimäärin jopa alle 0,85, joten niiden sykemittaukset eivät olleet kovin tarkkoja.

nelson_accuracy_2019 tutkivat miten tarkasti Apple Watch 3, sekä Fitbit Charge 2 mittasivat sykettä jokapäiväisessä elämässä. Tutkimuksessa osallistuja pitivät kelloa 24 tunnin ajan ranteessaan eläen normaalia arkea, ja mittauksia verrattiin EKG-vertailulaitteen tuloksiin (**nelson_accuracy_2019**). Tulokset on esitetty edellä olevassa taulukossa.

| Aktiviteetti | Apple Watch 3 | Fitbit Charge 2 |
|----------------|---------------|-----------------|
| 24H keskiverto | 5,86 | 5,96 |
| Istuminen | 7,21 | 6,93 |
| Juoksu | 3,01 | 9,88 |
| Kävely | 4,64 | 9,21 |
| Nukkuminen | 3,12 | 3,36 |

Taulukko 2. Apple Watch 3 ja Fitbit Charge 2 sykemittauksen ero EKG mittarin tuloksiin. Arvot kuvaavat suhteellisen virheen keskimääräistä arvoa (MAPE). Lähde: **nelson_accuracy_2019**

Tulokset eroavat **wang_accuracy_2017** tutkimuksen tuloksiin siten, että Apple Watchin tarkkuus parani juostessa, verrattuna siihen mitä se oli istuessa. Wangin ym. (2017) tutkimuksessa mittausten tarkkuus heikkeni intensiivisemmän harjoittelun aikana. Tämä voi johtua monesta eri syystä, sillä sykkeen mittauksen tarkkuuteen vaikuttaa yksilölliset tekijät (**koerber_accuracy_2022**; **pasadyn_accuracy_2019**; **hochstadt_continuous_2020**). Tutkimuksissa käytettiin myös erilaisia laitteita, joiden tarkkuus voi olla eri.

pasadyn_accuracy_2019 tutkivat neljän eri äly- sekä urheilukellon tarkkuutta juoksumatolla juosten kuudella eri nopeudella. Tässäkin tutkimuksessa tuloksia verrattiin Polar H7 sykevyön mittaustuloksiin. Tutkimuksessa Apple Watch 3:n korrelaatio EKG-mittauksiin oli .96, Fitbit iconic, Garmin Vivosmart HR ja Tom Tom Spark 3 kellojen korrelaatio ECG tuloksiin oli kaikilla sama .89 (**pasadyn_accuracy_2019**). Apple Watch oli siis huomattavasti tarkempi kello sykkeen mittaukseen, kuin muut tutkimuksessa käytetyt laitteet. Tutkimuksen mukaan laitteiden sykkeen mittaamisen tarkkuus laski harjoitteluun intensiteetin noustes-

sa (**pasadyn_accuracy_2019**). Tämä tulos on yhtenäinen Wangin ym. (2017) tutkimuksen kanssa.

Sykkeenmittauksen voidaan siis sanoa olevan suhteellisen tarkkaa. Tarkkuudessa on kuitenkin eroja laitteiden välillä, eikä laitteet kykene täysin tarkkoihin sykkeen mittauksiin (**pasadyn_accuracy_2019**; **wang_accuracy_2017**; **nelson_accuracy_2019**.) Tarkkuutta arvioidessa on myös hyvä ottaa huomioon, että mittauksiin saattaa vaikuttaa yksilölliset tekijät, kuten ihonväri tai sukupuoli **shcherbina_accuracy_2017**; **hochstadt_continuous_2020**. Tutkimustulokset yksilöllisten tekijöiden vaikutuksista ovat kuitenkin ristiriitaisia (**koerber_accuracy_2022**; **pasadyn_accuracy_2019**). Yksi syy tähän saattaa olla, että optinen mittausteknologia on kehittynyt niin, että esimerkiksi ihonvärin tummuus ei enää vaikuta mittaustuloksiin. **koerber_accuracy_2022** esittävät, että tähän voisi olla syynä vihreän värin käyttäminen optisissa sensoreissa punaisen värin sijaan. Vihreän valon 520 aallonpituuden on ainakin todettu läpäisevän ihon paremmin, kuin muiden aallonpituuksien (**fallow_influence_2013**).

