

Niina Harja

INSULIINIPUMPUN TEKNOLOGIAN TOIMINNAN TARKASTELU DIABETEKSEN HOIDOSSA

INSULIINIPUMPUN TEKNOLOGIAN TOIMINNAN TARKASTELU DIABETEKSEN HOIDOSSA

Niina Harja
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, ohjelmistokehityksen suuntautumisvaihtoehto

Tekijä(t): Niina Harja

Opinnäytetyön nimi: Insuliinipumpun teknologian toiminnan tarkastelu diabeteksen hoidossa

Työn ohjaaja(t): Teemu Leppänen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 26 + 1 liite

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella Tandem t:slim X2 -insuliinipumpun teknologian hyödyntämistä diabeteksen hoidontasapainon ylläpitämisen helpottamisessa. Insuliinipumppu on diabeteksen hoitoon suunniteltu apuväline, joka auttaa käyttäjää ylläpitämään hoitotasapainoa. Opinnäytetyön tavoitteina oli käydä läpi insuliinipumppua ja sen rakennetta ja löytää kehitysideoita laitteen teknologiaan sekä käyttäjän erilaisiin ilmeneviin ongelmiin.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa Tandem-insuliinipumpun käyttöominaisuuksia ja siihen liittyviä ongelmia, johon löytyy ratkaisuja eri yhteisöjen kautta. Tiedonkeruu tapahtuu Facebook, YouTube ja Reddit -yhteisöistä, jossa on mahdollisuus saada aitoja kokemuksia pumpun käytöstä sekä paremmat tiedot tämänhetkisistä ongelmista.

Opinnäytetyön tuloksena havaittiin, kuinka insuliinipumppuun on mahdollista luoda uusia kehitysideoita, joiden toteutukset ovat helppoja ja haastavia. Nämä kehitysiedat jaettiin laite, käyttöliittymä ja muut osioihin. Mahdolliset fyysiset muutokset tarvitsisivat aikaa ja mahdollisesti uuden teknologian kehitystä, kuten myös ohjelmistokielen kehittämistä. Suurin osa muutoksista on helposti toteuttavissa, mutta muutama voi tarvita aikaa ja teknologian kehitystä, ennen kuin ne voivat olla pumpussa käytettävissä. Laitearkkitehtuurimuutokset olisivat tarpeen virtapainikkeelle sekä uudistus latausjohdolle. Käyttöliittymän osalta uudistukset lähdekoodiin olisivat tarpeen, jotta voisi mahdollistaa käyttäjäystävällisemmän kokemuksen kielenvaihdoksen, pumpun uudelleen käynnistämisen sekä kosketusnäytön turvallisuusasetuksien uudistamiseen.

Asiasanat: Diabetes, insuliinipumppu, hoitovälineet, terveysteknologia, verensokeri, Tandem

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology, Option of Software Development

Author(s): Niina Harja

Title of thesis: Examining the Functionality of Insulin Pump Technology in Diabetes Management

Supervisor(s): Teemu Leppänen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 26 + 1 appendix

This thesis investigates the technology of the Tandem t:slim X2 insulin pump, its potential benefits for individuals with diabetes, and the technological features included in the pump. The primary goal of the study was to identify flaws affecting the insulin pump and propose solutions to these existing problems.

The study consists of a theory section regarding diabetes mellitus type 1 and about Tandem t:slim X2 insulin pump, as well as an empirical section of study what type of improvement ideas could be proceeded to develop better functions on insulin pumps technology. The research was based on issues found from various social media platforms and communities, including YouTube, Reddit, and Facebook. This thesis concluded with several improvement ideas addressing the identified problems.

Results indicated multiple issues with the insulin pump affecting individuals with diabetes. Potential changes to the user interface, involving both physical modifications to the pump and adjustments to the source code, were identified to enhance user experience and ensure safer daily use.

In conclusion this study provided new insight on current insulin pumps technology, demonstrating how, despite its flaws, it can positively impact the lives of individuals with diabetes.

Keywords: Diabetes, insulinpump, medical technology, medical equipment, bloodsugar, Tandem

SISÄLLYS

SANASTO.....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 DIABETES MELLITUS TYYPPI 1 JA SEN HOITO TÄNÄ PÄIVÄNÄ.....	8
2.1 Diabetes mellitus tyyppi 1.....	8
2.2 Teknologian hyödyntäminen diabeteksen hoidossa.....	9
2.2.1 Verensokerin pitoisuuden mittauksen teknologiat.....	9
2.2.2 Insuliinin annostelu insuliinikynällä.....	9
2.2.3 Insuliinin annostelu insuliinipumpun avulla.....	10
3 TANDEM T:SLIM X2 -INSULIINIPUMPPU.....	11
3.1 Tandem-insuliinipumpun laitearkkitehtuuri.....	11
3.2 Tandem-insuliinipumpun ohjelmointikieli.....	12
3.3 Tandem-insuliinipumpun käyttöliittymän toiminnot.....	12
3.3.1 Erilaisten profiilien käyttö.....	13
3.3.2 Basal IQ ja Control IQ -teknologia.....	14
3.4 Insuliinipumpun kanssa käytettäviä teknologioita.....	15
3.4.1 G7 sensorin kommunikointi insuliinipumpun kanssa.....	15
3.4.2 Insuliinipumpun kanssa hyödynnettävät ohjelmistot.....	15
4 KEHITYSIDEAT.....	16
4.1 Laite.....	16
4.2 Käyttöliittymä.....	16
4.3 Muut.....	18
5 KEHITYSIDEOIDEN TOTEUTUS.....	19
5.1 Laite.....	19
5.2 Käyttöliittymä.....	19
5.3 Muut.....	20
6 TULOKSET.....	21
7 POHDINTA.....	22
LÄHTEET.....	23
LIITTEET.....	27

SANASTO

ACE	Insuliinipumppu, joka käyttää automaattista insuliinijärjestelmää, jossa järjestelmä yhdistää jatkuvan verensokerin seurannan ja automaattisen insuliininannosteluun verensokeritason mukaan (engl. alternative controller enabled infusion).
Basaali	Insuliinipumppuannostelussa käytettävä pikavaikutteinen insuliini, joka syötetään ihonalaisesti rasvakudokseen saadaan perusinsuliinivaikutus.
Bolus	Aterioiden yhteydessä annosteltu insuliiniannos, joka on laskettu aterian hiilihydraattien, verensokeripitoisuuden tai muun toiminnan mukaan.
Bluetooth	Langaton teknologia, joka mahdollistaa lyhyen matkan tiedonsiirron laitteiden välillä käyttämällä 2,4 GHz:n radiotaajuuksia. Hyödynnetään laitteiden pariliitoksen muodostamiseen.
CE-merkintä	Tuotteen valmistaja tai valtuutettu edustaja vakuuttaa, että tuote täyttää tuotetta koskevien EU:n direktiivien ja asetusten olennaiset vaatimukset.
CGM	Jatkuva verensokerin seuranta, joka menetelmänä mahdollistaa verensokeritason jatkuvan ja reaaliaikaisen seurannan (engl. continuous glucose monitoring).
Dexcom	Yhtiö, joka kehittää, valmistaa, tuottaa ja jakelee jatkuvan verensokeriseurannan järjestelmiä diabeteksen hallintaan.
FDA	Yhdysvaltain elintarvike ja lääkevirasto (engl. Food and Drug Administration)
Hybrid Closed Loop	Järjestelmä, jossa käytetään älykästä algoritmia, joka säätää insuliinin annostelua CGM-tietojen perusteella.
Hyperglykemia	Korkea verensokeripitoisuus, jossa veriplasman glukoosiarvo on yli 7 mmol/l (millimoolia litrassa).
Hypoglykemia	Alhainen verensokeripitoisuus, jossa veriplasman glukoosiarvo on alle 4,0 mmol/l (millimoolia litrassa).
Sensorointi	Glukoosin seurannan menetelmä, jolla verensokeritasoja seurataan jatkuvasti reaaliajassa.
Verensokeri	Veriplasman glukoosiarvo.

