

Prof.dr. Arthur Bouwman
22 september 2023

INTREEREDE

**Meten, weten en
de werkelijkheid!**

TU/e

**EINDHOVEN
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY**

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

INTREEREDE PROF.DR. ARTHUR BOUWMAN

Meten, weten en de werkelijkheid!

22 september 2023

Technische Universiteit Eindhoven

Inleiding

Mevrouw de Rector Magnificus, College van Bestuur van de Technische Universiteit Eindhoven, Raad van Bestuur van het Catharina Ziekenhuis, geachte collega's, beste familie en vrienden, zeer gewaardeerde toehoorders,

Vandaag sta ik als clinicus voor u in de Blauwe Zaal van de Technische Universiteit Eindhoven. Het is mij een grote eer en met genoegen aanvaard ik mijn leeropdracht:

Perioperative monitoring and clinical decision support

In deze rede besteed ik aandacht aan de betekenis van medische technologie voor de perioperatieve zorg van de toekomst. Perioperatieve zorg is de zorg voor een patiënt vóór, tijdens en ná een operatieve ingreep. Patiëntbewaking en beslissingsondersteuning door technologische innovaties krijgen hierin een (nog) belangrijkere rol. Ik licht dit toe met voorbeelden van ontwikkelingen voor zorg op afstand en systemen om klinische achteruitgang bij patiënten vroegtijdig op te merken.

Om met de kern te beginnen: de zorg piept en kraakt en de zorgkosten blijven stijgen. Een integrale multidisciplinaire benadering van zorginnovatie is noodzakelijk om de zorg in de toekomst goed, toegankelijk en betaalbaar te houden. Medische technologie speelt hierbij een cruciale rol. Dit geldt ook voor de perioperatieve zorg, met als belangrijkste uitgangspunt: thuis als het kan, in het ziekenhuis als het moet. Dat vraagt om adequate patiëntbewaking, ook op afstand. Daarnaast vereist het patiëntspecifieke klinische beslissingsondersteuning. Om dit te realiseren, is een integrale, iteratieve benadering tussen technologieontwikkeling, klinische toepassing en klinische uitkomst essentieel. Dan worden klinische uitkomsten van een patiënt daadwerkelijk relevant en kosteneffectief. Daarvan ben ik overtuigd.

Ik neem u de komende drieënveertig minuten mee in de werkelijkheid van meten en weten in de perioperatieve zorg, nu en in de toekomst.

DE ROL VAN MEDISCHE TECHNOLOGIE IN DE PERIOPERATIEVE ZORG VAN DE TOEKOMST

Technologie verandert ons leven elke dag. We staan met elkaar in contact via sociale platforms. We bankieren, boeken onze vakanties en bestellen ons eten online. Auto's gaan niet meer naar de garage, maar krijgen 'over-the-air' updates zonder tussenkomst van een computer of ander apparaat. En *artificial intelligence* (AI) schrijft onze papers en voordrachten. Ik zal u geruststellen: van deze voordracht is minder dan één minuut geschreven door AI.

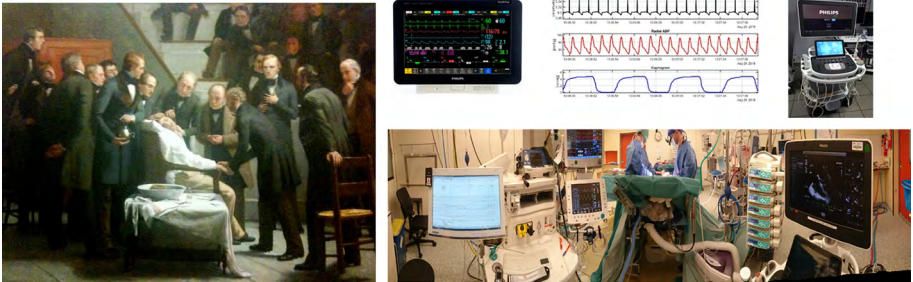
Technologie verandert ook de zorg elke dag. Het digitale tijdperk leidt tot een toename van informatie. Papieren dossiers zijn verleden tijd. Patiënten zien hun eigen uitslagen makkelijker in, soms nog eerder dan de zorgprofessional. We kunnen meer gegevens eenvoudiger toevoegen, combineren en gebruiken voor bijvoorbeeld analyse van klinische uitkomsten.

Dit geldt ook voor de perioperatieve zorg. Gegevens uit meerdere bronnen, zoals monitoren, elektronische patiëntendossiers en afbeeldingen, zijn nu al beschikbaar. De komende jaren neemt de hoeveelheid data dramatisch toe dankzij gegevens van bijvoorbeeld *wearables*, smartphones en andere 'slimme' apparaten.

Hoe anders dit vroeger was in de perioperatieve zorg, ziet u goed op het schilderij van Robert Cutler Hinckley (figuur 1A). Het is 16 oktober 1846 en tandarts William Thomas Green Morton demonstreert de toediening van ether tijdens een operatieve ingreep. Het was hem tijdens feesten en partijen namelijk opgevallen dat gebruikers van lachgas en ether pijn niet of minder leken te voelen. Het resultaat van de ingreep: een pijnloze verwijdering van een halstumor. Deze demonstratie wordt gezien als het begin van de anesthesiologie. In die tijd bestond patiëntbewaking alleen uit klinische observatie van vitale parameters. En dat ging niet altijd even goed.

De huidige realiteit is compleet anders. In figuur 1B geef ik u een inkijkje in mijn dagelijkse werk als anesthesioloog. De patiënt is verbonden met diverse apparaten die vitale parameters meten, zoals ademhaling, hartslag en bloeddruk. Dankzij de vooruitgang in patiëntbewaking is anesthesie nu buitengewoon veilig. Nog geen twintig jaar geleden legden we fysiologische veranderingen handmatig op papier vast. Tegenwoordig slaan we perioperatieve gegevens continu op in computersystemen. Waar we vroeger slechts enkele datapunten noteerden, zijn er

nu duizenden gegevens beschikbaar per patiënt. Die verschaffen ons waardevolle informatie over het verloop van een operatie.



Figuur 1. (A) William Morton demonstreert ethertoediening tijdens een operatieve ingreep (16 oktober 1846) - Robert Cutler Hinckley, (B) Moderne operatiekamer.

Hoe ziet de perioperatieve zorg er dan uit over zo'n honderd jaar? Die vraag stelde ik aan ChatGPT. Het antwoord was dat, naast minimaal invasieve procedures en 3D-printen, continue monitoring en gegevensanalyse door AI, thuisherstel en zorg op afstand belangrijke onderdelen zijn van het hypothetische beeld van perioperatieve zorg over honderd jaar. Daarbij stond wel de disclaimer dat het uitermate uitdagend is om met zekerheid te voorspellen hoe de perioperatieve zorg eruit ziet in de verre toekomst. Het blijkt dat de gebruikte data 'slechts' zijn bijgewerkt tot september 2021 en dat ChatGPT geen toegang heeft tot realtime gegevens.

Ik moet het dus zonder voorspelmodel doen en ik neem u zonder kunstmatige intelligentie mee naar 10 september 2123.

Mijn achter-achterkleinkind Arthur Futuro, Thuro voor vrienden, is datawetenschapper en het gaat hem goed. Leuke baan, mooi huis, fijne vrienden. Toch maakt hij zich zorgen. Zijn slimme wc thuis geeft aan dat zijn SWC230922-waarden te hoog zijn. Zijn digitale huisarts van thuisarts.nl bezorgt met een drone automatisch een doe-het-zelf echoapparaat. Hij scant zichzelf en neemt enkele druppels bloed af met een vingerprik, want de metingen van zijn contactlens en tandenborstel geven geen uitsluitsel.

De volgende dag bespreken de technisch geneeskundige, de datawetenschapper en de robot-chirurg de case van Thuro in het Multidisciplinair AI-overleg. Er volgt overleg met het quarternair AI-expertisecentrum en op 15 september komt hij naar

het Technisch Universitair Medisch Centrum (TUMC). De robot-chirurg opereert hem daar om negen uur 's ochtends en aan het eind van de middag mag hij weer naar huis om in zijn vertrouwde omgeving te herstellen. De Periop Support-monitor versie 10.3 meet zijn vitale parameters en biomarkers en geeft dit realtime door aan de Perioperatieve Data Unit van het TUMC.

