

Statusartikel

Ugeskr Læger 2022;184:V03220219

Fremtidens patientmonitorering på sengeafdelingen

Christian S. Meyhoff^{1, 2} & Eske K. Aasvang^{2, 3}

1) Anæstesiaafdelingen, Københavns Universitetshospital – Bispebjerg og Frederiksberg Hospital, 2) Institut for Klinisk Medicin, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet, 3) Anæstesiaafdelingen, Center for Kræft og Organsygdomme, Københavns Universitetshospital – Rigshospitalet

Ugeskr Læger 2022;184:V03220219

HOVEDBUDSKABER

- Hver tredje risikopatient risikerer alvorlige komplikationer under indlæggelse.
- Aktuell klinisk monitorering består af manuelle målinger hver 8.-12. time, med risiko for uobserveret forværring.
- Teknologiske og medicinske fremskridt muliggør kontinuerlig, trådløs overvågning med kunstig intelligens-analyse.

Størstedelen af hospitalsindlæggelser foregår på sengeafdelingerne, som er karakteriseret ved, at hver sygeplejerske har ansvaret for et stort antal patienter, men med begrænset adgang til overvågning og interventioner. Ikke desto mindre forventer patienter at være i trygge hænder, hvilket desværre ikke altid reflekteres i data [1, 2].

I denne artikel beskrives den aktuelle status vedrørende patientmonitorering på danske hospitaler uden for intensiv-, intermedier- og opvågningsafsnit. Fokus er på de muligheder, som teknologiske fremskridt giver, og de forhindringer, der skal overkommes for at bygge et tidssvarende patientsikkert overvågningssystem.

Takket været en langvarig indsats er intraoperativ mortalitet en så sjælden hændelse i det danske sundhedsvæsen, at det skal indberettes til politiet. Årtiers dedikeret fokus inden for optimerede patientforløb betyder, at langt de fleste patienter (> 80%) har ukomplicerede kirurgiske forløb og ofte kommer hjem efter få dage [3]. Til trods for denne succes vil 17% af patienter, som gennemgår ikkeambulante elektive indgreb, få en alvorlig komplikation inden for 30 dage efter operationen [4], og ud af de 313 millioner årlige kirurgiske indgreb på verdensplan i 2015 døde 4,2 millioner mennesker inden for 30 dage fra operation svarende til den tredjehyppigste dødsårsag globalt [5]. Disse tal er endnu alvorligere for patienter, der gennemgår et større kirurgisk indgreb eller er indlagt på grund af alvorlig medicinsk sygdom. Her pådrager hver tredje patient sig en alvorlig komplikation [6], primært under opholdet på almindelige sengeafdelinger, og reducerer sundhedsvæsenets samlede kapacitet som følge af forlænget indlæggelse og øget ressourceforbrug [7]. En mulig forklaring på disse høje komplikationsrater ligger i, at indlagte patienter i dag ofte er ældre med flere komorbiditeter, og at raske patienter ikke forbliver indlagt.

Markante fremskridt inden for sensorteknologi og matematisk modellering har i de seneste år muliggjort kontinuerlig trådløs overvågning og kunstig intelligens (AI)-vurdering af de indsamlede data i forhold til behovet for alarmering. Dermed begynder vi at se muligheden for markant øget overvågning på sengeafdelinger, hvis teknologien tilpasses den kliniske virkelighed.

DET KIRURGISKE PATIENTFORLØB SOM EKSEMPEL

I Danmark bliver postoperative patienter som udgangspunkt overflyttet til dedikerede opvågningsafsnit og ved mindre procedurer eventuelt direkte til sengeafdeling eller sågar eget hjem. På opvågningen er der som regel 1-2 patienter pr. sygeplejerske samt mulighed for fuld monitorering af vitalparametre. Udskrivning til sengeafdelingen er et markant skift i både personale pr. patient og behandlingsmuligheder og følger oftest det samme regime uanset patientens komorbiditet eller procedure – begge faktorer, som signifikant påvirker risikoen for efterfølgende komplikationer. I Danmark er der ikke en formel step down-strategi i form af intermediære sengepladser til patienter, der ikke længere har behov for behandling på opvågnings- eller intensivafdelinger, men vurderes at have behov for observation ud over sengeafdelingens vanlige rammer. Dette medfører enten fortsat unødigt indlæggelse på intensiv- eller opvågningsafsnit eller overflytning til sengeafdelingen med risiko for uobserveret forværring, en strategi som kan benævnes fall down.