1 JOHDANTO

Vuosikymmenien saatossa on huomattu, miten teknologian hyödyntämisellä ja kehittämisellä on voitu edesauttaa diabeteksen hoidon vientiä omatoimisempaan suuntaan ja samalla vähentää liäsairauksien syntymistä. Ensimmäiset diabeteksen hoitoon kehitetyt insuliinipumput ovat tulleet kokeiluun vuonna 1963, jolloin insuliinipumpun koko oli merkittävästi nykyistä suurempi eli jopa selkärepun kokoon verrattavissa. Sen jälkeen selkeästi pienemmän kokoinen pumppu on kehitetty vasta vuonna 1970. Merkittävä insuliinipumppujen kehitys on alkanut kuitenkin vasta 2010-luvulla, kun markkinoille on yleistynyt niin sanottujen sensoroivien insuliinipumppujen kirjo. Tämä teknologian kehitys on mahdollistanut insuliinipumpuille verensokerin glukoosiarvojen seuraamiselle ominaisuuden ja niihin vaikuttamisen reaaliajassa sekä tuonut tuullessaan merkittävää tarkkuutta lisäävän apuvälineen diabeteksen hoitoon. (1.)

Tämän kirjallisuuskatsaukseen pohjautuva opinnäytetyö tarkastelee erityisesti ja ainoastaan Tandem t:slim X2 -insuliinipumpun teknologian toimintaa ja sitä, kuinka pumppu voi auttaa diabeetikkoa ylläpitämään ideaalia hoitotasapainoa ja ehkäisemään verensokeritulosten korkeita ja matalia ääripäitä eli hypo- ja hyperglykemioita (2). Insuliinipumpusta puhuessa käytetään jatkossa tarkoituksella lyhennetyksi käsitettä Tandem-insuliinipumppu. Lopuksi opinnäytetyö tuon esille käyttäjien arkisia Tandem-insuliinipumppuun liittyviä ongelmia, joiden pohjalta voidaan nostaa esille kehitysideoita ja analysoida, kuinka toteutettavissa ideat ovat.

Opinnäytetyön aineistona käytetään internetistä erilaisista yhteisöistä saatuja käyttäjäkokemuksia. Käyttäjäkunnan kokemukseen liittyvä palaute teknologian käytöstä osoittaa tuloksien aitouden sekä rajaa pois mahdolliset vääristellyt kokemukset insuliinipumpun ominaisuuksista. Tavoitteena on löytää mahdollisia kehitysideoita laitearkkitehtuurin sekä lähdekoodiin pumpun toiminnan parantamiseksi.

2 DIABETES MELLITUS TYYPPI 1 JA SEN HOITO TÄNÄ PÄIVÄNÄ

Aloitan opinnäytetyöni tarkastelemalla ensin erityisesti tyypin 1 diabetes mellitus variaatiota ja sitä, miten sen vaativa monipistoshoito on kehittynyt vuosien saatossa perusinsuliinikynän käytöstä automaatioteknologiaa hyödyntäen monipuolisten laitteiden käyttöönottoon.

2.1 Diabetes mellitus tyyppi 1

Tyypin 1 diabetes on pitkäaikaissairaus, jossa plasman glukoosi- eli rypälesokeripitoisuus on kohonnut, mikä aiheuttaa häiriöitä energia-aineenvaihdunnassa. Tässä puutostilassa diabetes johtuu, joko haiman erittämän insuliinin puutteesta tai haiman heikentyneestä toiminnasta tai molemmista (3). Taudin aiheuttajana toimii insuliinia tuottavien beetasolujen tuhoutuminen autoimmuunitulehduksen takia. Tämän tyypin diabetesta esiintyy noin 50 000 henkilöllä Suomessa (4).

Diabeteksen hoitomuotoina ovat toimineet perinteisesti niin sanotut pitkäaikaisvaikutteiset insuliinit ja pikainsuliinit. Lisäksi diabeetikoilla on käytössään laaja kirjo erilaisia insuliinin annosteluvälineitä kuten neuloja, insuliiniruiskuja ja insuliinikyniä, joista erilliset kynät edellä mainituille insuliineille sekä yhä enenevässä määrin yleistyneitä insuliinipumppuja. Näiden hoitovälineiden lisäksi diabeetikoilla on välttämätöntä olla käytössään erilaisia verensokerimittareita ja verensokeria mittaavia ihonalaisia sensoreita (5).

Diabetesta sairastavan tärkeimpiä asioita omaseurannassa on verensokerin seuranta ja sen arvojen ylläpitäminen. Verensokeripitoisuuden mittaukset ovat välttämättömiä suhteutettaessa insuliinin annostelua jokaiseen syötävään ruokamäärään sekä käyttäjän energian kulutukseen. Diabeetikon insuliinintarve vaihtelee myös vuorokauden eri ajankohtina, kuten öisin, jolloin energiakulutus on tasaista ja vähäisempää kuin hereillä ollessa. Insuliinitason tavoitearvot ovat yksilöllisiä, mutta yleisesti tavoitteet muun muassa ennen ateriaa ovat 4–7 mmol/l (millimoolia litrassa), 2 tuntia aterian aloittamisen jälkeen alle 8–10 mmol/l, nukkumaan mentäessä 6–8 mmol/l sekä yöllä 4–7 mmol/l. Kyseiset verensokeriarvot ovat niin sanottuja plasma-arvoja (6).

2.2 Teknologian hyödyntäminen diabeteksen hoidossa

Diabeteksen insuliinihoito on elinikäinen eikä siihen ole keksitty lääketieteellistä parannuskeinoa. Koska hyvän hoitotasapainon on todettu estävän erilaisten lisäsairauksien syntymisen, on diabeteksen hyvän hoitotasapainon ylläpitämiseksi pyritty kehittämään monenlaista teknologiaa hyödyntäviä laitteita. Esimerkiksi lääkeruiskun sijaan on insuliinin annostukseen kehitelty erilaisia insuliinikyniä, joista viimeisimpänä teknologian kehitystuloksena on niin sanottu älyinsuliinikynä. Insuliinin annosteluun on kehitelty erilaisia insuliinipumppuja, joiden annostelu verenkiertoon on automaattista sekä käyttäjän vastuulla olevaa hienosäätöä. Lisäksi verensokerin omaseurantaan on kehitelty toinen toistaan hienompia verensokerimittareita ja ihonalaisia sensoreita (7).