Zeven dagen later bespreken de technisch geneeskundige, de datawetenschapper en de robot-chirurg hem in het Multidisciplinair Remote Care Team van VirtualCare Systems.

De eNurse geeft via Virtual Connect door dat de data aantonen dat zijn dag-/nachtritme weer in orde is, de biomarker-profielen in bloed, zweet en tranen zijn genormaliseerd en de triple H remote care-algoritmen zijn gestabiliseerd.

Op 22 september 2123 om vier uur 's middags haalt Thuro opgelucht adem. Hij is technisch en algoritmisch hersteld. Als hij zich verder goed voelt, mag hij zijn normale werkzaamheden hervatten. Thuro had in dit hele traject fysiek contact met slechts één zorgprofessional (de robot-chirurg) en was in totaal zes uur, dertig minuten en dertig seconden in het ziekenhuis. Thuis is hij zeven dagen lang 24/7 gemonitord. Zijn digitale thuisarts, de slimme wc, zijn contactlens, de photonische health-chip en de AI nemen de zorg weer over.

Is dit voorbeeld de toekomstige werkelijkheid? Of is het sciencefiction? Wie zal het zeggen...

Terug naar de werkelijkheid van nu.

De vooruitgang van het digitale tijdperk brengt nieuwe uitdagingen met zich mee. De enorme hoeveelheid gegevens kan zorgprofessionals in de perioperatieve zorg overweldigen. Belangrijke trends, relaties en verbanden kunnen daardoor verloren gaan en onopgemerkt blijven.

Om dit te voorkomen, moeten we beschikbare gegevens uit diverse bronnen, zoals nieuwe bewakingstechnologieën, samenvoegen met behulp van algoritmen voor beslissingsondersteunende systemen. Deze algoritmen en platformtechnologieën moeten we optimaliseren voor realtime voorspellingen. Het invoeren van dergelijke systemen in de klinische praktijk vormt een extra uitdaging. Bovendien vereist het grootschalige infrastructures voor het verzamelen en delen van

hoogwaardige gegevens tijdens het hele zorgtraject. Belangrijk hierbij zijn een zorgvuldige evaluatie van relevante klinische uitkomsten en de juiste ervaring van zorgprofessionals en patiënten.

Vroegtijdige detectie van klinische verslechtering in de perioperatieve zorg

Het is u vast niet ontgaan: we stevenen af op een zorginfarct. Er is meer zorg nodig, omdat we langer leven. Dat gebeurt niet zonder aandoeningen, en die vragen medische aandacht en zorg. Tegelijkertijd zijn er tekorten op alle vlakken: personeel, middelen en financiën. Op dit moment werkt één op de zeven werkende mensen in de zorg. Om in 2040 aan alle zorgvragen te kunnen voldoen, moet dat één op de vier worden. Als we doorgaan op dezelfde weg verdubbelen de zorgkosten in Nederland tot 174 miljard in 2040 en stijgen ze tot 26% van het bruto nationaal product in 2060[1, 2]. We krijgen hiermee dus allemaal te maken.

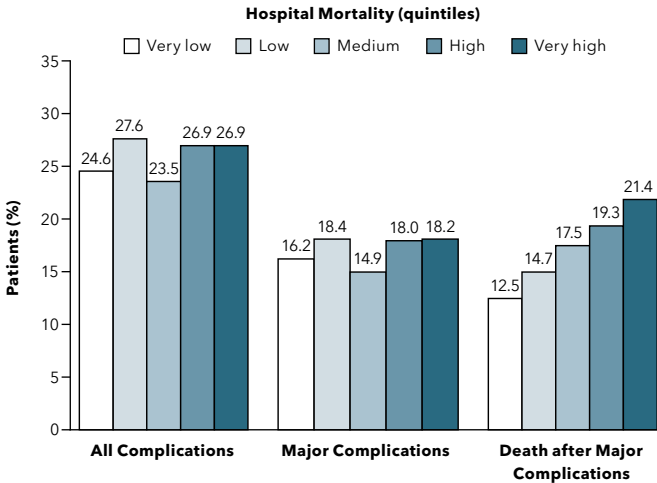
Om de zorg voor de toekomst goed, toegankelijk en betaalbaar te houden, maakten het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport en een groot aantal zorgpartijen afspraken in het Integraal Zorg Akkoord [3]. Passende zorg moet uitkomst bieden. Daarbij is een nadrukkelijke rol weggelegd voor technologie en digitalisering. De uitgangspunten zijn: zelf als het kan, thuis als het kan en digitaal als het kan.

Deze afspraken en ontwikkelingen hebben ook gevolgen voor de perioperatieve zorg. Wereldwijd vinden jaarlijks zo'n driehonderd miljoen ingrepen plaats [4]. In Nederland zijn dat ongeveer 1,2 miljoen operaties per jaar [5, 6]. Met 17,5 miljoen inwoners betekent dit dat we jaarlijks ongeveer voor elke vijftien inwoners een operatie uitvoeren. Een aanzienlijk deel van de gezondheidszorg. De kans is groot dat het ook gaat om enkelen van u.

Natuurlijk verrichten we operaties om patiënten beter te maken en te laten herstellen van een aandoening. Toch lukt dat niet altijd. Afhankelijk van de soort operatie is er een risico op complicaties, zoals een infectie, longontsteking, hersen- of hartinfarct. Ongeveer 17% tot 25% van de opgenomen patiënten in het ziekenhuis krijgt na een geplande operatie een complicatie in de perioperatieve periode. Ongeveer 15% daarvan betreft ernstige complicaties [7, 8]. Daarnaast is het verloop van complicaties niet in alle gevallen gunstig. Een deel van de patiënten komt te overlijden in de periode rondom een operatie. Dit noemen we 'failure to rescue':

overlijden als gevolg van een complicatie. In Nederland wordt de totale mortaliteit dertig dagen na een operatie met opname in het ziekenhuis geschat op 1,85% [5, 8]. Dit betekent dat van elke 54 patiënten na dertig dagen één patiënt is overleden.

Onderzoek van Ghaferi *et al.* toonde aan dat *failure to rescue*-gevallen kunnen verschillen tussen ziekenhuizen (figuur 2) [9]. Het totaal aantal complicaties na een operatie is in ziekenhuizen vergelijkbaar en ook het aantal ernstige complicaties is gelijk. Desondanks is de kans op overlijden als gevolg van een complicatie in het ene ziekenhuis lager dan in het andere ziekenhuis.



Figuur 2. Failure to rescue in de perioperatieve zorg. Percentage complicaties, ernstige complicaties en overlijden na ernstige complicaties [9].

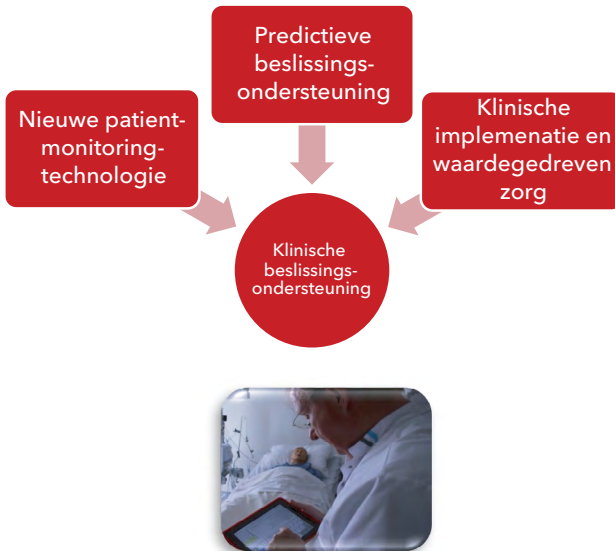
Na een operatie verloopt het herstel dus niet altijd zonder problemen. Vroegtijdige opsporing van verslechtering is dan van het grootste belang. Hoe eerder we verslechtering opmerken, hoe eerder we een complicatie kunnen behandelen en hoe beter het resultaat is. Dat geldt zowel in het ziekenhuis als daarbuiten, bijvoorbeeld thuis. Daarom zijn er systemen nodig die op een betrouwbare manier achteruitgang opsporen en die professionals en patiënten ondersteunen.