3.2 Uni

Riittävä unen saanti on tärkeä terveyden ja hyvinvoinnin ylläpitämiseksi. Unella on merkitystä niin fyysiseen kehitykseen, emotionoiden hallintaan, kognitiiviseen suorituskyykyyn ja muutenkin elämänlaatuun (**watson_sleep_2017**). Urheilijat arvioivat unensa laatua ja kestoa heikosti (**watson_sleep_2017**). Mahdollisuus unen mittaukseen on siis varsinkin urheilijoille hyödyllinen ominaisuus. Unen seurannan tarkkuutta tutkitaan vertaamalla tuloksia "gold standard" unen mittausteknologiaan, eli polygrafiamittaukseen (PSG) (**de_zambotti_measures_2016**; **rundo_chapter_2019**; **miller_validation_2022**).

Unen laatu on vaikea määritellä objektiivisesti. Unen laadulla tarkoitetaan subjektiivista kokemusta siitä, kuinka hyvin on nukkunut. Unen laadulla on kuitenkin todettu olevan merkittävä vaikutus sillä, kokeeko henkilö itsensä väsyneeksi nukutun yön jälkeen vai ei. Leväneisyys on unen laadun ja määrän yhdistelmä, eikä toinen voi korvata toista. Unta arvioidessa tulee siis ottaa molemmat asiat huomioon. Unen laadun mittaamiseen on useita erilaisia

keinoja (**kohyama_which_2021.**) Jotkin näistä menetelmistä käyttävät unen vaiheita mittaamaan unen laatua, esimerkiksi NREM-unen määrän on ainakin todettu olevan yhteydessä arvioituun unen laatuun (**krystal_measuring_2008.**) Jotkut älykellot antavat arvion nukutun unen laadusta, mutta näiden arvioiden tarkkuudesta ei ole tehty tutkimusta.

Valmistajat eivät usein kerro, millaisilla algoritmeilla he arvioivat unen vaiheita tai unen laatua. Tiedetään kuitenkin, että älykellot käyttävät unen vaiheiden arviointiin ainakin kiihdytinsensoria, joka mittaa liikettä unen aikana. Liikkeen määrästä voidaan päätellä, onko henkilö kevyen unen vaiheessa (**grifantini_hows_2014; de_zambotti_measures_2016**). Tiedetään myös, että kehon autonomisista toiminnoista, kuten sykkeestä tai ihon lämpötilasta voidaan tehdä päätelmiä, missä unen vaiheessa henkilö on (**de_zambotti_measures_2016; fonseca_sleep_2015**). Ei voida kuitenkaan varmuudella sanoa, käyttävätkö älykellot näitä mittauksia unen arviointiin. Seuraavaksi käyn läpi tutkimuksia älykellojen unenseurannan tarkkuudesta.

Zambotti ym. (2016) mukaan Fitbit älykello yliarvioi unta keskimäärin 8 minuuttia pidemmäksi, aliarvioi hereilläoloaikaa nukahtamisen jälkeen 5,6 minuuttia ja yliarvioivat unen tehokkuutta 1,8%. Fitbit kello tunnisti kuitenkin unen hyvin tarkasti. Kello ei kuitenkaan tunnistanut hereilläoloaikaa kovin tarkasti nukahtamisen jälkeen.

liang2018validity tutkivat Fitbit Charge 2 kellon unen seurannan tarkkutta ja saivat samankaltaisia tuloksia kuin **de_zambotti_measures_2016**. Liangin ja Chapa Martellin (2016) mukaan Fitbit Charge 2 kello tunnisti unen keston ja unen tehokkuuden tarkasti. Hereilläolon tunnistaminen nukahtamisen jälkeen on kuitenkin epätarkkaa. Tämä tutkimuksen tulos on yhtenäinen **de_zambotti_measures_2016** tutkimuksen tuloksien kanssa. Tulokseksi saatiin myös, että unen vaiheiden, kuten kevyen, REM sekä syvän unen tunnistaminen oli kellolle myös haastavaa.

chinoy_performance_2022 tutkimuksen mukaan Fitbit Inspire HR sekä Polar Vantage V

Titanin unen seurannan tarkkuus oli samankaltainen edellisten tutkimusten tulosten kanssa. Kellot mittasivat unen keston tarkasti, mutta hereilläoloajan mittaus nukahtamisen jälkeen oli epätarkkaa (**chinoy_performance_2022**). Kellot arvioivat myös unen vaiheita epätarkasti (**chinoy_performance_2022**).