2.2.1 Verensokerin pitoisuuden mittauksen teknologiat

Diabeetikon plasma-arvoja (mmol/l) eli verensokerin arvoja on mahdollista seurata verensokerimittarilla tai ihoon kiinnitettävällä verensokerisensorilla. Verensokerin mittaaminen verensokerimittarilla tarvitsee tähän kyseiseen laiteeseen sopivat liuskat, henkilökohtainen näytteenottolaitteen sekä siihen kertakäyttölansetit eli neula, jolla pistetään reikä sormeen verinäytteen saamiseksi verensokerin mittaamiseen. Mittarilaitteiston kirjo on laaja ja saatavilla olevat laitteet vaihtelevat kunkin diabeetikon hyvinvointialueen hoitopaikan mukaan (8).

CGM eli englanninkielisen termin mukaan Continuous Glucose Monitors on jatkuva glukoosin seuranta, jossa ihoon kiinnitetty sensori kommunikoi verensokeriarvoja Bluetooth-yhteydellä joko puhelinosovelluksen tai älypumpun kanssa reaaliaikaisesti. Sensorijärjestelmät koostuvat kolmesta osasta: anturista (pieni johdinkatetri, joka asetetaan ihon alle pehmytkudokseen, useimmiten joko käsivarteen tai vatsaan), anturiin kiinnitettävästä lähetinlaitteesta sekä kannettavasta vastaanottimesta ja/tai älypuhelimesta, joka näyttää glukoositiedot reaaliajassa (9).

2.2.2 Insuliinin annostelu insuliinikynällä

Insuliinipumpun sijasta on mahdollista nykyisin käyttää älyinsuliinikynää, joka intuitiivisesti kommunikoi älypuhelinsovelluksen kanssa. Tällöin älypuhelinsovellus laskee ja seuraa insuliiniannostuksia sekä tarjoaa hyödyllisiä muistutuksia, hälytyksiä ja raportteja reaaliajassa käyttäjälleen. Teknologia auttaa käyttäjää paremmin suunnittelemaan insuliinin syöttöä elimistöön ja tämän ajoitusta,

jotta hoitotasapaino pysyisi tasaisena. Älyinsuliinikynällä voi laskea jokaisen annostuksen verraten verensokeripitoisuuteen, hiilihydraatti määrään, ruuan suuruuteen, aktiiviseen insuliinin ja lääkärin antamien asetuksien mukaan.

Kynällä on mahdollista laskea oikein insuliinin annostelun, joka edes auttaa hoitotasapainon ylläpidossa. Ensimmäinen uudelleenkäytettävä älyinsuliinikynä oli FDA-hyväksytty sekä lanseerattu vuonna 2017. (10.)

2.2.3 Insuliinin annostelu insuliinipumpun avulla

Älyinsuliinipumppuja on kahta eri tyyppiä, letkullisia ja letkuttomia pumppuja. Letkulliseen insuliinipumppuun kuuluu oleellisesti muoviletkun lisäksi ihoon pistettävä muovikanyyli, jonka kautta insuliini kulkee. Muovikanyyli pistetään iholle, jonka kautta insuliini kulkeutuu ihonalaiseen rasvakudokseen. Insuliinipumpun insuliinisäiliö vaihdetaan 3–6 päivän välein. Lisäksi pumppu voi olla verensokeria mittaava eli sensoroiva, peruspumppu tai hybridipumppu. Markkinoilla on paljon erilaisia insuliinipumppuja, joiden mallit vaihtelevat riippuen insuliinipumpun valmistajasta. Insuliinipumppu on kooltaan pienikokoinen laite, joka mahtuu käyttäjän taskuun (11).

Insuliinipumpussa käytetään vain pikavaikutteista insuliinia, johon annostelunopeus eli basaali säädetään käyttäjän mukaan. Syöttönopeudet ja basaalien määrä määritellään pumppuun, joka voi vaihdella tunneittain. Tällä pumpun perussyötöllä korvataan pistoshoidossa käytettävä pitkävaikutteinen insuliini. Tämän avulla jäljitetään haiman normaalia insuliinin eritystä.

Sensoroivissa insuliinipumpun malleissa on mahdollista yhdistää glukosisensori, joka kommunikoi verensokeri tulokset suoraan pumppuun ja tämän avulla säätelemään insuliinin tuotantoa pumpussa. Insuliinipumppu auttaa tasaisemman hoitotasapainon ylläpitämisessä aktiivisella insuliinin syötöllä, vähentäen insuliini piikkien pistämistä ihoon ja mahdollistaen insuliinin syötön ajasta riippumatta (12).

3 TANDEM T:SLIM X2 -INSULIINIPUMPPU

Seuraavaksi keskitytään tarkastelemaan tarkemmin opinnäytetyön keskiössä olevaa Tandem t:slim X2 -insuliinipumpun rakennetta ja tämän ohjelmiston teknologiaa sekä sitä, miten kehittyneen teknologian käytön seuranta on liitetty älypuhelimiin.

Tandem-insuliinipumppua kutsutaan ACE-insuliinipumpuksi. Insuliinipumppu on yhteensopiva eri diabetesteknologisen komponenttien ohella, joka mahdollistaa mukauttamisen diabeetikon tarpeiden mukaan (13). Insuliinipumppu muun muassa hyväksyy Dexcom G6 ja G7 sensorien lisäksi Freestyle Libre 2 Plus:n sensoreiden integraatiota vanhemmissa versioissa Yhdysvalloissa (14).

Tandem-insuliinipumppu sai ensimmäisen CE merkinnän vuonna 2018. Yritys on markkinoinut kosketusnäyttöpumppuja Yhdysvalloissa jo vuodesta 2012 ja sai FDA:n hyväksynnän insuliinipumppu versiosta elokuussa vuonna 2017, joka soveltaa tällöin Dexcom G5 CGM teknologian sensorointia (15).

Tandem-insuliinipumppu sai seuraavan FDA-hyväksynnän ihonalaisen insuliinin annosteluun vuonna 2019. Tällöin pumppu alkoi ensimmäistä kertaa hyödyntää Control-IQ teknologiaa G6 sensori teknologian kanssa. Tämä oli ensimmäisiä järjestelmiä, jotka automaattisen korjausboluksen antamisen avulla ja insuliinin säännöstelyn ansiosta estivät korkeita sekä matalia verensokeriarvoja (16).

3.1 Tandem-insuliinipumpun laitearkkitehtuuri

Tandem-insuliinipumpun laitearkkitehtuurissa on kosketusnäyttö rakennettuna muoviseen rakenelmaan. Insuliinipumppu koostuu tämän lisäksi insuliiniampullista, joka vaihdetaan insuliinin lopputtua. Tämän lisäksi on näppäin pumpun yläpuolella, joka toimii virran katkaisijana sekä ”pika-bolus” syöttö painikkeena käyttäjälle, jonka avulla voidaan syöttää pieni bolustus painiketta pohjaan painamalla (17). Pumpun laitearkkitehtuurista ei ole julkista ja virallista tietoa Tandemilta, mutta pumpusta on tehty takaisinmallinnustutkimus, jossa se purettiin osiksi (kuva 1).



KUVA 1. Tandem-insuliinipumpun käyttöliittymästä (17)

Takaisinmallinnustutkimuksen mukaan pumppu rakentuu seuraavista oheislaitteista, kuten akusta, kaiuttimesta, näytöstä sekä pumppunmoottorista. Näiden lisäksi pumppun piirilevyllä on mikrokontrolleri, joka kontrolloi insuliinipumpun logiikkaa insuliinipumpussa, flash-muistikortti sekä mikro-ohjain, joka kontrolloi Bluetooth yhteyksiä (17). Nämä mikropiirin komponentit löytyvät kuvasta 1.