Ik stel me voor dat innovaties in de perioperatieve zorg het aantal heropnames en failure to rescue-gevallen verminderen tot zeldzame gebeurtenissen. Daartoe monitoren we patiënten op alle zorgniveaus en op alle relevante gezondheidsparameters. Onopvallende continue monitoring in combinatie met op modellen

gebaseerde beslissingsondersteuning spoort verslechtering vroegtijdig op. Daarnaast maakt het patiëntspecifieke, datagestuurde klinische beslissingsondersteuning mogelijk voor professionals in de gezondheidszorg en patiënten.

Om dit te bereiken, richt ik me op (Figuur 3):

1. het verbeteren van continue en semi-continue monitoring van vitale functies op alle zorgniveaus en het ontwikkelen van nieuwe metingen;
2. het ontwikkelen van nieuwe benaderingen om achteruitgang van patiënten te voorspellen en het mogelijk maken van proactieve klinische beslissingsondersteuning voor zorgprofessionals en patiënten;
3. klinische invoering en evaluatie gericht op relevante klinische uitkomsten en kosten.



Figuur 3. Voorgestelde onderzoekslijn voor perioperatieve patiëntbewaking en klinische beslissingsondersteuning.

Zoals eerder gezegd, vraagt dit een integrale, iteratieve benadering tussen technologieontwikkeling, klinische toepassing en klinische uitkomst. Hieraan ga ik met mijn leerstoel bijdragen.

Perioperatieve patiëntbewaking en klinische beslissingsondersteuning

Patiëntbewaking noemen we ook wel monitoring. Dat is afgeleid van het Latijnse woord 'monere', wat waarschuwen, vermanen of 'letten op met een speciaal doel' betekent, bijvoorbeeld het volgen van een ziekte, conditie of één of meer parameters over de tijd. Dit geeft goed aan waar het bij patiëntbewaking om gaat. Monitoring is geen doel op zich, maar een middel om een doel te bereiken. Zoals het vaststellen van een complicatie na een operatie, bijvoorbeeld een infectie of nabloeding.

Verder is een bekende uitspraak: Meten = Weten. Volgens mijn collega en vriend professor Ton Backx, oud-decaan van de faculteit Elektrotechniek, is het simpel: "Je moet gewoon 'netjes' meten." Natuurlijk heeft hij gelijk, maar toch klinkt het makkelijker dan het in de klinische context is. Zoals professor Massimo Mischi, hoofd van het Biomedical Diagnostics onderzoekslaboratorium, ook aangaf in zijn intreerede, is het voor een nette meting en een correcte interpretatie hiervan nodig de volledige meetketen te begrijpen [10]. Van de (patho)fysiologische bron, de fysica die ten grondslag ligt aan het meetproces, tot aan de elektronica die de gemeten signalen conditioneert. Daarna verkrijgen we op basis van modellen de (patho)fysiologische processen en parameters. Hoewel elke stap in deze keten zijn eigen uitdagingen kent, moeten we er naar mijn idee nog een belangrijk aspect aan toevoegen, namelijk de relevantie van deze meting en/of parameterschatting voor de klinische uitkomsten in de zorg. Met mijn leerstoel wil ik hieraan een belangrijke bijdrage leveren.

Met enkele voorbeelden illustreer ik de mogelijke uitdagingen van het meten en weten in de klinische setting. In Figuur 4A ziet u een voorbeeld van een deel van een electrocardiogram (ECG), een hartfilm. Deze is volledig normaal. In Figuur 4B ziet u een totaal ander ECG met het beeld van een ventrikel tachycardie, een snelle hartslag in de hartkamer die een acute behandeling nodig maakt. De monitor gaf daarom een alarm. Toch was er niets mis met het hartritme van deze patiënt. Wat was er dan aan de hand? De orthopeed plaatste een heupprothese. Door de ritmische beweging daarvan was er sprake van een bewegingsartefact op het ECG. De laatste Figuur 4C, toont een afwijkende hartfilm. Dat wijst op een zeer hoog

kaliumgehalte in de hartspiercel. Een levensgevaarlijke situatie die kan leiden tot een hartstilstand. We behandelden bij deze patiënt alleen niet het hartritme. Dit ECG kwam namelijk voor tijdens een openhartoperatie. We zetten het hart daarbij stil tijdens de operatie met een hoge dosis kalium, zodat de chirurg de ingreep kan uitvoeren. Om te voorkomen dat de hartstilstand problemen veroorzaakt, sluiten we de patiënt aan op een hart-longmachine die de functie van het hart overneemt.



Figuur 4. (A) Normaal ECG, (B) ECG-verstoring door beweging, (C) Toediening cardioplegie.

Waren de metingen bij de laatste twee voorbeelden niet netjes? Jawel, de metingen waren correct. Desondanks zorgde in het ene geval een verstoring elektrisch signaal voor een onjuiste schatting van de parameters. In het andere

geval bepaalde de context waarin de meting plaatsvond de interpretatie van de meetresultaten. Ook dit illustreert een belangrijk aspect van metingen in de klinische praktijk: de omstandigheden en context waarin we metingen verkrijgen, zijn essentieel.

Monitoringsystemen maken slechts beperkt onderscheid tussen meetproblemen en echte problemen bij de patiënt, laat staan dat ze rekening houden met de context waarin we de metingen doen. Dit leidt tot veel valse alarmen en alarm-moeheid. Naar schatting is 90% van de alarmen op operatiekamers en intensive care vals of irrelevant. Ze worden dus genegeerd [11]. We analyseerden het aantal alarmen van onze monitoringsystemen op de intensive care van het Catharina Ziekenhuis in het afgelopen jaar. Dat waren er 2,9 miljoen! Voor elke opgenomen patiënt op de intensive care betekent dit een alarmfrequentie die vergelijkbaar is met 32 alarmonderbrekingen tijdens deze rede. Vertalen we een dergelijke patiëntbewakingstrategie door naar de gewone afdelingen of zelfs naar de thuissituatie, dan is dat geen werkbaar systeem voor zorgprofessionals en patiënten. Extra alarmen leiden tot extra belasting en alarm-moeheid. Dat beïnvloedt zowel zorgverleners als patiënten negatief. Er zijn dus systemen nodig die de beschikbare informatie analyseren, interpreteren en zorgen dat zorgverleners en patiënten op basis van relevante informatie beslissingen kunnen nemen.

Ik wil u graag met een laatste voorbeeld laten zien wat ik bedoel met de relevantie van metingen voor de klinische uitkomst in de zorg. Ik kreeg de beschikking over een nieuw echoapparaat: het nieuwste model dat in mijn OK-pak past en dat ik kan aansluiten op mijn mobiele telefoon. Ik constateerde dat de beeldkwaliteit goed was en dat ik goede metingen kon verkrijgen. Er was zelfs een functie om gelijktijdig in twee richtingen een echobeeld te maken, een zogenaemde *biplane*-opname. Volgens de fabrikant was dat handig voor het inbrengen van een infuus in een bloedvat.

Mijn collega Harm Scholten vergeleek de standaardmethode met de *biplane*-methode bij het inbrengen van een halsinfuus. Hij liet daarmee zien dat er geen verschil was in het succespercentage en de complicaties tussen de twee methodes [12]. Sterker nog, de *biplane*-techniek kostte echografisten meer mentale inspanning en maakte de procedure voor de gebruiker dus moeilijker. Daarom blijven we voor het inbrengen van een halsinfuus de huidige echografiegeleide techniek gebruiken.

Ik liet u zien dat netjes meten belangrijk is, maar ook dat netjes meten niet automatisch 'weten' betekent. Informatie over de context is nodig voor een correcte interpretatie van een meting. Ook leidt een nette meting niet automatisch tot verbetering in de relevante klinische uitkomst voor patiënt of gebruiker.

Dit zijn belangrijke constatering. Om de perioperatieve zorg in de toekomst goed, toegankelijk en betaalbaar te houden, gaan we namelijk meer gebruikmaken van technologie, zowel voor continue patiëntbewaking op afstand als patiëntspecifieke beslissingsondersteuning.

