

Erno Varila

Sykearvojen vertailu eri mittareilla erilaisissa kuntoilutilanteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Hyvinvointiteknologia

Insinöörityö

8.5.2017

Tekijä Otsikko	Erno Varila Sykearvojen vertailu eri mittareilla erilaisissa kuntoilutilanteissa
Sivumäärä Aika	39 sivua + 1 liite 8.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Hyvinvointiteknologia
Suuntautumisvaihtoehto	Hyvinvointiteknologia
Ohjaaja	Lehtori Sakari Lukkarinen
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää, miten eri mittareilla tallennetut sykearvot eroavat toisistaan. Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle ja siinä yritettiin selvittää varmintä sykkeenmittaustapaa erilaisissa kuntoilutilanteissa.</p> <p>Mittareina käytössä olivat Garmin Fenix 3 HR, Polar Loop 2 ja sykevyö, Firstbeat Bodyguard 2 sekä Cosinuss One, joilla sykettä tallennettiin samanaikaisesti rintakehästä, ranteesta ja korvakäytävästä. Testi toistettiin samalla testihenkilöllä kymmenen kertaa, jonka jälkeen sykearvoja vertailtiin eri menetelmillä.</p> <p>Tuloksista nähdään, että sykevyö oli kaikissa testeissä tasainen ja luotettava. Ranteesta mitattu syke oli hyvin lähellä sykevyön tuloksia, mutta mittasi välillä hieman korkeampia sykearvoja ja reagoi muutoksiin hieman hitaammin. Firstbeatin tulokset vaihtelivat reilusti, sillä neljässä testissä tulokset olivat lähes identtiset sykevyön tulosten kanssa, mutta lopuissa testeissä sykearvot tallentuivat heikommin. Korvasensorin tulokset olivat muutamaa testiä lukuun ottamatta todella huonoja ja laitteelle tuli signaalikatkoja jokaisessa testissä, jotka vaikuttivat lopputuloksiin.</p> <p>Optisesti ranteesta mitattu syke on tulosten perusteella lähes yhtä tarkka kuin sähköisesti rintakehästä mitattu syke ja erot todennäköisesti vain kutistuvat tulevaisuudessa. Vaikka Firstbeatin ja Cosinuksen tulokset olivat osittain heikkoja, voivat laitteet toimia paremmin jollain toisella käyttäjällä. Tuloksia voidaan hyödyntää sykemittaria hankkiessa ja niitä tullaan käyttämään myös Metropolian opetuksessa.</p>	
Avainsanat	syke, sykemittari, vertailu

Author Title	Erno Varila Comparison of Different Heart Rate Monitors' Results in Different Exercises
Number of Pages Date	39 pages + 1 appendix 8 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Health Informatics
Specialisation option	Health Informatics
Instructor	Sakari Lukkarinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to find out how the different values of heart rate stored by different devices differ from each other. The work was carried out for Metropolia University of Applied Sciences and the goal was to establish the most accurate heart rate measurement system in various fitness situations.</p> <p>Garmin Fenix 3 HR, Polar Loop 2 and heart rate belt, Firstbeat Bodyguard 2, and Cosinuss One were used to measure the heart rate simultaneously as the devices were worn on chest, wrist, and ear canal. The test was repeated on the same test person ten times, after which the heart rates were compared by different methods.</p> <p>The results show that the heart rate belt was steady and reliable in all tests. The heart rate measured from the wrist was very close to the results of the heart rate belt, but measurements showed slightly higher rates and responded slightly slower. The results of Firstbeat varied widely, as in the four tests the results were almost identical to the results of the heart rate belt, but in the remaining tests, the heart rate values were recorded somewhat poorly. With the exception of a few tests, the results from the earsensor were substandard and the signal failed in each test, which naturally affected the results.</p> <p>The optical heart rate measured on the wrist is almost as accurate as the electronic heart rate measured from the chest and the differences are likely to shrink in the future. Although Firstbeat's and Cosinuss' results were partially weak, the devices could work better with another user. The results can be utilized when acquiring a heart rate monitor and will also be used in Metropolia's teaching.</p>	
Keywords	heart rate, heart rate monitor, comparison

Sisällysluettelo

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sydämen ja verenkiertojärjestelmän toiminta	2
2.1	Liian nopea tai liian hidas leposyke	5
2.2	Maksimisyke	5
2.3	Sykevälivaihtelu	6
3	Sykkeen mittaaminen	6
3.1	Sähköinen sykkeenmittaus	7
3.2	Optinen sykkeenmittaus	8
3.2.1	Optisen sykemittarin kiinnittäminen	10
3.2.2	Optisen mittauksen haasteet	11
3.3	Muut sykkeenmittaustavat	12
3.4	Yhteenveto	13
4	Sykemittarit liikunnassa	14
4.1	Sykemittareiden kehitys	14
4.2	Sykkeenmittaus liikunnassa	15
4.3	Aiempi tutkimustieto	17
5	Tutkimuksen tarkoitus ja menetelmät	18
5.1	Testaussuunnitelma	19
5.2	Testilaitteet	21
5.3	Datan käsittely	24
6	Tulokset	25
6.1	Käyttökokemukset	25
6.2	Sykearvojen välinen korrelaatio	27
6.3	Sykearvojen visuaalinen vertailu	30
7	Yhteenveto	35
	Lähteet	36

Liitteet

Liite 1. Python-koodi.

Lyhenteet

AC	<i>Alternative Current eli vaihtovirta.</i> Sähkövirtaa, jonka suunta vaihtelee ajan funktiona.
ANT+	<i>ANT-lähetystekniikka.</i> Lähettää sensoreiden dataa täsmällisesti, käytetään esimerkiksi sykkeenmittauksessa.
BPM	<i>Beat per Minute.</i> Sydämenlyöntiä minuutissa.
CSV	<i>Comma-separated values.</i> Tiedostomuoto, jolla tallennetaan yksinkertaista taulukkomuotoista tietoa tekstitiedostoon.
DC	<i>Direct Current eli tasavirta.</i> Sähkövirta, jonka suunta ei muutu, vaan se kulkee koko ajan samansuuntaisesti.
EKG	<i>Elektrokardiogrammi eli sydänsähkökäyrä.</i> Kuvaa sydämen toimintaa ja siihen liittyviä sähköimpulsseja.
HRmax	<i>Heart Rate maximum.</i> Suurin mahdollinen sydämenlyöntien määrä minuutissa fyysisen maksimirasituksen aikana.
HRV	<i>Heart Rate Variability.</i> Peräkkäisten sydämenlyöntien välinen ajallinen vaihtelu.
IR	<i>Infrared.</i> Säteilyä, jonka aallonpituus on suurempi kuin näkyvän valon aallonpituus.
LED	<i>Light-Emitting Diode.</i> Puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa.
PPG	<i>Photoplethysmography.</i> Valon läpäisyyden perustuva sykkeen tai verenpaineen mittaustapa.

TCX *Training Center XML*. Garminin vuonna 2007 luotu tiedonsiirtomuoto. Tarjoaa standardeja sykkeen, askeltiheyden, polkupyörän polkemisnopeuden ja kalorien siirtoon ja tallentamiseen.

1 Johdanto

Markkinoilla on todella paljon erilaisia sykemittareita, joista halvimman voi saada alle sadalla eurolla, kun taas kalleimmat lähentelevät jo tuhatta euroa. Mistä sitten tietää, mikä sopii juuri minulle? Sykettä voidaan nykyään mitata vaikka mistä, ja perinteisen sykevyön rinnalle on tullutkin ranteesta ja jopa korvasta mittaavia laitteita (katso kuva 1). Omaa sykemittaria ostaessa kannattaa miettiä, mitä ominaisuuksia siihen tarvitsee ja missä kehon osassa sitä olisi miellyttävintä pitää. Kallein ei välttämättä ole jokaiselle paras vaihtoehto, jos suurin osa toiminnoista jää käyttämättä tai painavan urheilukellon pitäminen ranteessa ei tunnu oikealta. Tällä hetkellä sykettä voidaan mitata erilaisilla laitteilla ainakin korvolehdestä ja korvakäytävästä, rintakehän useasta eri kohdasta, ranteesta, kyynärvarresta, sormista sekä otsasta.



Kuva 1. Tyypillisiä sykemittareita. Vasemmalla optinen rannenemittari, ylhäällä sykevyö, alhaalla keskellä Firstbeat-syketallennin ja alhaalla oikealla korvamittari.

Puettavien hyvinvointilaitteiden toimitusmäärät ovat nousseet valtavasti viime vuosina. Vuonna 2013 niitä toimitettiin yli 13 miljoonaa kappaletta, mutta vuonna 2015 vuosittaiset toimitukset olivat nousseet jo yli 34 miljoonaan kappaleeseen. [1.] Sykemittareiden suosioista löytyy muitakin vakuuttavaa tietoa. Esimerkiksi Garminille tuli vuonna 2015 uusia fitness-käyttäjää melkein viisi miljoonaa kappaletta. Myös Garminin fitnesspuolen liikevaihto kasvoi vuodesta 2014 yli 16 % ja nousi 662 miljoonaan dollariin. [2.]

Sykemittarin hyötyjä liikunnassa on kiistämättä hyvinkin paljon. Kun treenataan jotain tiettyä tavoitetta kohden, sykemittarin avulla voidaan optimoida harjoittelu ja treenata juuri sopivan kovaa. Liian kova tai liian kevyt harjoittelu ei välttämättä tuota haluttuja tuloksia tai niiden saavuttaminen voi kestää turhan pitkään. Seuraamalla omaa sykettä harjoittelussa voidaan treenata oikealla sykealueella ja kehittää optimaalisesti esimerkiksi aerobista kuntoa. Sykkeenmittaus helpottaa myös oman palautumiskyvyn hahmottamista, ja se sopii niin aloittelijalle kuin ammattiuurheilijallekin.

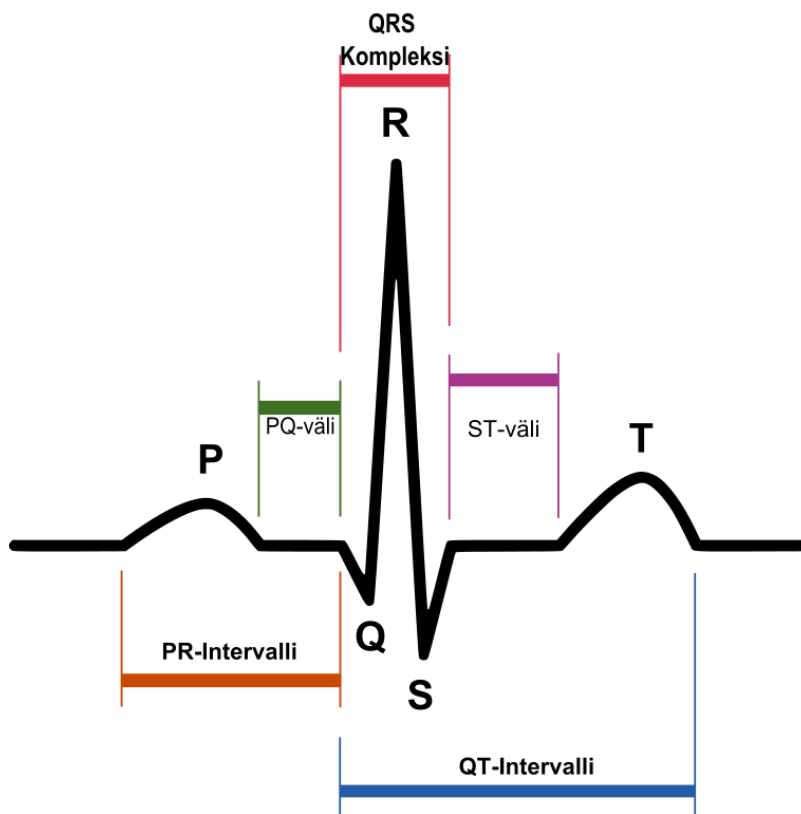
Tämän insinööriyön tarkoituksena on mitata ja vertailla sykearvoja eri mittareilla erilaisissa testitilanteissa sekä analysoida mahdollisia eroja mittareiden välillä. Insinööriyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle ja varsinainen aihe hioutui hyvinvointitekniikan opettajien kanssa yhteistyössä.

2 Sydämen ja verenkiertojärjestelmän toiminta

Sydämen supistuessa oikea ja vasen kammio pumpppaa verta eteenpäin. Oikealla keuhkovaltimoläppä ja vasemmalla aorttaläppä avautuvat ja päästävät veren virtaamaan eteenpäin. Samalla kolmiliuska- ja hiippaläppä sulkeutuvat estämään veren virtauksen taaksepäin kammioista eteisiin. Supistusvaiheen päätyttyä alkavat supistuneet kammiot laajentua, ja täyttymisvaihe alkaa. Kammiot täyttyvät sydämen eteisistä imetystä verestä, joihin se on kertynyt supistumisvaiheen aikana. Kammioiden laajeneminen ei ole pelkästään passiivista eli paine-eroista johtuvaa, vaan se on aktiivinen energiaa kuluttava tapahtuma. Kolmiliuska- ja hiippaläppä avautuvat ja päästävät veren virtaamaan eteisistä kammioihin. Tämän jälkeen keuhkovaltimo- ja aorttaläppä sulkeutuvat estämään jo pumpatun veren valumisen taaksepäin kammioihin. [3.]

Sydänfilmiä eli elektrokardiografiaa (EKG) käytetään yleisesti kliinisissä tutkimuksissa. EKG:llä saadaan paljon tietoa sydämen toiminnasta, ja se on potilaalle täysin turvallinen. EKG mittaa sydämen supistumisen säätelystä vastaavia heikkoja sähköimpulsseja. Sähköimpulsseja syntyy noin joka sekunti sydämen eteisen seinämän solmukkeesta, josta se leviää sydämen eteisien kautta kammioihin. Näitä heikkoja sähkövirtauksia pystytään mittaamaan herkällä EKG-laitteella ja lopputuotoksena syntyy käyrä, jossa muutoksina näkyvät esimerkiksi rytmihäiriöt ja muut sydämen häiriöt (katso kuva 2). [4.]

EKG-laitteessa on kaksitoista eri kanavaa, jotka katsovat kahtatoista eri suuntaa sydäimestä. Tässä 12-kytkentäisessä EKG:ssä on kymmenen elektrodiä, joista kuusi elektrodiä kiinnitetään rintaan ja loput neljä elektrodiä mittaavat raajojen sähköimpulsseja. Muokkaamalla neljän raajakytkennän välisiä suuntia, saadaan kuusi eri katselusuuntaa sydäimestä. Elektrodiin paikat ovat standardit, sillä niiden sijainti vaikuttaa käyrän muotoon. Tämä helpottaa myös EKG:n tutkimusta, kun muutokset ovat vain tiettytyyppisiä. Nykyään EKG-laitteet osaavat lukea melko hyvin EKG-käyrää ja voivat jopa antaa suoraan ehdotuksia diagnoosista. Nämä diagnoosit eivät kuitenkaan välttämättä pidä täysin paikkansa, joten diagnoosin varmistaa aina lääkäri. [4.]



Kuva 2. EKG-käyrän osien nimet. [5]

Verenkiertojärjestelmän tehtävänä on toimia muun muassa ravintoaineiden, hengityskaasujen, aineenvaihduntatuotteiden ja vasta-aineiden kuljettajana. Sydäimestä veri kulkeutuu valtimoiden kautta pikkualtimoihin, jotka puolestaan haaroittuvat kudoksissa muodostaen hiusuoniverkoston. Hiusuonista veri kulkeutuu lopulta pikkulaskimoihin,

jotka yhtyvät suuremmiksi ja muodostavat lopulta onttolaskimot. Näistä veri virtaa takaisin sydämeen. Optimaaliset verenpainearvot ovat yläpaine (systolinen) alle 120 mmHg ja alapaine (diastolinen) alle 80 mmHg. [6; 7.]

Varsinaisia verenpaineen mittaustapoja ovat ammattihenkilön tekemä mittaus vastaanotolla, omatoiminen kotimittaus sekä verenpaineen vuorokausirekisteröinti. Vuorokausirekisteröinnillä tarkoitetaan olkavarsimansettia käyttämällä vuorokauden kestävä mittausjakso, jolloin verenpaine on ohjelmoitu mitattavan automaattisesti esimerkiksi puolen tunnin välein. Erilaisissa ympäristöissä ja eri mittaustavoilla voi tulla hieman erilaisia tuloksia, jotka täytyy huomioida verenpaineen tulkinnassa. Mittaukset tulisi tehdä kaksoismittauksina, eli mittaaminen toistetaan 1-2 minuutin kuluttua ensimmäisestä mittauksesta. [7.]

Verenpaineen lisäksi verta voidaan käyttää sykkeen selvittämiseen, sillä optisesti mitattu syke saadaan juurikin verisuonien kautta. Sydämen sykkeellä tarkoitetaan sydämen lyöntien nopeutta eli sydämen lyöntien määrää aikayksikössä. Yleensä aikayksikkönä käytetään lyöntiä/iskua minuutissa, josta voidaan käyttää englanninkielistä lyhennettä bpm (beats per minute). Kehon fyysiset tarpeet vaikuttavat sykkeen vaihteluun, kuten esimerkiksi hapenotto ja hiilidioksidin poistuminen sekä aineenvaihdunnan prosessit ja hormonaaliset reaktiot. Näiden lisäksi sykkeeseen vaikuttavia tekijöitä ovat kehon liikkeet, liikunta ja siitä palautuminen, uni sekä sairaudet. Myös esimerkiksi ahdistuneisuus, stressi ja lääkkeet vaikuttavat sydämen toimintaan. [8; 9.]

Normaalina aikuisen sydämen rytminä eli sinusrytminä pidetään yleensä 60-100 lyöntiä minuutissa, mutta usein mitä parempi aerobinen kunto on, sitä matalampi leposykekin on. Esimerkiksi hyväkuntoisen urheilijan normaali leposyke voi olla jopa alle 40 lyöntiä minuutissa. Terveistä miehistä 95 prosentilla leposyke on 43-93 lyöntiä minuutissa ja naisista 52-94 lyöntiä minuutissa. Kuitenkin esimerkiksi nukkuessa leposyke laskee ja normaalina voidaan pitää noin 40-50 lyöntiä minuutissa. Vaikka normaalin leposykkeen alue on laaja, voi erityisen matala tai korkea leposyke enteillä ongelmista. Varsinkin jos poikkeavan leposykkeen lisäksi usein esiintyy huimausta, pyörrytystä tai hengenahdistusta, kannattaa asiaa tutkia tarkemmin. [10; 11.]

2.1 Liian nopea tai liian hidas leposyke

Leposykkeen ollessa jatkuvasti yli 100 lyöntiä minuutissa, saattaa kyseessä olla takykardia eli tiheälyöntisyys (englanniksi tachycardia). Pitkään jatkuva takykardia voi aiheuttaa takykardiomyopatian eli pumppausvoiman heikkenemisen, josta seurauksena voi olla sydämen vajaatoiminta. Takykardiaa voidaan hallita ja jopa ehkäistä liikunnalla, terveellisellä ruokavaliolla ja tupakoimattomuudella. Ennen liikunnan aloittamista täytyy kuitenkin selvittää lääkäriltä sen turvallisuus, sillä joissain tapauksissa liian raskas liikunta voi olla henkilölle haitaksi. [11; 12.]

Jatkuvasti liian hidas leposyke voi puolestaan johtua bradykardiasta (englanniksi bradycardia), ja silloin leposyke on alle 60 lyöntiä minuutissa. Useimmiten liian hidasta leposykettä ei tarvitse hoitaa, ellei siitä aiheudu varsinaisia oireita, kuten huimausta. Näissä tapauksissa kyse on yleensä normaalista bradykardiasta. Urheilijoilla ja aktiivisesti liikkuvilla voi olla myös bradykardia. Heillä siitä ei kuitenkaan ole haittaa, koska harjoittelun ansiosta sydämen kyky pumpata verta tehokkaasti on kehittynyt eikä näin ollen tarvita yhtä paljon supistuksia kehon tarpeiden täyttämiseen. Aktiiviliikkujiilla normaali bradykardia voi siis olla myös merkki hyvästä yleiskunnosta. [13.]

2.2 Maksimisyke

Maksimisykkeeksi (HRmax, Heart Rate maximum) kutsutaan suurinta mahdollista sydämenlyöntien määrää minuutissa fyysisen maksimirasituksen aikana. Jokaisen maksimisyke on yksilöllinen ja siihen vaikuttavat ikä sekä perinnölliset tekijät. Maksimisykkeen selvittäminen helpottaa omien sykerajojen tai tehoalueiden määrittämistä, jolloin voi saavuttaa optimaalisen harjoitusvaikutuksen. Maksimisykkeen aliarvioimalla harjoittelee liian matalalla teholla, kun taas yliarvioimalla maksimisykkeen käyttää todennäköisesti liian korkeita sykerajoja. [14.]

Luotettavin tapa selvittää maksimisyke on sykkeenmittaaminen laboratoriossa valvoituissa olosuhteissa. Kuitenkin arvion maksimisykkeestä voi saada perinteisellä kaavalla ”220 – ikä”, joka on usein riittävän tarkka harjoitustehon määrittämiseksi. Kuntoilu ei juurikaan vaikuta maksimisykkeeseen, eikä maksimisyke kerro myöskään mitään henkilön kuntotasosta. [14.]

2.3 Sykevälivaihtelu

Sydämen syke vaihtelee sen jokaisella lyönnillä. Sykevälivaihtelu (HRV) tarkoittaa peräkkäisten sydämenlyöntien eli R-R intervallien välisen ajan vaihtelua. HRV-lukema kertoo, kuinka paljon keskiarvosykkeessä syke vaihtelee. Vaikka keskiarvosyke olisi 60 lyöntiä minuutissa, voi sydämenlyöntien välinen aika vaihdella 0,5 sekunnista jopa 2,0 sekuntiin asti. [15.]

Sykevälivaihteluun voidaan vaikuttaa aerobisella kunnolla. Hyväkuntoisen henkilön sydämen sykevälivaihtelu on usein suurta levossa. Myös ikä, perintötekijät, vartalon asento, terveydentila ja vuorokaudenaika vaikuttavat sykevälivaihteluun. Liikunnan aikana harjoituksen tehon ja sykkeen noustessa sykevälivaihtelu pienenee, samoin kuin henkisen stressin aikana. [15.]

Sykevälivaihtelua säätelee autonominen hermosto, parasympaattisen toiminnan lasiessa sykettä ja nostaessa sykevälivaihtelua, sympaattinen toiminta puolestaan nostaa sykettä ja laskee sykevälivaihtelua. Hermosto saa ristiriitaisia viestejä eri puolilta kehoa. Esimerkiksi sisäelinten happitaso voi olla riittävä, mutta lihakset saattavat tarvita lisää happea. Näihin ristiriitaisiin viesteihin hermosto reagoi ja muodostaa jatkuvasti muuttuvan keskiarvon, jonka perusteella muutoksia sykkeeseen tehdään. [15; 16.]

3 Sykkeen mittaaminen

Sykemittari on laite, jolla käyttäjä voi seurata reaaliaikaisesti tietoa omasta sydämen lyöntitiheydestään. Tämän perusteella voidaan esimerkiksi analysoida omaa liikuntasuoritustaan. Perinteisesti sykemittari sisältää rintakehän ympärille kiinnitettävän lähettimen ja ranteeseen kiinnitettävän vastaanottimen. Nykyään vaihtoehtoja on kuitenkin lukuisia ja syketietojen lisäksi sykemittarit tarjoavat paljon muitakin ominaisuuksia. [17.]

Tässä luvussa käydään läpi yleisesti liikunnassa käytetyt sykkeenmittausmenetelmät sekä muut mahdolliset tavat mitata sykettä. Luvussa kerrotaan myös, mistä eri menetelmät mittaavat sykettä, mitkä ovat niiden käyttötarkoitukset sekä mahdolliset ongelmat.

3.1 Sähköinen sykkeenmittaus

Sähköinen sykkeenmittaus tapahtuu rintakehän alueella ja siitä esimerkkinä toimii yleisesti käytetty sykevyö (katso kuva 3). Sykevyö asetetaan rintakehän ympärille ja se yhdistetään yleensä joko ranne- tai mobiililaitteeseen. Sykevyö lähettää sykesignaalit yhdistettyyn laitteeseen ja kykenee analysoimaan sydämen hetkellisen sykenopeuden reaaliajassa. Nykyään sykevöiden materiaali on mukava pitää päällä, ja se venyy sopivasti. Usein ne kestävät jopa uimista. Sykevöitä voidaan integroida myös älyvaatteisiin, kuten urheiluliiveihin tai biometrisiin vaatteisiin. [18.]

Sykemittaukseen käytettävän vyön toiminta perustuu sydämen sinussolmukkeen lähettämiin supistumiskäskyihin ja niistä syntyvien jännitteiden mittaamiseen. Sinussolmukkeen solujen sisä- ja ulkopinnoille syntyy jännite-ero, eli polarisaatio. Sydämessä syntyy sähköinen impulssi, kun jännite-ero laskee tiettyyn arvoon ja polarisaatio kääntyy. Millivolttien suuruinen impulssi voidaan nykyään mitata helposti kevyellä sykevyöllä. [18.]



Kuva 3. Tyypillisiä sähköiseen mittaukseen käytettäviä sykevöitä, joissa ulkonäkö on hyvin samanlainen, mutta tekniikka on erilaista.

Sykevyössä on elektrodit molemmilla puolilla rintaa ja lisäksi joissain malleissa voi olla liikeanturi. Toinen elektrodi on sykemittarin signaalimaassa ja toinen on jännitemittarin sisääntulona. Sykemittauksessa riittää, että piirin sykekäyrän huippukohtat saadaan mitattua. Usein sykekaistasta suodatetaan ulkopuoliset taajuudet pois, jonka jälkeen signaalia vahvistetaan 1000-kertaiseksi. Tämän ansiosta saatava mitattava jännite on volttiluokkaa. Mittarin ja sydämen välissä on vaihteleva määrä resistanssia eli kykyä vastustaa sähkövirtaa ja kapasitanssia eli kykyä tallentaa sähkövarausta. Mittarin sisääntulo-

impedanssi on kuitenkin riittävän suuri, ettei kehossa esiintyvillä resistanssilla ja kapasitanssilla ole merkitystä sykemittauksessa. [18.]

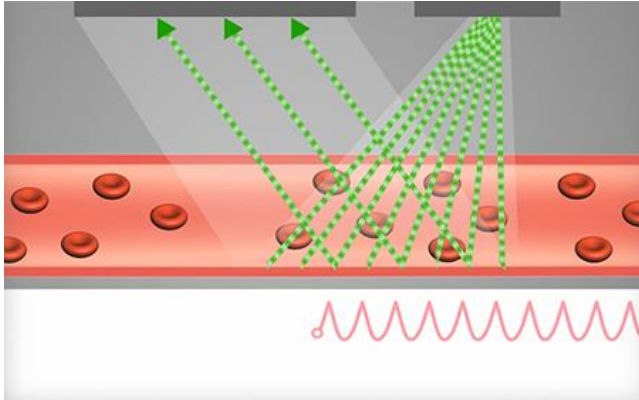
Komparaattori on yksi tapa, jolla sykkeen ilmaisu saadaan toteutettua. Tässä tapauksessa jännitteen ylittäessä tietyn liipaisutason aktivoituu lähetinyksikkö ja koodattu viesti lähtee sykemittarille. Lähetinyksikössä on erillinen paristo, josta saadaan käyttöjännite signaalien lähettämistä varten. Monissa lähetinvöissä käytetään ANT-tekniikkaa, jolla saadaan poistettua muiden sykevöiden aiheuttamat häiriösignaalit. [18.]

Suurimpia ongelmia sykevöiden käytössä ovat elektrodien kontaktien vaihtelut liikkuessa, kehon lihasten tuottama jännite sekä vaatteista johtuva hankaussähkö. Elektrodit toimivat yleensä parhaiten, kun ne kastellaan ennen jokaista käyttökertaa ja näin kontaktipinta saadaan paremmaksi heti alusta alkaen. [18.]

Toinen sähköistä sykkeenmittaustapaa hyödyntävä laite on Firstbeatin Bodyguard 2. Sykevyydestä poiketen Bodyguard 2:n elektrodit ovat kertakäyttöisiä, ja ne liimataan vastakkaisille puolille rintakehää. Laite on varsinaisesti suunniteltu vuorokauden kestäviä mittausta varten. [19.]

3.2 Optinen sykkeenmittaus

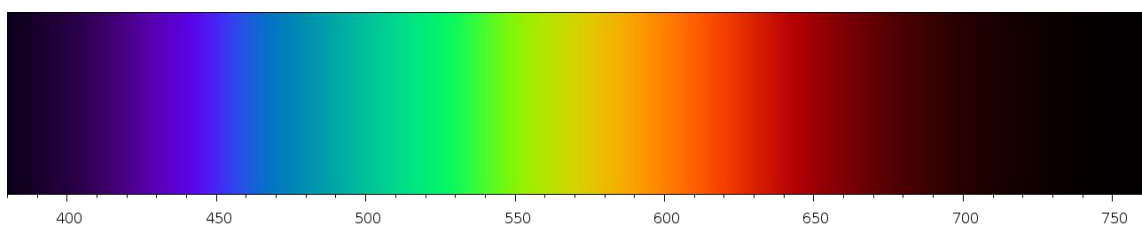
Optinen sykkeenmittaus tapahtuu ledin ja optisen anturin avulla. Ledin infrapunavalo valaisee käyttäjän ranteen ihoa, josta valo imeytyy, hajoaa ja heijastuu kudoksesta, luista, suonista ja valtimoista kuten kuvassa 4. Optisen anturin tehtävä on havaita nämä heikot heijastukset. Kudoksista ja luista heijastuva valo ei ole aikasidonnaista, joten tuotoksena syntyy vain tasavirtaista heijastusta. Kun sydän lyö, valtimoissa liikkuvasta verestä heijastuva valo muuttuu, joten tuloksena on vaihtovirtasignaali. Edistyneen signaalinkäsittelyn ansiosta DC-signaali eli tasavirta poistetaan ja jäljelle jääneestä heikosta AC-signaalista eli vaihtovirrasta lasketaan sydämensyke. Tämän prosessin tuotoksena on PPG-signaali eli fotoplethysmograafi. [20.]



Kuva 4. Led-valon ja optisen anturin toiminta. Alhaalla on verisuoni, jossa näkyy punasoluja, ylhäällä oikealla led-valo ja vasemmalla optinen anturi. [21]

Optisen laitteen PPG-signaalin tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä on useita. Näihin kuuluvat lähettimen ja anturin välinen etäisyys, lähettimen valon aallonpituus, järjestelmän herkkyys näissä aallonpituuksissa, ledin tuottaman valon määrä, lähettimien määrä ja niiden tuottama kohina järjestelmässä. Jokaisella käyttäjällä optimaalinen sykkeenmittaus ei välttämättä toimi yhtä luotettavasti, sillä tuloksiin vaikuttavat myös ihon pigmentit ja ranteiden fysiologia. Näistä syistä on tärkeää kokeilla optista sykemittaria myös henkilökohtaisesti, vaikka se ei jollakin toisella toimisikaan täydellisesti. [20.]

Aallonpituudella tarkoitetaan kahden vierekkäisen samassa vaiheessa olevan pisteen välistä etäisyyttä, esimerkiksi aallon kahden harjanhuipun välistä matkaa. Valon aallonpituusalueen silminnähtävissä olevaa värijakaumaa kuvaa näkyvän valon spektri. Ihmissilmä pystyy parhaiten näkemään keltaista tai kellanvihreää valoa aallonpituudella 555 nanometriä. Sormenpäältä tai korvasta mittaavan sykemittarin tyypillinen infrapunalähettimen aallonpituus on 850-940 nanometriä, joka on IR-alueella eli infrapuna-alueella. Kuvassa 5 nähdään näkyvän valon spektri, jossa ultraviolettivalo on ääri vasemalla ja infrapuna valo äärioikealla. [21; 22; 23.]



Kuva 5. Näkyvän valon spektri nanometri asteikkona. [24]

Ranteesta mittaamiseen nämä IR-lähttimet eivät ole optimaalisia, koska ranteessa ei ole yhtä paljon verta kuljettavia hiussuonia toisin kuten sormenpäässä tai korvassa. Vaa-leaihoisilla henkilöillä on havaittu tehokkaiksi ranteessa käytettäviksi ledeiksi vihreät, joissa valon aallonpituus on 525 nanometriä (katso kuva 6). Nämä eivät puolestaan tum-maihoisilla toimi yhtä hyvin, sillä tumma iho voi absorboida vihreitä aallonpituuksia. Tum-maihoisilla on havaittu toimivan parhaiten keltaisen valon alue, joka on 590 nanometriä. Parhaan sykkeenmittauksen aikaansaamiseksi kannattaa siis käyttää sekä vihreitä että keltaisia ledejä, vaikka tämä nostaakin sekä kustannuksia että tehonkulutusta. Paras sykkeen laskemisen signaali lasketaan kunkin yksilön kohdalla adaptiivisella tekniikalla, joka tunnistaa epäkelvon anturidatan mahdollistaen sykkeen jatkuvan tarkan mittaami-sen myös liikunnan aikana. [20.]



Kuva 6. Hyvä esimerkki optisesta sykemittarista on vasemmalla oleva Garminin Fenix 3 HR multisportkello kolmella vihreällä ledillä. Oikealla Cosinuss One, jossa on vain yksi vihreä led-valo.

3.2.1 Optisen sykemittarin kiinnittäminen

Optinen sykemittari kannattaa kiinnittää tarkasti, sillä huonosti kytketty sensori tai ledi voi vääristää tuloksia. Jos ihon ja laitteen välille jää ilmarako, saattaa tarkkuus heikentyä, kun taas liian kireälle asetettu ranneke heikentää verenvirtausta, mikä voi johtaa suu-rempaan epätarkkuuteen. Sopivan kireäksi asetettu joustava ranneke pysyy riittävän lähellä ihoa, mutta on silti miellyttävä pitää ranteessa. [20.]

Jos rannekkeessa on vain yksi ledi, se täytyy asettaa hyvin tarkasti, jotta mittauksen suorituskyky olisi paras mahdollinen. Kun käytetään kahta tai jopa kolmea lediä, saadaan

minimoitua rannekkeen sijainnin ja sen kääntymisen tuomat ongelmat mittaamisessa. Harjoittelussa tapahtuvalla kääntymisellä tarkoitetaan rannekkeen toisen reunan nousemista, jolloin vain toisessa reunassa on hyvä liitäntä, kun taas toisella puolella rannekkeen ja ihon väliin jää ilmaa. Kolmella ledillä saadaankin varmistettua paras mittaustarkkuus suuressa käyttäjäjoukossa. [20.]

3.2.2 Optisen mittauksen haasteet

Haasteita ranteesta sykkeen mittaavissa laitteissa ovat liikkumisen tuottamat häiriöt. Edistynyt signaaliprosessointi, joka toimii yhdessä kiihtyvyyssanturin kanssa, auttaa häiriöiden vaikutusten poistamisessa. Signaalinkäsittelyn algoritmit voivat hyödyntää kiihtyvyyssanturin dataa ja poistaa sellaisia sykkeen näytteitä, jotka sisältävät paljon kohinaa. Niiden avulla voidaan myös poistaa aktiivisesti kohinaa signaaleista. Vaikka nämä algoritmit olisivat käytössä, sykesignaali voi silti olla hetkellisiä katkoksia. Sykkeen jatkuvan tarkan mittaamisen myös liikunnan aikana mahdollistaa adaptiivinen algoritmi, joka tunnistaa virheellisen anturidatan. Dynaaminen algoritmi puolestaan muuttaa näytenopeutta sykenopeuden mukaan, jonka ansiosta mittaustarkkuus voidaan säilyttää vähentäen samalla rannekkeen tehonkulutusta. Ranteesta mittaavissa sykemittareissa myös tehonkulutus on tärkeässä roolissa, sillä ledien näytteistysteho ja häiriöiden aiheuttamien vaikutusten poistaminen kuluttavat huomattavasti akkua. Myös rannekkeen maksimikoko tulee helposti vastaan, joten sensorien määrä ja akun koko ovat rajallisia. [20.]

Liikuntamuodot, joissa käsi liikkuu epäsäännöllisesti, tekevät sykkeen ranteesta mittaamisesta haastavaa. Näitä ovat esimerkiksi tietyt mailapelit kuten sulkapallo. Mikäli mahdollista, kannattaa pitää sykemittari sen käden ranteessa, jolla ei käytä mailaa. Myös ranteeseen painetta aiheuttavat liikkeet, kuten leuanveto tai painonnosto, voivat vaikeuttaa sykkeen havaitsemista ranteesta. Näissäkin tapauksissa voi kuitenkin hyödyntää ainakin keskisykkeen ja syketrendien seuraamista. Kylmät olosuhteet voivat puolestaan heikentää ihon verenkiertoa niin runsaasti, että sensori ei pysty havaitsemaan tarkkoja lukemia. Tähän ratkaisu löytyy lämmittämällä ranteen ihoa tai harjoittelemalla niin, että ihon lämpötila nousee. [25.]

Yhteenvetona suurimmat haasteet optisessa mittauksessa ovat [26]:

- **Optinen kohina.** Vain murto-osa lähettimen valosta palaa optiseen anturiin, ja yleensä vain pieni osa tästä valomäärästä sisältää käyttökelpoista dataa verenvirtauksesta.
- **Ihonväri.** Erilaiset ihonvärit absorboivat valoa eri tavalla ja esimerkiksi tummempi iho absorboi enemmän vihreää valoa, jota usein käytetään paljon optisissa mittareissa. Myös tatuoinnit voivat aiheuttaa samoja ongelmia.
- **Anturin sijainti.** Kehon eri osat tuottavat optiselle mittaukselle erilaisia haasteita. Esimerkiksi ranteesta mitatessa optinen kohina on suurempaa kuin kyynärvarresta tai korvasta mitatessa.
- **Alhainen perfuusio.** Mikäli perfuusio eli verenkierro on heikompi, vaikuttaa se myös optisen laitteen toimintaan. Osalla ihmisistä on heikompi verenkierro varsinkin raajoissa, joissa optisia mittareita usein pidetään. Tähän voi olla syynä muun muassa lihavuus, diabetes tai sydänsairaudet.

3.3 Muut sykkeenmittaustavat

Sykettä voidaan mitata myös täysin ilman laitteita. Helpoiten sykkeen saa laskettua etu- ja keskisormella painamalla kevyesti rannevaltimosta, kaulavaltimosta tai kyynärtaipeesta. Sykkeen voi selvittää esimerkiksi 15 sekunnin ajalta laskemalla sormenpäissä tuntuvat sydämenlyönnit ja kertoa se tämän jälkeen neljällä, jolloin saadaan vakiolukema eli lyöntiä minuutissa. Käsien mitattu syke on kuitenkin vain suunta-antava ja laskuvirheitä tapahtuu helposti, joten siihen ei kannata täysin varauksetta luottaa.

Myös verenpainemittarit antavat sykelukeman. Verenpainella tarkoitetaan valtimoissa vallitsevaa painetta, joka syntyy sydämen supistuessa ja pumpatessa niihin verta. Verenpainemittarissa on olkavarren ympärille kiinnitettävä mansetti, johon pumpataan ilmaa. Kun mansetti alkaa puristaa olkavarren valtimoa kasaan, värttinävaltimon syke katoaa ranteesta. Verenpaine määrittäytyä, kun olkavarteen kohdistunutta painetta lasketaan ja kyynärtaipeen valtimosta voidaan kuunnella stetoskoopilla veren virtauksen aiheuttama virtausääntä. [27.]

Sykkeen voi selvittää myös kuuntelemalla. Varsinkin sikiöiden sydämen kuunteluun ja sykkeen selvittämiseen käytetään yleensä stetoskooppia. Myös aikuisten sydäntä voidaan kuunnella ja sillä voi nopeasti selvittää esimerkiksi sydämen rytmihäiriöitä. Stetoskoopilla kuuntelua kutsutaan auskultoinniksi, ja se on yksi lääkärin yleisimpiä tutkimuksia. Vaikka tapoja sydämen sykkeen selvittämiseksi on monenlaisia, on niillä kaikilla myös jotain yhteistä. Kaikki tavat tarvitsevat nimittäin kontaktin, jotta syke voidaan selvittää. Kontaktissa voi olla sormi, stetoskooppi tai vaikka elektrodi, mutta ilman kontaktia ei sykettä saa selville. [28.]

Vaikka erilaisia tapoja sykkeen selvittämiseksi on monia, ei niitä välttämättä voida hyödyntää kaikissa tilanteissa. Esimerkiksi liikunnassa sykkeenmittaaminen kuuntelemalla tai verenpainemittarilla on lähes mahdotonta, eikä sormilla tunnusteleminenkaan kuulosta kannattavalta. Tämän takia liikunnassa voidaankin käyttää erilaisia sykemittareita, jotka on suunniteltu varta vasten siihen tarkoitukseen. Niitä voi pitää päällä koko liikuntasuorituksen ajan ja valita mittarin kiinnityskohdan omien mieltymysten mukaan.

3.4 Yhteenveto

Taulukossa 1 näkyy yhteenvetona yleisimmät sykkeenmittaustavat ja niiden käyttötarkoitus. Sähköisesti ja akustisesti syke mitataan rintakehästä, mutta optisesti ja mekaanisesti mahdollisia mittaushohtia on useita.

Akustinen sydämen kuuntelu on ainut menetelmä, jota ei yleensä käytetä kotiloissa, vaan ainoastaan ammattilaisen toimesta. Kaikkia muita menetelmiä voidaan hyödyntää helposti arkielämässä. Sekä sähköisesti että optisesti käytettyjä sykemittareita näkee päivittäin esimerkiksi kuntosaleilla ja ryhmäliikuntatunneilla.

Taulukko 1. Sykkeenmittausmenetelmät.

Menetelmä	Kontaktialue	Käyttökohteet
Sähköinen	Rintakehä	Arkiaktiivisuus, liikunta, EKG-analyysi
Optinen	Ranne, korva, otsa, kyynärvarsi	Arkiaktiivisuus, liikunta, happisaturaatio
Mekaaninen	Ranne, kaula, kyynärtaive	Verenpainemittarit, kliininen status
Akustinen	Rintakehä	Sydämen kliininen tutkimus

4 Sykemittarit liikunnassa

4.1 Sykemittareiden kehitys

Idea modernista sykemittarista syntyi hiihtoladulla vuonna 1975. Tuolloin ei vielä voitu mitata tarkasti sykelukemia harjoittelun aikana, joten tuleva elektroniikan professori Seppo Säynäjäkangas aloitti asian tutkimisen. Vuonna 1977 hän perusti Polar Electro Oy:n tutkimuksen ja kehittämistyön jatkamiseksi, tavoitteena valmistaa kaupallinen sykemittari. Viiden vuoden tutkimus ja kehitystyö tuottivat tulosta, sillä vuonna 1982 esiteltiin maailman ensimmäinen langaton sykemittari. Kaksi vuotta myöhemmin markkinoille tuli seuraava langattoman sykemittarin sukupolvi, joka tarjosi käyttäjälleen tietokonepohjaisen analyysimahdollisuuden eikä sykkeitä enää tarvinnut kirjoittaa manuaalisesti muistiin. [29; 30.]

Vuoteen 1987 mennessä Polar Electro Oy oli kehittänyt harrasteliikkujiille suunnattuja malleja, joissa oli vähemmän ominaisuuksia ja halvempi hinta. Näin sykemittarit laajenivat huippu-urheilijoilta myös tavallisten kuntoilijoiden pariin. Tähän mennessä myös monet muut yritykset olivat tulleet sykemittarimarkkinoille, mutta osalla heistä teknologia oli kopioitu Polarin tuotteista, joten ne olivat aina yhden sukupolven jäljessä. 1990-luvulla markkinoille tuli kehittyneempien sykemittarien lisäksi muun muassa harjoitusanalysointiohjelmia. [29; 30.]

2000-luvulla sykemittareiden kehitys on jatkunut, ja markkinoille tulee uusia malleja vuosittain. Erilaisia ominaisuuksiakin on tullut jatkuvasti lisää, sillä tarjolla on sykkeenmittauksen lisäksi navigointi, energiankulutus, askeltiheys ja -pituus, aktiivisuudenmittaus

sekä valtava valikoima erikoisempia ominaisuuksia. Näitä voivat olla esimerkiksi melonnassa vetojen määrä sekä vetotahti ja golfissa etäisyys viheriölle. Suuria sykemittarivalmistajia ovat esimerkiksi suomalaiset Polar Electro Oy ja Suunto sekä ulkomaalaiset Garmin ja Fitbit. [30; 31.]

Kiihtyvyyssantureiden kehittymisen myötä tulivat aktiivisuusrannekkeet markkinoille vaihtoehdona esimerkiksi syke- ja askelmittareille. Laitteita tuli myyntiin vuoden 2013 aikana ja nykyään niitä tarjoaa lähes jokainen sykemittarivalmistaja. Aktiivisuusrannekkeen tekniikka perustuu kiihtyvyyssanturin liikkeentunnistukseen, ja se kannustaa käyttäjää arkiaktiivisuuden lisäämiseen. Usein aktiivisuusrannekeisiin voidaan lisätä sykkeenmittaus, esimerkiksi erillisen sykevyön avulla. [32.]

4.2 Sykkeenmittaus liikunnassa

Miksi sykettä ylipäätään kannattaa mitata liikunnassa? Omaa tavoitetta kohti harjoittelu helpottuu, kun treenaa juuri sopivan kovaa. Liian kevyt harjoittelu ei välttämättä kehitä pidemmän päälle, kun taas liian kova harjoittelutahti saattaa viedä kaiken energian ja ajaa lopulta jopa ylikuntoon. Sykemittarin avulla voi esimerkiksi pyöräillä juuri oikealla sykealueella kehittäen omien tarpeiden mukaan, vaikka aerobista kuntoa tai maksimoidulla rasvanpoltoa (katso kuva 7). Samalla näkee suorituksen aikana sykkeestä, kuinka hyvin keho on valmis liikuntasuoritukseen juuri sillä hetkellä. Sykemittari ei myöskään valehtele vaan kertoo sekä hyvät että huonot tiedot kehosta. Vaikka olotila voisi olla paras mahdollinen, saattaa harjoittelun aikana syke nousta reilusti normaalia korkeammalle ja vihjata levon tarpeesta. Se toimii myös toisinpäin, sillä joskus hyvinkin väsynyt olotila saattaa muuttua, kun huomaa kevyen palauttavan lenkin muuttuvan helposti kunnon treeniksi. [16.]

Sykkeenmittaus auttaa myös liikunnasta palautumisen hallintaan. Liiallisesta lepäämisestä harvoin on haittaa, mutta liian vähäinen lepo on pitkittyneenä haitallista. Huomauttamatta arkikiireet, työstressi ja liian kovat treenit saattavat nostaa palautumistarpeet tavallista korkeammalle. Sykemittauksen avulla voi huomata piilevän rasituksen tavallista korkeammasta leposykkeestä, mutta usein se näkyy myös liikunnassa. Alkava rasiustila voi näkyä sykkeen tavallista nopeammasta noususta harjoituksen alussa tai syke voi muuten käyttäytyä epänormaalisti harjoittelun aikana. Lepo voi olla sekä aktiivista että

passiivista. Passiivisella levolla tarkoitetaan liikunnan keskeyttämistä kokonaan eli sitä tarvitaan silloin, jos harjoittelu on täysin ylittänyt elimistön rajat. Passiivista lepoa voi jokin hyödyntää myös lyhyinä jaksoina. Aktiivinen lepo puolestaan tarkoittaa niin kevyttä liikuntaa, ettei se lisää kehon rasitusta ollenkaan, vaan lähinnä tehostaa palauttaviin mekanismien toimintaa. Tässä voidaan hyödyntää sykemittaria hyvin jarruna, ettei syke pääse liian korkeaksi. [16.]

		Harjoittelun sykealueet					
		Ikä					
		20	30	40	50	60	70
Lyöntiä minuutissa	100 %	200	190	180	170	160	150
		Maksimi (Maksimisuorituskyky)					
	90 %	180	171	162	153	144	135
		Raskas (Aneerobinen)					
	80 %	160	152	144	136	128	120
		Keskiraskas (Aerobinen)					
	70 %	140	133	126	119	112	105
	Kevyt (Painonhallinta, peruskestävyys)						
60 %	120	114	108	102	96	90	
	Erittäin kevyt (Terveysliikunta, lämmittely)						
50 %	100	95	90	85	80	75	

Kuva 7. Suuntaa-antavat sykealueet harjoittelussa.

Eri tasoille harjoittelijoille sykemittarista on yleensä hyötyä eri tavalla. Aloitelijat hyötyvät syketiedoista, kun oppivat yhdistämään niitä omiin tuntemuksiin kehon toiminnasta. Tämä saattaa madaltaa aloituskynnystä ja auttaa liikunnan käynnistämisessä järkevästi. Aktiiviliikkujiilla ongelmana on yleisimmin liian kova harjoittelu. Syketiedoilla voidaan kanavoida energia tehokkaasti, joten harjoittelu tuottaa nopeammin kehitystä ja liikkuminen on mukana pysyvästi. Urheilija puolestaan tarvitsee sykemittaria viedessään harjoitteluaan ääri rajoille. Tarkoilla syketiedoilla urheilija voi etsiä omia todellisia rajojaan hallitummin ja helpommin. [16.]

4.3 Aiempi tutkimustieto

Testien tuloksista on syntynyt ennakko-oletuksia varsinkin aiempien testien perusteella. Esimerkiksi Valtteri Seraste havaitsi vuonna 2016 opinnäytetyössään, että ranteesta mitattu syke optisella sykemittarilla tuottaa hyvinkin luotettavia tuloksia sekä päivittäisissä askareissa että kuntoillessa. Opinnäytetyössä näkyi, miten eri henkilöillä tehtyjen testien tulokset vaihtelevat reilusti. Kuntoilutilanteessa tehtyjen testien perusteella sykearvot ranteesta mitattuna olivat melkein yhtä tarkkoja kuin referenssilaitteella. Kuitenkin suorituksissa, joissa käsien liikkeet kasvoivat, tallentui myös huomattavan paljon vääriä sykearvoja. Myös Firstbeatin Bodyguard 2 toimi näissä testeissä ongelmitta, joten sen luotettavuuteen oli suuret odotukset. [33.]

Optista sykemittaria on verrattu aiemminkin sykevyöhön. Kolmessa erilaisessa pyörätestissä verrattiin niiden toimintaa sekä sisällä että ulkona. Sisällä tehdyt testit kuntopyörällä näyttivät muutamaa pientä poikkeusta lukuun ottamatta samankaltaisia tuloksia. Lopputuloksien keskiarvokin oli lähes sama, sillä ranteesta mitattu syke oli vain aavistuksen korkeampi. Ulkona tehdyt testit maantiepyörällä ja maastopyörällä näyttivät puolestaan eroavan huomattavasti. Vaikka ranteesta mitattu syke erosi sykemittarin tuloksista, lopulliset keskiarvot ja maksimi- sekä minimisykkeet olivat hyvin lähellä toisiaan. Tutkimuksen lopussa suositeltiin sykevyötä niille, jotka tarvitsevat todella tarkat sykearvot treenatakseen juuri oikealla sykealueella. Muille puolestaan ranteesta mitatun sykkeen sanottiin olevan todennäköisesti riittävän tarkka. [34.]

Tutkimuksia on tehty myös vertaamalla pelkästään ranteesta optisesti sykkeen mittaavia sykemittareita keskenään. Tässä tutkimuksessa kymmentä erilaista sykemittaria verrattiin kokonaisuuden perusteella. Verrattavia ominaisuuksia olivat muun muassa sykkeen mittaaminen, aktiivisuuden mittaaminen, akun kesto ja tarjolla olevat toiminnot. Esimerkiksi sykkeenmittaamista testattiin käyttäjäryhmällä, joka koostui eri-ikäisistä, eri sukupuolta olevista ja erikuntoisista ihmisistä. Käyttäjät kokeilivat jokaista sykemittaria yhden päivän ajan ja suorittivat sen aikana myös erilaisia liikuntasuorituksia, kuten hölkkäämistä ja potkunyrkkeilyä. [35.]

Sykemittareiden sykearvoja verrattiin manuaalisesti mitattuihin sykearvoihin, jotta saatiin selville eri mittareiden tarkkuus. Testissä käytettyjen mittareiden sykemittaustarkkuus oli

kaikilla yli 90 prosenttia. Tarkimmalla laitteella se oli noin 97 prosenttia ja alhaisin tarkkuus oli 92 prosenttia. Sykkeenmittaustarkkuus oli kuitenkin vain yksi verrattava ominaisuus, eivätkä kaksi tarkinta sykemittaria päässeet kokonaisuudessa kolmen kärkeen. Tuloksista paistaa esille, että hinnan ja laadun välillä on yhteys. Testin nimittäin voitti laite, joka maksoi yli 300 euroa enemmän kuin toiseksi kallein laite ja melkein 380 euroa enemmän kuin testin halvin laite. Testistä pystyttiin kuitenkin hyvin todistamaan optisten mittareiden tarkkuus. Siitä voitiin myös havaita, että tarkkuuteen vaikuttivat suuresti, miten käyttäjät pitivät laitetta päällään ja minkälaisia liikuntasuorituksia tehtiin. [35.]

Toisessa tutkimuksessa verrattiin erilaisia optisesti ranteesta sykkeen mittaavia sykemittareita ja yhtä sykevyötä EKG:n sykearvoihin. Testin aikana istuttiin, käveltiin ja juostiin. Testien perusteella luotettavimpana pidettiin sykevyötä, joka oli aina 1-2 lyönnin sisällä EKG:n tuloksista. Sykevyö myös reagoi sykkeenmuutoksiin nopeammin kuin muut laitteet. Optiset mittarit pärjäivät testissä myös hyvin, sillä esimerkiksi kävellessä osa mittareista sai yhtä tarkkoja tuloksia kuin sykevyö. Suurimmat erot tulivat juostessa, jossa kaikki optiset mittarit mittasivat hieman epätarkempia sykearvoja EKG:n sykearvoihin verrattuna. Erot olivat kuitenkin hyvin pieniä, sillä juostessakin erot EKG-tuloksiin olivat vain 2-4 lyöntiä minuutissa, kun sykevyön erot olivat 1-2 lyöntiä minuutissa. [36.]

5 Tutkimuksen tarkoitus ja menetelmät

Tutkimuksen tarkoituksena oli sykearvojen mittaaminen ja vertailu neljällä eri mittarilla erilaisissa kuntoilutilanteissa. Ajatuksena oli, että eri mittareiden välillä tulisi mahdollisesti eroja sykkeen vaihdellessa jatkuvasti. Ennakko-oletuksena oli, että kaikki laitteet eivät välttämättä nouse samaan maksimisykkeeseen tai niiden leposyke ei laske yhtä matalaksi. Osan mittausten ennakoitiin myös reagoivan sykkeen nousuihin ja laskuihin hitaammin kuin toisten. Omana ajatuksena oli, että sykevyö tai Firstbeatin mittari reagoisivat tarkimmin sykemuutoksiin ja mahdollisesti heikoimmin toimisi Cosinuksen korvasensori. Muiden tutkimusten perusteella arveltiin, että ranteesta mitattu optinen syke toimi muuten melko hyvin, mutta käsien liikkeiden kasvaessa myös epätarkkuus kasvaisi.

5.1 Testaussuunnitelma

Alkuperäisenä suunnitelmana oli tehdä testit kymmenelle eri henkilölle ja mitata sykearvoja viidellä laitteella samanaikaisesti. Laitteina oli tarkoitus käyttää Garminin Fenix 3 HR, Polarin Loop 2 + sykevyö, Firstbeatin Bodyguard 2, Cosinuksen One sekä LifeBeam Smart hat. Näillä laitteilla sykearvoja olisi mitattu ranteesta, otsasta, korvasta ja rintakehästä sykevyöllä sekä Firstbeatin sensorilla. Kymmenen eri henkilön mittaaminen olisi tuonut tutkimukseen yhden muuttujan ja näkökulman lisää, mutta lisännyt mahdollisia ongelmatilanteita. Mikäli jokin laitteista ei olisi toiminut testin aikana, olisi tämä testi jouduttu uusimaan, ja riski siihen on huomattavasti suurempi kuin käytettäessä vain yhtä testihenkilöä useaan kertaan. Tämän takia on myös oma hyötynsä saman henkilön testaamisella, varsinkin jos aikataulu testien suhteen on tiukka.

Yksi suunnitelluista laitteista jätettiin pois, kun LifeBeam veti älylippiksensä pois verkkosivuiltaan. Myös yhteydenpito koko yritykseen oli hyvin haastavaa, eikä tuotetta saatu tilattua. Vastaavaa tuotetta ei markkinoilta vielä silloin löytynyt, vaikka myöhemmin keväällä olikin tulossa toinen otsasta sykettä mittaava laite markkinoille [37]. Myös toisen laitteen tilauksessa ilmeni ongelmia, kun toimitusaika venyi luvatusa neljästä päivästä yli kuukauteen. Koska Firstbeatin laitteiden laina-aika oli rajallinen, jäi lopulta testien tekemiseen alun perin suunnitellun usean viikon sijaan tasan yksi viikko. Kymmenen testisuoritusta tehtiin siis seitsemän päivän aikana, eli kolmena päivänä testit jouduttiin tekemään kahdesti. Kahden testin päivinä jätettiin testien väliin vähintään kolmen tunnin tauko ja muita testiin kuulumattomia liikuntasuorituksia tehtiin vasta päivän testien jälkeen.



Kuva 8. Erilaisia liikuntasuorituksia testattiin Helsingin Töölö Gymillä.

Yksittäinen testi kesti 30 minuuttia, joka sisälsi lyhyiden liikuntasuoritusten lisäksi lämmittelyn ja useita siirtymisiä. Testit tehtiin Helsingissä Töölö Gymillä (katso kuva 8). Suurimmassa osassa suorituksissa oli vakioidut suoritusnopeudet, esimerkiksi kävelyssä 4 kilometriä tunnissa ja pyöräilyssä 150 wattia sekä 80 kierrosta minuutissa. Lopuissa liikkeissä suoritustahti oli vapaa, mutta liikkeet tehtiin reippaasti. Liikkeiden suoritusjärjestys oli identtinen testikertojen välillä. Testiprotokolla suunniteltiin omien mieltymysten ja muiden vastaavanlaisten tutkimusten protokollien perusteella. Kokonaisaika rajattiin kohtuullisen lyhyeksi ja erilaisia liikuntasuorituksia otettiin mukaan mahdollisimman paljon. Testin alussa ja lopussa mitattiin myös leposyke istuen (katso taulukko 2).

Taulukko 2. Opinnäytetyön testiprotokolla.

Suorite	Kesto (min)	Ajoitus (s)
Leposyke istuen	1	0-60
Lämmittely kuntopyörällä	5	60-360
Siirtyminen	1	360-420
Kävely juoksumatolla 4 km/h	3	420-600
Juoksu juoksumatolla 10 km/h	3	600-780
Siirtyminen	1	780-840
Pyöräily kuntopyörällä 150 W, 80 RPM	3	840-1020
Siirtyminen	1	1020-1080
Crosstrainer 120 W, 110 SPM	3	1080-1260
Siirtyminen	1	1260-1320
Sisäsoutu	3	1320-1500
Siirtyminen	1	1500-1560
Kuntopiiri (punnerrus 30 s, vatsarutistus 30 s, kyykky 30 s, X-hyppy 30 s)	2	1560-1680
Istuminen	2	1680-1800

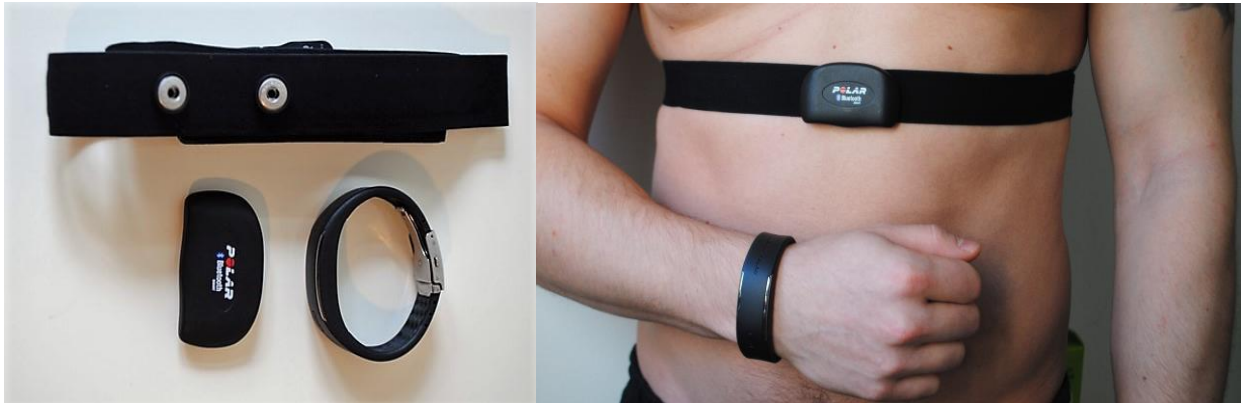
5.2 Testilaitteet

Garmin Fenix 3 HR on multisportkello, jota voi hyödyntää melkein missä tahansa liikuntamuodossa (kuva 9). Sykettä voi mitata ranteesta optisesti tai halutessaan yhdistää kellon sykevyöhön ja mitata sykkeen sähköisesti sen kautta. Erilaisia ominaisuuksia on valtavasti, eikä niistä hyödynnetty tässä tutkimuksessa kuin sykkeenmittaus. Kello on ranteessa melko kookas, mutta vapauttaa käyttäjän halutessaan täysin muista välineistä, kuten sykevyöstä ja älypuhelimesta.



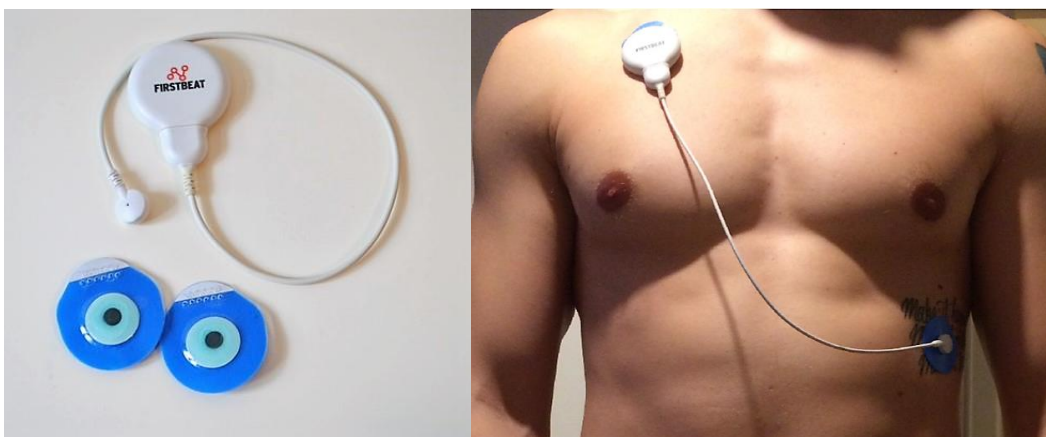
Kuva 9. Garmin Fenix 3 HR.

Polar Loop 2 on aktiivisuusranneke, jota käytetään päivän aktiivisuuden tarkkailuun (kuva 10). Pelkästään ranneke on varsinaisissa liikuntasuorituksissa melko hyödytön, mutta yhdistämällä sen sykevyöhön siitä saa paljon enemmän irti. Tässä tutkimuksessa käytimme sykevyön kautta saatuja syketietoja, eikä laitetta muuten hyödynnetty. Itse ranneke on hyvin pienikokoinen ja sitä voisi helposti käyttää pidempäänkin.



Kuva 10. Polar Loop 2 ja sykevyö.

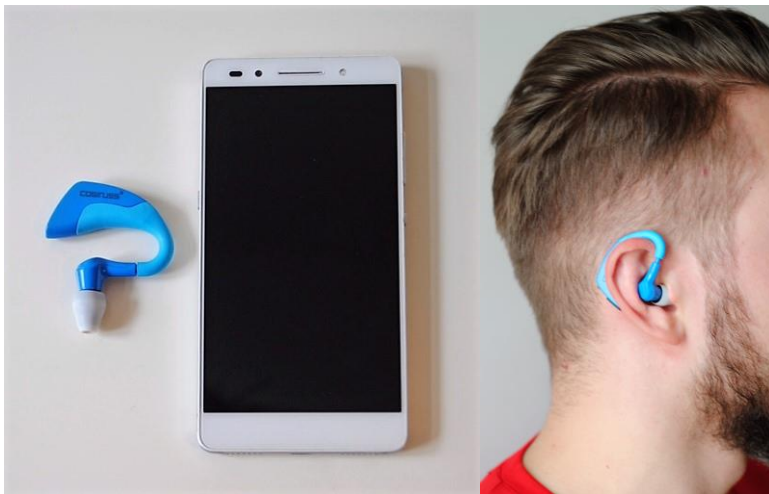
Firstbeat Bodyguard 2 -anturi on pienikokoinen ja painaa vain 24 grammaa. Laite kiinnitetään kahdella kertakäyttöisellä elektrodilla rintakehään, toinen oikealle puolelle solisluun alle ja toinen vasemmalle puolelle alempien kylkiluiden kohdalle (kuva 11). Bodyguard 2:lla voidaan tehdä sekä lyhyt- että pitkäkestoisia mittauksia, mutta se on varsinaisesti suunniteltu 24 tunnin mittauksia varten. Anturi mittaa sykevaihteluanalyysin avulla autonomisen hermoston toimimista. Mittaustiedoista voidaan analysoida esimerkiksi harjoitusten vaikutusta, palautumista, unen syvyyttä ja stressireaktioita. [19; 38.]



Kuva 11. Firstbeat Bodyguard 2 ja kertakäyttöiset elektrodit. [33]

Cosinuss One on pienin ja kevyin sykemittari maailmassa, sillä se painaa vain 6 grammaa ja vie noin neljä neliösenttimetriä tilaa. Laitteessa käytetään optista sykkeenmittaus-tekniologiaa. Cosinuss One asetetaan korvalehden ympärille, ja sen sensori menee korvakäytävään samalla tavalla kuin nappikuuloke (kuva 12). Sydämen sykkeen lisäksi laite mittaa sykevälivaihtelua ja kehon lämpötilaa. Tulevien versioiden on suunniteltu mittavan myös veren happipitoisuutta. Cosinuss One voidaan yhdistää mihin vain urheilukelloon tai älypuhelimeen, jossa on joko Bluetooth- tai ANT+-yhteys. [39.]

Cosinuss Onen vahvuuden väitetään olevan juurikin korvakäytävän mittauspiste ja sen mittaustarkkuus. Ranteista, sormista ja korvalehdestä mitattaessa etäisyys päähän tai rintakehään on pidempi ja myös verta liikkuu näillä alueilla vähemmän, joka lisää epätarkkuuksia. Lisäksi pään liikkuminen on vähäisempää ja hitaampaa kuin raajojen. [39.]



Kuva 12. Cosinuss One ja käyttämiseen tarvittava älypuhelin.

Taulukossa 3 on yhteenveto insinööriyössä käytetyistä laitteista. Sykemittareista kaksi mittasi sykkeen optisesti ja kaksi sähköisesti. Taulukossa näkyy myös muun muassa laitteiden painot, jotka olivat 6-90 gramman väliltä.

Taulukko 3. Testilaitteiden tekniset tiedot.