3.2 Tandem-insuliinipumpun ohjelmointikieli

Valitettavasti insuliinipumppuun liittyvä ohjelmointikieli ei ole julkistettu, eikä tätä ole löydettävissä virallisista lähteistä, minkä tyylistä koodikieltä on hyödynnetty insuliinipumpun teknologian suhteen. Altian eli insuliinipumpun graafisen käyttöliittymän tuottajan mukaan insuliinipumpun käyttöliittymä olisi käytetty ANSI C-ohjelmointikieltä, mutta tästä ei ole mainintaa erikseen Tandemin sivuilla (18).

3.3 Tandem-insuliinipumpun käyttöliittymän toiminnot

Tandem-insuliinipumpussa on graafisessa käyttöliittymässä paljon ominaisuuksia, jotka auttavat insuliinipumpun personoinnissa. Kosketusnäyttö herää, kun insuliinipumpun painiketta painaa, josta näkyy käyttäjän verensokeriluku sekä tämän historia muutaman tunnin ajalta. Tästä on havainnointi kuva 2. Samalla näkymällä on kaksi graafista näppäintä bolus ja asetukset. Bolus näppäimen kautta käyttäjä voi säätää itsellensä insuliinia laskemansa hiilihydraattimäärän mukaisesti. Pumppu huomioi reaaliaikaisen verensokeriarvon ja annostaa automaattisesti oikean määrän insuliinia.

Asetukset kohdasta aukeaa iso lista mahdollisia ominaisuuksia, joita käyttäjä voi itse muokata ja tarkastella. Kyseiset valikon erilaiset ominaisuudet voidaan havaita liitteestä 1.



KUVA 2. Insuliinipumpun näkymä, kun kosketusnäyttö on päällä. (19.)

3.3.1 Erilaisten profiilien käyttö

Tandem-insuliinipumpussa on mahdollista rakentaa erilaisia profiileja pumpun asetuksiin, jolloin insuliinituotannon säätelyssä olisi muutoksia profiilien välillä. Erilaisissa profiileissa on mahdollisuus vaihtoehtoiseen basaalin annosteluun, korjauskertoimiin sekä hiilihydraattisuhteisiin eri päville ja tarpeisiin. Tämän lisäksi käyttäjällä on mahdollisuus uuden profiilin tekemisen lisäksi kopioida ja muokata jo luotuja profiileja. Profiilia valittaessa asetukset muuttuvat sen mukana, jolloin käyttäjän on helppoa hallinnoida pumpun asetuksia. Esimerkiksi käyttäjä sairaana ollessaan voi luoda sairastelulle profiilin, jossa otetaan huomioon basaalin suurempi tarve. Tällöin insuliinin tuotannon voi nostaa 20–50 prosentilla ja mahdollistaa, että control IQ on 0–20 prosentin aggressiivisempi, jotta verensokeri pysyisi tasaisena välttämällä hypoglykemia sekä hyperglykemia arvoja.

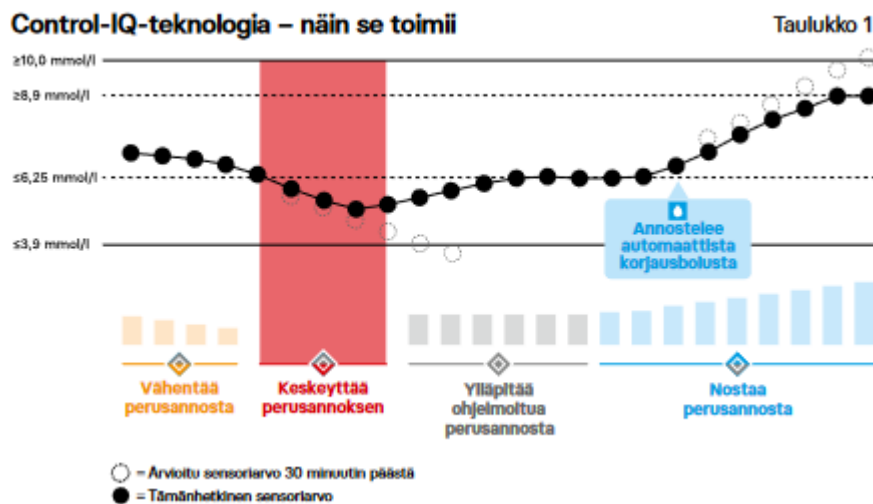
Insuliinipumpussa on tämän lisäksi mahdollista hyödyntää jo olemassa olevia aktiivisuus profiileja. Nämä ovat liikunta ja uni aktiivisuusprofiilit. Uniaktiivisuusprofiilissa pumppu pyrkii pitämään verensokerin tasaisena, mutta pitäen vähäisenä insuliini korjauksen paastojaksolla. Liikuntatoiminnassa

pumppu yrittää ainoastaan korjata verensokerin pysymään hieman korkealla, sillä verensokeri luonnollisesti tippuu liikunnan aikana (20).

3.3.2 Basal IQ ja Control IQ -teknologia

Tandem-pumpussa on käytössä Basal IQ-teknologia, joka arvioi ja auttaa välttämään verensokerin laskun matalaksi pysäyttämällä pumpun insuliinituotannon, kun arvioitu verensokeri laskee alle 4.4 mmol/l seuraavan puolen tunnin aikana. Pumppu jatkaa insuliinituotantoa asetuksien mukaan, kun verensokeriarvot on ennustettu nousevan.

Insuliinipumpussa on käytössä myös Control-IQ teknologia, joka edes auttaa verensokeri hoitotasapainon hallinnassa. Insuliinipumpun teknologia hyödyntää ”hybrid closed loop” järjestelmää. Control IQ tarkoituksena on ennustaa verensokerilukemia 30 minuutin edellä ja automaattisesti annostella sekä määrittää insuliinin tuotantoa joka viiden minuutin välein. Tämä tavoittelee välttämään liian matalia sekä korkeita verensokerilukemia. Lisäksi pumppu automaattisesti korjaa insuliinibolustusta kerran tunnin aikana, jotta lukemat olisivat 6.1 mmol/l verensokerin päätearvoissa (20). Kuvassa 3 on havainnoitu kyseisen teknologian käyttö insuliinipumpussa.



Kuva 3 Control IQ teknologian toiminnasta taulukko. (19.)

Jotta Control IQ-teknologia olisi optimoitu oikein, tulisi käyttäjän ylläpitää bolustus tapoja, eli muis-
taa laittaa insuliini ennen aterian ottoa, hyödyntäen insuliinipumpun laskelmakaavioita, joiden mu-
kaan insuliini tulisi annostella hiilihydraattien sekä korjausinsuliini annoksen suhteen. Näiden lisäksi

pitäisi luottaa pumpun bolustusehdotuksia korjaamatta näitä, jolloin pumpun algoritmi osaa säätää näitä oikein tulevaisuudessa. (20).

3.4 Insuliinipumpun kanssa käytettäviä teknologioita

Insuliinipumpussa on teknologioita, joita voidaan hyödyntää insuliinipumpun käytössä.