Meten en weten op afstand

In het komende deel van deze rede laat ik u aan de hand van een voorbeeld zien hoe we met ons huidige onderzoek een verschuiving willen maken naar continue patiëntbewaking en patiëntspecifieke beslissingondersteuning, ook op afstand. Welke stappen doorliepen we en welke uitdagingen kwamen we tegen?

Zo'n vier-vijf jaar geleden kwam ik in de gang van het Catharina Ziekenhuis Simon Nienhuijs tegen, één van onze chirurgen. Hij deelde zijn idee om maagverkleiningsoperaties in dagbehandeling uit te voeren. Dat betekent dat de operatie 's ochtends plaatsvindt en dat patiënten nog dezelfde dag naar huis kunnen om te herstellen in hun vertrouwde omgeving. Bij deze operatie verkleinen we de maag operatief door een deel ervan te verwijderen (sleeve resectie) of door een omleiding aan te leggen (gastric bypass). Deze ingreep voeren we uit bij patiënten met ernstig overgewicht bij wie andere methoden, zoals dieet en lichaamsbeweging, niet succesvol bleken. Om dit veilig te kunnen doen, wilde Simon de eerste 24 uur na de operatie hartslag en ademhaling van de patiënten thuis monitoren om eventuele complicaties, zoals nabloedingen, op afstand op te sporen. Hij vertelde me dat er nog geen geschikte sensor beschikbaar was om te doen wat hij voor ogen had. Elke beschikbare sensor had nadelen.

Want hoewel thuismonitoring in theorie eenvoudig lijkt, blijkt het in de praktijk voor patiënten vaak ingewikkeld. Denk aan problemen met de Bluetooth-verbinding, vergeten pincodes, defecte knoppen en beperkte batterijduur. Maar ook: wie kijkt er naar de gegevens en onderneemt actie als dat nodig is? Vanaf dat moment vormden Simon en ik een duo dat vastberaden was om deze uitdaging aan te gaan.

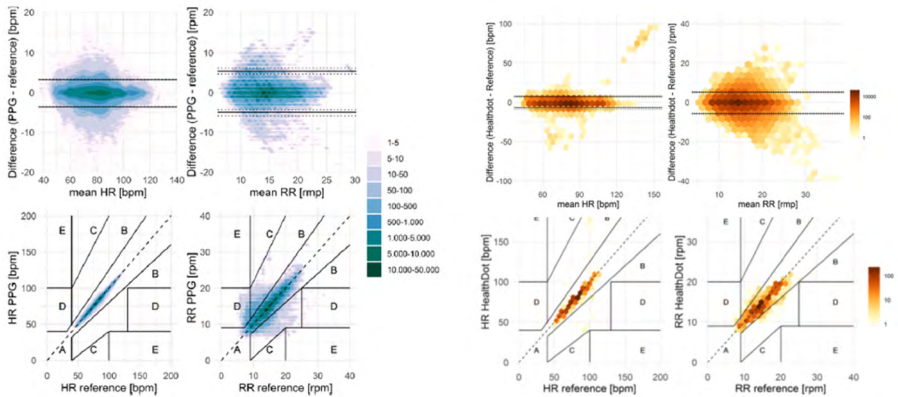
METEN

In het Eindhoven Medtech Innovation Center (e/MTIC) werken we met multidisciplinaire teams om technologie geschikt en breed toepasbaar te maken voor perioperatieve patiëntbewaking.

Zo gebruikt photoplethysmografie (PPG) licht om veranderingen in bloedvolume in de bloedvaten te meten. Bij deze methode richten we een lichtbron, meestal een LED, op de huid. Een fotodetector vangt het licht vervolgens op. Deze detector meet de veranderingen in lichtintensiteit die optreden wanneer bloed door de bloedvaten stroomt. We kunnen hiermee verschillende parameters meten, waaronder hartslag, ademhaling en zuurstofsaturatie.

Een andere technologie is accelerometrie. Ze meet versnelling van een object. We kunnen deze technologie gebruiken om fysieke activiteit van een patiënt te meten, maar ook om uit kleine microbewegingen van het lichaam hartslag en ademhalingsfrequentie te verkrijgen. Consumentenproducten, zoals sporthorloges, maken al gebruik van beide technologieën.

Bij patiënten die een buikoperatie ondergingen, lieten we zien dat we hartslag en ademhaling in de perioperatieve periode betrouwbaar en klinisch acceptabel kunnen meten met zowel PPG als accelerometrie (Figuur 5) [13, 14]. De accelerometriesensor die we onderzochten, is geïntegreerd met draadloze communicatietechnologie. Daardoor kan de sensor zelfstandig, zonder tussenkomst van een verbindingstation, gegevens naar een beveiligde cloud-omgeving verzenden. Doordat de sensor altijd is verbonden met het netwerk, kunnen we perioperatieve patiëntbewaking uitvoeren, zelfs in de thuissituatie.



Figuur 5. Bovenste panels: Bland-altman grafieken voor hartslag en ademhalingsfrequentie voor PPG (links) of accelerometrie (rechts) versus de referentiemethode. Onderste panels: Clarke Error-grids voor hartslag en ademhalingsfrequentie vergeleken met de referentiemethode [20, 23].

Bovendien toonden we aan dat ook bij patiënten met extreem overgewicht metingen van hartslag en ademhaling betrouwbaar zijn met deze sensor [15]. Dit betekende dat we nu de beschikking hadden over een sensor die we kunnen inzetten bij de patiënten van Simon!

Door samenwerking met professor Lukas Dekker, cardioloog in het Catharina Ziekenhuis, en professor Sebastiaan Overeem, somnoloog bij Kempenhaeghe, leerden we dat de signalen van beide technologieën ook relevante informatie bevatten voor de opsporing van hartritmestoornissen, zoals boezemfibrilleren, en slaapstoornissen, zoals slaapapneu. Langdurige ademstops leiden bij slaapapneu tot ernstige vermindering van de slaapkwaliteit.

In vervolprojecten kijken we nu naar methoden om deze metingen met camera's helemaal contactloos te verrichten. We maakten met deze technologie al de stap naar de ziekenhuisomgeving. We kunnen hiermee laten zien dat we hartslag, ademfrequentie en ook hartritmestoornissen kunnen opsporen.

In voorgaande studies maakten we gebruik van extra elektroden en meetapparatuur. We haalden de meetgegevens handmatig apart uit elke afzonderlijke monitor. Dat maakte de uitvoering moeilijk. Deze constatering was de aanleiding voor de ontwikkeling van een nieuwe data-infrastructuur waarmee we zonder extra meetapparatuur de monitoringgegevens in zeer hoge kwaliteit kunnen verkrijgen. In de nabije toekomst kunnen we hieraan de gegevens van wearables, zoals smartwatches en slimme pleisters, toevoegen, ook uit de thuissituatie. Zodoende kunnen we vervolgstudies beter en eenvoudiger uitvoeren.

Dit is een zeer belangrijke stap vooruit, want we maken patiëntbewaking op deze manier continu en ook op afstand toepasbaar. Dat opent de weg naar een integrale, iteratieve benadering tussen technologieontwikkeling, klinische toepassing en klinische uitkomst.

WETEN

Weten is kennis hebben van iets. Mijn collega en vriend professor Erik Korsten, oud-anesthesioloog-intensivist bij het Catharina Ziekenhuis, definieerde kennis in zijn intreerede van 21 jaar geleden als 'het vermogen om het verloop van processen te kunnen voorspellen'. Hij stelde dat ingenieurs én dokters hiermee de hele dag bezig zijn [16]. Dat is nog steeds zo. Maar waar ingenieurs met big

data-technieken en kunstmatige intelligentie grote hoeveelheden gegevens kunnen verwerken, bestaat het risico dat zorgprofessionals belangrijke trends, relaties en verbanden missen en deze onopgemerkt blijven bij traditionele benaderingen.

Zoals ik met het eerdere voorbeeld al illustreerde, realiseerden we ons dat we met het toevoegen van uitkomstgegevens en context aan de perioperatieve data, zoals klinische uitkomstgegevens, een dataset konden creëren die we kunnen gebruiken voor de ontwikkeling van voorspellende algoritmen. Die algoritmen kunnen we vervolgens gebruiken voor ondersteuning van klinische beslissingen.