At ophold på sengeafdelingen bør have øget fokus har været kendt gennem mere end ti år, da det er veldokumenteret, at størstedelen af postoperative dødsfald (73%) sker på sengeafdelingerne [8].

Der er således en direkte sammenhæng mellem personaleressourcer og kirurgiske komplikationer [9]: Hver enkelt ekstra patient pr. sygeplejerske medfører 16% øget risiko for død, og akutte kirurgiske forløb har værre prognose på dage med sparsom bemanning [10]. Den lave bemanning på sengeafdelingen burde medføre øget fokus på tidlig opsporing af sygdom for at starte behandling så hurtigt som muligt og forebygge forværring. Men de nationale monitoreringsindsatser har indtil videre ikke været effektive til at nedbringe hverken morbiditet eller mortalitet trods en formodning om, at den aktuelle manuelle intermitterende monitoreringspraksis kræver allokering af store personaleressourcer på daglig basis.

KLINISK STANDARD

Aktuel klinisk standard for overvågning på sengeafdelinger består af såkaldte track-and-trigger-systemer såsom Early Warning Score (EWS) og Tidlig Opsporing af Kritisk Sygdom (TOKS) [2, 11, 12]. Randomiserede studier har dog ikke kunnet påvise effekt på mortalitet eller hjertestop af disse systemers indførelse [13-15], og årsagerne er flere: Man benytter i dag en metodologi, der grundlæggende blev opfundet for flere årtier siden [16]. Når manuelle intermitterende målinger som udgangspunkt sker hver 8.-12. time, betyder det i praksis, at patienternes vitalparametre ikke observeres i > 95% af døgnnet. Dette indebærer en betydelig risiko for uobserveret forværring og forsinket behandling, som kan ende fatalt i tilfælde, der burde være forebyggelige, såkaldt failure-to-rescue.

Der sker ofte fejlregistreringer i de manuelle målinger, og EWS/TOKS-værdier opgøres ofte således, at de netop ikke udløser medicinsk akutteam-tilsyn, og eskaleringprotokoller i forhold til øget observationsfrekvens følges ikke særlig tit [17]. Sammenlignes manuel overvågning med kontinuerlig monitorering, kan det ses, at op til 90% af tilfældene med perifer arteriel iltmætning (SpO_2) < 90% ikke opfanges ved de manuelle målinger [18] – et tal, som vi har genfundet i danske studier, hvor SpO_2 < 85% i mere end ti minutter kun blev opdaget af EWS i 2% af tilfældene, mens kontinuerlig monitorering dokumenterede, at det forekom hos 52% af patienterne [19]. Disse fund er vigtige af to grunde: 1) Svære fysiologiske afvigelser forekommer uden personalets kendskab, og 2) det er ikke alle svære afvigelser, der er farlige, da det ikke er 52% af patienterne, der kommer svært til skade. Sagt med andre ord skal der etableres en klar forbindelse mellem kontinuerligt målte afvigelser i vitalparametre og klinisk relevante komplikationer, der berettiger alarmering og især interventioner.

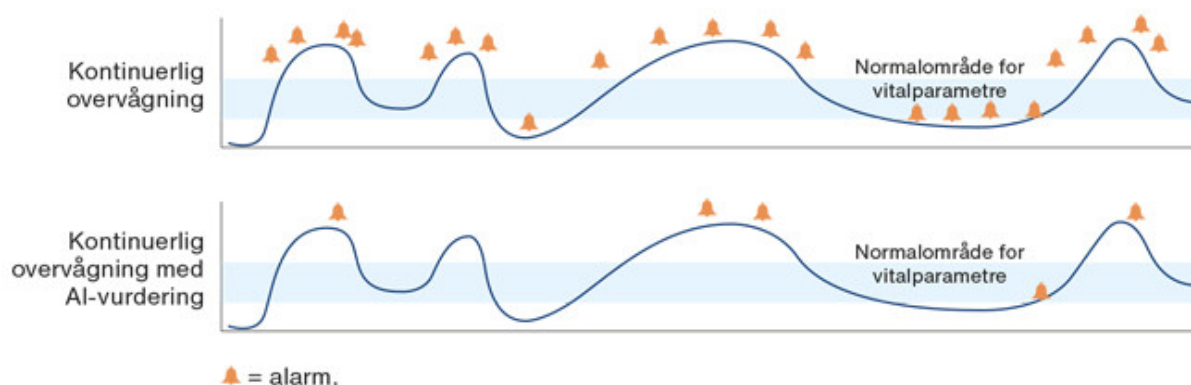
VITALPARAMETRE VS. KOMPLIKATIONER

Konceptet bag måling af vitalparametre bygger på, at disse er prodromer til en klinisk komplikation såsom sepsis, myokardieinfarkt eller pneumoni [20].

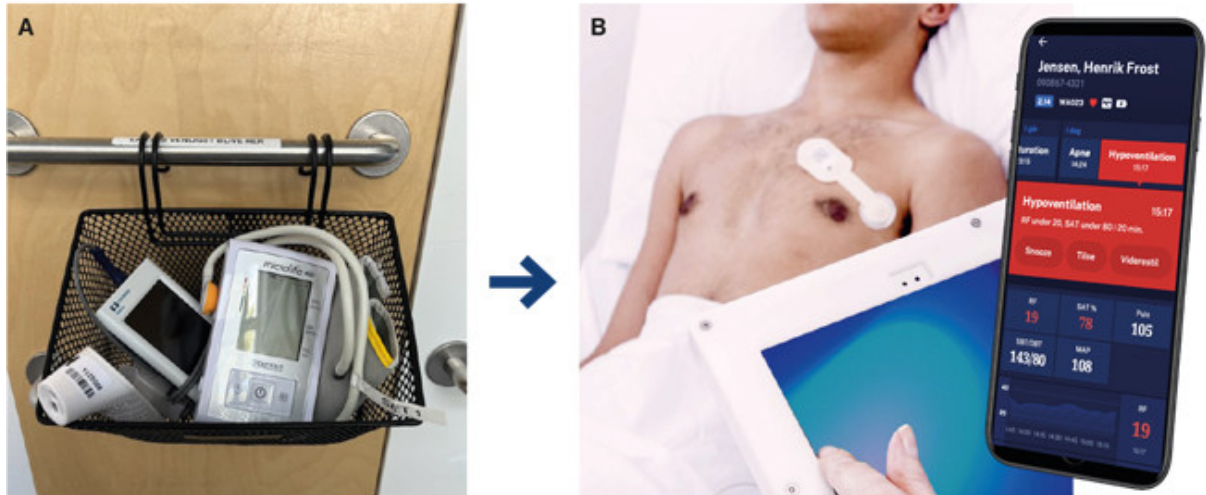
Således stiger risikoen for etårsmortalitet med 20% for hver 10% øget forekomst af episoder med $SpO_2 < 85\%$ [21], og risiko for myokardieinfarkt og/eller død stiger 3% for hver ti minutters øget varighed af systolisk blodtryk < 90 mmHg [22], navnlig dag 2-4 postoperativt. Forekomst af afvigende vitalparametre målt kontinuerligt er signifikant associeret med efterfølgende myokardieskade og kan danne grundlag for markant tidligere diagnostik af en alvorlig postoperativ komplikation [23]. Med trådløs ekg-monitorering og specifikt udviklede algoritmer kan man observere for atrieflimren. Eksempelvis fik 6,5% af patienter uden kendt tidligere atrieflimren detekteret perioder af mindst 30 minutters postoperativ atrieflimren efter stor kirurgi [24]. Disse tilfælde blev først opdaget senere af det kliniske personale og i en tredjedel af tilfældene slet ikke. Flertallet af indlæggelser på en intensivafdeling fra sengeafdelinger er da også forudgået af afvigende vitalparametre [25]. En yderligere forekomst af uobserverede afvigende vitalparametre må forventes, når patienter i stigende grad udskrives til eget hjem efter kirurgiske og akutte medicinske indlæggelser.

Moderne monitoreringsudstyr kan i høj grad øge detektionen af afvigende værdier, men næppe alle disse er klinisk betydende. Hvis et alarmeringssystem skal være relevant i klinisk brug, skal sensitivitet og specificitet optimeres til både at opdage alle kritiske forværringer og undgå overalarmering og deraf følgende alarmtræthed (alert fatigue). Et nyligt studie fra forskningsprojektet WARD (Wireless Assessment of Respiratory and circulatory Distress) med 500 patienter efter stor abdominal kræftkirurgi målte vitalparametre kontinuerligt i op til 96 timer postoperativt (Figur 1, Figur 2 og Figur 3) [6]. Den kumulerede tid med afvigende vitalparametre var ikke statistisk signifikant forskellig mellem de patienter, der senere udviklede kliniske komplikationer (any serious adverse event), og de patienter, som ikke gjorde. Hvis et simpelt system alarmerede, hver gang en vitalparameter krydsede tærsklen til abnorm værdi, ville det i gennemsnit generere > 70 alarmer pr. patient pr. dag. Dette peger på potentiale for videre analyse af data med AI og machine learning for at øge prædiktionen af komplikationer [26] (Figur 1). Der er stigende evidens for, at indførelse af kontinuerlig monitorering reducerer patientnære outcomes svarende til antallet af akutteamkald og overflytninger til intensivafdeling, men der er behov for pragmatiske randomiserede forsøg med test af, hvordan kontinuerlig AI-understøttet monitorering forebygger komplikationer.

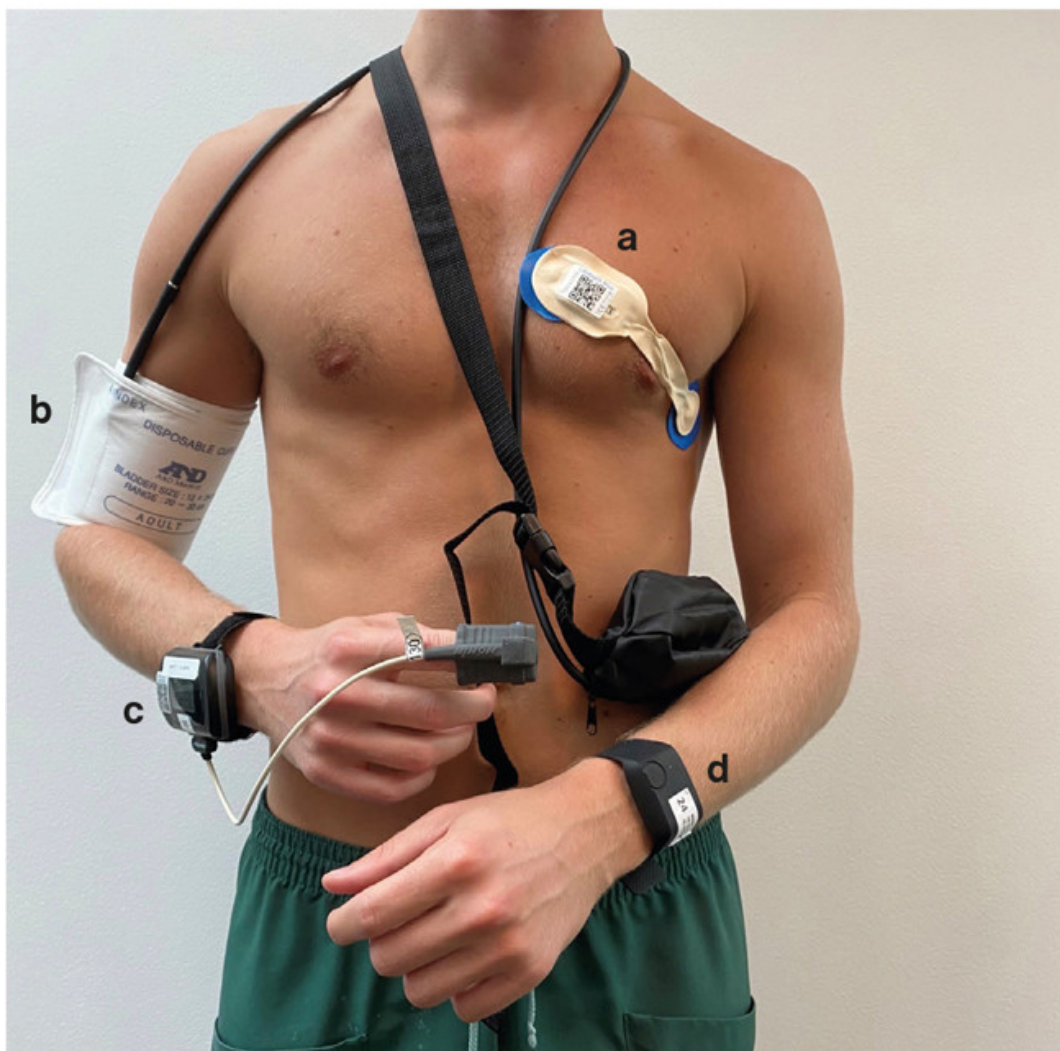
FIGUR 1 Eksempler på alarmering ved tærskelbaseret kontinuerligt overvågningssystem vs. kontinuerligt overvågningssystem med kunstig intelligens (AI)-vurdering af behov for alarmering.



FIGUR 2 Aktuelt eksempel på udstyr brugt til indsamling af vitalparameterdata (A) vs. trådløs overvågning med visning direkte på personalets smartphones (B).



FIGUR 3 Eksempel på aktuelt trådløst multisensor-overvågningssystem. Modelfoto.



a = enkeltaflednings-ekg (hjerterefrekvens, arytmie, respirationsfrekvens, iskæmi). b = cuffbaseret blodtryksmanchet (blodtryk, middelblodtryk, puls). c = fotopletysmografi (saturation, puls, perfusionsindeks). d = aktigrafi, hudkonduktans (sympathicusaktivering, hudtemperatur).

DET IDEELLE MONITORERINGSSYSTEM

Det ideelle system (Tabel 1) bør baseres på en kritisk analyse af, hvilke vitalparametre der har relation til kliniske outcomes, og bør inkludere sensorer, der valideret og kontinuerligt optager disse. Således kan de traditionelle parametre, som SpO₂, respirationsfrekvens, puls, blodtryk og temperatur, med tiden blive suppleret eller erstattet af supplerende variable som perfusionsindeks [27], ekg, blodsukker [28], hæmoglobin, laktat, aktivitet mv. Sensorer bør være valide [29], små og trådløse for ikke at forhindre den essentielle fysiske aktivitet (Figur 2 og Figur 3). Fysiologiske data skal optages i så høj opløselighed som muligt for at muliggøre

algoritmer, der kan detektere umiddelbare ændringer ved mønstergenkendelse. Denne teknologi har de i dag benyttede simple tærskler, der ikke fungerer i den kliniske hverdag, men som stadig er standard blandt det udstyr, der i dag i stor stil indkøbes til de nye supersygehuse. Data skal kunne integreres i patientjournalen og kombineres med yderligere data såsom blodprøvesvar og komorbiditet og indgå i AI-analyser. Særligt vil der for det enkelte patientforløb være et stort potentiale i at kombinere realtidsvitalparameteranalyse med specifikke risikomarkører ved for eksempel kræftforløb for på den måde at tilrettelægge et overvågningssystem med personalized medicine (Tabel 1).

TABEL 1 Aktuel og fremtidig overvågning af patienter indlagt på sengeafdelinger.

Aktuel overvågning, EWS/TOKS etc.	Fremtidens overvågning
Intermitterende: 8-12 t.	Kontinuerlig: 24/7
Manuel	Automatisk, inkl. journalisering
Kabelbaseret	Trådløse multiparametermikrosensorer
Standardtærskler	Kontekstadaptiv: dag/nat, hvile/aktivitet Realtidsdataanalyse og præsentation AI-understøttet risikoanalyse AI-understøttet alarmprædiktions Multisensormønstergenkendelse Individuelle tærskler, trendanalyse Kombination med andre risikovariabel: big data Stabilitetsestimering
Begrænset af personale ressourcer	Skalerbar, overblik over mange patienter Kommunikation til kolleger og patienter
Påvirkelig af bedømmerbias	Objektiv Risiko for bias ved patienter uden lignende baggrundsdata

AI = kunstig intelligens; EWS = Early Warning Score; TOKS = Tidlig Opsporing af Kritisk Sygdom.

Et monitoreringssystem skal monitorere, analysere og alarmere i realtid. Alarmeringen skal foregå direkte til det relevante personale (sygeplejersker/læger) på en let og intuitiv måde, men ikke så simpel eller uforståelig, at man ikke kan kommunikere herom. Et system skal desuden være skalerbart og kunne håndtere mange hundrede patienters data på samme tid, og overvågningen bør også tilbydes efter udskrivelse til eget hjem fra et problematisk hospitalsforløb.

AUTOMATISERING OG JURA

AI-fortolkninger er en forudsætning for klinisk gavn af kontinuerlig monitorering, da det ellers vil udløse alert fatigue eller udebleven effekt ved for mange manglende alarmeringer ved svære afvigelser. Hvis et monitoreringssystem med AI-fortolkninger og relevant sensitivitet og specificitet bliver udviklet, kan sundhedsvæsenet se frem mod frigørelse af personaleressourcer fra manuelle EWS/TOKS-målinger.

For at opnå klinisk tillid skal der dog være en klar beskrivelse af den bias, som ethvert AI-system vil have. Det kan være angivelse af, hvilken patientpopulation algoritmerne er udviklet ud fra, hvilket bestemt ikke altid er

tilfældet, når ny avanceret sundhedsteknologi indføres i dag. Således kan man for eksempel ikke a priori forvente, at avancerede algoritmer udviklet fra en stor big data-samling af intraoperative parametre kan anvendes på en medicinsk sengeafdeling til forudsigelse af hypotension.

Aktuelt udvikles WARD og lignende såkaldte kliniske supportsystemer, hvor den endelige behandling er overladt til klinikkerne. Med tiden kan forslag om behandlingen også blive datadrevet. Dette stiller yderligere krav til jura, for hvad betyder det, hvis systemet anbefaler noget forkert, eller hvis en læge ikke reagerer på en alarm, og patienten kommer til skade? Har lægen, sygeplejersken eller ledelsen ansvaret for, at alle afvigende vitalparametre håndteres korrekt?

FREMtiden MED PATIENTEN I SYNE

Ovenstående er et bud på en omfattende ændring af den måde, på hvilken patientmonitorering udføres i dag med uacceptabelt høje forekomster af komplikationer. Nye teknologiske løsninger vil potentielt forbedre patientoutcome markant, men skal tilpasses en tid med knaphed på især personale, så overalarmering og dertil hørende overbehandling undgås.

Korrespondance *Eske K. Aasvang*. E-mail: eske.kvanner.aasvang.01@regionh.dk

Antaget 29. juli 2022

Publiceret på ugeskriftet.dk 29. august 2022

Interessekonflikter Der er anført potentielle interessekonflikter. Forfatterens ICMJE-formularer er tilgængelige sammen med artiklen på ugeskriftet.dk

Referencer findes i artiklen publiceret på ugeskriftet.dk

Artikelreference Ugeskr Læger 2022;184:V03220219

SUMMARY

The future patient monitoring in the bed ward

Christian S. Meyhoff & Eske K. Aasvang

Ugeskr Læger 2022;184:V03220219

Current monitoring of vital signs in hospital wards rely on infrequent manual measurements. This narrative review describes how new wearable devices with artificial intelligence interpretation may overcome this challenge by providing nurses with continuous data without inducing alarm fatigue. Severe complications in non-ICU hospital wards are commonly preceded by vital sign deviations, and an ideal monitoring system must keep the patient in focus through user-friendly design and evidence-based alerts with high predictive abilities.

REFERENCER

1. Fields AC, Divino CM. Surgical outcomes in patients with chronic obstructive pulmonary disease undergoing abdominal operations: an analysis of 331,425 patients. *Surgery*. 2016;159(4):1210-6.
2. Nielsen PB, Pedersen NE, Schultz M et al. Gennemgang af Early Warning Score til forebyggelse af uventet kritisk sygdom og død. *Ugeskr Læger*. 2018;180(42):V02180135.
3. Kehlet H. Enhanced postoperative recovery: good from afar, but far from good? *Anaesthesia*. 2020;75(suppl 1):e54-e61.
4. [International Surgical Outcomes Study group](#). Global patient outcomes after elective surgery: prospective cohort study in 27 low-, middle- and high-income countries. *Br J Anaesth*. 2016;117(5):601-609.

5. Nepogodiev D, Martin J, Biccard B et al. Global burden of postoperative death. *Lancet*. 2019;393(10170):401.
6. Haahr-Raunkjaer C, Molgaard J, Elvekjaer M, et al. Continuous monitoring of vital sign abnormalities; association to clinical complications in 500 postoperative patients. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2022;66(5):552-562.
7. Michard F, Kalkman CJ. Rethinking patient surveillance on hospital wards. *Anesthesiology*. 2021;135(3):531-540.
8. Pearse RM, Moreno RP, Bauer P et al. Mortality after surgery in Europe: a 7 day cohort study. *Lancet*. 2012;380(9847):1059-65.
9. Kane RL, Shamliyan T, Mueller C et al. Nurse staffing and quality of patient care. *Evid Rep Technol Assess (Full Rep)*. 2007; (151):1-115.
10. Foss NB, Kehlet H. Short-term mortality in hip fracture patients admitted during weekends and holidays. *Br J Anaesth*. 2006;96(4):450-4.
11. Lønnee M, Bukan RB, Waldau T et al. Stor variation i anvendelsen af track and trigger-systemer i Danmark. *Ugeskr Læger*. 2018;180(19):V09170641.
12. Pedersen NE, Rasmussen LS, Petersen JA et al. A critical assessment of early warning score records in 168,000 patients. *J Clin Monit Comput*. 2018;32(1):109-116.
13. Bailey TC, Chen Y, Mao Y et al. A trial of a real-time alert for clinical deterioration in patients hospitalized on general medical wards. *J Hosp Med*. 2013;8(5):236-42.
14. Haegdorens F, Van Bogaert P, Roelant E et al. The introduction of a rapid response system in acute hospitals: a pragmatic stepped wedge cluster randomised controlled trial. *Resuscitation*. 2018;129:127-134.
15. Gerry S, Bonnici T, Birks J et al. Early warning scores for detecting deterioration in adult hospital patients: systematic review and critical appraisal of methodology. *BMJ*. 2020;369:m1501.
16. Saab R, Wu BP, Rivas E et al. Failure to detect ward hypoxaemia and hypotension: contributions of insufficient assessment frequency and patient arousal during nursing assessments. *Br J Anaesth*. 2021;127(5):760-768.
17. Petersen JA, Mackel R, Antonsen K, Rasmussen LS. Serious adverse events in a hospital using early warning score - what went wrong? *Resuscitation*. 2014;85(12):1699-703.
18. Sun Z, Sessler DI, Dalton JE et al. Postoperative hypoxemia is common and persistent: a prospective blinded observational study. *Anesth Analg*. 2015;121(3):709-715.
19. Duus CL, Aasvang EK, Olsen RM et al. Continuous vital sign monitoring after major abdominal surgery - quantification of micro events. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2018;62(9):1200-1208.
20. Haahr-Raunkjaer C, Meyhoff CS, Sorensen HBD et al. Technological aided assessment of the acutely ill patient - the case of postoperative complications. *Eur J Intern Med*. 2017;45:41-45.
21. Bartels K, Kaizer A, Jameson L et al. Hypoxemia within the first 3 postoperative days is associated with increased 1-year postoperative mortality after adjusting for perioperative opioids and other confounders. *Anesth Analg*. 2020;131(2):555-563.
22. Sessler DI, Meyhoff CS, Zimmerman NM et al. Period-dependent associations between hypotension during and for four days after noncardiac surgery and a composite of myocardial infarction and death: a substudy of the POISE-2 Trial. *Anesthesiology*. 2018;128(2):317-327.
23. Loft FC, Rasmussen SM, Elvekjaer M et al. Continuously monitored vital signs for detection of myocardial injury in high-risk patients - an observational study. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2022;66(6):674-683.
24. Jokinen JDV, Carlsson CJ, Rasmussen SM et al. Wireless single-lead ECG monitoring to detect new-onset postoperative atrial fibrillation in patients after major noncardiac surgery: a prospective observational study. *Anesth Analg*. 2022;135(1):100-109.
25. Barfod C, Lauritzen MMP, Danker JK et al. Abnormal vital signs are strong predictors for intensive care unit admission and in-hospital mortality in adults triaged in the emergency department - a prospective cohort study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2012;20:28.
26. Thorsen-Meyer HC, Nielsen AB, Nielsen AP et al. Dynamic and explainable machine learning prediction of mortality in patients in the intensive care unit: a retrospective study of high-frequency data in electronic patient records. *Lancet Digit Health*. 2020;2(4):e179-e191.
27. Rasmussen PS, Aasvang EK, Olsen RM et al. Continuous peripheral perfusion index in patients admitted to hospital wards -

an observational study. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2021;65(2):257-265.

28. Carlsson CJ, Nørgaard K, Oxbøll AB et al. Continuous glucose monitoring reveals perioperative hypoglycemia in most patients with diabetes undergoing major surgery: a prospective cohort study. *Ann Surg.* (online 8. okt 2021).
29. Elvekjaer M, Carlsson CJ, Rasmussen SM et al. Agreement between wireless and standard measurements of vital signs in acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease: a clinical validation study. *Physiol Meas.* 2021;42(5).