3.4.1 G7 sensorin kommunikointi insuliinipumpun kanssa

Dexcom G7 on uudistettu sensori, joka kommunikoi insuliinipumpun kanssa sokeriarvoista. Sensori on tarkka, joka mahdollistaa, ettei käyttäjän tarvitse mitata manuaalisesti verensokeria verensokerimittarin avulla, jolloin insuliinipumppu pitää lukemat lähellä oikeaa verensokeri arvoa. Sensorin käynnistysaika on vanhempaan malliin verrattuna nopeampi, sillä G6:n käynnistysaika on 2 tuntia, kun taas G7 vain kolmekymmentä minuuttia. Sensori on myös pienentynyt kooltaan verrattuna G6 sensoriin. Tämän lisäksi verensokerin lukemiseen on uudempi ja parempi sovellus, josta näkee samalla verensokeriarvot, trendit sekä tulokset samalta ruudulta (20).

3.4.2 Insuliinipumpun kanssa hyödynnettävät ohjelmistot

Tandem-insuliinipumpun kanssa on mahdollista hyödyntää t:connect puhelinsovellusta, jonka Tandem tarjoaa iOS ja Android älypuhelimille. Tämän älysovelluksen kautta käyttäjät voivat muun muassa tarkastella pumppunsa tietoja, kuten annettavan perusinsuliini määrän, viimeisimpien bolustuksien ajat ja määrät sekä omat asetuksensa verensokeri arvojen tavoitteille ja annettavan insuliini määrän hiilihydraattimäärän mukaan. CGM eli jatkuvan verensokerin seuranta luonnistuu sovelluksen kanssa. Tämä ohjelmisto on ainoastaan käytössä Yhdysvalloissa (21).

Tandem Device Updater ohjelmistoa taas käytetään insuliinipumpun päivittämisen yhteydessä. Laitapäivitysohjelma on suunniteltu päivittämään pumpunohjelmisto uudempaan ohjelmistoversioon. Jotta päivitys onnistuisi oikein, pitää käyttäjän olla yhteydessä pumpun paikallisasiakastukeen. Pumpun päivitykseen menee mahdollisesti noin puolituntia. Tämän toiminnan aikana pumppua ei voi käyttää, jolloin käyttäjän on varauduttava käyttämään varavälineitä insuliinin saamiseksi, esimerkiksi pistämällä insuliinia insuliinikynällä (22).

4 KEHITYSIDEAT

Tutkimusmenetelmänä tiedon hankintaan insuliinipumpun kehitysideoille on käytetty muun muassa Facebook kokemusasiantuntija yksityisryhmästä (23), YouTube yhteisöstä (24) ja Reddit ”r/TandemDiabetes” yhteisöstä (25; 26; 27; 28.), jossa on mukana useita diabeetikoita, ja joilla tandem-insuliinipumppu on aktiivisesti käytössä. Nämä kehitysideat valikoituivat uusimmista 25 julkaisuista. Myös tämän lisäksi aihetta tutkiessa oli havaittu mahdollisia parannuksia pumpun laitearkkitehtuuriin sekä tämän käytännöllisyyteen. Rajasin tiedonhankintapaikoiksi kyseiset yhteisöt sekä omat kehitysideani, sillä käyttäjäkokemuksista oli hyvin tuotu erilaisia ongelmia esille, jotka vaikeuttavat diabeetikon elämää. Hakemalla näistä yhteisöstä ongelma sanalla tai arvostelusta, sai monipuolisesti mielipiteitä erilaisista ongelmista.

4.1 Laite

Kehitysidea 1: Pumpun painikkeen kehitys. Insuliinipumpun käyttöä haastaa pumpun sivulla sijaitseva iso pohjaan painettava virtapainike. Napin pohjaan painaminen avaa kosketusnäytön ja mahdollistaa asetuksiin ja bolustusvalikkoon pääsemisen. Tätä ennen on kuitenkin otettava lapsilukitus pois painamalla kosketusnäytön ruudulle ilmestyneet numerot 1, 2 ja 3. Lisäksi kosketusnäytössä on isokokoinen Tandem-logo, joka vie näyttöruudusta paljon tilaa sen kokoon nähden eikä logolle ole funktionaalista merkitystä (24).

Kehitysidea 2: Pumpun latausjohdon uudistus. Pumpun latausjohto tiedonsiirtoon on tyyppiä microUSB, joka soveltuu harvoin nykyajan laitteisiin. Se ei myöskään sovellu muun elektroniikan lataukseen, eikä pumppua voi ladata tai sen tietoa siirtää koneelle sujuvasti hyödyntäen muita latausjohtoja.

4.2 Käyttöliittymä

Kehitysidea 3: Pumpun uudelleen käynnistyksen kehitys. Insuliinipumpun uudelleenkäynnistyksen aikana joutuu käyttäjä asentamaan uudelleen insuliiniampullin, joka tarkoittaa käytännössä turhaa insuliinin kuluttamista. Insuliinia tulee bolustaa hukkaan vähintään 10 bolustusta. Insuliinihukka on suuri diabeetikolle, jos pumppua täytyy käynnistää uudelleen kerta toisensa jälkeen (24).

Kehitysidea 4: Kosketusnäytön turvallisuusasetuksien uudistus. Kosketusnäyttö sammuu kesken asetusten tai bolustamisen aikana, jos näyttöä joko tahallisesti tai vahingossa näpäyttää kaksi kertaa. Tämän vuoksi käyttäjä voi joutua laittamaan virran takaisin päälle kosketusnäytön painiketta uudelleen painamalla ja avaamaan lapsilukon. Tämä vie käytännössä usein paljon aikaa, jos vahingossa tekee tämän useaan kertaan (24).

Kehitysidea 5: Pumpun virheilmoitusten selkeyttäminen. Insuliinipumpun virheilmoitus ”malfunction” eri numerokoodein ja kirjainyhdistelmillä on koodikielenä vaikeasti ymmärrettävissä käyttäjälle. Virheilmoituksen ilmetessä tulee olla puhelimitse yhteydessä pumpun asiakastukeen, jotta käyttäjä saa selville, mitä yleinen koodikirjainyhdistelmä tarkoittaa. Asiakastukeen ei välttämättä aina saa heti yhteyttä virheilmoituskoodin ilmetessä ja tämä tuottaa pumpun omistajalle haasteita insuliinipumpun pysähtyessä.

Näitä haastavia tilanteita on tapahtunut usealle käyttäjälle. Esimerkiksi Reddit-yhteisöstä oli kaksi käyttäjää, joista kummallekin oli tullut vaikeuksia pumpun virhekoodien vuoksi. Eräs käyttäjän oli saanut useita virhekoodeja ja joutunut tämän takia vaihtamaan pumpun toiseen, koska ensimmäinen pumppu oli lopettanut toimintansa (25). Toisella käyttäjällä pumppu oli yllättäen kesken kauppareissun ilmoittanut pumpun vaihtoa vaativan virhekoodin ilman mitään syytä (26). Suomalainen Tandem-insuliinipumpun käyttäjä kirjoitti saaneensa yllättäen myös virhekoodin eikä soittaessa asiakaspalvelunumeroihin saanut siihen vastausta (23).

Kehitysidea 6: Pumpun laatiminen sopivammaksi käyttäjäkunnalle. Käyttäjä joutuu odottamaan ainakin kuukauden ennen kuin pumppu toimii oikein algoritmin kanssa. Tämän lisäksi insuliinipumpun toiminnan käyttöönotto ja sen omaksuminen vie paljon aikaa, jolloin pumppu ei sovellu kaikille ikäluokille. Tämä rajaa käyttäjien ulkopuolelle esimerkiksi henkilöt, jotka eivät kykene omaksumaan sen käyttöjärjestelmää tai joilla on heikko motivaatio oman diabeteksensa hoidossa.