Op basis van grote datasets van 26.000 patiënten met gestructureerde data uit het elektronisch patiëntendossier creëerden we een model dat ongeplande IC-opname na een operatieve ingreep voorspelde. We deden dat op basis van factoren als leeftijd, gewicht, type anesthesie, ASA-classificatie, diabetes mellitus, toediening van bloeddrukondersteunende medicijnen of bloedproducten, duur van de operatie en verkoeperperiode, en vitale parameters zoals hartslag en zuurstofsaturatie. Een volgende stap in deze analyse was dat we nieuwe analysetechnieken, zoals *machine learning*, gebruikten [17, 18].

We maakten ook gebruik van ongestructureerde data, zoals vrije tekst. Daarmee konden we vaststellen hoe bezorgd verpleegkundigen zijn over de klinische conditie van een patiënt. Dit hielp om bestaande systemen voor vroegtijdig waarschuwen voor klinische achteruitgang te verbeteren.

VROEGTIJDIG KLINISCHE ACHTERUITGANG VASTSTELLEN: CONTINU EN OP AFSTAND

Naast bestaande data kunnen we ook nieuwe gegevensbronnen toevoegen, bijvoorbeeld gegevens van wearables als smart watches en slimme pleisters. Met deze gegevens ontwikkelden we een nieuw model dat helpt om klinische achteruitgang van patiënten vast te stellen.

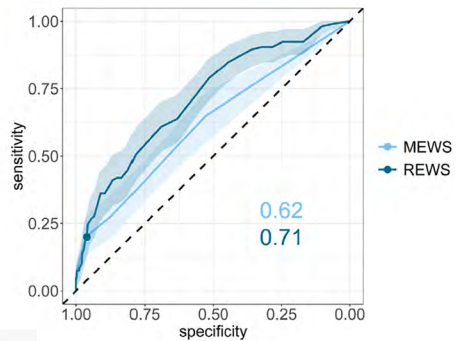
We gebruiken *early warning*-systemen in de ziekenhuisomgeving om zorgprofessionals te ondersteunen bij de herkenning van klinische achteruitgang van patiënten. Vroege tekenen van klinische verslechtering, zoals veranderingen in vitale parameters, zijn ruim vóór het optreden van een incident en/of complicatie aanwezig, tot wel 48 uur daarvóór. Zorgprofessionals verrichten hiervoor handmatige metingen. Mijn collega's Eveline Mestrom en Ashley de Bie lieten in een

observationale studie zien dat het invoeren van een systeem dat het berekenen van early warning- systemen automatiseert, leidt tot frequentere en completere metingen [19]. In een vervolgstudie toonden collega's Jonna van der Stam en Eveline Mestrom aan dat een nieuwe early warning-score, die gebruikmaakt van gegevens uit continue metingen op afstand met een slimme pleister, evengoed een complicatie voorspelt als de standaard handmatige early warning-score (Figuur 6) [20]. Dit betekent dat we het early warning-systeem nog meer kunnen automatiseren, eventueel ook in de thuisituatie.

A.

Variable	MEWS		REWS	
	<3	≥3	<2.4	≥2.4
spotchecks				
Total number	1823	86	1816	93
No deterioration	1739	65	1732	72
Deterioration (CD≥2)	84	21	84	21
% deterioration	4.6%	24.4%	4.6%	22.6%
Performance				
Sensitivity	0.20	[0.13-0.29]	0.20	[0.13-0.29]
Specificity	0.96	[0.95-0.97]	0.96	[0.95-0.97]
PPV	0.24	[0.16-0.35]	0.23	[0.15-0.32]
NPV	0.95	[0.94-0.96]	0.95	[0.94-0.96]

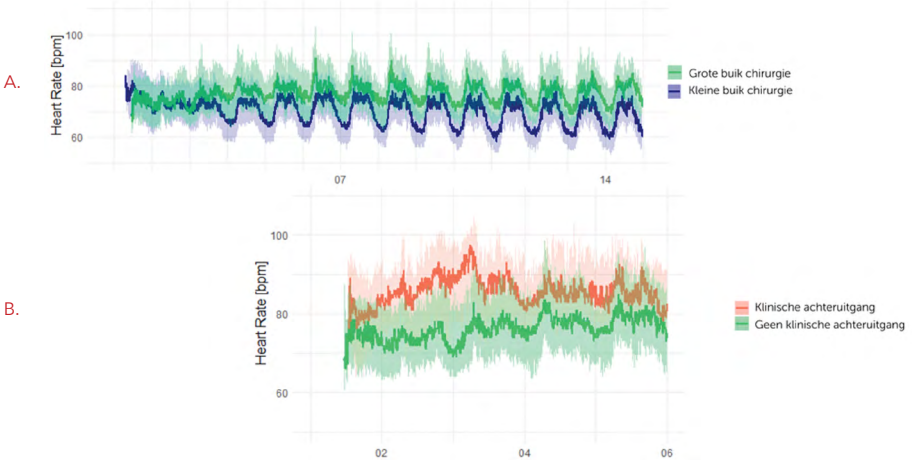
B.



Figuur 6. Prestaties (A) en ROC-curve (B) voor modified early warning-score (MEWS) en de remote early warning-score (REWS) voor klinische achteruitgang binnen 24 uur. PPV: positief voorspellende waarde, NPV: Negatief voorspellende waarde [20].

Een andere belangrijke observatie: we zagen patronen ontstaan in de continu gemeten parameters. Die patronen konden we identificeren als circadiaans ritme, oftewel het dag-/nachtritme. En wat bleek? Er waren verschillen tussen patiënten die een maagverkleiningsoperatie of een andere buikoperatie ondergingen. Maar we zagen nog meer. Er waren ook verschillen in dag-/nachtritme tussen patiënten die een complicatie kregen en patiënten waarbij het herstel zonder complicaties verliep (Figuur 7). Dit zijn belangrijke observaties. Het betekent aan de ene kant dat we de bestaande zorg kunnen ondersteunen met nieuwe monitoringsystemen. Aan de andere kant beschikken we met deze technologieën over nieuwe manieren om trend- en/of patrooninformatie beschikbaar te maken voor het klinische besluitvormingsproces.

Naast het toevoegen van gegevens uit het elektronisch patiëntendossier en wearables, zijn er ook andere databronnen beschikbaar, bijvoorbeeld apotheek, laboratorium en beeldvormende onderzoeken als echografie, CT en MRI. Die



Figuur 7. (A) Verschil in circadiaans ritme in hartslag in patiënten na grote en kleine abdominale chirurgie, (B) Verschil in hartslag in patiënten met en zonder klinische achteruitgang.

kunnen we mogelijk toevoegen aan systemen die helpen bij het herkennen van klinische achteruitgang bij patiënten. Toekomstig onderzoek moet dan ook gericht zijn op het extraheren en gebruiken van gegevens uit meerdere gegevensbronnen om algoritmen voor klinische beslissingsondersteuning te optimaliseren, te personaliseren en beschikbaar te maken voor perioperatieve zorg. Hiervoor is een solide, schaalbare data-infrastructuur noodzakelijk, geschikt voor grote hoeveelheden data en data-analyse, zoals artificial intelligence. We proberen dit op verschillende manieren te realiseren binnen de randvoorwaarden van de steeds strengere wet- en regelgeving in certificering van medische technologie en software, privacy en wetenschappelijk onderzoek. De mogelijkheid van hoogresolutie data-acquisitie binnen onze eigen afdeling, het artificial intelligence-expertisecentrum van het Catharina Ziekenhuis, en de bouw van een Health Data portal (HDP) binnen het Eindhoven Medtech Innovation Center, zijn hiervan concrete voorbeelden. Deze ontwikkelingen dragen bij aan patiëntbewaking en klinische beslissingsondersteuning voor perioperatieve zorg in de toekomst: continu, op afstand en patiënt-specifiek.