Laite	Kiinnityskohta	Mittausmenetelmä	Koko	Paino	Muuta
Garmin Fenix 3 HR	Ranne	Optinen	51x51x16 mm	86 g	Vedenkestävä
Polar Loop 2 + sykevyö	Ranne + Rintakehä	Sähköinen	145-240x20x11 mm + sykevyö	38g + 40g	
Firstbeat Bodyguard 2	Rintakehä	Sähköinen	68x47x11 mm	24 g	Tarkoitettu vuorokausimittauksiin
Cosinuss One	Korva	Optinen	45x38x18 mm	6 g	Tarvitsee älypuhelimien sovelluksen

5.3 Datan käsittely

Data käsiteltiin Pythonin Notebook-ohjelmalla (versio Python 3.6.0 | Anaconda 4.3.1). Pythonin Notebook on interaktiivinen laskennallinen ympäristö, jossa voi yhdistää koodin suorittamisen matematiikkaan, tekstitykseen ja erilaisiin kaavioihin ja kuviin. Pythonin avulla varsinaista dataa ei tarvinnut puhdistaa erikseen ylimääräisestä tiedosta, jota ei tässä tutkimuksessa tarvittu. Sen pystyi suoraa tekemään komentojen avulla. Esimerkiksi jokaisesta Cosinuss One -testidatasta karsittiin testihenkilön kehon lämpötila. Sykearvot oli tallennettu joko CSV- tai TCX-tiedostoina ja ne ladattiin Pythoniin sellaisenaan. Ohjelman avulla pystyttiin myös ajastamaan eri mittareiden sykearvot oikeille kohdilleen toisiinsa verrattuna, sillä eri mittareiden tallennustulokset olivat hieman eripituisia. [40.]

Pythonin Notebookissa määriteltiin perusasetusten jälkeen, miten testien data luetaan, mistä tallennusmuodosta se ladataan ja mitä tietoja koko datasta halutaan käyttöön. Jokaisen laitteen datan keräämiselle tarvittiin spesifioitu komentoketju. Tämän jälkeen ladattiin kaikkien sykemittareiden testit Pythoniin ja niistä valittiin aina yhden testin tulokset kerralla vertailuun.

Tämän jälkeen ohjelmassa hyödynnettiin ristikorrelaatiota, jotta saatiin selville eri mittareiden tulosten yhteneväisyys. Ohjelma teki automaattisen korjausehdotuksen eri mittareiden signaalien sovittamiseksi, mutta tarvittaessa sitä muokattiin jälkepäin. Ristikorrelaatio eli liukuva pistetulo kertoo kahden eri aaltomuodon samankaltaisuuden sen jälkeen, kun aallot on ajastettu oikein. Muiden mittareiden tuloksia verrattiin myös Polarin tuloksiin pistekuvaajan avulla. Kuvaajassa sovitettiin kahden laitteen sykearvot toisiinsa

nähden ja mitä lähempänä sykearvot olivat toisiaan, sitä lähempänä lopputulos näytti nousevalta suoralta. Jos sykearvot olivat hyvin erilaisia toisiinsa nähden, saatiin suoran sijaan kuvaaja täynnä sekalaisia pisterykelmiä ja yksittäisiä pisteitä. Samalla tavalla saatiin myös jokaisen laitteen korrelaatiokertoimet toisiinsa nähden ja ne asetettiin tauluk-
koon.

Kohdistetuista suorista saatiin tarkka kuvaaja, jossa näkyy kaikki sykearvot kyseisen tes-
tin aikana. Koska kyseinen kuvaaja oli melko epäselvä, tehtiin seuraavasta kuvaajasta
kahdenkymmenen näytteen keskiarvo. Tämä kuvaaja oli huomattavasti selkeälu-
sempi ja siinä eri mittareiden sykearvot on merkitty kahdenkymmenen näytteen välein,
jolloin pienimmät muutokset saadaan karsittua pois.

Lopuksi tulostettiin kaksi eri kuvaajaa, joista molemmista näkyy muiden mittareiden eroa-
vaisuudet verrattuna sykevyön arvoihin. Tämän lisäksi kasattiin taulukko, jossa on lue-
teltuna muun muassa kaikkien mittareiden maksimi- ja minimiarvot, koko testin keskiar-
vosyke sekä sykkeen standardiväli. Koko Python-koodi on nähtävissä liitteessä 1.

6 Tulokset

6.1 Käyttökokemukset

Ensimmäinen reaktio laitteista oli positiivinen. Laitteiden kytkeminen ja käyttäminen vai-
kutti helpolta, vaikka täytyi käyttää neljää laitetta samanaikaisesti. Sykevyö ja Firstbeatin
sensori alkoivat tallentaa syketietoja välittömästi laitteiden kytkemisen jälkeen, mutta ne
olivat silti miellyttävintä pukea päälle jo pukukopissa. Tämän takia laitteiden tallentaman
datan alusta täytyi poistaa aika, jolloin siirryttiin pukukopista testin aloituspaikalle. Gar-
minin multisportkello ja Cosinuss One puolestaan pystyttiin kytkemään päälle vasta suo-
rituspaikalla, joten testin tallennus alkoi juuri oikeaan aikaan. Tämä helpotti huomatta-
vasti testin toteuttamista, mutta normaalisti harjoiteltaessa sillä ei välttämättä ole merki-
tystä. Myöskään testin päättämistä ei voitu tehdä kaikilla laitteilla samanaikaisesti, joten
pieniä eroja syntyi ja ne jouduttiin myöhemmin hiomaan kuntoon.

Jo ensimmäisen testin aikana huomattiin, että Cosinuksen korvasensorin signaali kat-
kesi epäsäännöllisin väliajoin. Vaikka yhteys oli ensin maksimissa, saattoi se hetkeä

myöhemmin kadota täysin, vaikka tehtiin vain lämmittelyä kuntopyörällä. Katkokset saattoivat kestää muutamasta sekunnista jopa melkein minuuttiin. Katkoksia huomattiin tahtuvan enemmän kuitenkin liikkeissä, joissa oli enemmän tärähtelyä. Näitä liikkeitä olivat esimerkiksi juoksu ja kuntopiiri. Oletuksena oli, että sensori korvakäytävässä ei pysynyt riittävän hyvin paikoillaan, vaikka pään liikkuminen olisi ollut lähes olematonta. Syyinä saattoi olla myös vääränkokoinen sensori, vaikka koko oli valittu Cosinuksen suositusten mukaan.

Testeissä käytettiin kokoa M, jonka piti olla sopiva alle 30-vuotiaalle ja 178-senttiselle testihenkilölle. Myös kokoa L kokeiltiin, mutta sen huomattiin olevan täysin rikkinäinen, eikä sitä saatu edes päälle. On mahdollista, että käyttämällä kokoa S tai L sensori olisi toiminut paremmin. Myös toisella testihenkilöllä koko M olisi voinut olla juuri oikea. Cosinuss oli tehnyt tutkimusta suosituskoosta ja saanut myös asiakkailta palautetta asiasta. Ihmisen korvakäytävän kokoa on vaikea mitata, ja se voi vaihdella runsaasti myös muuten samankokoisten henkilöiden välillä. Tämän takia oikean koon löytäminen vaatisi jokaisen vaihtoehdon testaamista itse. Cosinuksen korvasensori tuntui myös yleisesti melko huteralta korvassa ja sen ympärillä, eli suuremmat tärähdykset olisivat voineet liikuttaa sensoria, vaikka se olisi ollutkin juuri oikean kokoinen. Cosinuss One olisi pitänyt voida kiinnittää tukevammin korvan taakse.

Muut laitteet tuntuivat pysyvän hyvin paikallaan. Sykevyö täytyi kiinnittää sopivan kireälle, ettei se liikkuisi, ja tämän takia se aiheutti pientä kiristämistä. Myös Garminin multisportkello täytyi kiinnittää riittävän tiukalle ranteeseen, ettei se heiluisi kesken testien. Laite tuntui pysyvän paikallaan testin ajan, mutta tiukasti kiinnitetty isokokoinen kello voisi olla mukavampikin. Yleisesti ottaen kellon pitäminen oli kuitenkin riittävän miellyttävää, että sitä voisi käyttää treenatessa. Firstbeatin Bodyguard 2 kiinnitettiin kertakäyttöisillä elektrodeilla kahteen kohtaan kehoa. Toinen kiinnitettiin oikean solisluun alapuolelle ja toinen vasemman rintalihaksen alapuolelle. Elektrodeissa oli liimapinta, ja ne pysyivät hyvin paikallaan. Myös niiden pitäminen oli miellyttävää. Vain poistettaessa iholle jäi hienoa liimaa ja sitä oli vaikea saada pois. Bodyguard 2 on kuitenkin suunniteltu vuorokauden kestäviin mittauksiin, eikä varsinaisesti pelkästään yksittäisten liikuntasuoritusten tallentamiseen.

Verrattaessa testissä käytettyjä optisia sykemittareita eli Garminin Fenix 3:a ja Cosinuksen Onea, ensimmäisenä tulee mieleen kokoero. Garminin suureen rannekelloon mahtuu varsinkin paljon ominaisuuksia, mitä ei tässä testissä mitattu, mutta myös jonkin verran testiin vaikuttavia asioita. Näitä ovat esimerkiksi akun kesto ja optiikan määrä. Kummankaan akkua ei tarvinnut ladata viikon aikana, mutta kellon akkuun jäi huomattavasti enemmän kapasiteettiä. Kellossa oli myös 3 lediä, jotka tekevät sykkeenmittauksesta huomattavasti luotettavamman kuin vain yhden led-valon korvasensorista. Tietysti mittareita käytetään eri paikoissa kehoa, ja se vaikuttaa varmasti myös ledien tarpeeseen. Kuitenkaan korvasensori ei mielestäni pysy niin hyvin paikoillaan, etteikö useammasta ledistä olisi hyötyä katkosten estämiseksi.

Taulukko 4. Sykemittareiden käyttökokemukset.

Laite	Päällä pitämisen mukavuus	Päällä pitämisen haittapuolet	Laitteen käyttäminen	Tallentamisen aloitus ja lopetus
Garmin Fenix 3 HR	Hyvä	Hieman kiristävä ja isokokoinen	Helppo (monimutkaisin)	Manuaalinen
Polar Loop 2 + sykevyö	Hyvä	Sykevyö hieman kiristävä	Helppo	Automaattinen
Firstbeat Bodyguard 2	Hyvä	Jättää elektrodien liiman ihoon	Helppo	Automaattinen
Cosinuss One	Hyvä	Tuntuu huteralta korvassa	Helppo	Manuaalinen

6.2 Sykearvojen välinen korrelaatio

Kymmenestä testistä jouduttiin yksi jättämään vertailusta kokonaan pois, koska Firstbeatin dataa testistä kolme ei löytynyt lainkaan. Näin ollen tuloksia vertailtiin yhdeksästä testistä, joista osassa yksittäisten laitteiden data oli puutteellista katkosten takia. Dataa saatiin kokonaisuudessaan kuitenkin riittävästä, että syketietoja pystyttiin vertailemaan vakuuttavasti.

Taulukko 5. Sykearvojen korrelaatio suhteessa Polarin sykevyyden antamiin tuloksiin.

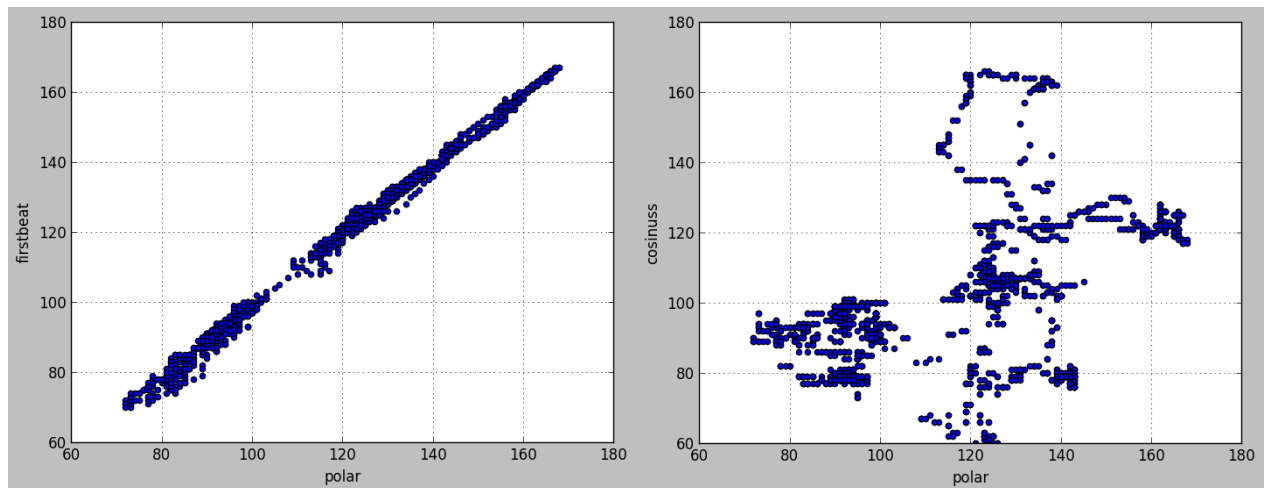
	Garmin	Firstbeat	Cosinuss
Testi 1	0,972	0,774	0,761
Testi 2	0,909	0,093	0,879
Testi 4	0,987	0,616	0,890
Testi 5	0,963	0,996	0,801
Testi 6	0,966	0,728	0,555
Testi 7	0,980	0,528	0,318
Testi 8	0,926	0,998	0,381
Testi 9	0,950	0,997	0,145
Testi 10	0,963	0,995	0,313
Keskiarvo	0,957	0,747	0,560
Standardihajonta	± 0,024	± 0,287	± 0,265

Taulukosta 5 näkyy kuinka, Garminin, Firstbeatin ja Cosinuksen laitteiden tuloksia verrataan Polarin sykevyyden tuloksiin. Korrelaatiokerroimet kertovat, kuinka samankaltaisia sykearvoja saatiin jokaisen testin aikana verrattuna sykevyyöhön. Mitä suurempi kerroin, sitä lähempänä laitteen sykearvot olivat sykevyyttä kyseisessä testissä. Garminin keskiarvoksi tulee noin 0,96 eli mittaustulokset olivat kokonaisuudessaan hyvin lähellä Polarin sykevyyden tuloksia. Alin korrelaatiokerroin löytyy testistä kaksi ja lähimpänä sykevyyden sykearvoja Garmin oli testissä neljä. Kaiken kaikkiaan taulukon perusteella Garminin testitulokset olivat hyvin vakuuttavia ja jatkuvasti samankaltaisia, sillä vain kahdesta testistä kertoimeksi tuli alle 0,95.

Firstbeatin keskiarvoksi tuli noin 0,75. Tämä tulos yllätti, sillä Firstbeat mitattiin myös rintakehästä ja sen pitäisi antaa hyvin luotettavia sykearvoja. Neljä yhdeksästä testistä antoi korrelaatiokertoimeksi yli 0,99, eli ne olivat melkein täysin samankaltaisia Polarin sykearvojen kanssa. Loput testit antoivat kuitenkin paljon huonompia tuloksia, ja yksi testi antoi kertoimeksi jopa alle 0,1; joka poikkesi keskiarvosta yli kolmen standardihajonnan verran. Jos testi kaksi jätetään pois laskuista, saadaan keskiarvoksi 0,829 ja standardihajonnaksi 0,181. Osasyynä näihin ovat puuttuvat sykearvot, sillä useammasta testidatasta puuttui jostain kohtaa testiä sykearvoja. Syynä saattoi olla elektrodien huono kontakti, vaikka ulospäin laite näytti toimivan moitteetta. Laitteen palautuksen jälkeen selvisi myös, ettei sitä oltu päivitetty ennen opinnäytetyön testejä ja tästä on voinut johtua ainakin ongelmat testien ajastusten kanssa.

Cosinuss One antoi keskiarvoksi noin 0,56 eli mittaustulokset erosivat huomattavan paljon sykevyyden tuloksista. Taulukosta 5 näkyy, kuinka parhaimmillaan korrelaatiokerroin

on noin 0,89 ja huonoimmillaan se on noin 0,1. Jostain syystä Cosinuksen neljän ensimmäisen testin sykearvot olivat melko lähellä sykevyön arvoja, mutta viimeisten testien tulokset olivat todella heikkoja. Suurimpana syynä näin isoihin sykearvoeroihin on Cosinuksen heikko signaali, jonka takia oikeita sykearvoja ei saatu jatkuvien katkosten takia. Parhaimmillaan Cosinuss antoi siis sykevyöhön verrattuna hyvinkin samankaltaisia sykearvoja, mutta pidempiaikainen käyttö näytti sen, ettei se ainakaan opinnäytetyön testihenkilöllä toiminut lainkaan luotettavasti.



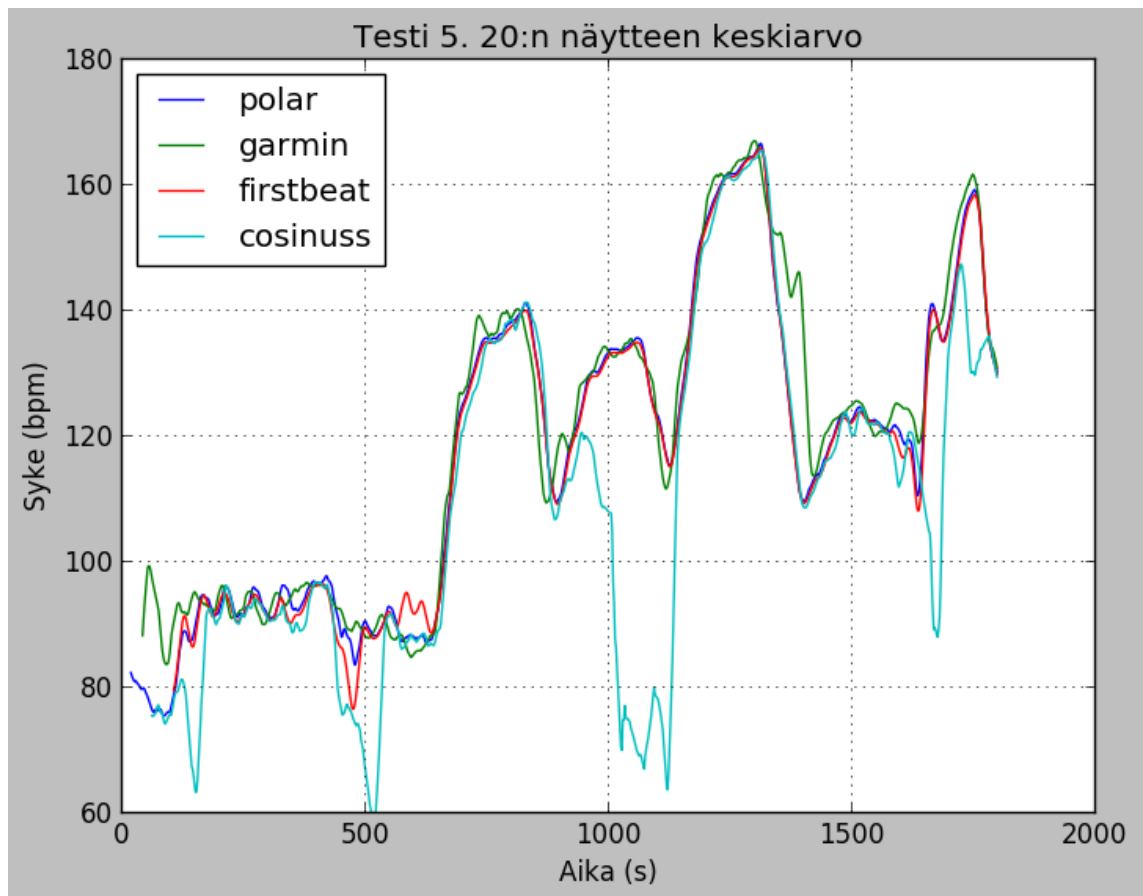
Kuva 13. Esimerkki korrelaatiokuvaajasta (testi 8). Vasemmalla Firstbeat ja oikealla Cosinuss suhteessa Polarin sykearvoihin.

Kuvassa 13 näkyy testin kahdeksan korrelaatiokuvaajat pistemallinnuksena. Kuvassa on verrattu Firstbeatin ja Cosinuksen sykearvoja Polarin sykearvoihin. Kuvasta on helppo havaita, miten samankaltaisia Firstbeatin tulokset ovat tässä testissä verrattuna Polariin. Vasen puoli on siis hyvä esimerkki, miten lähes identtiset sykearvot näkyvät korrelaation pistekuvaajana. Pisteet ovat nousevan suoran muodossa eivätkä juurikaan poikkeava suorasta linjasta.

Kuvan 13 oikealla puolella näkyy puolestaan, miltä näyttävät korrelaation pistekuvaajana hyvin erilaiset ja toisistaan poikkeavat testitulokset. Pisteet eivät muodosta lainkaan nousevan suoran näköistä kuvaajaa, vaan niitä on ripoteltu epätasaisesti ympäri kuvaa. Myös taulukosta viisi voi katsoa testin kahdeksan korrelaatiokertoimia Firstbeatin ja Cosinuksen kohdalta. Taulukon kertoimista voi päätellä saman asian, joka näkyy tässä kuvassa kolmetoista. Tämän kuvan perusteella voi helposti päätellä, miltä taulukon muiden korrelaatiokertoimien kuvaajat näyttäisivät.

6.3 Sykearvojen visuaalinen vertailu

Python Notebookin avulla raakadatasta suodatettiin kahdenkymmenen näytteen keskiarvosta kuvaaja, jossa näkyvät kaikkien testilaitteiden sykearvot. Neljän laitteen sykearvojen kuvaajat ovat hyvin paljon päällekkäin, joten pelkistettyä kuvaajaa on huomattavasti helpompi tulkita. Kuvasta 14 näkyy eri laitteiden sykearvot, kun data on tallentunut kokonaisuudessaan hyvin. Testin viisi data tallentui keskimääräistä paremmin, sillä kaikkien sykearvot näkyvät testin alusta loppuun asti.

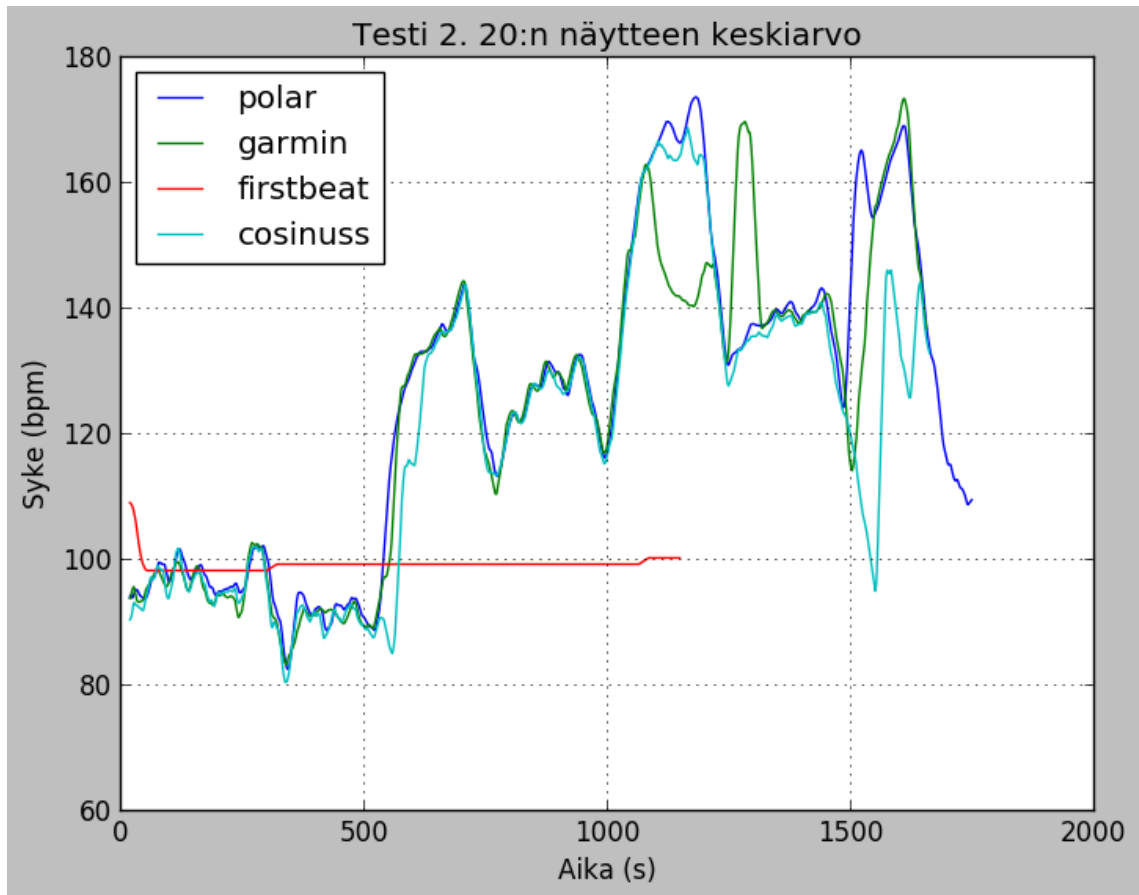


Kuva 14. Keskiarvoistettu kuvaaja testistä 5, jossa sykearvot ovat tallentuneet keskimäärin hyvin.

Kuvasta 14 näkyy, että Firstbeatin ja Polarin tulokset ovat lähes identtiset ja pelkän testin viisi perusteella molempia voidaan pitää todella luotettavina. Kuvassa näkyy myös, miten Cosinuss Onen sykearvot välillä putoavat reilusti, joko hetkellisesti tai pidemmäksi aikaa. Syy näihin oli joko todella heikko tai täysin katkennut signaali. Ilman signaalikatkoja näkyy kuitenkin, että myös Cosinuss One seuraa muiden laitteiden sykekäyrää melko hyvin.

Garminin kohdalla näkyy, kuinka sykearvot seuraavat hyvin sykevyön sykearvoja. Pientä vaihtelua on kuitenkin huomattavissa ja enimmäkseen eroavaisuutena on hieman korkeammat sykearvot paikoittain. Jo testien aikana huomattiin, kuinka ranteesta mitattu syke oli välillä hieman korkeampi kuin muiden laitteiden mittaama syke. Myös tästä kuvasta 14 voi sen havaita. Lisäksi kuvaajasta voi huomata, miten ranteesta mitattu syke saattaa laskea hieman muita hitaammin, kun tullaan kuvaajan korkeimmasta kohdasta alaspäin. Yleisesti ottaen Garminin Fenix 3 HR tallensi sykearvoja luotettavasti ja reagoi sykkeenmuutoksiin todella hyvin. Ennako-oletuksien perusteella varsinkin testin lopussa oleva kuntopiiri olisi saattanut tuottaa Garminin laitteelle ongelmia, mutta sitä ei tässä havaittu. Pientä eroavaisuutta sykevyön tuloksiin oli, mutta tässä testissä sykearvojen eroja oli tasaisesti koko testin ajan.

Pelkän testin viisi tuloksien perusteella laitteista voisi suositella käytettäväksi kaikkia paitsi Cosinuss One -korvasensoria. Varsinkin tavalliselle kuntoilijalle näistä pienistä eroista muiden laitteiden välillä ei ole haittaa, vaan kokonaisuutena kolme laitetta toimivat testissä todella hyvin. Jos puolestaan tarvitaan todella tarkkoja sykearvoja, kannattaa myös miettiä, onko Garminin ranteesta mitattu syke riittävän luotettava. Ranteesta mitattu sykekeskiarvo on tämän testin perusteella hieman korkeampi kuin muilla laitteilla.



Kuva 15. Testin 2 kuvaaja, jossa on suurempia eroja sykearvoissa.

Kuvassa 15 näkyvät testin kaksi pelkistetyt sykearvot. Kuvasta voidaan heti huomata, että Firstbeatin data on täysin epäonnistunut. Se on antanut tasaisia sykearvoja osan testiä ja katkennut kokonaan ennen testin päättymistä. Polar Loop 2 -sykevyöllä antaa tässäkin testissä luotettavan näköisiä sykearvoja eikä mitään omituisia piikkejä tule testin aikana.

Garmin seuraa sykevyön arvoja melko hyvin testin alussa, mutta puolenvälin jälkeen alkaa näkyä erilaisia heilahduksia. Noin 1100 sekunnin kohdalla Garminin sykearvot eivät nouse ylös asti, mutta Polarin ja Cosinuksen sykearvojen laskiessa näkyy Garminin kohdalla yksittäinen korkea sykepiikki. Myös aivan testin lopussa näkyy, kuinka ranteesta mitattu syke nousee ensin hitaammin kuin sykevyöllä mitattu syke, mutta Garminin syke nousee kuitenkin vielä korkeammalle kuin minkään muun laitteen mittaama syke. Nuo kaksi suurinta virhettä tapahtuivat crosstrainerin ja kuntopiirin aikana, eli juuri silloin, kun käsien liike oli suurempaa kuin muun testin aikana.

Kuvassa 15 näkyy, kuinka Cosinuss Onella tulee testin kaksi aikana vähemmän katkoksia kuin testissä viisi. Vain aivan testin lopussa näkyy pieniä virhearvoja. Muuten testin ajan korvasensori seuraa hyvin sykevyön sykearvoja. 500 sekunnin jälkeen Cosinuss Onen sykearvot nousevat hieman hitaammin verrattuna sykevyöhön ja ranteesta mitattuun sykkeeseen. Myös 1100 sekunnin huippukohdassa näkyy, että korvasensorin sykearvot ovat hieman alhaisempia kuin sykevyön sykearvot. Kokonaisuudessaan testi onnistui Cosinuss Onen osalta oikein hyvin.

Tässä testissä kaksi näyttäisi sykevyö olevan omaa luokkaansa. Sekä syke ranteesta että korvasta ovat keskimäärin melko luotettavia, mutta eivät pärjää vertailussa sykevyöhön. Firstbeatin kohdalla testi epäonnistui täysin, eikä sitä voi edes ottaa vertailuun mukaan.

Taulukko 6. Kaikkien testien keskiarvosykkeet ja standardihajonnat.

	Polar	Garmin	Firstbeat	Cosinuss
Testi 1	123 ± 25	126 ± 26	118 ± 24	119 ± 30
Testi 2	125 ± 25	123 ± 24	99 ± 2	120 ± 24
Testi 4	126 ± 24	126 ± 24	139 ± 15	121 ± 26
Testi 5	117 ± 24	119 ± 24	118 ± 23	109 ± 27
Testi 6	122 ± 26	121 ± 26	116 ± 23	107 ± 27
Testi 7	119 ± 25	119 ± 25	104 ± 18	74 ± 23
Testi 8	119 ± 24	119 ± 23	118 ± 25	98 ± 26
Testi 9	119 ± 25	122 ± 24	116 ± 25	74 ± 18
Testi 10	119 ± 23	120 ± 22	118 ± 24	88 ± 22
Keskiarvo	121 ± 25	122 ± 24	116 ± 21	101 ± 25

Taulukko 6 näyttää kaikkien opinnäytetyössä käytettyjen laitteiden jokaisen erillisen testin keskiarvosykkeen ja myös keskiarvon kaikista yhdessä. Lisäksi keskiarvon jälkeen kerrotaan tämän testin standardihajonta eli millä sykealueella suurin osa testistä tallennettiin tällä mittarilla. Tämän taulukon perusteella voidaan helposti todeta, mikäli jokin laite antaa jatkuvasti korkeampia tai matalampia sykearvoja kuin muut laitteet. Taulukosta kolme voidaan myös vahvistaa kuvien yksitoista ja kaksitoista päätelmiä.

Polarin sarakkeessa näkyy hyvin tasaisia keskiarvosykkeitä välillä 116-127 lyöntiä minuutissa. Garminilla puolestaan voi havaita vielä vähemmän muutosta eri testien välillä, sillä keskiarvosykkeitä saatiin välillä 119-127 lyöntiä minuutissa. Kaikkien Garminin testien keskiarvoksi tulee vain alle yksi lyönti minuutissa enemmän kuin Polarin sykevyöllä.

Firstbeatin sarakkeessa näkyy suurempaa vaihtelua, sillä keskiarvosykykeitä tallennettiin väliltä 99-140 lyöntiä minuutissa. Vaikka ääripäät ovatkin ainakin osittain epäonnistuneista testeistä Firstbeatin kohdalla, voi taulukosta 6 nähdä, miten vähän täysin samankaltaisia keskiarvosykykeitä saatiin verrattuna Polariin ja Garminiin. Kokonaiskeskiarvoksi saatiin jo huomattavasti matalampi tulos eli noin 116 lyöntiä minuutissa. Cosinuss Onen keskiarvosykykkeet olivat säännöllisesti muiden laitteiden tuloksia alhaisempia, jos jätetään huomioimatta Firstbeatin toisen testin tulos. Syykin on täysin selvä, sillä jokaisessa testissä tuli vähintään yksi katkos, jonka aikana korvasensorilla tallennettiin todella alhainen sykepiikki. Kokonaiskeskiarvoksi saatiin 101 lyöntiä minuutissa, joka eroaa reilusti muiden laitteiden tuloksista.

Taulukko 7. Sykearvojen keskimääräinen poikkeama sekä poikkeamien standardihajonta suhteessa Polarin sykevyyden antamiin tuloksiin.

	Garmin	Firstbeat	Cosinuss
Testi 1	-0,8 ± 6,0	0 ± 15,6	-3,9 ± 19,4
Testi 2	-2.1 ± 10,6	-16.7 ± 23,2	-5.5 ± 12,1
Testi 4	-0.3 ± 3,8	0.9 ± 14,4	-5.8 ± 11,8
Testi 5	2,1 ± 6,6	-0.6 ± 2,2	-8.5 ± 16,5
Testi 6	-0,8 ± 6,8	-5,5 ± 18,7	-16 ± 25,3
Testi 7	-0,1 ± 5	-23,1 ± 19,7	-42,6 ± 27,7
Testi 8	-0,2 ± 9,2	-1 ± 1,6	-19 ± 27,9
Testi 9	2 ± 7,7	-1,1 ± 1,9	-55,9 ± 24,9
Testi 10	0,6 ± 6,2	-0,7 ± 2,3	-34,9 ± 25,4
Keskiarvo	0,1 ± 7,2	-5,3 ± 13,9	-21,3 ± 21,1

Taulukossa 7 näkyy, miten muiden mittareiden keskiarvoja ja standardihajontaa on verrattu sykevyyden tuloksiin. Keskiarvosta voi päätellä, miten paljon tietyn mittarin sykearvot erosivat sykevyyden tuloksista sekä yhden testin että kaikkien testien osalta. Lisäksi standardihajonta kertoo, miten paljon eri mittareiden hajonta erosi sykevyyden standardihajonnasta. Lopussa näkyy vielä kaikkien testien keskiarvot niin sykearvojen kuin standardihajonnan osalta.

Garminin keskiarvo oli hyvin lähellä Polarin keskiarvoa. Ainoana laitteena se on saanut aavistuksen korkeampia arvoja kuin sykevyydellä mitattuna. Firstbeatilla on saatu kokonaisuudessaan hieman matalampia sykearvoja kuin Polarilla ja Cosinuksella on saatu huomattavasti matalampia sykearvoja. Näihin syyinä on kuitenkin ainakin osittain sykemittareiden katkokset testien aikana. Varsinkin Cosinuksen katkokset jokaisessa testissä laskevat keskiarvosykykettä huomattavasti ja samalla nostavat standardihajontaa.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä testattiin neljä eri sykkeenmittauslaitetta kymmenen testikerran aikana. Jokaisella testikerralla tehtiin identtinen 30 minuuttia kestävä harjoitus, jonka aikana kaikki laitteet olivat samanaikaisesti tallentamassa sykettä. Laitteina käytössä oli Garmin Fenix 3 HR, Polar Loop 2 ja sykevyö, Firstbeat Bodyguard 2 sekä Cosinuss One. Eri laitteiden mitattuja sykearvoja vertailtiin keskenään ja analysoitiin niiden eroja. Ongelmiksi nousivat yhteyshäiriöt, sillä sekä Cosinuss One:n että Firstbeat Bodyguard 2:n mittauksissa havaittiin harvinaisen paljon puuttuvia syketietoja. Polar Loop 2 ja Garmin Fenix 3 HR tallensivat molemmat jokaisessa testissä samankaltaisia tuloksia, joskin Garmin mittasi välillä hieman korkeampia sykkeitä ja reagoi sykkeenmuutoksiin hieman hitaammin. Luotettavimpana mittarina pidettiin sykevyötä. Myös Bodyguard 2:n huomattiin mittaavan melkein identtisiä tuloksia sykevyön kanssa, kunhan testi tallentui kokonaan ilman katkoksia.

Tutkimuksen voisi toistaa myös useammalle henkilölle ja seurata, miten samat laitteet toimisivat eri henkilöillä. Sitä kautta voisi selvittää, jos osa laitteista toimisi paremmin toisilla testihenkilöillä verrattuna tämän tutkimuksen tuloksiin. Kiinnostavaa olisi ottaa tutkittavaksi myös lisää sykemittareita. Varsinkin sellaiset mittarit, jotka mittaavat sykearvoja eri kohdasta kehoa kuin tässä tutkimuksessa käytetyt sykemittarit. Esimerkiksi otsasta ja kyynärvarresta mittaavien laitteiden lisäksi olisi hyvä testata jokin toinen korvakäytävästä mittaava sykemittari, koska tässä insinööriyössä käytetyn laitteen signaalin kanssa oli ongelmia.

Vaihtoehtoisesti tutkimusta voisi jatkaa tutkimalla myös muita sykemittareiden ominaisuuksia, kunhan riittävän monesta laitteesta löytyisivät samat mahdollisuudet. Esimerkiksi usealla mittarilla tehty palautumisen mittaaminen kuulostaa mielenkiintoiselta. Muita vaihtoehtoja voisivat olla unenlaadun mittaaminen tai päivittäisen kalorinkulutuksen mittaaminen. Insinööriyötä voidaan käyttää hyödyksi, kun suunnitellaan sykemittarin ostamista. Testidataa tullaan hyödyntämään tulevaisuudessa myös Metropolian ope-
tuskäytössä.

Lähteet

- 1) Puettavien hyvinvointilaitteiden toimitukset. Verkkojulkaisu, Statista.com. < <https://www.statista.com/statistics/302725/healthcare-wearables-shipments-worldwide/> > 27.3.2017.
- 2) 2015 vuosiraportti. Verkkojulkaisu, Garmin. < http://www8.garmin.com/about-Garmin/invRelations/reports/2015_Annual_Report.pdf > 27.3.2017.
- 3) Sydämen toimintavaiheet. Verkkojulkaisu, Sydän.fi. < <http://www.sydan.fi/terveys-ja-hyvinvointi/sydamen-toimintavaiheet> > 13.4.2017.
- 4) EKG. Verkkojulkaisu, Terveyskirjasto.fi. < http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=snk03210 > 23.2.2017.
- 5) Sinusrytmi. Verkkojulkaisu, Wikipedia. < https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/SinusRhythmLabels_fi.svg > 23.3.2017.
- 6) Verenkierto. Verkkojulkaisu, Solunetti.fi. < <http://www.solunetti.fi/fi/histologia/verenkierto/> > 13.4.2017.
- 7) Verenpaine. Verkkojulkaisu, Sydän.fi. < <http://www.sydan.fi/terveys-ja-hyvinvointi/verenpaine#verenpaineen-mittaaminen> > 10.3.2017.
- 8) Sykevälivaihtelu. Verkkojulkaisu, Firstbeat. < <https://www.firstbeat.com/fi/fysiologia/sykevaihdtelu/> > 29.1.2017.
- 9) Sydämen syke. Verkkojulkaisu, Wikipedia. < https://en.wikipedia.org/wiki/Heart_rate > 29.1.2017.
- 10) Sydämen syke. Verkkojulkaisu, Mayoclinic.org. < <http://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/fitness/expert-answers/heart-rate/faq-20057979> > 29.1.2017.

- 11) Sydämen rytmihäiriöt. Verkkajulkaisu, Sydän.fi. < <http://www.sydan.fi/sydansairaudet-ja-hoito/sydamen-rytmihairiot> > 30.1.2017.
- 12) Takykardia. Verkkajulkaisu, Livestrong.com. < <http://www.livestrong.com/article/429634-can-you-exercise-with-tachycardia/> > 31.1.2017.
- 13) Bradykardia. Verkkajulkaisu, Healt.harvard.edu. < <http://www.health.harvard.edu/heart-health/bradycardia> > 31.1.2017.
- 14) Maksimisyke. Verkkajulkaisu, Polar. < http://support.polar.com/fi/Tuki/Maksimisyke_HRmax > 22.2.2017.
- 15) Sykevälivaihtelu. Verkkajulkaisu, Polar. < http://support.polar.com/fi/tuki/Sykevalivaihtelu_HRV > 22.2.2017.
- 16) Pysyvään kuntoon GPS-sykemittarin avulla. Juhapekka Tukiainen, 2012.
- 17) Tuotteet. Garmin. < <https://buy.garmin.com/fi-FI/FI/cIntoSports-p1.html> > 7.2.2017.
- 18) Sykemittarin lähetinvyö. Verkkajulkaisu, Kompo2010.wikispaces.com. < <https://kompo2010.wikispaces.com/Sykemittarin+L%C3%A4hetinvy%C3%B6> > 15.2.2017.
- 19) Tuotteet. Firstbeat. < http://shop.firstbeat.fi/all-products/body-guard.html#.Wkl_an_cdL8 > 19.2.2017.
- 20) Kuinka suunnitella sykemittari ranteeseen? Verkkajulkaisu, Etn.fi. < http://etn.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=3458:kuinka-suunnitella-sykemittari-ranteeseen&catid=26&Itemid=140 > 8.2.2017.
- 21) Näkyvän valon spektri. Verkkajulkaisu, Wikipedia. < https://fi.wikipedia.org/wiki/N%C3%A4kyv%C3%A4n_valon_spektri > 23.3.2017.

- 22) Aallonpituus. Verkkajulkaisu, Wikipedia. < <https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength> > 23.3.2017.
- 23) Valo. Verkkajulkaisu, Wikipedia. < <https://fi.wikipedia.org/wiki/Valo> > 23.3.2017.
- 24) Näkyvän valon spektri. Verkkajulkaisu, Wikipedia. < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear_visible_spectrum_ciecam02.png#/media/File:Linear_visible_spectrum_ciecam02.png > 23.3.2017.
- 25) Polarin ranteesta tehtävän sykkeenmittauksen perusteet. Verkkajulkaisu, Polar. < http://support.polar.com/fi/tuki/polarin_ranteesta_teht_v_n_sykkeenmittauksen_perusteet > 15.2.2017.
- 26) Optinen sykkeenmittaus. Verkkajulkaisu, Valencell. < <http://valencell.com/blog/2015/10/optical-heart-rate-monitoring-what-you-need-to-know/> > 22.3.2017.
- 27) Verenpaine. Verkkajulkaisu, Sydän.fi. < <http://www.sydan.fi/terveys-ja-hyvinvointi/verenpaine#verenpaineen-mittaaminen> > 10.3.2017.
- 28) Sivüääni sydämessä. Verkkajulkaisu, Ebm-guidelines.com. < http://www.ebm-guidelines.com/dtk/syd/avaa?p_artikkeli=syd00209 > 19.4.2017.
- 29) Sykettä elämään – Sykemittarin käyttö kuntoilussa ja urheilussa. Sally Edwards, Raija Laukkanen, 1993.
- 30) Innovaatiot. Verkkajulkaisu, Polar. < https://www.polar.com/fi/tietoa_polarista/keita_olemme/innovaatiot > 7.2.2017.
- 31) Tuotteet. Garmin. < <https://buy.garmin.com/fi-FI/FI/cIntoSports-p1.html> > 7.2.2017.
- 32) Vertailussa aktiivisuusrannekkeet: Polar, Garmin ja FitBit. Verkkajulkaisu, Teknavi.fi. < <http://teknavi.fi/elektroniikka/vertailussa-aktiivisuusrannekkeet-polar-garmin-ja-fitbit> > 17.4.2017.

- 33) Evaluation of Accuracy and Usability of Optical Heart Rate Sensor in Daily Life and Sports, Seraste V. Opinnäytetyö, Theseus.fi. < <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016112116643> > 27.3.2017.
- 34) Ranteesta mitattu optinen syke verrattuna sykevyyllä mitattuun sykkeeseen. Verkkojulkaisu, Bikeradar.com. < <http://www.bikeradar.com/gear/article/how-accurate-is-wrist-based-heart-rate-vs-hr-strap-48458/> > 5.4.2017.
- 35) Parhaat sykemittarit vuonna 2017. Verkkojulkaisu, Tiptenreviews.com. < <http://www.tiptenreviews.com/health/senior-care/best-heart-rate-monitor-watches/> > 16.4.2017.
- 36) Kenellä on tarkin sykemittari? Verkkojulkaisu, Tomsguide.com. < <http://www.tomsguide.com/us/heart-rate-monitor,review-2885.html> > 16.4.2017.
- 37) Tuotteet. Moov.cc. < <http://store.moov.cc/products/moovhr-sweat> > 2.3.2017.
- 38) Mega Elektroniikka Oy:n sykevaihteluanturit käyttöön Venäjän jääkiekkoliigoihin. Verkkojulkaisu, Tekel.fi. < <http://www.tekel.fi/ajankoh-taista/?x95000094=96556409> > 19.2.2017.
- 39) Cosinuss. < <https://www.cosinuss.com/en> > 19.2.2017.
- 40) Python Notebook. Verkkojulkaisu, Jupyter.org. < <http://jupyter.org/> > 20.4.2017.

Compare results

Erno Varila's Bachelor of Engineering Thesis
 CC BY-NC-SA, Sakari Lukkarinen, Last edited 17.4.2017 by Erno Varila.
 Helsinki Metropolia University of Applied Sciences

In [1]: # Ladataan tarvittavat asetukset.

```

$pylab inline
from bs4 import BeautifulSoup
import pandas as pd
import matplotlib

# Kuvaajien oletuskoko.
matplotlib.rcParams['figure.figsize'] = (10.0, 6.0)

Populating the interactive namespace from numpy and matplotlib

```

In [2]: # Valitaan tyyli.

```

matplotlib.style.use('classic')

# Other options
# print(matplotlib.style.available)
# ['fivethirtyeight', 'seaborn-notebook', 'dark_background', 'seaborn-deep', 'bmh',
#  'seaborn-dark-palette', 'seaborn-bright', 'seaborn-white', 'seaborn-dark', 'seaborn-talk',
#  'seaborn-whitegrid', 'classic', 'seaborn-colorblind', 'seaborn-paper', 'seaborn-darkgrid',
#  'seaborn-poster', 'seaborn-muted', 'ggplot', 'seaborn-pastel', 'seaborn-ticks', 'grayscale']

```

In [3]: # Datan lukemisen funktiot.

```

# Muutetaan data.index sekunneiksi.
def index2seconds(data):

    data = data.asfreq('s', method = 'pad')
    data.index = (data.index - data.index[0])
    data.index = data.index.astype('timedelta64[s]')
    return data

# Luetaan Garminin tiedostot.
def readGarmin(filename):

    soup = BeautifulSoup(open(filename), 'lxml')
    activity = soup.trainingcenterdatabase.activities.activity
    tlist = []
    hrlist = []
    for trackpoint in activity.lap.track.find_all('trackpoint'):
        if trackpoint.heartratebpm:

            t = trackpoint.time.string
            t = t.replace('Z', ' ')
            t = t.replace('T', ' ')
            tlist.append(t)

            hr = trackpoint.heartratebpm.value.string
            hrlist.append(int(hr))

    tlist = pd.DatetimeIndex(tlist, name = 'time')
    data = pd.Series(hrlist, index = tlist, name = 'garmin')
    data = index2seconds(data)

    return pd.DataFrame(data)

# Luetaan Cosinuksen tiedostot.
def readCosinuss(filename):
    data = pd.read_csv(filename, sep = ";", header = 5, index_col = "time",
                       usecols = [0, 1], parse_dates = True, names = ["time", "cosinuss"],
                       dtype = {"cosinuss": 'float'}, nrows = 900, squeeze = True)
    data = index2seconds(data)
    return pd.DataFrame(data)

# Luetaan Polarin tiedostot.
def readPolar(filename):

    data = pd.read_csv(filename, sep = ",", header = 3, index_col = "time",
                       usecols = [1, 2], parse_dates = True, names = ["time", "polar"],
                       dtype = {"polar": 'float'}, squeeze = True)
    data = index2seconds(data)
    return pd.DataFrame(data)

# Luetaan Firstbeatin tiedostot.
def readFirstbeat(filename):

    data = pd.read_csv(filename, sep = ";", decimal = ".", header = 57, index_col = "time",
                       usecols = [1, 3], parse_dates = True, names = ["time", "firstbeat"],
                       dtype = {"hr": 'float'}, squeeze = True)
    data = index2seconds(data)
    return pd.DataFrame(data)

```

In [4]: # Tallennettujen tiedostojen nimet.

```

polarFile = [1: "./data_polar/Testi1_Polar_2017-02-25_10-53-43.csv",
             2: "./data_polar/Testi2_Polar_2017-02-26_10-54-50.csv",
             3: "./data_polar/Testi3_Polar_2017-02-26_16-43-30.csv",
             4: "./data_polar/Testi4_Polar_2017-02-27_18-23-47.csv",
             5: "./data_polar/Testi5_Polar_2017-02-28_14-35-17.csv",
             6: "./data_polar/Testi6_Polar_2017-03-01_14-44-05.csv",
             7: "./data_polar/Testi7_Polar_2017-03-01_19-13-14.csv",
             8: "./data_polar/Testi8_Polar_2017-03-02_14-38-27.csv",
             9: "./data_polar/Testi9_Polar_2017-03-02_18-29-36.csv",
             10: "./data_polar/Testi10_Polar_2017-03-03_10-11-53.csv"]

```

```

garminFile = {1: "./data_garmin/Test1_Garmin.tcx",
2: "./data_garmin/Test2_Garmin.tcx",
3: "./data_garmin/Test3_Garmin.tcx",
4: "./data_garmin/Test4_Garmin.tcx",
5: "./data_garmin/Test5_Garmin.tcx",
6: "./data_garmin/Test6_Garmin.tcx",
7: "./data_garmin/Test7_Garmin.tcx",
8: "./data_garmin/Test8_Garmin.tcx",
9: "./data_garmin/Test9_Garmin.tcx",
10: "./data_garmin/Test10_Garmin.tcx"}

firstbeatFile = {1: "./data_firstbeat/Test1_Erno Varilo_20170225_110216_3809927.csv",
2: "./data_firstbeat/Test2_Erno Varilo_20170226_111936_3809928.csv",
3: "./data_firstbeat/Test4_Erno Varilo_20170227_183833_3809930.csv",
4: "./data_firstbeat/Test4_Erno Varilo_20170227_183833_3809930.csv",
5: "./data_firstbeat/Test5_Erno Varilo_20170228_144238_3809931.csv",
6: "./data_firstbeat/Test6_Erno Varilo_20170301_144846_3809932.csv",
7: "./data_firstbeat/Test7_Erno Varilo_20170301_191753_3809933.csv",
8: "./data_firstbeat/Test8_Erno Varilo_20170302_144232_3809934.csv",
9: "./data_firstbeat/Test9_Erno Varilo_20170302_144232_3809934.csv",
10: "./data_firstbeat/Test10_Erno Varilo_20170303_101604_3809936.csv"}

cosinussFile = {1: "./data_cosinuss/Test1_Cosinuss_2017-02-25_110207.csv",
2: "./data_cosinuss/Test2_Cosinuss_2017-02-26_105331.csv",
3: "./data_cosinuss/Test3_Cosinuss_2017-02-26_164620.csv",
4: "./data_cosinuss/Test4_Cosinuss_2017-02-27_182331.csv",
5: "./data_cosinuss/Test5_Cosinuss_2017-02-28_143600.csv",
6: "./data_cosinuss/Test6_Cosinuss_2017-03-01_144425.csv",
7: "./data_cosinuss/Test7_Cosinuss_2017-03-01_191333.csv",
8: "./data_cosinuss/Test8_Cosinuss_2017-03-02_143840.csv",
9: "./data_cosinuss/Test9_Cosinuss_2017-03-02_183044.csv",
10: "./data_cosinuss/Test10_Cosinuss_2017-03-03_101205.csv"}

# Korjataan ajastus Polariin nähden.
garminShift = {1: 479, 2: 0, 3: 0, 4: -25, 5: 24, 6: 0, 7: 0, 8: 0, 9: 0, 10: 0}

firstbeatShift = {1: 535, 2: 0, 3: 0, 4: 532, 5: 88, 6: 0, 7: 0, 8: 0, 9: 0, 10: 0}

cosinussShift = {1: 272, 2: 0, 3: 0, 4: -39, 5: 43, 6: 0, 7: 0, 8: 0, 9: 0, 10: 0}

```

In [5]: # Valitaan testi ja luetaan data.

```

n = 5
d1 = readPolar(polarFile[n])
d2 = readGarmin(garminFile[n])
d3 = readFirstbeat(firstbeatFile[n])
d4 = readCosinuss(cosinussFile[n])
df = pd.concat([d1, d2, d3, d4], axis = 1)
df = df.dropna()

```

In [6]: # Lasketaan ristikorrelaatiot.

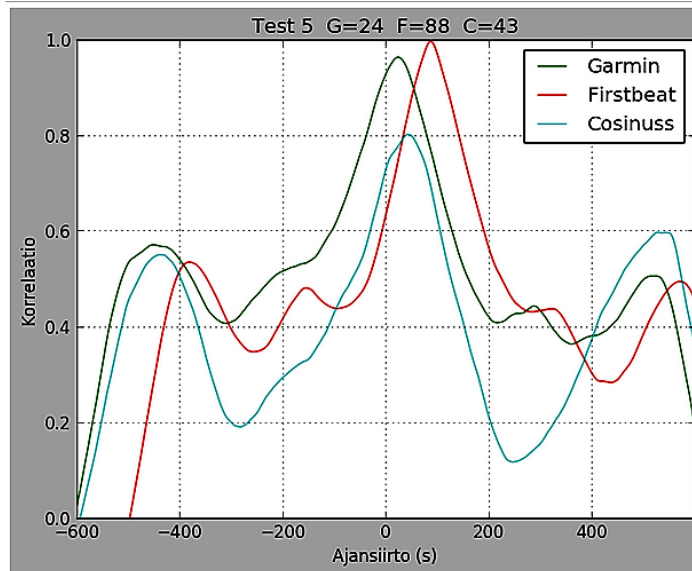
```

x = arange(-600, 600)
r1 = [df.polar.corr(df.garmin.shift(lag)) for lag in x]
r2 = [df.polar.corr(df.firstbeat.shift(lag)) for lag in x]
r3 = [df.polar.corr(df.cosinuss.shift(lag)) for lag in x]

# Etsitään ajastukset, jotka antavat parhaan ristikorrelaation.
S1 = x[argmax(r1)]
S2 = x[argmax(r2)]
S3 = x[argmax(r3)]

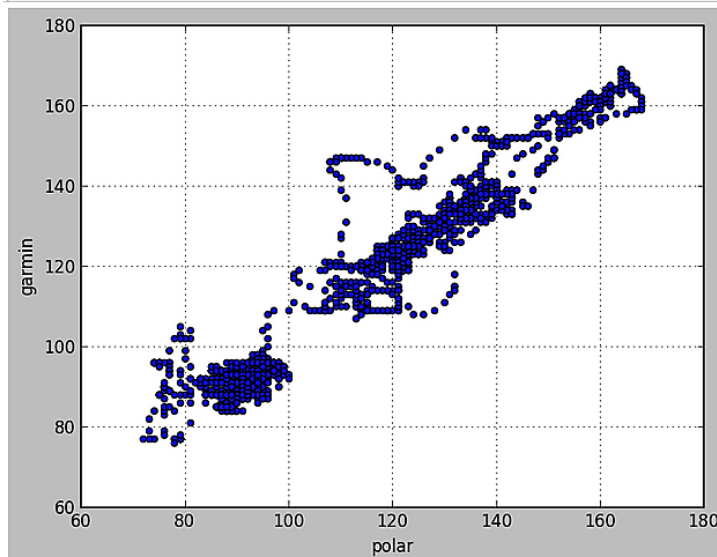
# Ristikorrelaatioiden kuvaaja.
figure(1)
plot(x, r1, color = 'g', label = 'Garmin')
plot(x, r2, color = 'r', label = 'Firstbeat')
plot(x, r3, color = 'c', label = 'Cosinuss')
legend(loc='best')
title('Test {} G={} F={} C={}'.format(n, S1, S2, S3))
xlabel('Ajansiirto (s)')
ylabel('Korrelaatio')
xlim((min(x), max(x)))
ylim((0, 1))
grid()

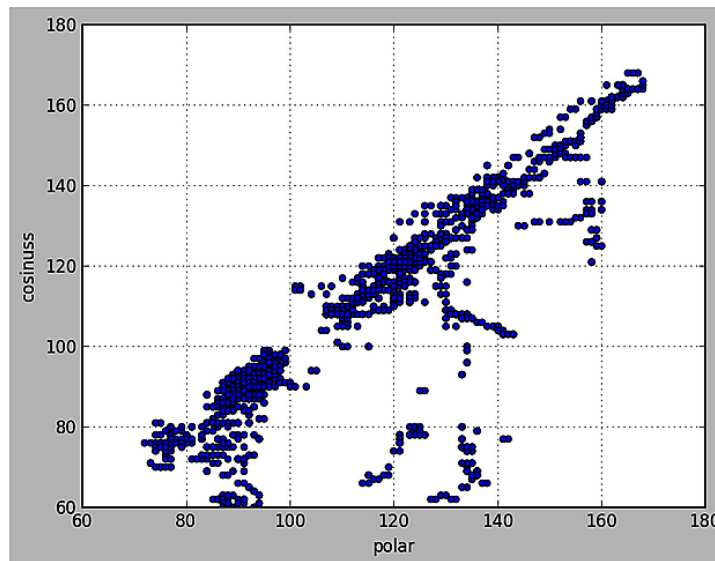
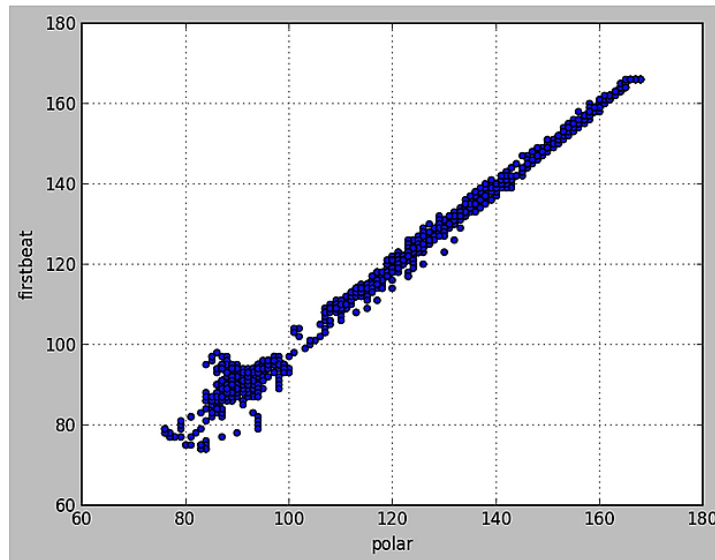
```

```
In [7]: # Tehdään ajastusmuutokset.  
df.garmin = df.garmin.shift(S1)  
df.firstbeat = df.firstbeat.shift(S2)  
df.cosinuss = df.cosinuss.shift(S3)
```

```
In [8]: # Pistekuvaajat.  
  
df.plot.scatter(x = 'polar', y = 'garmin')  
xlim((60, 180))  
ylim((60, 180))  
grid()  
  
df.plot.scatter(x = 'polar', y = 'firstbeat')  
xlim((60, 180))  
ylim((60, 180))  
grid()  
  
df.plot.scatter(x = 'polar', y = 'cosinuss')  
xlim((60, 180))  
ylim((60, 180))  
grid()
```





In [9]: # Lasketaan korrelaatiokertoimet.

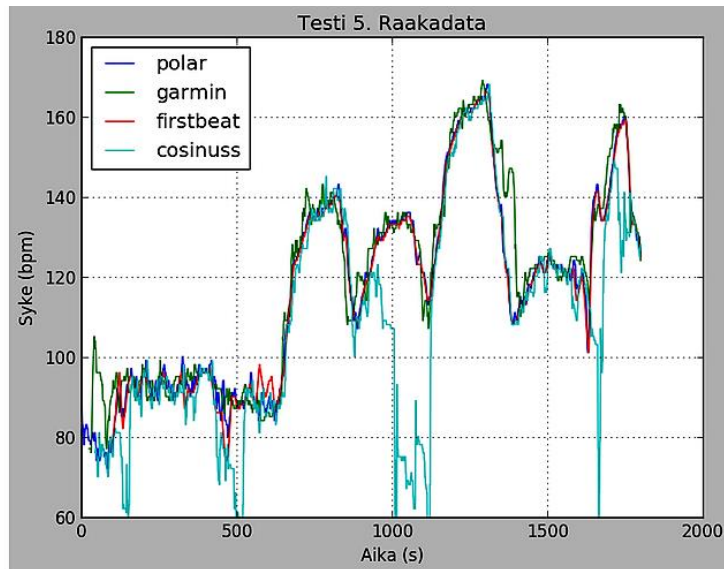
```
df.corr()
```

Out[9]:

	polar	garmin	firstbeat	cosinuss
polar	1.000000	0.962751	0.995787	0.800910
garmin	0.962751	1.000000	0.963916	0.797862
firstbeat	0.995787	0.963916	1.000000	0.792991
cosinuss	0.800910	0.797862	0.792991	1.000000

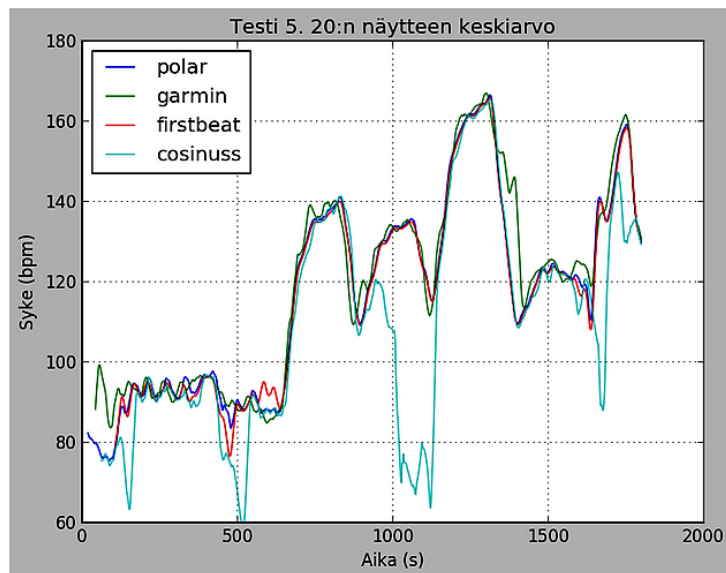
In [10]: # Kuvaaja oikein ajastetusta raakadastasta.

```
df[['polar', 'garmin', 'firstbeat', 'cosinuss']].plot()
title('Testi %i. Raakadata' % n)
xlabel('Aika (s)')
ylabel('Syke (bpm)')
xlim((0, 2000))
ylim((60, 180))
grid()
show()
```



In [11]: # Harvennettujen näytteiden perusteella tehty kuvaaja.

```
N = 20
df[['polar', 'garmin', 'firstbeat', 'cosinuss']].rolling(N).mean().plot()
title('Testi %i. %i:n näytteen keskiarvo' % (n, N))
xlabel('Aika (s)')
ylabel('Syke (bpm)')
xlim((0, 2000))
ylim((60, 180))
grid()
show()
```



In [12]: # Eroavaisuudet verrattuna Polarisiin.

```
df['diff1'] = df.garmin - df.polar
df['diff2'] = df.firstbeat - df.polar
df['diff3'] = df.cosinuss - df.polar

# Kuvaaja eroavaisuudesta.
figure()
subplot(311)
df.diff1.plot(label="Garmin", legend=True, color = 'g')
ylim((-40, 40))
xlim((0, 2000))
grid()
title('Testi %i. Eroavaisuus Polarisiin' % n)
ylabel('(bpm)')
```

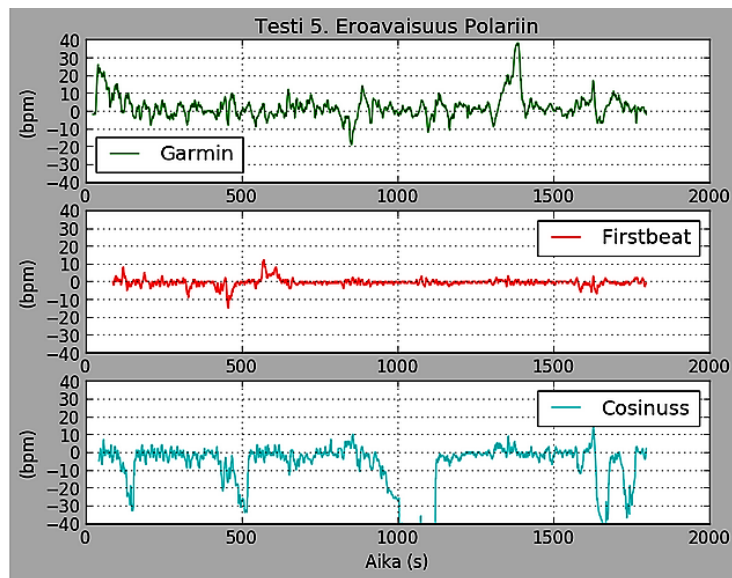
```

subplot(312)
df.diff2.plot(label="Firstbeat", legend=True, color = 'r')
ylim((-40, 40))
xlim((0, 2000))
grid()
ylabel(' (bpm) ')

subplot(313)
df.diff3.plot(label="Cosinuss", legend=True, color = 'c')
ylim((-40, 40))
xlim((0, 2000))
grid()
ylabel(' (bpm) ')
xlabel('Aika (s)')

```

Out[12]: <matplotlib.text.Text at 0x22346622a90>



```

In [13]: # Lasketaan yleiset tilastot.
df.describe().round(2)

```

Out[13]:

	polar	garmin	firstbeat	cosinuss	diff1	diff2	diff3
count	1800.00	1776.00	1712.00	1757.00	1776.00	1712.00	1757.00
mean	116.66	119.27	118.05	109.08	2.14	-0.59	-8.46
std	24.42	24.16	23.37	27.21	6.61	2.15	16.45
min	72.00	76.00	74.00	26.00	-19.00	-15.00	-108.00
25%	93.00	94.00	94.00	89.00	-1.00	-1.00	-8.00
50%	120.00	123.00	121.00	110.00	1.00	-1.00	-2.00
75%	134.00	136.00	134.00	128.00	4.00	0.00	0.00
max	168.00	169.00	166.00	168.00	38.00	12.00	14.00

```

In [14]: # RMS arvot
df.pow(2).mean().pow(0.5).round(2)

```

Out[14]:

```

polar      119.19
garmin     121.69
firstbeat  120.34
cosinuss   112.42
diff1       6.94
diff2       2.22
diff3      18.49
dtype: float64

```

```
In [15]: # Histogrammi sykearvojen eroavaisuudesta verrattuna Polariin.
figure()
subplot(311)
df.diff1.hist(bins=arange(-45, 45, 3), alpha = 0.5, color = 'g')
title('Testi %i. Eroavaisuus Polariin jakaumana' % n)
legend('Garmin')
subplot(312)
df.diff2.hist(bins=arange(-45, 45, 3), alpha = 0.5, color = 'r')
ylabel('Count')
legend('Firstbeat')
subplot(313)
df.diff3.hist(bins=arange(-45, 45, 3), alpha = 0.5, color = 'c')
legend('Cosinuss')
xlabel('(bpm)')
```

Out[15]: <matplotlib.text.Text at 0x223460a5898>