Kehitysidea 7: Käyttöjärjestelmän kielenvaihdon helpottaminen. Käyttöjärjestelmän kielenvaihto pumpussa on tuonut käyttäjille haasteita, koska kielen vaihtamisen edellyttää pumpun sammuttamisen ja puolen tunnin lataamisen. Vain näiden toimenpiteiden jälkeen mahdollistuu niin sanotun resetoinnin kautta kielenvaihto ja vaihtaminen haluttuun kieleen. Toimenpide on koettu käyttäjien keskuudessa aikaa vieväksi eivätkä käyttäjät muista aina, missä kyseinen asetus sijaitsee (27).

4.3 Muut

Kehitysidea 8: Liikuntasuorituksen uudistaminen turvallisemmaksi. Liikuntasuorituksen algoritmi tuottaa vaaratilanteita diabeetikolle, koska verensokeria automaattisesti säätelevä pumppu ei pienennä riittävästi insuliinin bolustusta ja voi mahdollistaa hypoglykemian liikuntasuorituksen aikana. Reddit yhteisössä eräs pumpun käyttäjä kertoi, kuinka pumpun algoritmi on haastava pitämään verensokeritasoja liikunnan aikana oikein, kun liikuntaprofiili on aktivoitu. Tämä on aiheuttanut verensokerin laskun hypoglykemiaan asti liikuntasuoritusten aikana (28).

5 KEHITYSIDEOIDEN TOTEUTUS

Tässä opinnäytetyön osiossa käydään läpi mahdollisia teknisiä ratkaisuja, kuinka ongelmat voitaisiin ratkaista tulevien sukupolvien Tandem-insuliinipumpuissa.

5.1 Laite

Ratkaisu 1: Pumpun painikkeen kehitys. Ongelman ratkaisemiseksi tarvittaisiin paremmin laitteen pinnasta kohotettu virtapainike, jota käyttäjä voi paremmin painaa aktivoidessaan laitteen toimintaan. Virtanapin koon muuttaminen suuremmaksi auttaisi sormen parempaa osumista siihen. Mahdollinen muutos kosketusnäyttöön ja napin lisääminen kosketusnäytölle voisi mahdollistaa toimivamman pumpun käyntiin saamisen.

Ratkaisu 2: Pumpun latausjohdon uudistus. Kyseisen idean ratkaiseminen tarvitsisi USB-C-johdon portin sulauttamista järjestelmään, korvaten microUSB-johdon sekä kehittää pumpun laitearkkitehtuurin teknologiaa. Tämä mahdollistaisi nykyaikaisempien latausjohtojen hyödyntämisen insuliinipumpun tiedonsiirrossa tietokoneen välillä sekä pumpun akun lataamista koskien. Nykyinen microUSB adapterilatausjohto on vielä toimiva, vaikka onkin teknologialtaan mahdollisesti vanhentunut ja hidas.

5.2 Käyttöliittymä

Ratkaisu 3: Pumpun uudelleen käynnistyksen kehitys. Uudelleen käynnistyksen ongelmatilanteissa ratkaisemiseksi tarvitaan muutosta järjestelmän sisäiseen koodiin, jolloin olisi mahdollista pumpun käynnistämisen jälkeen tarkistaa, onko pumpussa insuliiniampullissa insuliinia ja kysyä käyttäjältä, onko tarvetta käydä läpi insuliini asennuksen menetelmää. Tällöin säästyisi insuliinin turha kulutus ja pumpun käyttäjältä ajan tuhlaus.

Ratkaisu 4: Kosketusnäytön turvallisuusasetuksien uudistus. Potentiaalisen ongelman korjaamiseksi voisi kehittää lapsilukkoasetuksen yhteydessä mahdollisuuden valita, haluaisiko käyttäjä

sammuttaa ruudun muutaman näytön kosketuksen yhteydessä. Tämä korjaus pitäisi tehdä käyttöliittymän koodiin, joka voisi mahdollistaa paremman käytettävyyden.

Ratkaisu 5: Pumpun virheilmoitusten selkeyttäminen. Kyseisiin virheilmoituksiin tulisi pumpun ohjeistuksissa olla paremmin selitettynä tiettyjen ongelmien koodien tarkoitus, vaikka nämä eivät kaikille mahdollisesti olisikaan ymmärrettävästi luettavissa. Tämä mahdollistaisi pumpun ongelmien ilmetessä paremman vaihtoehdon selvittää nopeammin pumppuun liittyviä ongelmia. Jos toimintahäiriöiden ilmetessä pumpun uudelleenkäynnistys ei auttaisi, voisivat helpommin tulkittavissa olevat virheilmoitukset säästää aikaa niin käyttäjältä kuin insuliinipumpun asiakastuelta.

Ratkaisu 6: Pumpun laatiminen sopivammaksi käyttäjäkunnalle. Mainitun kehitysidean ratkaisemiseksi pitäisi luoda pumpun ohjelmiston algoritmi paremmaksi. Tämä muutos madaltaisi mahdollista käyttöjärjestelmän käytön opettelu-aikaa, jolloin pumpusta aiheutuvaa häiriötä ilmenisi vähemmän käyttäjän elämässä. Tämän lisäksi voidaan luoda insuliinipumppuun paljon käyttäjäystävällisemmän graafisen käyttöliittymän, jolloin tietyt toiminnot olisivat selkeästi ymmärrettävissä ikäluokasta riippumatta ja mahdollistaisi laajemman käyttäjäkunnan.

Ratkaisu 7: Käyttöjärjestelmän kielenvaihdon helpottaminen. Kyseisen idean ratkaisemiseen tarvittaisiin ohjelmiston koodiin muutos, jolloin asetuksien sisältä voisi helpommin muokata järjestelmän kieliasetusta. Tämän lisäksi pitäisi luoda graafiseen käyttöliittymään ”oletko varma muutoksesta” osion, joka välttäisi käyttäjän insuliinipumpun kielen vaihtumisen vahingossa. Tämä tällöin säästäisi aikaa käyttäjältä.

5.3 Muut

Ratkaisu 8: Liikuntasuorituksen uudistaminen turvallisemmaksi. Tarkasteltavissa olevan idean ratkaisemiseksi pitäisi luoda intensiiviselle liikuntasuoritukselle oma toimintaprofiili, johon kehittäisi tarkemman algoritmin. Jos algoritmi hyödyntäisi paremmin syötetyn informaation ennen liikuntasuoritusten alkamista, voisi se ottaa huomioon insuliinin annostelussa sen vaikutuksen pidemmältä ajalta eikä tällöin annostelisi korjausboluksia kesken liikuntasuorituksen.

6 TULOKSET

Tämän opinnäytetyön osalta oli havaittavissa laaja kirjo erilaisista kehitysideoita, jotka edellyttäisivät muutoksia insuliinipumpun lähdekoodeihin ja toimintaan.