DE WERKELIJKHEID

Terug naar maagverkleiningsoperaties in dagbehandeling: door de voorgaande observaties hadden we remote accelerometrie als sensor (Meten) en een algoritme dat we konden gebruiken voor early warning-signalering (Weten). Nu moesten we de stap nog maken naar... de werkelijkheid.

We moesten aantonen dat de maagverkleiningsoperatie in dagbehandeling inderdaad net zo veilig is als de standaardbehandeling. We voerden hiervoor een klinisch onderzoek uit, waarvan we drie zaken leerden:

1. Een maagverkleiningsoperatie in dagbehandeling bleek een veilige behandeling en patiënten waren net zo tevreden als patiënten die de standaardbehandeling kregen.
2. Alle patiënten hadden een heel duidelijke eigen voorkeur voor het post-operatieve traject. De ene helft wilde na de operatie graag nog dezelfde dag met monitoring naar huis gaan, de andere helft wilde graag in het ziekenhuis blijven.
3. Bij patiënten die volgens planning dezelfde dag naar huis zouden gaan, gebeurde dat ook in 70% van de gevallen. Lukte het niet, dan was dat vanwege medische redenen of omdat een patiënt het toch niet zag zitten om naar huis te gaan. Zelfs als we deze gevallen meerekenen, bespaarden we nog steeds tot 60% van het aantal opnamenachten na een maagverkleiningsoperatie in dagbehandeling in vergelijking met de standaardbehandeling.

Deze resultaten lieten dus zien dat maagverkleiningsoperaties in dagbehandeling met thuismonitoring veilig zijn, het aantal opnamenachten aanzienlijk vermindert en patiënten net zo tevreden zijn als bij de standaardbehandeling [21].

Meten is weten leek werkelijkheid te worden!

Gesterkt door deze bevindingen wilden Simon en ik deze behandeling standaard aanbieden. Iedereen was enthousiast en zag de potentie. En wij dachten: 'Dat is dan geregeld'. Toch bleek de werkelijkheid anders. Er wierpen zich enkele drempels op voor invoering: we moesten vijftig formulieren invullen, variërend van budgetaanvragen en technische documenten tot aanvragen voor scholing. We moesten overleggen met inkopers, privacy officers, zorggroepmanagers, afdelingsmanagers, klinische fysici, ICT-ers, artsen, verpleegkundigen en voorzitter van de Raad van Bestuur. Maar uiteindelijk, na meer dan één jaar en het motto 'Wij gaan door', kunnen we dit zorgpad nu toch aanbieden in de standaardzorg.

Van meten naar weten in de werkelijkheid

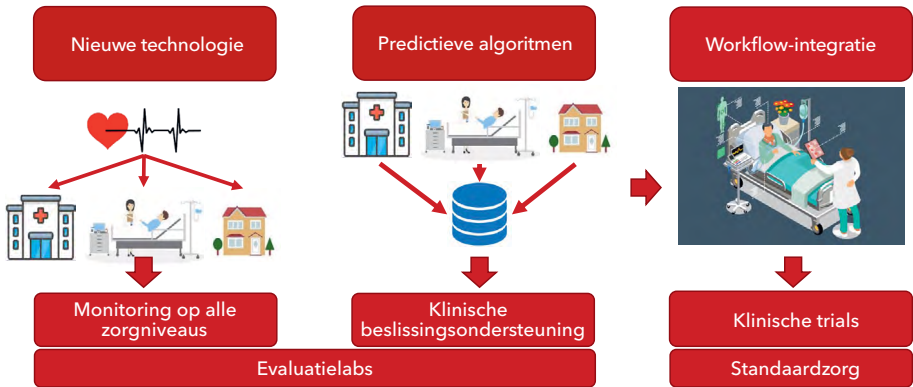
Mevrouw de rector, dames en heren. Ik heb u met enkele voorbeelden de uitdagingen laten zien van perioperatieve patiëntbewaking en klinische beslissingsondersteuning.

Op dit moment vindt het grootste deel van de perioperatieve zorg plaats in het ziekenhuis vanwege de behoefte aan gespecialiseerd personeel en apparatuur, het invasieve karakter van chirurgie en de beperking van patiëntbewaking tot het ziekenhuis.

Om de druk op ziekenhuizen te verlichten, zal het accent van de perioperatieve zorg verplaatsen van intra- naar extramuraal. Het uitgangspunt daarbij is: thuis als het kan, in het ziekenhuis als het moet. Dat vraagt om adequate patiëntbewaking, ook op afstand. Daarnaast vereist het patiëntspecifieke klinische beslissingsondersteuning.

Wat we hiervoor nodig hebben, is onderzoek naar nieuwe meettechnologie en analysetechnieken voor de ontwikkeling van modellen voor beslissingsondersteuning, maar ook evaluatie en implementatie van deze technologie in de klinische setting, met een focus op patiëntrelevante uitkomsten en kosten (Figuur 3). Hierop zal ik me met mijn leerstoel richten.

Ik stel voor dat ingenieurs en klinische onderzoekers in alle onderzoeksfasen met elkaar samenwerken. Sensor- en modelontwikkeling in de vroege fase van deze projecten vindt bij voorkeur ook plaats in de klinische omgeving. In mijn ogen kan de realisatie van onderzoeksomgevingen dichtbij en zelfs in de klinische omgeving voordelig zijn. In deze veilige omgevingen kunnen we vroege prototypes ontwikkelen, testen en verfijnen op basis van klinisch-relevante gegevens. In deze omgeving zetten we ook de stap naar in vivo-testen. Van daaruit komen we dan tot klinische evaluatie en eventueel opschalen (Figuur 8). Binnen het Eindhoven Medtech Innovation Center passen we deze manier van werken al toe.



Figuur 8. Voorgestelde onderzoekslijn voor perioperatieve patiëntbewaking en klinische beslissingsondersteuning.

Aan het begin van deze rede nam ik u mee naar 2123 en schetste ik een beeld hoe de perioperatieve zorg voor mijn achter-achterkleinkind Thuro eruit zou kunnen zien. Of dit sciencefiction is of over honderd jaar realiteit, is nu lastig in te schatten. Maar is dat erg? Zag William Morton, tijdens die eerste demonstratie van ether-toediening tijdens een operatieve ingreep, mijn huidige dagelijkse praktijk al voor zich? Vast niet. Toch verspreidde de methode zich na zijn demonstratie razendsnel over de wereld en omarmden velen deze nieuwe techniek.

De werkelijkheid waarmee we nu te maken hebben, is dat de technologische ontwikkelingen zeer snel gaan. Dat geldt ook voor technologie die we uiteindelijk kunnen inzetten voor de gezondheidszorg. Om in de huidige tijd van een idee naar een nieuwe zorgbehandeling te komen, moet je een lange weg afleggen en verschillende zogenoemde valleien des doods doorkomen. In de vroege fase gaat het om productontwikkeling en certificering van het uiteindelijke product, in de latere fase om klinische acceptatie en opname in de vergoede standaardzorg.

In deze trajecten is technologie meestal niet de beperkende factor. De drempels zitten vaker in de certificering en invoering, met regelgeving (privacy, MDR), opschaling en kosten als barrières. We leven in een tijd waarin zorgbudgetten teruglopen en de financiering van zorgproducten in silo's gaat op basis van aantallen. De consequentie is dat voor invoering van zorginnovaties drempels bestaan en een lange adem nodig is. Dit is niet anders voor ontwikkeling van technologie op grote schaal voor de zorg.

Om ideeën voor medische technologie zo snel mogelijk te ontwikkelen en beschikbaar te maken voor patiënten en gebruikers, is multidisciplinaire samenwerking essentieel. Naast netwerken van zorg, waar de overheid op stuurt, zijn er netwerken nodig voor onderzoek en zorginnovatie. Deze ecosystemen maken het mogelijk en stimuleren dat ingenieurs en klinici samen de technologische oplossingen voor de zorg van morgen bedenken en ontwikkelen.