Unen määrän mittaamisen on todettu olevan suhteellisen tarkkaa lukuisissa tutkimuksissa (**de_zambotti_measures_2016; liang2018validity; chinoy_performance_2022; miller_validation_2020**). Voidaan siis luotettavasti todeta, että kellot suoriutuvat hyvin unen määrän mittauksesta. Voidaan myös todeta, että kellot eivät kuitenkaan suoriudu tarkasti unen vaiheiden erottelusta (**chinoy_performance_2022; de_zambotti_measures_2016; liang2018validity**).

3.3 Paikanninjärjestelmä

Niin ammatti kuin amatööri juoksijat nojautuvat pitkälti urheilukellon GNSS:n antamaan lukuun kemaan juostun matkan pituudesta. Urheilukellojen sijainnin tarkkuuden mittaamisesta on kuitenkin tehty vähän tieteellistä tutkimusta (**gilgen-ammann_accuracy_2020**). GNSS-mittaus on käytössä useassa lajissa, ja olisi tärkeä saada tietoa siitä, onko mittaukset luotettavia. Seuraavaksi käyn läpi tutkimuksia paikanninjärjestelmän tarkkuudesta äly- ja urheilukelloissa.

Äly- ja urheilukellot käyttävät sijainnin määrittämiseen Global navigation satellite system (GNSS) vastaanottimia (**gilgen-ammann_accuracy_2020**). Sijaintimittausten avulla kello laskee urheilusuorituksen pituuden ja nopeuden. GNSS:ään lukeutuu Euroopan Galileo-järjestelmä, Yhdysvaltojen Global Navigation System (GPS), Venäjän Glosnass sekä Kiinan BeiDou satelliittipaikannusjärjestelmät (**hofmann2007gnss**). Kelloissa on eroa siinä, mitä satelliittijärjestelmiä ne voivat käyttää (**ammann_accuracy_2016**). Joissain tutkimuksissa puhutaan GPS paikantimen tarkkuudesta, toisissa GLOSNAASS:ista, ja toisissa taas viitataan yleisesti GNSS:ään. Puhuttaessa GNSS:stä tai GPS:stä tarkoitetaan kuitenkin samaa älykellon paikannin sirua, ainoastaan satelliitit joihin yhdistetään muuttuvat.

GPS mittaamisen tarkkuuteen vaikuttaa lukuisia ulkopuolisia seikkoja. Tarkkuuteen vaikuttaa esimerkiksi laitteen päivitys frekvenssi. Mitä suurempi frekvenssi, sen tarkempi sensori on (**cummins_global_2013**.) Tarkkuuteen vaikuttaa myös se, onko GPS sirun lähellä korkeita rakennuksia ja onko taivas selkeä (**baranski_enhancing_2012**).

gilgen-ammann_accuracy_2020 tutkivat Applen, Coroksen, Polarin ja Suunnon urheilukellojen GPS mittauksen tarkkuutta urheilusuorituksissa, jotka olivat pituudeltaan 400-4000 metriä. Lajeihin kuuluivat juoksu, kävely sekä pyöräily. Keskimäärin urheilukellojen GPS mittauksissa todettiin olevan 3-6% virhe. Tutkijoiden mukaan urheilukellojen matkan pituuden mittaukset olivat kohtuullisia tai hyviä (**gilgen-ammann_accuracy_2020**.)

johansson_accuracy_2020 tutkivat urheilukellojen GPS:n tarkkuutta ultramaraton juoksussa. Tutkimuksessa juoksuren pituus oli 56 kilometriä ja reitti sisälsi 800 nousumetriä. Tutkimuksessa oli mukana useita eri äly- ja urheilukelloja, sekä puhelimia. GPS laitteiden tarkkuus oli tarkimmillaan $0.6\% \pm 0.3\%$ ja epätarkimmillaan $1.6\% \pm 0.9\%$. (Mediaani \pm IQR)(Kvartiiliväli, eng. Interquartile range). Tässä statistiikassa oli mukana myös puhelimet, mutta tulokset ovat silti huomattavasti tarkempia, kuin **gilgen-ammann_accuracy_2020** suorittamassa tutkimuksessa. Puhelimet olivat tutkimuksen epätarkimpia laitteita (**johansson_accuracy_2020**). Tulokset ovat erikoisia siksi, että **johansson_accuracy_2020** tutkimusasetelma on suoritettu vapaammissa olosuhteissa. Reitillä on myös ollut puita ja vuoria, jotka saattaavat häiritä GPS signaalia. Johanssonin ym. (2020) mukaan urheilukellot ovat pätevä tapa mitata juostua matkaa.

Voidaan siis luotettavasti todeta, että äly- ja urheilukellot suoriutuvat hyvin juoksu, kävely sekä pyöräily suoritusten pituuden mittauksessa (**gilgen-ammann_accuracy_2020**; **johansson_accuracy_2020**). Kellot käyttävät nopeuden mittaamiseen paikanninjärjestelmän tuloksia, joten voidaan todeta kellojen suoriutuvan nopeuden mittauksesta hyvin. On kuitenkin huomioitava, että GPS-mittauksen tarkkuuteen saattaa vaikuttaa esimerkiksi ympäristössä olevat korkeat rakennukset tai taivaan pilvisyys (**baranski_enhancing_2012**).

3.4 Korkeuden mitta

Noustit metrit harjoittelun aikana on tärkeä osa urheilijan kokonais työmäärää. Tämän vuoksi älykellojen korkeuden mittaamisen tarkkuutta on hyvä tutkia (**ammann_accuracy_2016**). Äly- ja urheilukellot käyttävät korkeuden mittaamiseen barometristä sensoria tai GPS-paikantimen antamaa informaatiota (**ammann_accuracy_2016**). Barometrinen sensori arvioi korkeuden mittaamalla ilmanpainetta (**aroganam2019review**). On myös mahdollista, että kello käyttää GPS:n ja barometrin kombinaatiota (**aroganam2019review**). Tällä tavalla kello yrittää korjata barometrin mahdolliset ulkoisista seikoista johtuvat mittausvirheet (**aroganam2019review**).

Barometriä on aiemmin käytetty sään ennustamiseen (**manivannan_challenges_2020**). Barometrinen sensori onkin siis herkkä säätilojen muutoksille, jonka vuoksi sääolosuhteet tulee ottaa huomioon laitteen tarkkuutta tutkiessa (**manivannan_challenges_2020; ammann_accuracy_2016**). Barometrin tarkkuuteen voi vaikuttaa myös ympäristö, korkeus ja sensorin tarkkuus (**manivannan_challenges_2020**). Barometrien tarkkuudesta äly- tai urheilukelloissa on kuitenkin tehty suppeasti tutkimusta.

ammann_accuracy_2016 tutkivat älykellojen korkeusmittauksen tarkkuutta erilaisilla juoksureiteillä. Reitti erosivat siinä, kuinka paljon niillä oli nousumetrejä. Ensimmäinen reitti oli tasainen, toinen sellainen, jossa nousua oli 90 metriä, ja kolmas reitti oli silmukka, jossa yhdellä kerralla oli nousua 30 metriä. Tätä reittiä kutsuttiin "mäkiseksi reitiksi". Testaamiseen käytettiin Garmin ForerunnerXT, Polar RS800XC, sekä Suunto Ambit2 urheilukelloja. Näistä kelloista Garmin ja Suunto käyttivät korkeuden mittaamiseen barometrin sekä GPS yhdistelmää. Kellojen kalibroitiin ennen jokaista testiä vastaamaan kyseistä korkeutta merenpinnan yläpuolella, jossa testaajat olivat (**ammann_accuracy_2016**).

Ammannin ym. (2016) mukaan kellot aliarvioivat mäkisellä reitillä nousumetrejä 3,3%-9,8%. Tasaisella reitillä mittaukset olivat suhteellisen tarkkoja. Mittaukset erosivat todellisiin nousumetreihin tasaisella reitillä 0,0%-0,4%. Mittaukset olivat siis todella tarkkoja tasaisella reitillä. Tutkijat toteaa, että urheilukellot olivat melko tarkkoja nousumetri

kuus eroja (**ammann_accuracy_2016**.)

On myös otettava huomioon, että tutkimuksessa käytettävät kellot olivat julkaistu vuosina 2008, 2012 ja 2013. Tekniikka on voinut siis kehittyä tähän mennessä. **ammann_accuracy_2016** ottivat tutkimuksessa huomioon ulkopuoliset vaikutukset mahdollisimman hyvin, mutta toteavat, että mittauksiin saattoi vaikuttaa esimerkiksi sääolosuhteiden muutos, tai GPS-signaalin vaihteleva vahvuus.

3.5 Askeleet

Aktiviteetit kuten käveleminen muodostaa suurimman osan terveydelle ja hyvinvoinnille suunnitelluista fyysisestä aktiviteetista (**gaz_determining_2018**). Tämän vuoksi aktiivisuutta mittaavien laitteiden askelmittarin tarkkuus on tärkeä määrittää. Gazin ym. (2018) mukaan tutkimuksessa käytettyjen älykellojen askelmittarin tarkkuus oli kohtuullisen hyvä. Askeleiden mittaamisen tarkkuus vaihteli kuitenkin riippuen laitteesta ja kävelytilanteesta. Askelmittari oli tarkempi juoksumatolla, kuin maalla kävellessä (**gaz_determining_2018**.)

ahanathapillai_preliminary_2015 saivat samanlaisia tuloksia askelmittauksen tarkkuudesta Android älykelloissa, kuin **gaz_determining_2018**. Ahanathapillain ym. (2015) mukaan Android käyttöjärjestelmää käyttävät älykellot askelmittaus oli tarkkaa. Normaalisti kävellessä älykellon keskimääräinen virhearvio oli 1,25%, kun älykellon päivitystaajuus oli 50hz. Tarkkuus kuitenkin kärsi kävellessä portaissa tai päivitystaajuuden laskiessa (**ahanathapillai_preliminary_2015**.)

Voidaan siis sanoa, että älykellojen tarkkuus mitata askeleita yleisimmissä olosuhteissa on suhteellisen tarkka (**gaz_determining_2018**; **ahanathapillai_preliminary_2015**). On kuitenkin otettava huomioon, että mittareiden tarkkuudessa on eroja, jotka riippuvat olosuhteista ja älykellon mallista (**gaz_determining_2018**.)

3.6 Happisaturaation mittaus

Happisaturaation (SpO₂) mittaus on tullut älykelloihin vuoden 2021 aikana (**zhang_can_2022**). Kyseessä on siis suhteellisen uusi ominaisuus. SpO₂ mittauksien tarkkuudesta älykelloissa ei vahvistettu (**zhang_can_2022**). Tämä johtuu tehtyjen tutkimusten vähyydestä.

pipek_comparison_2021 mukaan Apple Watch Series 6 SpO₂ mittauksen korrelaatio vertailulaitteeseen oli 0.81. Apple Watchin mittauksilla olivat taipumus olla hieman korkeampia, kuin vertailulaitteen arvoilla (**pipek_comparison_2021**). Apple Watchin pulssioksimetrin mittausten ei voida siis sanoa olevan tarkkoja. Mittauksia verrattiin kahteen kaupallisesti saatavilla olevaan pulssioksimetriin. Tutkimuksissa ei mainittu, mitä pulssioksimetriä vertailukohtana käytettiin, tai oliko vertailulaitteen tarkkuus varmistettu aiemmilla tutkimuksilla.

patz_accuracy_2023 saivat samankaltaisia tuloksia Apple Watchin pulssioksimetrin tarkkuudesta kuin **pipek_comparison_2021**. Mittauksista 85% oli oikein mitattaessa lapsilta ja 85% aikuisilta mitattaessa. **patz_accuracy_2023** mukaan Apple Watch 6 mittaukset eivät ole lääketieteellisten standardien tasolla. Tarkkuus on kuitenkin hyvä sinällään antamaan arviota happisaturaation määrästä. Siihen ei kuitenkaan tule luottaa täysin.

4 Johtopäätökset

Seuraavaksi tiivistän hieman tässä tutkielmassa esiin tulleita tuloksia äly -ja urheilukellojen mittausten tarkkuudesta. Älykellojen mittaukset ovat usein riippuvaisia erilaisista ulkoisista seikoista. Näiden seikkojen merkittävyydestä on kuitenkin ristiriitaisia tutkimustuloksia. Esimerkiksi sykkeenmittauksen tarkkuuden riippuvuudesta sukupuolesta tai ihonvärin tummuudesta on saatu tutkimustuloksia osoittaen, että näillä tekijöillä ei ole merkitystä, sekä että niillä on merkitystä. GPS, sekä Korkeuden mittaamiseen tarkkuuteen tiedetään myös vaikuttavan ulkoiset tekijät, kuten sääolosuhteet tai ympäristössä olevat korkeat rakennukset tai puut. Näiden vaikutuksesta ei kuitenkaan ole paljoa tutkimustietoa. On myös ilmeistä, että mittausten tarkkuuteen vaikuttaa kellon malli. Jotkin algoritmit ja sirut ovat tarkempia kuin toiset.

Älykellot suoriutuivat matkan ja korkeuden mittauksista hyvin. Tutkimuksissa saatiin hieman erilaisia arvoja tarkkuuksista, mutta kaikissa todettiin matkan mittaamisen kuitenkin olevan tarkkaa. Tutkimusdataa korkeudenmittauksista oli kuitenkin vähän. 3,3%- 9,8% Sykkeenmittauksen voidaan todeta olevan äly- ja urheilukelloissa suhteellisen tarkkaa. Tarkkuus riippuu kuitenkin kellon mallista. Esimerkiksi Apple Watchin korrelaatio EKG-mittarin tuloksiin oli 0,91, kun taas Basis Peak kellon korrelaatio vertailulaitteen mittauksiin oli ainoastaan 0,83 (**wang_accuracy_2017**.) Joissain tutkimuksissa Apple Watchin korrelaatio vertailulaitteen tuloksiin oli vieläkin korkeampi. Mittaukset eivät ole siis täysin tarkkoja, mutta riittäviä suurimmalle osalle käyttäjistä. Sykkeen mittauksen tarkkuuteen vaikuttaa myös aktiviteetti. Sykkeen mittaus ovat tarkempia

Unen mittauksen tarkkuus riippuu siitä, mitä arvoja halutaan mitata. Älykellot mittasivat Unen pituuden tarkkuutta hyvin, mutta unen vaiheiden mittaus oli epätarkkaa. Löydökset todettiin olevan samankaltaisia useammalla eri kellomallilla. Unen vaiheiden erottelu ei kelloilta kuitenkaan onnistunut tarkasti. Unen vaiheet ovat yhteydessä unen laatuun (**krystal_measuring_20**) ja unen laatu on erittäin tärkeä arvo arvioidessa unta sen pituuden ohella (**kohyama_which_2021**). Unen vaiheiden tarkempi arviointi olisi siis tärkeää unen arvioimisen laadukkuuden kannalta.

SpO2 mittaus ei älykelloissa ollut niin tarkka, että voitaisiin sanoa älykellojen suoriutuvan mittauksesta hyvin. **patz_accuracy_2023** mukaan mittauksista noin 85% oli oikein. Tulokset voivat siis antaa arviota SpO2 arvosta, mutta niitä ei tule ottaa täysin totena.

Tässä kandidaatintutkielmassa on vahvuutena se, että tutkielman laatimiseen on hyödynnetty useita eri tutkimuksia, ja yhdistelty näiden tuloksia toisiinsa. Tutkimukset mittauksien tarkkuuksista ovat olleet myös suhteellisen tuoreita, sillä ne on julkaistu vuonna 2016 tai sen jälkeen. Heikkouksina tutkielmassa on, ettei tutkimuksia ei ole saatavilla uusimmista äly- tai urheilukelloista. Tekniikka kehittyy nopeasti, melkein joka vuosi tulee uusia malleja, joten uusista malleista ei ole ehditty tuottaa tutkimusta. Toinen heikkous on tutkielman teknologinen raja, joka on hyvin laaja. Tutkielmaan otettiin mukaan monen eri valmistajan laitteita, ja niissä on keskenään suuriakin tarkkuus eroja. Rajauksen vuoksi tutkielma voitaisiin tehdä ainoastaan käyttäen tiettyä äly- tai urheilukello mallia. Tutkielma toimii hyvin tiivistelmänä siitä, missä vaiheessa modernien älykellojen tarkkuus on tällä hetkellä. Aihe on ajankohtainen ja tärkeä yleisen tietoisuuden lisäämiseksi siitä, että laitteet ovat erehtyväisiä, eikä niiden tarkkuus ole läheskään aina täydellinen.