Lähdekoodin muutoksien avulla olisi mahdollista parantaa insuliinipumpun toimintaa sekä tämän graafisen suunnittelun toimivuutta. Helpommin toteutettavissa olevat muutokset koskevat Tandem-insuliinipumpun toimintaa, kuten ruudun sammuttamista kosketusnäytön kautta, virhekoodien selkeyttämistä ja niiden muuttamista. Insuliinipumpun virhekoodien ymmärtäminen olisi helpompaa käyttäjälle, jos nämä lisättäisiin paremmin pumpun ohjekirjaan.

Algoritmin parantaminen ja erityisesti liikuntasuorituksiin liittyvä kehittäminen on käytännön tasolla haastavaa, sillä käyttäjien erilaiset tarpeet sekä asetukset pitää ottaa huomioon. Teknologiaa tulisi parantaa merkittävästi algoritmin suhteen lisäten erilaisia funktioita kyseisen teknologian lähdekoodiin. Erityisesti liikuntasuorituksen mukaisen algoritmin kehittäminen pitäisi tehdä käyttäjille toimivammaksi, jotta liikuntaa harrastavat diabeetikot eivät joutuisi kokemaan vaaratilanteita liikuntasuoritustensa aikana.

Jotta insuliinipumpun laitearkkitehtuuriin tarvittavien muutoksien osalta virtakatkaisimena toimivan napin ja latausjohtojen uudistamisen lisäksi, tarvittaisiin muutoksia myös pumpun koodiin, jotta nämä toimisivat oikein. Varsinkin jos nykyaikaisemman latausjohtoon siirtyminen vaatisi nykyisen akun vaihdon, toisi se haasteita pumppujen käyttäjille. Pitäisi myös varmistaa, että pumppu kykenee vaihtamaan informaatiota ja siihen vaadittava tiedonsiirtoyhteys toimisi siirrettäessä pumpun sisäisiä tietoja tietokoneen välityksellä hoitotahoille. Akun sekä latausjohdon vaihdosta pitäisi varmistaa, että pumppu olisi turvallinen käyttää, eikä ylikuumenisi käytön aikana uuden teknologian vuoksi.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteina oli löytää mahdollisia kehitysideoita ja näiden osalta ratkaisuja. Tämän tutkimuksen ansiosta löytyi seitsemän erilaisia kehitysmahdollisuuksia, jotka jakautuivat laite, käyttöliittymä sekä muut osioihin. Laitearkkitehtuurin kehitysideoihin löytyi kaksi ideaa, jotka edes auttaisivat painikkeen ja latausjohdon parantamista. Käyttöliittymään vaikuttavista kehitysideoista löytyi viisi erilaista ratkaisua, jotka mahdollistavat paremman käyttäjäkokemuksen muuttamalla pumpun asetuksia ja näiden käyttäytymistä. Muut osion ratkaisu uudistaisi liikuntasuoritukselle tarkoitettua profiilia, joka uudistaisi tämän toiminnon turvallisemmaksi käyttäjälle välttäen hypoglykemian vaaraa käyttäjälle.

Opinnäytetyötä rajatessa löytyi insuliinipumpusta tietoa, joka liittyy erityisesti vain tilastoihin tai yleisesti diabetekseen liittyvään informaatioon tai yleisellä tasolla olevaan tietoon insuliinipumpusta. Tandem-insuliinipumpusta ei ole löydettävissä erittäin kattavasti ja laajasti tieteellisiä tutkimuksia sen vaikuttavuudesta diabeetikon elämään Suomessa, johon olisin toivonut perustaa opinnäytetyöni. Useat lähteet sekä kokemukset insuliinipumpun käytöstä sekä pumpun käyttökokemuksista koskevat kansainvälisiä muiden maiden tutkimuksia, joita on tehty esimerkiksi Yhdysvalloissa.

Insuliinipumpun teknisistä tiedoista sekä käyttöliittymään liittyvästä koodista ei ole julkista ja varmistettua tietoa, joka johtuu mahdollisesti Tandemin salassapitosopimuksista. Tandem ei tarjoa paljon teknistä informaatiota insuliinipumpun laitearkkitehtuurista, joka näkyy opinnäytetyön aikana tehdyssä informaation tulkinnassa ja tutkimisessa.

Perehtyminen Tandem-insuliinipumppuun liittyviin ongelmiin, on ollut mielenkiintoista ja tuonut uuden näkökulman insuliinipumpun toiminnasta sekä toimimattomuudesta. Opinnäytetyö auttoi syventämään tietämystä diabeetikolle kehitetyistä hoitovälineteknologioista. Esimerkiksi älyinsuliinikynän olemassaolosta en ollut kuullut koskaan ja oli mielenkiintoista perehtyä Tandem-insuliinipumpun toimintaan ja siihen liittyviin ongelmiin. Koin opinnäytetyön erittäin opettavaisena kokemuksena. Olisikin mielenkiintoista kiinnittyä työelämässä terveysteknologian kehittämistyöhön ja olla osana luomassa laitteita, joiden avulla voisi vaikuttaa toisten ihmisten elämän laadun parantamiseen.

LÄHTEET

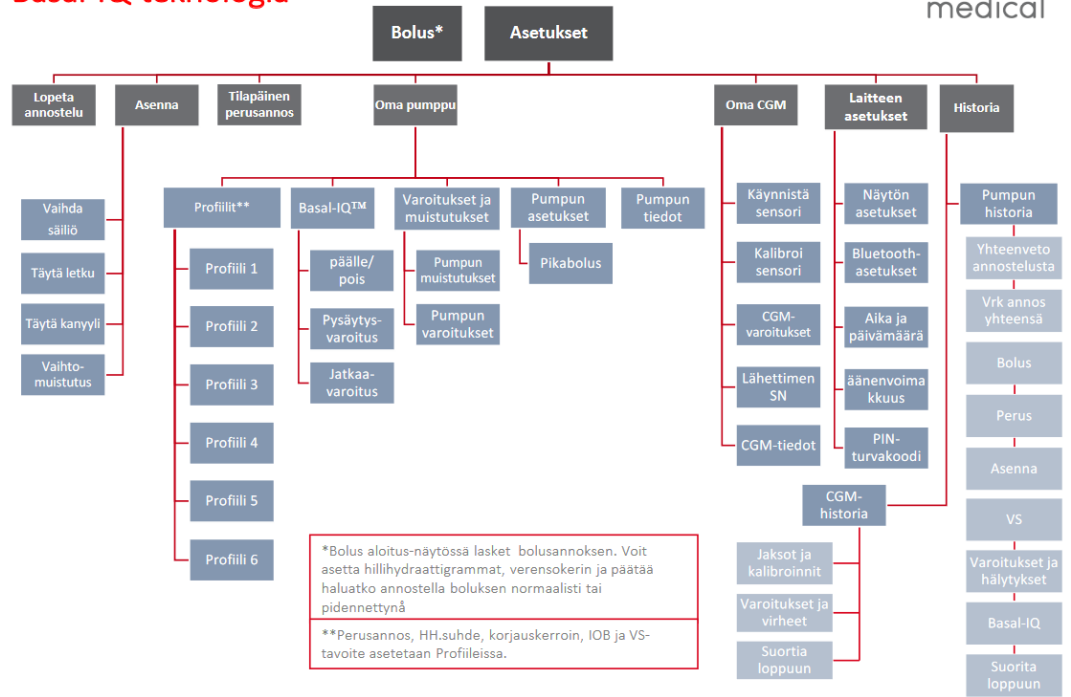
1. Honkasalo, Mikko; Miettinen, Marko & Saraheimo, Markku 2018. Diabetesteknologian käyttö perusterveydenhuollossa. Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim. Hakupäivä 29.07.2024. <https://www.duodecimlehti.fi/duo14609>
2. Tandem Diabetes Care. Predicts and helps prevent highs and lows. Hakupäivä 22.07.2024. <https://www.tandemdiabetes.com/products/automated-insulin-delivery/control-ig>
3. Ilanne-Parikka, P., Niskanen, L., Rönnemaa, T., Saha, M., & Antikainen, A. 2019. Diabetes. Kustannus Oy Duodecim. Hakupäivä 1.4.2024. <https://www.oppiportti.fi/op/opk04626>
4. Diabetesliitto 2024. Yleistä diabeteksestä. Hakupäivä 24.07.2024. https://www.diabetes.fi/diabetes/yleista_diabeteksesta
5. Ilanne-Parikka, Pirjo 2021. Tyypin 1 diabeteksen hoito. Lääkärikirja Duodecim. Hakupäivä 21.07.2024. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00774>
6. Ora, Janne 2020. Aamunkoittoilmiö nostaa verensokeria aamuyöllä. Diabetes lehti 6/2020. Hakupäivä 21.07.2024. <https://diabeteslehti.diabetes.fi/blog/2020/06/17/aamunkoittoilmiö-nostaa-verensokeria-aamuyolla/>
7. Diabetesliitto 2021. Tyypin 1 diabetes. Hakupäivä: 27.07.2024. https://www.diabetes.fi/diabetes/tyypin_1_diabetes
8. Terveyskylä 2023. Verensokerin mittaaminen kohta kohdalta. Hakupäivä 21.07.2024. <https://www.terveyskyla.fi/diabetestalo/diabeteksen-omahoito/verensokerin-omaseuranta/verensokerin-mittaaminen-kohta-kohdalta>
9. American Diabetes Association. Choosing a CGM. Hakupäivä 21.07.2024. <https://diabetes.org/about-diabetes/devices-technology/choosing-cgm>

10. American Diabetes Association. What is a smart insulin pen? Hakupäivä: 21.07.2024. <https://diabetes.org/about-diabetes/devices-technology/smart-insulin-pen>
11. Diabetes UK. What is an insulin pump? Hakupäivä 21.07.2024. <https://www.diabetes.org.uk/guide-to-diabetes/managing-your-diabetes/treating-your-diabetes/insulin-pumps>
12. Terveystalo 2023. Mikä on insuliinipumppu? Hakupäivä 21.07.2024. <https://www.terveystalo.fi/diabetestalo/diabeteksen-omahoito/pumppuhoito-diabeteksessa/mika-on-insuliinipumppu>
13. Kesavadev, Jothydev. Saboo, Banshi. Krishna, Meera B. Krishnan, Gopika 2020. Evolution of Insulin Delivery Devices: From Syringes, Pens, and Pumps to DIY Artificial Pancreas. Diabetes Therapy 11/2020. Hakupäivä 23.07.2024. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13300-020-00831-z#Sec10>
14. Tandem Diabetes Care 2023. Trusted CGM Partners Life is Better with Options. Hakupäivä 25.07.2024. <https://www.tandemdiabetes.com/products/cgm-partners>
15. Tandem Diabetes Care 2018. Tandem Diabetes Care Receives CE Mark for t:slim X2 Insulin Pump. Hakupäivä 24.07.2024. <https://investor.tandemdiabetes.com/news-releases/news-release-details/tandem-diabetes-care-receives-ce-mark-tslim-x2-insulin-pump>
16. Tandem Diabetes Care 2019. Tandem Diabetes Care Announces FDA Clearance of the t:slim X2 Insulin Pump with Control-IQ Advanced Hybrid Closed-Loop Technology. Hakupäivä 24.07.2024. <https://investor.tandemdiabetes.com/news-releases/news-release-details/tandem-diabetes-care-announces-fda-clearance-tslim-x2-insulin>
17. Bellon, Alex. Snoeren, Alex. Stefan, Deian 2022. Hacking for Fun and Glucose: Reverse Engineering an Insulin Pump. University of California. Hakupäivä 01.07.2024. <https://www.sysnet.ucsd.edu/~abellon/pubs/2022-techcon-hacking-for-fun-and-glucose.pdf>
18. Altian. High Impact, Low Power, Life-Saving GUIs. Hakupäivä 28.07.2024. https://altian.com/case_studies/tandem-diabetes-care/

19. RubinMedical 2024. Control-IQ-teknologia lisää aikaa tavoitealueella. Hakupäivä 25.07.2024. <https://rubinmedical.fi/produkt/control-iq-teknologia/>
20. Stamates-Roerty, Tracey 2024. Tandem t:slim X2 with Control-IQ Technology: The Power of Control. Tandem Diabetes Care. Hakupäivä 19.07.2024. Ei julkisesti saatavilla.
21. Tandem Diabetes Care 2024. t:connect Web ApplicationSpot trends that can help you better manage your diabetes. Hakupäivä 28.07.2024. <https://www.tandemdiabetes.com/products/software-apps/tconnect-application>
22. RubinMedical 2024. Tandem Laitepäivitysohjelma. Hakupäivä 27.07.2024. <https://rubinmedical.fi/content/uploads/2024/04/aw-1006764-b-user-guide-tandem-device-updater-fin-artwork.pdf>
23. Tandem t:slim X2 -käyttäjät 2024. Facebook yksityisyhteisö päivitys. Hakupäivä 22.07.2024. <https://www.facebook.com/share/p/69QMmVSMtQhRhkDG/>
24. Type One Talks 2022. Youtube video. Tandem t:slim X2: Full Insulin Pump Review. Hakupäivä 23.07.2024. <https://youtu.be/9xwjDU3L4T4?si=7fETYhLC-QbgtMw9&>
25. r/TandemDiabetes 2024. Reddit yhteisö päivitys Redd Malfunction Code 0x2076 Hakupäivä 22.07.2024. https://www.reddit.com/r/TandemDiabetes/comments/1e3i9du/malfunction_code_0x2076/
26. r/TandemDiabetes 2024. Reddit yhteisö päivitys. My pump randomly decided to die when I was walking home from the shops. Hakupäivä 22.07.2024. https://www.reddit.com/r/TandemDiabetes/comments/1bmo4vk/my_pump_randomly_decided_to_die_when_i_was/
27. r/TandemDiabetes 2024. Reddit yhteisö päivitys. How do I change the language on my pump. Hakupäivä 25.07.2024. https://www.reddit.com/r/TandemDiabetes/comments/1eb6n5p/how_do_i_change_the_language_on_my_pump/

28. r/TandemDiabetes 2024. Reddit yhteisö päivitys. Coming from Medtronic, I can't stand my new TSlim X2. Hakupäivä 25.07.2024. https://www.reddit.com/r/TandemDiabetes/comments/1dyjamq/coming_from_medtronic_i_cant_stand_my_new_tslim_x2/

Tandem t:slim X2-insuliinipumpun menu
Basal-IQ-teknologia



Rubin medical 2022. Tandem t:slim X2-insuliinipumpun menu. Hakupäivä 01.08.2024. <https://rubinmedical.fi/content/uploads/2022/03/1542-210825-menyoversikt-och-enkla-regler-basal-iq.pdf>