Ik ben me ervan bewust dat samenwerking met industriële partners in deze tijd onder een vergrootglas ligt. Toch is interactie tussen de academische, medische en industriële wereld ook een effectieve manier van technologieontwikkeling. Dat mocht ik binnen het Eindhoven Medtech Innovation Center ook ervaren. Binnen dit Medtech-samenwerkingsverband in de Brainportregio creëren we de voorwaarden om ideeën voor medische technologie zo snel mogelijk te ontwikkelen en beschikbaar te maken voor patiënten en gebruikers. Samenwerking leidde tot resultaten op het gebied van schaalbare infrastructuur voor grote hoeveelheden data en data-analyses, maar ook tot kennisontwikkeling voor regelgeving over privacy, medische technologie en software.

Hoewel de blik in de toekomst in het begin van deze rede verzonnen is, is het te verwachten dat met de toekomstige veranderingen ook zorgprofessionals nodig zijn met nieuwe competenties. Zorgprofessionals met een meer technische achtergrond, medische datawetenschappers en e-verpleegkundigen bijvoorbeeld. Dat technologie een grotere rol gaat spelen in de gezondheidszorg zal niemand betwisten, en zeker niet op een technische universiteit. Technologische ontwikkelingen droegen in het verleden ook zonder twijfel bij aan gezondheidswinst.

Een andere werkelijkheid is dat technologische ontwikkelingen ook een prijsopdrijvend effect kennen [1]. Dit komt enerzijds door de hoge ontwikkelkosten voor nieuwe technologie. Anderzijds creëert aanbod van technologie en behandelmethoden nieuwe vraag en volume. En dat verhoogt de kosten. De gezondheidswetenschapper Milton Roemer beschreef dit fenomeen als 'A bed built, is a bed filled' [22]. Of dit op dezelfde manier geldt voor virtuele bedden in de digitale zorg is de vraag.

Dit fenomeen staat ogenschijnlijk in contrast met de eerdergenoemde uitdagingen waarvoor de zorg staat. Dat brengt ons bij het andere uitgangspunt van het Integraal Zorg Akkoord, namelijk: passende zorg is waardegedreven. Zorg is aantoonbaar effectief en heeft meerwaarde voor de patiënt. We zetten mensen, middelen en materialen doelmatig in.

Bij waardegedreven zorg definiëren we waarde voor de patiënt als de patiënt-relevante klinische uitkomst in relatie tot de totale kosten en energie voor deze klinische uitkomst. Dit denkmodel wordt gezien als oplossing voor de stijgende zorgkosten en ligt als uitgangspunt vast in het Integraal Zorg Akkoord.

Om dit te realiseren, is het nodig om klinische uitkomsten van zorg te analyseren aan de hand van patiëntrelevante klinische uitkomsten en kosten. Daarvoor kunnen we technologie prima inzetten.

Dit vereist de ontwikkeling van nieuwe vaardigheden bij zorgverleners en andere professionals in de gezondheidszorg, zoals het analyseren van grote hoeveelheden patiëntgegevens en zorgkosten en het initiëren van nieuwe initiatieven. Het is essentieel om rekening te houden met deze vereisten bij de ontwikkeling van nieuwe onderwijsstructuren en educatieprogramma's.

Binnen de multidisciplinaire samenwerking in het Eindhoven Medtech Innovation Center hebben we ervaren dat leren waardevoller wordt wanneer we theoretische kennis toepassen op problemen uit de echte wereld. Daarnaast versnelt kennisontwikkeling over domeinen heen het leren. En juist dat moeten we stimuleren. Daarom streef ik naar een omgeving die samenwerking tussen domeinen echt ondersteunt. Een van de voorbeelden is dat we binnen het Catharina Ziekenhuis een grote werkruimte creëerden waar alle PhD's kunnen samenwerken. Medische PhD's van verschillende specialismen, maar ook technische PhD's.

Deze integrale benadering van zorginnovatie is noodzakelijk om de zorg in de toekomst goed, toegankelijk en betaalbaar te houden. Onderzoek, onderwijs en samenwerking. Dat zie ik als cruciaal deel van mijn hoogleraarschap en daarvoor zet ik me met heel veel energie in. Want dan wordt meten is weten, echt werkelijkheid!

Dankwoord

En nu de werkelijkheid van dit hoogleraarschap voor mij. Het is de verdienste van velen dat ik hier sta en van het voorrecht geniet om te werken met gedreven en inspirerende mensen uit verschillende disciplines om samen tot oplossingen te komen voor de perioperatieve zorg van de toekomst. Ik maak graag gebruik van de gelegenheid om enkele mensen te bedanken.

Ik dank het College van Bestuur van de Technische Universiteit Eindhoven en de bestuurders van de faculteit Electrical Engineering voor het instellen van deze leerstoel en het in mij gestelde vertrouwen. De Raad van Bestuur van het Catharina Ziekenhuis, wil ik danken voor hun rol binnen het innovatieve en wetenschappelijke klimaat in ons ziekenhuis.

Ik dank de collega's van mijn vakgroep Anesthesiologie, Intensive Care en Pijn-geneeskunde in het Catharina Ziekenhuis voor de steun en vrijheid die we elkaar geven om onszelf te kunnen ontwikkelen. Samen vormen we een fantastische groep waarop ik trots ben.

Ook de bestuurders en collega's van het Eindhoven MedTech Innovation Center wil ik bedanken voor de steun, energie en mogelijkheden die deze unieke samenwerking in de Brainportregio creëert.

Ik dank de post-docs en promovendi met wie ik de afgelopen jaren heb mogen samenwerken: Charissa van den Brom, Caroline Bulte, Ingeborg Herold, Tilai Rosalina, Ashley de Bie, Rick van Loon, Laura Bogatu, Eveline Mestrom, Jonna van der Stam, Harm Scholten, Dennis Dingen, Tom Bakkes, Luuk van Knippenberg, Anouk van Diepen, Irene Suriani, Esmee de Boer, Federica Samali, Catarina Fernandes, Joris van houte, Iris Cramer, Rick van Esch, Cindy verstappen, Emma Moonen, Jelte Haakma, Sophie Adelaars, Renee van den Broek, Mariska te pas, Jai Scheerhoorn, Friso Schonck, Lisa van Ede, Roy van Mierlo, Monique Hendrix, Frederique de Raat, Tineke de Vries, Agata Barbagini, Vincent van der Schaft, Sonia Babac en Daphne Nabben.

Ik dank de collega's van de vakgroep Signal Processing Systems van de Technische Universiteit Eindhoven. In het bijzonder noem ik prof.dr.ir. Jan Bergmans en prof.dr.ir. Massimo Mischi, die voor mij de basis legden op de TU/e. Ik dank ook professor Rick Bezemer, professor Lukas Dekker, professor Sebastiaan Overeem, professor Misha Luyer, doctor Simona Turco, doctor Rik Vullings, doctor Ruud van Sloun, doctor Sveta Zinger en doctor Elisabetta Peri voor de prettige samenwerking en ik kijk uit naar alle gezamenlijke vervolgprojecten.

Ook wil ik de collega's van Philips Research bedanken voor het vertrouwen en de samenwerking die we de afgelopen jaren hebben opgebouwd. In het bijzonder noem ik Ton Flaman en Franklin Schuling, die de basis legden voor deze samenwerking, waarvoor mijn dank.

Ik dank de medisch specialisten van het Catharina Ziekenhuis voor de collegialiteit, samenwerking en steun in de afgelopen jaren.

En dan speciale dank aan de anesthesiemedewerkers, screeners van de preoperatieve polikliniek, perfusionisten, instrumenterende van de chirurgie, de MADA's, collega's van het secretariaat van de OK en polikliniek. Jullie maken het mogelijk om elke dag de hoogste kwaliteit van zorg te leveren. Het is een plezier om met jullie te werken. Hiervoor wil ik jullie allemaal bedanken.

Het ziekenhuis kan niet meer zonder techniek en de afdelingen die dit realiseren. Zo wil ik de collega's van ICT, klinische fysica, Healthcare Intelligence en het AI-expertisecentrum bedanken. Jullie zijn cruciaal voor de projecten die we uitvoeren. En hetzelfde geldt natuurlijk ook voor de collega's van het wetenschapsbureau. Dank voor jullie support. Harald van de Pol, Wilma Compagner, Loes Lammers, Nienke Bax en Carla Kloeze: ik kijk uit naar alle toekomstige projecten en ontwikkelingen!

Ik dank prof.dr. Jaap de Lange, niet alleen omdat hij mijn opleider was in de anesthesiologie, maar ook omdat hij mij op het pad zette van het onderzoek, samen met prof.dr. Christa Boer. Dat was de basis waarom ik hier nu mag staan. Het was een mooie tijd in het laboratorium van de Fysiologie en de afdeling Anesthesiologie van het VU medisch centrum.

En speciaal dank ik professor Erik Korsten. Beste Erik, collega en vriend, jij was een belangrijke reden voor mij om de stap te maken naar het Catharina Ziekenhuis. Ik heb er geen moment spijt van gehad. Jouw enthousiasme en neus voor nieuwe dingen geven onderzoeksprojecten net dat extra's waardoor ze onderscheidend zijn. Ik leerde veel van je en geniet van de samenwerking. Dank hiervoor.

Ik dank mijn familie, vrienden en bekenden. Ze droegen allemaal bij aan mijn ontwikkeling.

Papa, helaas is mama hier niet meer bij. Ze overleed ruim acht jaar geleden. Ik realiseer me goed wat ik aan jullie heb te danken. Ik dank jullie hiervoor vanaf deze plaats.

Als laatste bedank ik mijn gezin, het belangrijkste in mijn leven. Jasper en Eva, wat ben ik trots op jullie. Lieve Sil, je bent en blijft geweldig.

Ik heb gezegd.

Referenties

1. RIVM (2020) Toekomstverkenning zorguitgaven 2015-2060
2. CPB (2022) Zorguitgaven, ons een zorg?
3. (2022) Integraal Zorg Akkoord - samenwerken aan gezonde zorg
4. Weiser TG, Haynes AB, Molina G, et al (2016) Size and distribution of the global volume of surgery in 2012. *Bull World Health Organ* 94:201-209F. <https://doi.org/10.2471/blt.15.159293>
5. Noordzij PG, Poldermans D, Schouten O, et al (2010) Postoperative Mortality in The Netherlands. *Anesthesiology* 112:1105-1115. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3181d5f95c>
6. CBS (2014) Operaties in het ziekenhuis; soort opname, leeftijd en geslacht, 1995-2010. <https://opendata.cbs.nl/>
7. Pearse RM, Clavien P-A, Demartines N, et al (2016) Global patient outcomes after elective surgery: prospective cohort study in 27 low-, middle- and high-income countries. *Br J Anaesth* 117:601-609. <https://doi.org/10.1093/bja/aew316>
8. Pearse RM, Moreno RP, Bauer P, et al (2012) Mortality after surgery in Europe: a 7 day cohort study. *The Lancet* 380:1059-1065. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61148-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61148-9)
9. Ghaferi AA, Birkmeyer JD, Dimick JB (2009) Variation in Hospital Mortality Associated with Inpatient Surgery. *New England Journal of Medicine* 361:1368-1375. <https://doi.org/10.1056/NEJMsa0903048>
10. Mischi M (2018) Human intelligence in biomedical diagnostics. Technische Universiteit Eindhoven
11. Drew BJ, Harris P, Zègre-Hemsey JK, et al (2014) Insights into the problem of alarm fatigue with physiologic monitor devices: A comprehensive observational study of consecutive intensive care unit patients. *PLoS One* 9:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110274>
12. Scholten HJ, Meesters MI, Montenij LJ, et al (2021) 3D biplane versus conventional 2D ultrasound imaging for internal jugular vein cannulation. *Intensive Care Med*. <https://doi.org/10.1007/s00134-021-06579-9>
13. Mestrom E, Deneer R, Bonomi AG, et al (2021) Validation of heart rate extracted from wrist-based photoplethysmography in the perioperative setting: Prospective observational study. *JMIR Cardio* 5:. <https://doi.org/10.2196/27765>

14. van der Stam JA, Mestrom EHJ, Scheerhoorn J, et al (2022) Accuracy of vital parameters measured by a wearable patch following major abdominal cancer surgery. *European Journal of Surgical Oncology* 48:917-923. <https://doi.org/10.1016/j.ejso.2021.10.034>
15. Jacobs F, Scheerhoorn J, Mestrom E, et al (2021) Reliability of heart rate and respiration rate measurements with a wireless accelerometer in postbariatric recovery. *PLoS One* 16:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247903>
16. Korsten H (2002) Signalen Signaleren. Technische Universiteit Eindhoven
17. Bakkes THGF, Mestrom EHJ, Ourahouz N, et al Timely prediction of postoperative patient deterioration by machine learning. submitted
18. Mestrom EHJ, Bakkes THGF, Ourahou N, et al Prediction of postoperative patient deterioration and unanticipated intensive care unit admission using perioperative factors. submitted
19. Mestrom E, De Bie A, van de Steeg M, et al (2019) Implementation of an automated early warning scoring system in a surgical ward: Practical use and effects on patient outcomes. *PLoS One* 14:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213402>
20. van der Stam JA, Mestrom EHJ, Nienhuijs SW, et al (2023) A wearable patch based remote early warning score (REWS) in major abdominal cancer surgery patients. *European Journal of Surgical Oncology* 49:278-284. <https://doi.org/10.1016/j.ejso.2022.08.034>
21. van Ede ES, Scheerhoorn J, Buisse MP, et al (2023) Telemonitoring for perioperative care of outpatient bariatric surgery: Preferencebased randomized clinical trial. *PLoS One* 18:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281992>
22. Roemer M (1961) Bed supply and hospital utilization: a natural experiment. *Hospitals (Lond)* 35:36-42
23. van der Stam JA, Mestrom EHJ, Scheerhoorn J, et al (2023) The Accuracy of Wrist-Worn Photoplethysmogram-Measured Heart and Respiratory Rates in Abdominal Surgery Patients: Observational Prospective Clinical Validation Study. *JMIR Perioper Med* 6:e40474. <https://doi.org/10.2196/40474>

Curriculum vitae

Prof.dr. R. Arthur Bouwman werd op 1 augustus 2022 benoemd tot deeltijd-hoogleraar 'Perioperative patient monitoring and Clinical Decision Support' bij de faculteit Electrical Engineering aan de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e).

Arthur Bouwman (1976) behaalde zijn artsdiploma in 2001 aan de Rijksuniversiteit Groningen. In 2006 promoveerde hij cum laude op het onderwerp 'Volatile Anesthetics and the Heart. Mechanisms of Sevoflurane-induced Cardioprotection'. Dit deed hij bij de afdeling anesthesiologie van het VU Medisch Centrum in Amsterdam. Hier ging hij in 2010 werken na het afronden van zijn opleiding tot anesthesioloog. Hij specialiseerde zich in de cardio-anesthesiologie en richtte zich op onderzoek en opleiding. In 2013 zette hij zijn werkzaamheden voort in het Catharina Ziekenhuis in Eindhoven. Daar combineert hij zijn klinische werk met onderzoek in het Eindhoven MedTech Innovation Center (e/MTIC). Dit is een samenwerkingsverband in de Brainport-regio tussen de TU/e, Philips en 3 ziekenhuizen (Catharina Ziekenhuis, Kempenhaeghe en Maxima Medisch Centrum).

Hij heeft een sterke achtergrond in het monitoren van cardiovasculaire patiënten en klinische beslissingsondersteuning in de perioperatieve zorg. In zijn onderzoek richt hij zich op nieuwe sensortechnologie, voorspellende patiënt-specifieke beslissingsondersteunende systemen, implementatie van klinische workflows en waardegedreven optimalisatie van de gezondheidszorg.

Colofon

Productie

Communicatie Expertise
Centrum TU/e

Fotografie cover

Bart van Overbeeke
Fotografie, Eindhoven

Ontwerp

Grefo Prepress,
Eindhoven

Digitale versie:
research.tue.nl/

Bezoekadres

Gebouw 1, Auditorium
Groene Loper, Eindhoven

Navigatieadres

De Zaale, Eindhoven

Postadres

Postbus 513
5600 MB Eindhoven
Tel. (040) 247 9111
www.tue.nl/plattegrond

The logo for TU/e, consisting of the letters 'TU/e' in a bold, sans-serif font. The 'e' is lowercase and has a distinctive shape with a horizontal bar at the top.

**EINDHOVEN
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY**