

Finska Läkaresällskapets Handlingar



2/2025
Årg. 185

**Artificiell
intelligens inom
medicinen –
från vision till
verklighet**



Social- och
hälsovårdstjänster
Hjärt-lungräddning
Fosterhypoxi
Huvud- och
halstumörer
Hematologi
Digital mikroskopi
Livmoderhals-
cancerscreening
Smartklockor
Maskinfektioner

www.fl.s.fi/handlingarna

Omslagsbilden: en högpresterande arbetsstation med kraftfull grafikkortsaccelerering för AI-utveckling och avancerad beräkning.

Finska Läkaresällskapets Handlingar

Årg. 185 Nr 2, 2025

Tema: Artificiell intelligens inom medicinen
– från vision till verklighet

Specialredaktör: Johan Lundin



Tom Pettersson: Ledare	2
Johan Lundin: Introduktion: AI som ett kognitivt språngbräde.....	4
Johan Sanmark och Enni Sanmark: AI gör sitt intåg i välfärdsområdena – vare sig vi vill eller inte	6
Markus Skrifvars: Kan vi använda AI för att skapa nya riktlinjer och bedöma vetenskaplig evidens inom hjärt-lungräddning?	12
Mikko Tarvonen, Matti Manninen och Sture Andersson: Kan AI identifiera fosterhypoxi under förlossningen?	18
Antti A. Mäkitie och Rasheed Omobolaji Alabi: AI för karakterisering av huvud- och halstumörer	24
Oscar Brück: AI i hematologisk diagnostik	30
Joar von Bahr: Patientnära AI-understödd digital mikroskopi	36
Nina Linder: Erfarenheter av AI-baserad screening av livmoderhalscancer i Östafrika	42
Gustaf Kranck: Smartklockor som verktyg för att mäta samspelet mellan hjärtrytm och andning	47
Ewert Linder: AI-baserad påvisning av <i>Toxocara</i> -ägg med hjälp av mobilkamera försedd med försättslins – en attraktiv modell för att påvisa maskinfektioner i resursfattig miljö?	52
Mardy Lindqvist: Intervju: Johan Lundin ser oerhörd potential i medicinsk artificiell intelligens	56
Samuel Sandboge: Undervisning i planetär hälsa vid Helsingfors universitet	61
Disputationer	64
Bengt I Lindsogs språkpris 2025 till Margareta Gustafsson	66
Styrelsens pris för bästa examensarbete 2025	67
In memoriam: Risto Pelkonen	68

Redaktion

Huvudredaktör

Tom Pettersson

Tfn 040 719 5375

E-post tom.pettersson@helsinki.fi

Redaktörer

Patrick Björkman, Minna Kylmälä,
Nina Linder, Patrik Schroeder
(översättning), Lena Sjöberg och
Victoria Webster

Språkgranskare

Margareta Gustafsson, E-post
margareta.gustafsson@kolumbus.fi

Finska Läkaresällskapet

Kanslisekreterare

Pamela Edgren
Johannesbergsvägen 8
00250 Helsingfors
Tfn 09 4776 8090
E-post kansliet@fls.fi
Hemsida www.fls.fi

Besöksadress

Johannesbergsvägen 8
00250 Helsingfors

Finska Läkaresällskapets Handlingar

ISSN 0015-2501 (tryckt)

ISSN 2242-4318 (webbsida)

Utges av Finska Läkaresällskapet

Oy Nord Print Ab, Helsingfors 2025

Återanvändning av material

Finska Läkaresällskapets Handlingar har upphovsrätt till material som publiceras i tidskriften. Tillstånd att återanvända publicerat material för i första hand akademiskt och vetenskapligt syfte beviljas från fall till fall. Begäran ska först ställas till författaren som tillsammans med eventuella medförfattare ska ge sitt samtycke. Därefter ställs begäran och slutligt tillstånd till redaktionssekreteraren eller huvudredaktören.

Artificiell intelligens och vetenskaplig publicistik – möjligheter och farhågor

Artificiell intelligens (AI) håller på att förändra vår värld i grunden, alldeles som boktryckarkonsten gjorde på 1400-talet. I likhet med hur Gutenbergs uppfinning på sin tid gjorde det skrivna ordet tillgängligt för fler människor ökar och demokratiserar AI tillgången till information och katalyserar spridningen av idéer och kunskap. Precis som läskunnighet en gång i tiden kunde möta motstånd från makthavare förhåller sig många med skepsis till AI, som därför inte utan anledning möter hinder i form av reglering och etiska farhågor.

Vi kan ännu knappast till fullo förstå den kraft AI besitter. AI tränger sig in i så gott som alla typer av mänsklig verksamhet, inklusive akademiskt skrivande och vetenskaplig publicistik. Där kan AI-verktyg vid övervägd och ansvarsfull användning vara mycket användbara. Avancerade AI-system såsom stora språkmodeller (*large language models*, LLM) kan bland annat producera text, tillhandahålla översättningar och besvara komplicerade frågor med en hastighet som överträffar mänsklig förmåga. Genom att hjälpa till med rättstavning och föreslå synonymer kan AI förbättra grammatik och språk. Risken för mänskliga fel och partiska ställningstaganden kan minimeras med AI. Genom att generera utkast till innehåll i texter kan AI hjälpa en författare att komma igång med sitt arbete. Som hjälpverktyg när det gäller att översätta texter har AI stor potential.

Det finns emellertid ett stort antal risker med att använda AI vid skrivande. Frågetecken åter-

står bland annat om originaliteten och ursprunget hos de texter som produceras och om tillförlitligheten i AI-genererat innehåll. Risken för missbruk, plagiering och desinformation måste beaktas. Att AI kan göra sig skyldig till förvrängning av fakta finns det många exempel på. Det har bland annat förekommit källhänvisningar som inte existerar. AI-genererad text måste därför genomgå kritisk faktagranskning av experter inom området i fråga. Det är riskabelt att lita på AI-genererad text utan verifiering. Självfallet är det inte fel att använda AI vid produktion av text, men författaren måste vara medveten om att han eller hon bär fullt intellektuellt ansvar för varje enskild mening och passus. Erfarna och ansvarsmedvetna författare har sannolikt bättre förutsättningar att kritiskt bedöma AI-genererade texter än oerfarna författare.

Det kan också finnas skäl att påminna om att själva skrivandet är en väsentlig del av lärandet. När man formulerar sina tankar sker inläring på djupet. AI kan förvisso erbjuda stöd i lärandeprocessen, men om AI används för att producera färdiga texter uteblir det pedagogiska elementet. Att på grund av tidsbrist låta AI snabbt åstadkomma text är inte bara förkastligt utan inverkar dessutom negativt på hela lärandeprocessen.

Eftersom enbart människor, inte AI, kan stå som författare har många tidskrifter i sina författaranvisningar inkluderat anvisningar för användning av AI. På British Medical Journal drog man redan för ett par år sedan upp riktlinjer för användning av AI i manuskript som sänds in till

tidskriften. AI-användning ska tydligt redovisas och rapporteringen ska vara så genomskinlig som möjligt. Författare förväntas uppge om och i vilken utsträckning de har använt AI i det aktuella arbetet och i sina tidigare arbeten om de har samband med det aktuella manuskriptet. Det ska framgå vilken AI-teknologi som användes och varför och hur just denna teknik nyttjades. Om AI har använts i databearbetning och analys eller för skrivhjälp eller framtagande av figurer ska det beskrivas i detalj. Försummelse att uppge information om AI medför att manuskriptet inte kan accepteras.

På Läkartidningen i Sverige och på Finlands Läkartidning har man snabbt anammat samma praxis som British Medical Journal. Finska Läkaresällskapets Handlingar kommer härefter också att be sina författare rapportera eventuell användning av AI vid inlämning av manuskript. Vi ser det som väsentligt att våra författare får komma med självständiga kritiska synpunkter, personliga ställningstaganden och egenhändiga synteser och slutledningar.

Vad är det då som kännetecknar AI-genererad text och hur kan en lärare, redaktör eller referentgranskare ta reda på om en text är producerad av AI om öppen redovisning saknas? Några typiska skillnader mellan mänskliga och maskinella skrivstilar kan noteras. En AI-genererad text kan vid ytlig granskning förefalla i det närmaste perfekt, vilket redan i sig kan väcka misstankar. Maskinella skrivstilar tenderar att vara neutrala och känns ofta stela och mekaniska, liksom själlösa. De tar det säkra före det osäkra. Kommatecken,

citattecken och andra skiljetecken hittas exakt där de ska vara. Stavning och terminologi är felfria, men texten kan ändå innehålla felaktiga detaljer. Mänskliga skrivstilar tenderar att ha en mer personlig ton, förmedlar ofta känsla och kan vara subjektiva, ibland till och med partiska. De karakteriseras av stiländringar mitt i texten, stavfel, kreativitet och oförutsägbarhet, ibland humor. I texter skrivna av människor är det ovanligt att samtliga termer är rätt stavade och att alla skiljetecken hittas där de ska vara. Ofullkomlighet signalerar äkthet.

Också AI-verktyg kan användas för att ta reda på om en text är AI-genererad, men inte ens de kan med hundra procentig säkerhet avgöra frågan. Det hela kompliceras av att det har blivit möjligt för AI att kringgå detekteringsmetoder. Det finns program som skriver om maskinlik text så att den ser mera naturlig ut.

Möjligheten att direkt kontakta författaren för att ta reda på om en text helt eller delvis är producerad med hjälp av AI ska naturligtvis inte glömmas bort. Ett sådant öppet och direkt förfaringssätt är många gånger det mest naturliga.

AI ställer utgivare av skriftliga alster inför omvälvande möjligheter men också stora utmaningar som potentiellt berör själva kärnan i författarskap och publicistik. Det gäller för tidskrifter och förläggare att ta vara på och maximera möjligheterna samtidigt som de är medvetna om riskerna och försöker minimera dem.

Tom Pettersson

AI som ett kognitivt språngbräde

JOHAN LUNDIN

Artificiell intelligens (AI) har på kort tid gått från att vara en teknik för framtiden till att bli en integrerad del av vår medicinska vardag. Samtidigt befinner sig hälso- och sjukvården i en brytnings-tid där krav på tillgänglighet, kvalitet, produktivitet och jämlik vård ökar. Detta specialnummer av Finska Läkaresällskapets Handlingar belyser hur AI redan nu påverkar – och i snabbt tempo fortsätter att omforma – kliniskt beslutsfattande, diagnostik, utbildning och forskning i Finland och globalt. Artiklarna presenterar en bred palett av tillämpningar, från akutsjukvård och cancerdiagnostik till global hälsa, digital mikroskopi och social- och hälsovårdens systemnivå.

Johan och Enni Sanmark beskriver erfarenheterna från Västra Nylands välfärdsområde, där journalföring med stöd av generativ AI och automatiserad tolkning i pilotprojekt gett både tidsbesparingar och förbättrade arbetsflöden. Artikeln visar hur Finland genom sina omfattande register och digitala infrastrukturer kan vara ett internationellt föregångsland i utvecklingen av säker och etiskt hållbar AI.

Markus Skrifvars analyserar möjligheten att använda AI-modeller för att sammanställa vetenskaplig evidens och skapa kliniska riktlinjer inom hjärt-lungräddning. Erfarenheterna visar att även avancerade språkmodeller som Chat GPT och Gemini i nuläget kan ge översikter av litteratur och evidens, men saknar den kritiska förståelse som krävs för att väga studiernas kvalitet mot varandra. Artikeln lyfter därmed en viktig begränsning: AI kan komplettera men inte ersätta expertbedömning när evidensen är komplex eller kontroversiell.

Inom förlossningsvården beskriver Tarvonen, Manninen och Andersson hur AI-baserad analys av CTG-signaler kan minska övertolkning och

bidra till tidigare och mer träffsäkra bedömningar av fosterhypoxi. Trots att tekniken ännu fungerar bäst som beslutsstöd visar den hur maskininlärning kan hantera de stora datamängder och subtila mönster som länge begränsat den traditionella CTG-tolkningen.

AI:s potential att förbättra cancerdiagnostik belyses i flera bidrag. Nina Linder beskriver erfarenheterna från AI-baserad screening av livmoderhalscancer i Östafrika, där digital mikroskopi och lokal kapacitetsuppbyggnad tillsammans kan ge dramatiskt förbättrad tillgång till screening i resurssvaga miljöer. Antti Mäkitie och kollegor presenterar hur AI kan bidra till precisare karakterisering av huvud- och halstumörer genom radiomik, analys av tumörmikromiljö och identifiering av behandlingsresistens – med målet att stärka personanpassad onkologi. Oscar Brück belyser parallellt hur AI redan i dag förändrar hematologisk diagnostik, där komplexa dataflöden från blodstatus, flödescytometri och molekyllär analys lämpar sig väl för avancerade algoritmer samtidigt som frågor om klinisk tolkning och ansvar kvarstår.

Mikroskopibaserad diagnostik är ett återkommande tema. Joar von Bahr visar hur patientnära digital mikroskopi understödd av AI kan föra avancerad diagnostik närmare vårdenheten, både i glesbygdsområden och i låg- och medelinkomstländer. Ewert Linder demonstrerar hur mobilbaserad mikroskopi med enkel försättslins möjliggör påvisning av *Toxocara*-ägg i djuravföring och därmed kan vara en kostnadseffektiv metod för att bekämpa viktiga zoonoser.

Gustaf Kranck presenterar en innovativ metod som använder EKG-aktiverade smartklockor för att mäta samspelet mellan hjärtrytm och andning

och därmed kan upptäcka autonom dysfunktion, exempelvis vid långvariga postinfektiösa tillstånd som postcovid. Metoden illustrerar hur vardagsteknik kan integreras i medicinsk diagnostik och möjliggöra långtidsuppföljning i hemmiljö.

Slutligen reflekterar Samuel Sandboge över undervisning och engagemang i planetär hälsa. Hans artikel är en påminnelse om att teknikens framsteg måste gå hand i hand med förståelse för de större sammanhang där människors hälsa formas.

Tillsammans speglar artiklarna både den stora bredden av AI-tillämpningar och de centrala frågor som följer: datakvalitet, jämlikhet, etik, regulatoriska ramar och behovet av kliniskt omdöme och sunt förnuft. När förra årets nobelpristagare Geoffrey Hinton 2016 förutspådde att AI skulle ersätta radiologer inom fem år väckte uttalandet både fascination och oro. I dag, nästan ett decennium senare, framstår kommentaren mer som en kraftfull markör för teknikens potential

än som en realistisk prognos. Utvecklingen har visserligen varit snabb – AI kan nu detektera avvikelser i medicinska bilder med en träffsäkerhet som ofta matchar erfarna experter – men radiologens roll har samtidigt visat sig vara betydligt mer komplex än enbart bildtolkning.

Läkarens arbetsuppgifter som klinisk värdering, integrering av anamnes, multidisciplinär samverkan och prioritering i akuta situationer är svåra att automatisera. Snarare än att ersätta radiologer har AI blivit ett värdefullt verktyg som avlastar repetitiva moment och höjer den diagnostiska kvaliteten. Hinton's utsaga illustrerar därför inte en felaktig vision, utan snarare hur lätt vi överskattar teknikens tempo och underskattar klinikens komplexitet och hårda krav på evidens. Det är i samspelet mellan människa och maskin som den verkliga innovationen sker, och dagens AI kan utan tvivel fungera som ett kognitivt språngbräde även inom sjukvården.

Johan Lundin

Kort AI-ordlista

AI-verktyg: Program som använder artificiell intelligens för att utföra uppgifter som normalt kräver mänsklig intelligens.

Algoritm: Uppsättning regler eller instruktioner som AI följer för att lösa problem eller fatta beslut.

Artificiell intelligens (AI): Gren av datavetenskapen som gör det möjligt för maskiner att efterlikna mänsklig intelligens.

Bot: Mjukvaruprogram som utför automatiserade, repetitiva uppgifter, ofta över ett nätverk. Bestämd form singular *botten*, obestämd form plural *bottar*.

Chatt: Skriftligt samtal i realtid via internet.

Chattbot: AI-programvara utformad för konversationer på naturligt språk. Böjning: se *bot*.

Edge AI: Teknik där AI-bearbetning sker direkt på enheter vid nätverkets kant, snarare än i molnet. Detta möjliggör snabbare svarstider, minskad latens och högre datasekretess.

Generativ AI: AI-system som genererar innehåll som text, bilder eller musik baserat på mönster från träningsdata.

GPT (generative pre-trained transformer): AI-modell som med hjälp av transformerarkitektur och omfattande förträning kan förstå och skapa många olika typer av innehåll, såsom text, bilder, ljud och kod, genom att förutsäga och generera mönster i data.

Hallucination (AI-hallucination): När en modell genererar information som låter trovärdig men inte är korrekt eller saknar stöd i data.

Maskininlärning: Gren av artificiell intelligens där datorer lär sig och förbättrar sig själva genom att analysera data, utan att vara uttryckligen programmerade för varje enskild uppgift.

Multimodal modell: En AI-modell som kan bearbeta flera olika typer av data samtidigt, till exempel text, bild och ljud.

Neuralt nätverk: Datormodell inspirerad av hjärnans nervceller, där många sammankopplade enheter samarbetar för att lära sig mönster i data och utföra uppgifter som klassificering, prediktion eller generering.

Prompt: Instruktion som användaren skriver till en generativ AI-modell, exempelvis en fråga eller en uppmaning.

Prompta: Att skriva en textinstruktion till en AI-tjänst.

Stor språkmodell: AI-modell som tränats på mycket stora textmängder för att lära sig språkets strukturer och därigenom kunna förstå, förutsäga och generera text på ett avancerat och flexibelt sätt.

Token – tokens: Små textenheter, ofta ord, ordfragment eller symboler, som en språkmodell delar upp text i för att kunna analysera, bearbeta och generera språk.

AI gör sitt intåg i välfärdsområdena – vare sig vi vill eller inte

JOHAN SANMARK OCH ENNI SANMARK

Artificiell intelligens (AI) utvecklas i allt snabbare takt och har en betydande potential att förändra social- och hälsovården. AI:s förmåga att hantera stora datamängder och generera innehåll möjliggör automatisering av kognitiva uppgifter, effektivare resursanvändning och förbättrat beslutsstöd. I Finland stöds säker användning av AI av unika förutsättningar såsom digitala patientdata, omfattande kvalitetsregister och en stark forskningsinfrastruktur.

Västra Nylands välfärdsområde är en av föregångarna inom AI i finländsk hälso- och sjukvård. Med verktyget Gosta Aide har över 5 000 AI-stödda journalanteckningar hittills producerats av läkare, fysioterapeuter och socialarbetare. I ett pilotprojekt för AI-tolkning uppnåddes en lyckad tolkning i 86 procent av fallen utan behov av professionell tolk. Besparingspotentialen var avsevärd. Dessutom har en randomiserad kontrollerad studie (GenAID) inletts i samarbete med Helsingfors universitet för att utvärdera AI-journalföringens effekter enligt ramverket Quadruple Aim.

Trots teknikens snabba framsteg kräver ett ansvarsfullt införande förståelse av reglering, risker och etiska aspekter. Användningsområden bör väljas med omsorg, eftersom möjligheterna överstiger organisationernas resurser. AI:s påverkan varierar mellan de medicinska specialiteterna: inom radiologin är tekniken redan vardag, och inom kliniskt arbete väntas den snart få bredare genomslag. Rätt tillämpad kan AI öka effektiviteten i verksamheten samtidigt som produktivitet, kvalitet, kundupplevelse och yrkespersoners välbefinnande i arbetet förbättras.

De senaste årens stora framsteg inom artificiell intelligens, särskilt vad gäller transformerbaserade basmodeller, visar att AI kommer att förändra samhällets strukturer i grunden. Den ekonomiska effekten förväntas bli minst lika stor som introduktionen av internet, datorer eller elektricitet. Enligt vissa bedömningar kan AI öka världens bnp med upp till 7 procent fram till 2035. I centrum för denna omvandling står AI:s förmåga att automatisera kognitiva uppgifter, vilket skiljer den från tidigare tekniska innovationer. De huvudsakliga fördelarna uppstår genom ökad produktivitet, optimerad resursanvändning och snabbare innovationer (1, 2). Samtidigt medför utvecklingen utmaningar, där de viktigaste handlar om datakvalitet, bias, integritetsskydd och behovet av ny reglering (3).

Hälso- och sjukvården är inte immun mot de förändringar som AI för med sig (4). Området väntas genomgå en omfattande förändring under de kommande åren i takt med att AI-

SKRIBENTERNA

Johan Sanmark, Specialistläkare inom hälsovård, Landschef, Tandem Health

Enni Sanmark, Specialistläkare inom hälsovård, docent, ledare för forskningsgrupp som undersöker AI-lösningar och utvärdering av dessa vid Helsingfors universitet och HUS

revolutionen fortskrider. Inom vården öppnas många möjligheter för AI: tekniken kan minska yrkespersoners dokumentationsbörda genom automatisering (5), jämma ut kvaliteten inom diagnostik (6) samt stödja beslutsfattande både i kliniskt arbete och i organisatorisk ledning. Dessutom väntas AI revolutionera såväl förebyggande folkhälsoarbete som individuella vårdbeslut (7, 8).

När artikeln skrevs i juni 2025 var Johan Sanmark anställd av Västra Nylands välfärdsområde.

Artificiell intelligens inom hälso- och sjukvården



Figur 1. Exempel på användningsområden för AI inom hälso- och sjukvården. I indelningen ingår inte användningsområden som inte direkt påverkar social- och hälsovårdspersonalens arbete, såsom stöd för flerspråkighet.

AI kan särskilt stödja hälso- och sjukvården tack vare sin förmåga att bearbeta, kombinera och strukturera stora mängder data i en skala och med en precision som överstiger människans kognitiva förmåga. Detta gör AI-baserade lösningar till centrala verktyg för att utveckla en hållbar och effektiv hälso- och sjukvård. Sett från ett professionellt perspektiv kan AI:s användningsområden inom vården struktureras som i figur 1. Dessutom finns många andra applikationer, exempelvis stöd för flerspråkig kommunikation, som inte är direkt synliga för vårdpersonal, men som ändå är betydelsefulla sett till implementeringspotentialen för tekniken.

Den finländska hälso- och sjukvården har exceptionellt goda förutsättningar att utveckla och dra nytta av artificiell intelligens. Nationella kvalitetsregister, omfattande dataresurser och en stark forskningsinfrastruktur utgör en

stabil grund för säker, etisk och effektiv användning av AI (9, 10). Den viktigaste fördelen är dock att vårt system i praktiken är papperslöst. Nästan alla patientdata och administrativa data finns nämligen i digital form, vilket skiljer Finland från många andra europeiska jämförelseländer. Tack vare dessa strukturella styrkor har Finland utmärkta möjligheter att vara föregångare inom utveckling, forskning och användning av AI inom hälso- och sjukvården.

Användning av AI inom social- och hälsovården

AI har använts inom hälso- och sjukvården i Finland redan i flera år, ofta obemärkt som en del av våra grundläggande system. Algoritmer för att förbättra kvaliteten på radiologiska bilder (11) och för beslutsstöd i patientdatasystem (12) är exempel på lösningar som funnits

HUVUDBUDSKAP:

- Artificiell intelligens utvecklas idag allt snabbare och har en betydande potential för att reformera Finlands social- och hälsovård.
- Framåtsträvande välfärdsområden som Västra Nylands välfärdsområde startar pilotprojekt och implementerar redan nu nästa generations AI-lösningar i sin serviceproduktion.
- Organisationer måste identifiera och beakta AI-relaterade risker, begränsningar och regleringar.
- Rätt tillämpad kan artificiell intelligens i framtiden förbättra produktivitet, kvalitet, kundupplevelse och yrkespersoners välbefinnande i arbetet inom vården.

länge. HUS har dessutom utvecklat egna applikationer, såsom automatisk identifiering av hjärnblödningar (13) och prognostisering av belastning på jouren (14). De senaste årens nya AI-generation samt etableringen av välfärdsområdena har emellertid inneburit en ny fas. AI testas i pilotprojekt och implementeras nu på alla nivåer inom vården.

På nationell nivå samordnas verksamheten av ett AI-nätverk lett av social- och hälsovårdsministeriet (SHM). Målet är att upprätthålla en gemensam lägesbild av det snabbt föränderliga området och säkerställa informationsflödet mellan välfärdsområdena och andra aktörer. Nätverket har kartlagt de mest lovande användningsområdena för AI (15), tagit fram riktlinjer för regulatorisk bedömning av centrala applikationer (16) och lagt fast en AI-vision för hälso- och sjukvården (17).

I denna artikel presenterar vi några exempel på AI-användning inom Västra Nylands välfärdsområde och lägger fram perspektiv på forskning som en del av implementeringsprocessen. Västra Nylands välfärdsområde är befolkningsmässigt Finlands tredje största, med ansvar för primärvård, socialservice och räddningstjänst för cirka 480 000 invånare. Välfärdsområdet har varit en pionjär när det gäller att utnyttja ny AI-teknik. Redan under sitt första verksamhetsår 2023 initierade välfärdsområdet ett systematiskt AI-program och definierade fyra strategiska fokusområden, nämligen att minska yrkespersoners administrativa börda, stödja flerspråkiga tjänster, förbättra kundstyrning och effektivisera administrativa processer (18).

Fall 1: AI-journalanteckningar

Läkare ägnar i genomsnitt 3 timmar och 15 minuter varje arbetsdag åt dokumentation i patientdatasystem, och andra yrkesgrupper inom social- och hälsovården nästan lika mycket tid (19). Nationellt binder detta resurser värda flera miljarder euro. En stor del av arbetet kan dock automatiseras med hjälp av AI-journalanteckningsverktyg (AI scribe/Ambient scribe). Lösningen innebär inte traditionell taligenkänning, utan i stället spelas hela samtalet vid patientbesöket in, transkriberas och bearbetas sedan automatiskt av en applikation baserad på stora språkmodeller som genererar ett utkast för journalanteckningen. AI-journalanteckningsverktyg har blivit mycket populära i USA, där nästan alla större hälso- och sjukvårdsorganisationer, såsom Kaiser Permanente, har infört tekniken i

stor skala (20). En av de största leverantörerna, Abridge, används idag av över 150 hälso- och sjukvårdsorganisationer och förväntas generera upp till 50 miljoner dokument år 2025 (21).

Trots att potentialen för AI-journalanteckningar är stor och antalet organisationer som använder tekniken ökat dramatiskt under det senaste året, finns det fortfarande begränsat med evidens kring dess effekt inom vården. Mindre studier har dock redan kunnat visa att AI-journalanteckningar ökar yrkespersoners engagemang, förbättrar patientupplevelsen (22) och sparar tid vid dokumentation (22, 23).

I juni 2024 inledde Västra Nylands välfärdsområde en förstudie om AI-journalanteckningar vid Nummela hälsostation. Därefter utökades projektet till ett pilotförsök på fjorton enheter inom öppen sjukvård, rehabilitering och socialservice. Fram till den 20 juni 2025 hade totalt 5 451 AI-journalanteckningar med AI-programmet Gosta Aide utförts av läkare vid hälsostationer, fysioterapeuter och socialarbetare. Erfarenheterna varierar mellan yrkesgrupper och typ av mottagning. Vissa anteckningar är nästan felfria, medan andra kräver så omfattande korrigeringar att tidsbesparingen uteblir. Genomsnittligt användarbetyg under pilotperioden var 3,3 av 5. Resultaten är ändå lovande, och med tanke på teknikens snabba utveckling är det sannolikt att AI-stödd dokumentation inom några år kommer att användas vid majoriteten av mottagningarna.

Fall 2: AI-tolkning

I Finland har omkring 610 000 personer ett annat modersmål än finska eller svenska, och antalet ökar snabbt (24). Social- och hälso-tjänster på patientens eget språk är inte bara en fråga om jämlikhet, utan också avgörande för att styra patienter till ändamålsenliga och rätt anpassade tjänster. Flerspråkig kommunikation har traditionellt säkerställts genom tolkning på plats eller via telefon, men enbart i Västra Nylands välfärdsområde uppskattas kostnaderna uppgå till cirka 3 miljoner euro per år – och det verkliga behovet är sannolikt ännu större. Utvecklingen av stora språkmodeller möjliggör automatiserad tolkning, det vill säga realtidsöversättning från tal till tal, vars funktion läsaren enkelt kan testa med exempelvis Chat GPT. För vården krävs det dock tydliga regelverk och kvalitetssäkring innan AI-tolkning kan införas, även om potentialen är betydande (25).

Än så länge har AI-tolkning undersökts i relativt liten omfattning i klinisk praxis. I en

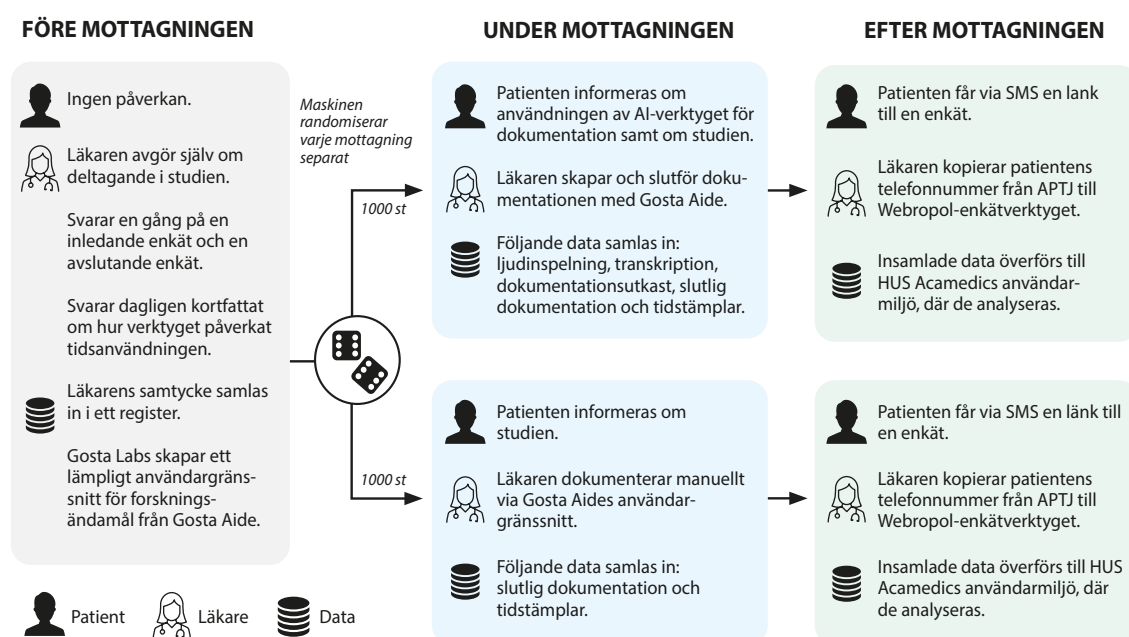
interventionsstudie vid universitetssjukhuset i Genève utvärderades två tillämpningar för tal-till-tal-översättning i 60 flerspråkiga patientmöten. Yrkespersoner uppnådde uppsatta mål vid 83 procent av besöken, men var nöjda med AI-kommunikationen endast i 54 procent av fallen. Däremot ansåg 86 procent av patienterna att samtalen var smidiga och majoriteten var villiga att använda tekniken igen. Orsaken till missnöje angavs främst vara begränsad erfarenhet av applikationerna, och resultaten var betydligt bättre med europeiska språk. Studien drog slutsatsen att AI-baserade översättningssystem kan komplettera professionella tolkar vid lågriskmöten, men att säker användning kräver identifiering av felkällor och tydliga protokoll (26).

Västra Nylands välfärdsområde inledde våren 2025 ett pilotprojekt med AI-tolkning inom mödravården och socialservicen för integration i Esbo. Pilotprojektet fokuserade på arabiska, ryska och ukrainska. Under våren utfördes cirka 350 AI-tolkningar. Som kvalitetsmått användes andelen lyckade tolkningar utan behov av byte till professionell tolk, och den var 86 procent under hela pilotperioden. Resultaten är kvalitativt lovande med betydande potential för kostnadsbesparingar, och därför planeras en betydande utvidgning av AI-tolkningen under hösten 2025.

Forskning som stöd vid implementering

Som exemplet ovan visar pågår det för närvarande många pilotprojekt och omfattande implementering av AI-lösningar inom hälso- och sjukvården. Det är dock viktigt att komma ihåg att teknik – inte ens AI – är ett självändamål, utan den måste generera nytta i linje med organisationens strategiska mål. För att utvärdera nyttan används vanligtvis ramverket Quadruple Aim, som omfattar hälsoeffekter, patientupplevelse, kostnadseffektivitet och yrkespersoners upplevelse (27). Den vetenskapliga litteraturen fokuserar fortfarande främst på AI:s tekniska kapacitet och risker. Effekterna har däremot studerats i endast ett fåtal undersökningar av varierande kvalitet, ofta med hög risk för bias. Dessutom mäts effekterna oftast bara inom en av dimensionerna i Quadruple Ai måt gången (opublicerade resultat: Tarvus et al.).

Även om organisationer samlar in, följer upp och styr sin verksamhet med hjälp av data, bör AI-applikationerna också studeras vetenskapligt. Oberoende, kollegialt granskad forskning genererar tillförlitlig kunskap och bidrar till att kunskapen sprids över organisations- och nationsgränser. Därmed kan framgångar snabbt få fotfäste samtidigt som det kan undvikas att samma misstag upprepas på flera ställen.



Figur 2. Design och genomförande av RCT-studien inom Västra Nylands välfärdsområde som en del av implementeringen av AI-teknologi.

I samband med pilotprojektet för AI-journalanteckningar inom Västra Nylands vålfärdsområde genomfördes den randomiserade, kontrollerade studien GenAID, finansierad av Business Finland och utförd av Helsingfors universitet. Studien utvärderade tre delar av ramverket Quadruple Aim: tidsbesparing (kostnadseffektivitet), yrkespersoners upplevelser och patientupplevelse. Datainsamlingsprocessen presenteras i figur 2.

Risker och reglering

Inom hälso- och sjukvården är nya AI-teknologier förenade med flera risker och begränsningar. De mest centrala handlar om bias och felaktigheter i data, integritets- och dataskydd, risk för felaktiga beslut ur ett patientsäkerhetsperspektiv och teknikens brist på transparens och otydlighet kring ansvarsfördelning. Dessutom bör de ekologiska konsekvenserna beaktas, såsom energiförbrukning, och därmed det koldioxidavtryck som genereras vid träning och drift av stora språkmodeller (28–30). Dessa risker hanteras med hjälp av regleringsmekanismer, exempelvis EU:s förordning om artificiell intelligens (*Artificial Intelligence Act*), allmänna dataskyddsförordning (GDPR), förordning om medicintekniska produkter (MDR) samt nationella normer och riktlinjer. Regleringen sätter tydliga gränser men är inte ett oöverstigligt hinder för att införa tekniken. Snarare uppmuntrar den organisationer att utveckla och hålla hög kompetens i att identifiera och hantera risker och använda AI på ett etiskt och ansvarsfullt sätt. Samtidigt är det tydligt att Europeiska unionens delvis komplexa regelverk bromsar innovation och implementering, vilket kan påverka EU:s globala konkurrenskraft negativt.

Avslutningsvis

Det finns starka tecken på att AI under de närmaste åren kommer att förändra hälso- och sjukvården och vårdpersonalens arbete på ett genomgripande sätt. Det är sannolikt första gången som vi befinner oss i en situation där en ny teknik åtminstone teoretiskt sett kan öka effektiviteten i verksamheten samtidigt som kvalitet, kundupplevelse och yrkespersoners välbefinnande i arbetet kan förbättras. Den snabba tekniska utvecklingen de senaste åren innebär att tekniken i sig inte längre är något stort hinder för att införa AI inom hälso- och sjukvården. Det är nu viktigt att organisationerna noga väljer var de vill använda AI, eftersom möjligheterna är så

enorma. Ett ansvarsfullt användande förutsätter förståelse av tekniska risker och begränsningar, befintliga regelverk samt tillräcklig teknisk kompetens, implementeringsförmåga och förändringsledning.

För den enskilde läkaren varierar AI:s påverkan kraftigt beroende på specialitet. Läkare inom diagnostiska specialiteter har troligen använt AI-teknik redan en längre tid. Inledningsvis kommer klinikerna att få tillgång till AI-applikationer som stödjer informations-sökning, dokumentation, rapportskrivning och tolkning. På längre sikt kommer alltmer avancerade verktyg för beslutsstöd, tillämpningar för proaktiv hälso- och sjukvård och delvis autonoma AI-agenter att införas i det kliniska arbetet. Även om AI under överskådlig tid inte kommer att ersätta läkare, kommer både AI-användande läkare och organisationer sannolikt att bli mer effektiva, högkvalitativa och kundorienterade än tidigare.

Johan Sanmark

johan@sanmark.fi

Bindningar:

Föreläsningsarvoden: Professio, Finnish Consulting Group, Wakaru Oy, Trafik- och patientskadenämnden, Zedocan Oy, Astra Zeneca, Pfizer, Duodecim, Birklands välfärdsområde, Mellersta Finlands välfärdsområde, Jyväskylän universitet, Tampereen lääkäriseura ry, Allmänläkare i Finland rf.

Annat: Landschef, Tandem Health. Dolor Oy grundare och delägare.

Enni Sanmark

enni.sanmark@hus.fi

Bindningar:

Forskningsfinansiering för AI-forskning: Business Finland, Finska Läkaresällskapet, Suomen Lääketieteen Säätiö, Liv och Hälsa.

Föreläsningsarvoden: Servier, Boehringer Ingelheim, Astra Zeneca, Tutkimushoitajat ry.

Förtroendeuppdrag: Finska läkarföreningen Duodecim, styrelseledamot, medlem i arbetsgruppen för riskkontroll i AI-nätverket för hälso- och sjukvården.

Annat: Foundation Group Oy, grundare och delägare, och Dolor Oy, grundare och delägare.

Referenser

1. McKinsey & Company. The economic potential of generative AI: The next productivity frontier. 2023. [hämtad 27.6.2025].
2. PwC. PwC's 2025 AI Business Predictions [Internet]. PwC. 2025 [hämtad 27.6.2025]. Tillgänglig på: <https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/ai-analytics/ai-predictions.html>

3. Förslag till Europaparlamentets och rådets förordning om harmoniserade regler för artificiell intelligens (rättsakt om artificiell intelligens) och om ändring av vissa unionslagstiftningsakter Bryssel: Europeiska kommissionen 2021.
4. Ronanki R, et al. Revolutionizing health care with AI: a new era of efficiency, trust and care excellence. *NEJM AI*. 2024.
5. Stults CD, Deng S, Martinez MC, et al. Evaluation of an Ambient Artificial Intelligence Documentation Platform for Clinicians. *JAMA Netw Open*. 2025;8(5):e258614.
6. Takita H, Kabata D, Walston SL, et al. A systematic review and meta-analysis of diagnostic performance comparison between generative AI and physicians. *npj Digit Med*. 2025;8:175.
7. Panteli D, et al. Artificial intelligence in public health: promises, challenges, and an agenda for policy makers and public health institutions. *Lancet Public Health*. 2025;10(5):e428-e432.
8. Sharma A, Lysenko A, Jia S, et al. Advances in AI and machine learning for predictive medicine. *J Hum Genet*. 2024;69:487–497.
9. FinData. Secondary use of health and social data in Finland. 2024. [hämtad 27.6.2025].
10. Sitra. Human-driven data economy: Ethical principles for a fair digital future. Helsinki: Sitra; 2020. [hämtad 27.6.2025].
11. Kanan A, Pereira B, Hordonneau C, et al. Deep learning CT reconstruction improves liver metastases detection. *Insights Imaging*. 2024;15:167.
12. Wong A, Otlés E, Donnelly JP, et al. External validation of a widely implemented proprietary sepsis prediction model in hospitalized patients. *JAMA Intern Med*. 2021;181(8):1065–1070.
13. Thanellas A, Peura H, Lavinto M, et al. Development and External Validation of a Deep Learning Algorithm to Identify and Localize Subarachnoid Hemorrhage on CT Scans. *Neurology*. 2023 Mar 21;100(12):e1257-e1266.
14. HUS. Tekoäly ei korvaa kohtaamista – se voi pelastaa sen [Internet]. Husari. 2025 Apr [hämtad 27.6.2025]. Tillgänglig på: <https://www.hus.fi/husari/tekoaly-ei-korvaa-kohtaamista-se-voi-pelastaa-sen>
15. DigiFinland Oy. Tekoäly hyvinvointialueilla: sosiaali- ja terveydenhuollon käyttötapaukset ja kansallinen edistäminen. Esiselvitystyön loppuraportti 2024 Mar 21 [viitattu 27.6.2025]. Tillgänglig på: https://digifinland.fi/wp-content/uploads/2024/03/DigiFinland_tekoaly_loppuraportti_210324.pdf
16. DigiFinland Oy. Sosiaali- ja terveydenhuollon tekoälyn käyttötapaukset ja lainsäädäntö: Selvitys ja suositukset yhteisistä tulkinnoista hyvinvointialueille [Internet]. 2024 Dec 4 [viitattu 27.6.2025]. Tillgänglig på: https://digifinland.fi/wp-content/uploads/2024/12/DigiFinland_Sosiaali-ja-terveydenhuollon-tekoalyn-kayttotapaukset-ja-lainsaadanto_04122024.pdf
17. DigiFinland Oy. Sote-tekoälyn ekosysteemin tekoälyvisio 2035. 2025 Jun [viitattu 27.6.2025]. Tillgänglig på: https://digifinland.fi/wp-content/uploads/2025/06/SOTE-tekoalyn_ekosysteemin_tekoalyvisio_2035_final.pdf
18. Länsi-Uudenmaan hyvinvointialue. Tekoälyohjelma 2024–2026 [Internet]. 2024 Dec [hämtad 27.6.2025]. Tillgänglig: <https://admin.luvn.fi/sites/default/files/2024-12/Teko%C3%A4lyohjelma%202024-2026%20JAETTAVA.pdf>
19. Social- och hälsovårdsministeriets utredning belyser problemen och utvecklingsbehoven i social- och hälsovårdspersonalens arbete med dokumenteringen. 2024 Dec 4 [27.6.2025]. Tillgänglig på: https://stm.fi/-/stm-n-selvitys-tuo-uutta-tietoa-sotemattilaisten-kirjaamisen-ongelmista-ja-kehittamiskohteista?languageId=sv_SE
20. Cain CH, Davis AC, Broder B, et al. Quality assurance during the rapid implementation of an AI-assisted clinical documentation support tool. *NEJM AI*. 2025.
21. Lin B. Abridge, whose AI app takes notes for doctors, valued at \$5.3 billion at funding [Internet]. The Wall Street Journal. 2025 Jun 24 [viitattu 27.6.2025]. Tillgänglig på: <https://www.wsj.com/articles/abridge-whose-ai-app-takes-notes-for-doctors-valued-at-5-3-billion-at-funding-801825f3>
22. Haberle T, Cleveland C, Snow GL, et al. The impact of nuance DAX ambient listening AI documentation: a cohort study. *J Am Med Inform Assoc*. 2024 Apr;31(4):975–979.
23. Duggan MJ, Gervase J, Schoenbaum A, et al. Clinician experiences with ambient scribe technology to assist with documentation burden and efficiency. *JAMA Netw Open*. 2025;8(2):e2460637.
24. Statistikcentralen: Antalet personer med ett främmande språk som modersmål översteg 600 000 under år [Internet]. 2025 Apr 4 [hämtad 27.6.2025]. Tillgänglig på: <https://stat.fi/sv/publikation/cm1jg8tr20lco07vwvoif9s6i>
25. Hsven Y, Schweitzer K. Researcher explores using AI to overcome language barriers with patients. *JAMA*. 2025;333(1):9–11.
26. Hudelson P, Chappuis F. Using voice-to-voice machine translation to overcome language barriers in clinical communication: an exploratory study. *J Gen Intern Med*. 2024;39:1095–1102.
27. Sikka R, Morath JM, Leape L. The Quadruple Aim: care, health, cost and meaning in work. *BMJ Qual Saf*. 2015;24(10):608–10.
28. Nair M, Svedberg P, Larsson I, Nygren JM. A comprehensive overview of barriers and strategies for AI implementation in healthcare: Mixed-method design. *PLOS ONE*. 2024;19(8):e0305949.
29. Rieke N, Hancox J, Li W, et al. The future of digital health with federated learning. *npj Digit Med*. 2020;3:119.
30. Templin T, Perez MW, Sylvia S, Leek J, Sinnott-Armstrong N. Addressing 6 challenges in generative AI for digital health: a scoping review. *PLOS Digit Health*. 2024;3(5):e0000503.

Summary

AI's Impact on Wellbeing Services Counties is Inevitable

Artificial intelligence (AI) is rapidly reshaping healthcare by enabling automation of cognitive tasks, improving productivity, and enhancing decision-making. Finland is well-positioned for responsible AI adoption due to its digital health infrastructure, national data assets and research infrastructure. Western Uusimaa Wellbeing Services County has launched structured AI pilots, including automated documentation with an AI scribe and real-time interpretation, demonstrating early impact on professional workload and service accessibility. These implementations are supported by scientific evaluation. Despite promising results, ethical deployment of AI in healthcare requires careful attention to risks, regulatory compliance, and implementation capacity to ensure safe and effective integration into routine healthcare practice.

Kan vi använda AI för att skapa nya riktlinjer och bedöma vetenskaplig evidens inom hjärt-lungräddning?

MARKUS SKRIFVARS

Artificiell intelligens (AI) är högaktuellt inom medicinen och ett flertal olika användningsområden har diskuterats. En av AI:s egenskaper är att den kan gå igenom stora mängder data snabbt. Eftersom antalet vetenskapliga publikationer ökar nästan exponentiellt, har genomgång av befintlig vetenskaplig litteratur för att utarbeta och sammanställa behandlingsriktlinjer föreslagits som ett område där AI kunde vara till hjälp. Inom hjärt-lungräddning (HLR) har användning av så kallad hypotermibehandling som metod för att lindra en hjärnskada som uppstår efter ett hjärtstillestånd diskuterats flitigt. Ett flertal studier har genomförts med varierande resultat. Fyra stora europeiska organisationer inom akut- och intensivvård har nämligen kommit fram till helt olika behandlingsrekommendationer. En forskningsgrupp har därför beslutat använda AI för att försöka utreda om hypotermibehandling är effektiv eller inte och för att se om AI kan vara till hjälp med att sammanfatta studierna och ge svar på varför organisationerna har tolkat den medicinska litteraturen så olika. Forskarna har använt sig av modellerna Chat GPT och Gemini. Resultatet blev att modellerna sammanfattade det som publicerats om effekten av hypotermibehandling. Men ingendera modellen gav någon mer kritisk granskning av vad som fick organisationerna att tolka litteraturen så olika, trots att detta har debatterats flitigt i flera vetenskapliga tidskrifter. Slutresultatet blev att AI inte var till någon egentlig hjälp för dem som behärskar ämnet. För dem som inte behärskar ämnet kan AI-modellernas analyser leda till direkt felaktiga slutsatser. Av någon anledning verkade båda modellerna ge de två äldsta studierna, som rapporterade positiva effekter av hypotermibehandling, mer vikt trots att kvaliteten på dem var mycket sämre än i flera nyare studier med motsatta resultat.

Är bilder skapade med artificiell intelligens bättre än en verklig bild tagen med kamera?

Alla talar numera om artificiell intelligens (AI). En ny AI-metod kan skapa bilder, filmsnuttar och musik på nolltid. Vissa av dem är så bra att det är svårt att skilja mellan det som skapats av AI och det "riktiga". Utan tvekan häpnadsväckande sett ur teknisk synvinkel! Visst är det spännande att nya bilder, filmer och annat kan skapas på nolltid, men för mig kvarstår trots allt grundfrågan "Varför?". Det är klart att all innovation leder till nya fynd och tillämpningsmöjligheter som vi inte har kunnat förutspå, men varför är en bild skapad av AI bättre än en kamerabild, som i dagens läge går lika snabbt att ta?

SKRIBENTEN

Markus Skrifvars, professor, med.o.kir.dr, EDICM, FCICM

Clinicum, Helsingfors universitet, och Kliniken för anestesiology och intensivvård, HUS

Användning av AI inom medicinen för diagnostik och analys av stora patientkohorter

Användningen av AI är utan tvekan ett av de mest hajpade hjälpmedlen inom medicinen för tillfället. Vi får nästan dagligen höra hur artificiell intelligens har överträffat läkare och ställt bättre diagnoser inom ett flertal

medicinska discipliner, inbegripet analys av röntgenbilder och avklarande av vissa tentamina (1–3). Rubriker som ”Artificiell intelligens kommer att transformera medicinen” förekommer nästan dagligen och alla kongresser har en eller flera sessioner med AI som tema. Artificiell intelligens föreslås också som analysmetod för stora patientmaterial, så kallade *big data* (4). Men frågan är vad dessa analyser egentligen är och i vilka frågeställningar AI skulle överträffa alldeles vanliga statistiska flervariabelmodeller? Av någon orsak ställer jag mig lite skeptisk till allt detta. Man drar sig till minnes 1990- och 2000-talet när genetiska analyser var den stora förändring som skulle revolutionera medicinen. Man såg för sig en framtid, där patienten kommer till sjukhuset, det tas ett blodprov och görs en analys av patientens gener, varefter det planeras individuell behandling utifrån patientens gener. Detta har säkert hänt inom vissa specialiteter, som i vissa fall inom onkologin, men inom vanlig akutmedicin och intensivvårdsmedicin har detta inte hänt, och frågan är om det någonsin kommer att hända. De flesta vanliga sjukdomar är multifaktoriella – och levnadsvanorna spelar en mycket stor roll. Samtidigt är de möjliga behandlingsmetoderna i grund och botten ganska begränsade för många vanliga sjukdomar, som lunginflammation, sepsis, hjärtinfarkt och stroke. Kanske härrör min skepsis från att trenden, speciellt inom intensivvård, under de senaste åren alldeles tydligt har varit att *”less is more”*, det vill säga mindre medicinering, mindre nedsövning, mindre syre, mindre användning av medicinsk utrustning. Och de stora framstegen vad beträffar specifika nya läkemedel har helt uteblivit (5).

AI som hjälpmedel för vetenskaplig evaluering av behandlingsmetoder

Naturligtvis kommer AI att förändra mycket av det vi gör, men hur är en annan fråga. En fördel med AI är självfallet dess förmåga att snabbt gå igenom data, exempelvis nya publikationer inom ett visst område. Inom hjärt-lungräddning (HLR) publiceras inter-

nationella behandlingsriktlinjer vart femte år av organisationen *International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR)*. Organisationen är indelad i arbetsgrupper som behandlar olika områden av HLR. Jag har själv arbetat inom ILCOR i femton år och bidragit till arbetet med att vetenskapligt evaluera olika behandlingsmetoder inom HLR. Utifrån dessa sammanfattningar kan sedan andra internationella vetenskapliga organisationer, som *European Society of Intensive Care* och *European Resuscitation Council* och även Duodecims arbetsgrupp för god medicinsk praxis sammanställa praktiska riktlinjer för vården och behandlingen (6). Överlag är denna arbetsprocess mycket tidskrävande och en högaktuell fråga är om AI kan snabba upp processen.

Hypotermibehandling och dess effektivitet efter hjärtstillestånd

Ett mycket omdebatterat område inom vården av patienter efter HLR är hypotermibehandling, som innebär nedkylning av patientens kroppstemperatur till 33 °C i 24 timmar. Det finns en del experimentell forskning som visar på positiva effekter av nedkylning, och vid nedkylning som sker innan blodcirkulationen avstannar har en skyddande effekt kunnat bevisas. Denna metod används inom vissa typer av krävande hjärtkirurgi. Men huruvida en sänkning av temperaturen *efter* att patienten haft ett hjärtstillestånd kan minska omfattningen av organskada är en helt annan sak. År 2002 publicerades två studier som påvisade en positiv effekt av hypotermibehandling hos patienter efter hjärtstillestånd (7, 8) och de kom att fullständigt förändra behandlingen av dessa patienter. Medicinsk apparatur utvecklades för att snabbare och enklare introducera metoder att upprätthålla låg temperatur hos patienter. Dessa två studier skulle i dag anses ha något sämre vetenskaplig kvalitet och även vara ganska små, vilket innebär att den effekt man då såg i grupperna tenderar att vara realistisk utifrån den information som man har idag. I och med två mycket större studier som

HUVUDBUDSKAP:

- Artificiell intelligens (AI) är högaktuellt inom medicinen. AI kan gå igenom stora mängder data på kort tid, men enligt ett exempel inom intensivvården var AI:s slutsatser om effektiviteten hos en viss vårdmetod direkt felaktiga. Trots att det skrivits om detta inom den vetenskapliga litteraturen nämnde inte AI det mest relevanta problemet inom området.

Can you draw a picture of Markus Skrifvars at work in the hospital.



Here is an artistic depiction of Markus Skrifvars at work in a hospital setting, showcasing him in his role as a professor of emergency medicine. The image portrays him in an intensive care unit, surrounded by medical equipment and a team, emphasizing his dedication to critical patient care.

Figur 1. Bild på Markus Skrifvars enligt AI (till vänster) och med kamera (till höger). Det är upp till läsaren att bedöma vilken bild som är "bäst". AI-bilden är producerad med Chat GPT i oktober 2024.

publicerades 2013 respektive 2021 kunde en internationell forskargrupp med två stora randomiserade multicenterstudier påvisa att hypotermibehandling som påbörjas på intensivvårdsavdelning efter HLR inte förbättrar vare sig överlevnad eller andelen patienter med god neurologisk funktionsnivå sex månader efter hjärtstillestånd (9, 10). Resultatet blev rentav att patienter som genomgått hypotermibehandling fick flera biverkningar och att överlevnaden var två procent lägre än hos patienter som behandlades endast om de fick feber (temperatur över 37,8 °C). Dessa två studier har lett till att vissa organisationer har omtolkat behandlingsrekommendationerna. I dagens läge rekommenderar ERC och ESICM att hypotermibehandling inte används på patienter efter HLR, medan andra organisationer som *European Society of Anaesthesiology and Intensive Care (ESAIC)* och *European Society of Emergency Medicine (EUSEM)* fortfarande förespråkar hypotermibehandling som standardbehandling efter HLR (6, 11). Saken blir ännu mer komplicerad av att två systematiska översiktsartiklar, den ena av gruppen Cochrane och den andra av ILCOR, har kommit fram till helt olika slutsatser trots att de utgått från samma studier (12, 13). Hur ska en kliniker tolka dessa olika rekommendationer?

AI som verktyg för att evaluera huruvida hypotermibehandling fungerar

En grupp forskare beslutade använda AI för att belysa varför tolkningarna av de vetenskapliga studierna är så olika (14). Forskarna använde sig av Chat GPT och Gemini och bad dem sammanfatta vad vi vet om effekten av hypotermibehandling på överlevnaden efter HLR. Båda modellerna producerade en relativt utförlig sammanställning över vad tidigare vetenskapliga studier har påvisat. Men modellerna kunde inte förklara vad som gjort att resultaten hade tolkats så olika, trots att detta har diskuterats flitigt i vetenskapliga tidskrifter (15). Alltså förblev de riktigt svåra och väsentliga frågorna obesvarade av båda AI-modellerna. Det tråkiga för mig som är insatt i ämnet är att AI i detta fall ger en del sammanfattande information som kan anses nyttig och användbar, men som inte ger svar på de viktiga frågorna eller kommer med felaktiga svar och slutsatser. Om någon som inte är insatt i ämnet skulle utarbeta behandlingsriktlinjer utifrån en sådan AI-analys vore det fullt möjligt att personen skulle dra direkt felaktiga slutsatser.

Analysprocessen för modellerna bör vara mera transparent och basera sig på a priori-planerade orsakssamband

Lite besvärad av detta har jag själv ett flertal

gångar ställt Chat GPT den enkla frågan "Förbättrar hypotermibehandling patienternas överlevnad och neurologiska funktionsnivå efter hjärtstillestånd?". Svaren har genomgående börjat med "enligt studier från 2002 förbättrar hypotermibehandling prognosen hos patienter efter HLR". Detta är enligt min mening oroväckande och det vore intressant att veta hur modellen resonerar i detta fall. Jag antar att det kan ha att göra med att den studie som publicerades 2002 kanske har gett större avtryck på internet och därför klassas som viktigare än de studier som gjordes 2013 och 2021. Detta är kanske ett exempel på fenomenet "*black box*", alltså att vi inte vet varför modellen kommer fram till den slutsats den gör. Ett liknande exempel har diskuterats när det gäller bedömning av personers kreditförmåga och möjligheten att få lån i en bank. En viktig etisk fråga är om vi är villiga att inkludera egenskaper som ras, kön, sexualitet och liknande i modeller av denna typ även om de statistiskt sett gör modellen bättre. En viktig princip inom medicinen har varit att undvika att analysera material för mycket utan att ha en förutbestämd plan för att minska risken för slumpmässiga fynd. Begreppen "*fishing expedition*" och "*I tortured the data until it confessed*" är relevanta i detta sammanhang och enligt min mening högrelevanta även med tanke på bruket av AI på massiva patientmaterial. Ett praktexempel från intensivvårdens värld är ett fynd från en studie om vätskebehandling av patienter med sepsis. I en kompletterande analys kunde forskarna visa att de patienter som var födda i stjärntecknet Fiskarna hade en signifikant lägre dödlighet om de behandlades med kolloid lösning än om de behandlades med kristalloid lösning, trots att den stora studien var helt neutral (16). Eftersom det inte finns någon rimlig patofysiologisk förklaring till detta, drar de flesta sannolikt slutsatsen att det är ett slumpmässigt fynd. Frågan är om vi har denna möjlighet med komplexa AI-modeller, där vi inte exakt vet hur modellen har kommit fram till sin slutsats. Ska vi inkludera variabler som verkar helt otroliga ur en patofysiologisk synvinkel?

Kan AI ersätta randomiserade kliniska studier i framtiden?

Randomiserade studier för att utvärdera om en viss behandlingsmetod fungerar eller inte är både dyra och tidskrävande. Även här har man sett AI som en lösning. Med AI-analys

av stora material kommer vi att kunna evaluera olika behandlingsmetoder snabbare och billigare. Personligen ställer jag mig mycket skeptisk till detta. Vi har ett flertal exempel från medicinen där observationsstudier med statistiska metoder kommit fram till att en viss behandlingsmetod, exempelvis adrenalin vid HLR och användning av intraosseös nål under HLR, är kopplad till högre dödlighet (17). Detta trots olika statistiska analysmetoder och stora patientmaterial. När sedan stora randomiserade studier har gjorts har dessa fynd förkastats totalt. Det beror på "*confounding by indication*". En kliniker använder eller låter bli att använda en metod på basis av en helhetsbedömning som inte kan beskrivas med de numeriska data som finns i patientjournaler. Till exempel patienter med en allmänt god prognos har kunnat återfå sin blodcirkulation innan man har kunnat ge adrenalin och överlever därför, men orsaken är inte att de inte har fått adrenalin, utan att hjärtat har startat innan de hunnit få det.

Problem av denna typ kommer att vara mycket svåra att undvika med de numeriska patientdata i form av vitala funktioner och blodprover som vi samlar i våra patientjournaler. Och då finns risken att en AI-modell kommer fram till felaktiga slutsatser. Om slutsatsen gäller en viss behandlingsmetod kommer vi inte att veta om slutsatsen är rätt eller fel, innan det har gjorts en stor randomiserad studie.

Sammanfattningsvis är det väl klart att AI kommer att förändra medicinen. Men på vilket sätt är en helt annan fråga som vi inte vet svaret på idag! I princip anser jag att vi måste se AI-modeller som till exempel stöd för behandlingsbeslut på samma sätt som nya läkemedel eller medicintekniska apparater. Det måste finnas tillförlitliga bevis på att de faktiskt fungerar, att de minskar kostnaderna eller att de förbättrar behandlingen och räddar liv. Om så inte är fallet, ställer jag mig skeptisk till att använda dessa modeller som underlag för medicinska beslut, särskilt när det gäller effekten av medicinska ingrepp och läkemedel. Personligen tror jag att AI kommer att bli ett hjälpmedel och inte så mycket annat. Visst måste man se med en viss skepsis på techbolag som prackar sina metoder och program också på oss inom medicinen.

Markus Skrifvars enligt Chat GPT

Om jag till sist återgår till samma slags navelskåderi som i inledningen och frågar AI

Markus Skrifvars is a Finnish-Swedish media personality known for his work as a television and radio host in Finland. He is part of the Swedish-speaking community in Finland and has gained recognition for his engaging style and presence on various media platforms.

Skrifvars has hosted several programs, often in the context of cultural and entertainment shows. His work primarily focuses on Finnish-Swedish media, catering to the Swedish-speaking population in Finland.

If you need more specific information about his career or personal life, please let me know!



Figur 2. Chat GPT svarar på frågan "Vem är Markus Skrifvars?" i oktober 2024.

"Vem är Markus Skrifvars?" får jag det svar (oktober 2024) som visas i figur 2.

Alltså ett totalt felaktigt svar. I sig är det intressanta *inte* att Chat GPT inte vet vem jag är. Jag anser inte att just jag är så enastående att Chat GPT borde veta det, utan det intressanta är att modellen verkar vara rätt så säker på sin sak fastän svaret är fel. Är det så vi vill ha det inom medicinen? Starka åsikter som är felaktiga? Vore det inte bättre att modellen ärligt svarade att det finns flera möjliga svar och att modellen är osäker? Jag ställde en del följdfrågor och slutligen svarade Chat GPT rätt. Glädjande nog (åtminstone för mitt ego) svarade Chat GPT helt rätt på samma fråga när jag ställde den i juni 2025. Modellen hade tydligen lärt sig av mina instruktioner och vet nu vem jag är (sic!). Så kanske det finns hopp? Åtminstone när det gäller den kanske inte för alla lika relevanta frågan "Vem är Markus Skrifvars?". Men det hade givetvis funnits andra sätt att komma till samma riktiga svar även utan AI. Men det kanske är irrelevant i sammanhanget.

Markus Skrifvars
markus.skrifvars@hus.fi

Inga bindningar

Referenser

- Wang D, Jin R, Shieh CC, Ng AY, Pham H, Dugal T, Barnett M, Winoto L, Wang C, Barnett Y. Real world validation of an AI-based CT hemorrhage detection tool. *Front Neurol*. 2023 Aug 3;14:1177723. doi: 10.3389/fneur.2023.1177723. PMID: 37602253; PMCID: PMC10435741.
- Gilson A, Safranek CW, Huang T, Socrates V, Chi L, Taylor RA, Chartash D. How Does ChatGPT Perform on the United States Medical Licensing Examination (USMLE)? The Implications of Large Language Models for Medical Education and Knowledge Assessment. *JMIR Med Educ*. 2023; 9:e45312.
- Kuo KM, Chang CS. A meta-analysis of the diagnostic test accuracy of artificial intelligence predicting emergency department dispositions. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2025 May 15;25(1):187. doi: 10.1186/s12911-025-03010-x. PMID: 40375078; PMCID: PMC1208289
- Tsai ML, Chen KF, Chen PC. Harnessing Electronic Health Records and Artificial Intelligence for Enhanced Cardiovascular Risk Prediction: A Comprehensive Review. *J Am Heart Assoc*. 2025 Mar 18;14(6):e036946. doi: 10.1161/JAHA.124.036946. Epub 2025 Mar 13. PMID: 40079336; PMCID: PMC12132661.
- Perner, A., Finfer, S. Do trials that report a neutral or negative treatment effect improve the care of critically ill patients? *Yes*. *Intensive Care Med* 44, 1985–1988 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5129-5>.
- Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW, Cariou A, Cronberg T, Friberg H, Genbrugge C, Haywood K, Lilja G, Moulart VRM, Nikolaou N, Mariero Olasveengen T, Skrifvars MB, Taccone F, Soar J. European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine Guidelines 2021: Post-resuscitation care. *Resuscitation*. 2021 Apr;161:220-269. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.02.012. Epub 2021 Mar 24. Erratum in: *Resuscitation*. 2021 Oct;167:109-110. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.08.013. PMID: 33773827.
- Hypothermia after Cardiac Arrest Study Group. Mild therapeutic hypothermia to improve the neurologic outcome after cardiac arrest. *New England Journal of Medicine* 2002;346(8):549-56.
- Bernard SA, Gray TW, Buist MD, Jones BM, Silvester W, Gutteridge G, et al. Treatment of comatose survivors of out-of-hospital cardiac arrest with induced hypothermia. *New England Journal of Medicine* 2002;346(8):557-63.
- Nielsen N, Wetterslev J, Cronberg T, Erlinge D, Gasche Y, Hassager C, et al. TTM Trial Investigators. Targeted temperature management at 33°C versus 36°C after cardiac arrest. *New England Journal of Medicine* 2013;369(23):2197-206.
- Dankiewicz J, Cronberg T, Lilja G, Jakobsen JC, Levin H, Ullén S, et al. Hypothermia versus normothermia after out-of-hospital cardiac arrest. *New England Journal of Medicine* 2021;384(24):2283-94.
- Behringer W, Böttiger BW, Biasucci DG, Chalkias A, Connolly J, Dodd C, Khoury A, Laribi S, Leach R, Ristagno G. Temperature control after successful resuscitation from cardiac arrest in adults: A joint statement from the European Society for Emergency Medicine and the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care. *Eur J Anaesthesiol*. 2024 Apr 1;41(4):278-281.
- Arrich J, Schütz N, Oppenauer J, Vendt J, Holzer M, Havel C, Herkner H. Hypothermia for neuroprotection in adults after cardiac arrest. *Cochrane Database Syst Rev*. 2023 May 22;5(5):CD004128.
- Granfeldt A, Holmberg MJ, Nolan JP, Soar J, Andersen LW; International Liaison Committee on Resuscitation ILCOR Advanced Life Support Task Force. Temperature control after adult cardiac arrest: An updated systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2023 Oct;191:109928.

-
14. Semeraro, Federico, Monsieurs, Koenraad G. et al. Synthesizing and communicating scientific evidence into treatment recommendations using artificial intelligence: The “case” of temperature control after cardiac arrest. *Resuscitation*, Volume 197, 110145.
 15. Andersen LW, Holmberg MJ, Nolan JP, Soar J, Granfeldt A. Conflicting guidelines: a commentary on the recent European Society for Emergency Medicine and European Society of Anaesthesiology and Intensive Care guidelines on temperature control after cardiac arrest. *Eur J Anaesthesiol*. 2024 Jul 1;41(7):468-472.
 16. Hjortrup PB, Haase N, Wetterslev J, Perner A. Gone fishing in a fluid trial. *Crit Care Resusc*. 2016 Mar;18(1):55-8. PMID: 26947417.
 17. Couper K, Andersen LW, Drennan IR, Grunau BE, Kudenchuk PJ, Lall R, Lavonas EJ, Perkins GD, Vallentin MF, Granfeldt A; International Liaison Committee on Resuscitation Advanced Life Support Task Force. Intraosseous and intravenous vascular access during adult cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2025 Feb;207:110481.

Summary

Can we use artificial intelligence for creating and evaluating evidence based clinical guidelines in the field of cardiopulmonary resuscitation?

Artificial intelligence (AI) is without doubt on the rise in the field of medicine. Headlines such as “Doctors are incompetent and will be replaced by AI” is not unheard of. On the other hand, there are many caveats. AI can screen through massive amounts of data and make summaries. However, whether AI is able to make correct and relevant synthesis of the findings and capture the most important aspects of a specific medical question, is currently unclear. A recent example from the field of post-cardiac arrest care suggested fallacies in the reasoning of AI with regards to the evidence behind a particular treatment i.e. “therapeutic hypothermia”.

Kan AI identifiera fosterhypoxi under förlossningen?

MIKKO TARVONEN, MATTI MANNINEN OCH STURE ANDERSSON

Sedan 1960-talet har kardiokografi (CTG) varit den viktigaste metoden för fosterövervakning under förlossning, det vill säga simultan registrering av fostrets puls och uteruskontraktioner. CTG kan visa på förändringar i fostrets puls som tyder på syrebrist, varvid ingrepp kan göras för att undvika potentiella hypoxiska fosterskador. CTG har visat sig vara känsligt för störningar och för visuell övertolkning av misstänkta hypoxiförändringar, något som lett till en ökning av operativa, ofta överflödiga, förlossningsingrepp.

Datorbaserad analys av CTG testades redan på 1980-talet, men utveckling av artificiell intelligens (AI) baserad på maskininlärning var under tidigt 2000-tal en förutsättning för en analytisk tolkning av CTG. De AI-modeller som i dag används för CTG-analys baserar sig i princip på maskinseende eller tidsserieanalys, eller i vissa fall på en hybridform av dem. Modellerna kräver stor datorkapacitet och dessutom ett stort antal, helst hundratusentals CTG-registreringar. Under senare år har kraven kunnat tillgodoses och AI-baserad CTG-analys har utvecklats till en nivå som i många fall kan jämföras med mänsklig bedömning. AI-baserad CTG-analys kan i dag ha en stödjande funktion, som kan förbättra och snabba upp diagnostiska ställningstaganden. Kliniskt beslutsfattande kräver individuell bedömning med beaktande av patientens situation, lokala förhållanden och vetenskaplig evidens.

Fosterövervakning under förlossning

Syftet med fosterövervakning under förlossning är att minska perinatal mortalitet och neurologisk långtidsmorbiditet relaterad till fosterhypoxi. Kardiokografi (CTG) är den vanligaste metoden för att övervaka ett fullgånget fosters status under förlossning. Metoden baserar sig på elektronisk registrering av fostrets puls och uteruskontraktioner. Utifrån de här parametrarna försöker man identifiera och förhindra syrebrist hos fostret.

De första försöken att elektroniskt dokumentera fetal hjärtfrekvens och uterina kontraktioner gjordes under 1950-talet (1). Under 1960-talet utvecklades CTG-metoden för kliniskt bruk av Hon, Caldeyro-Barcia och Hammacher och den första kommersiellt tillgängliga CTG-apparaten lanserades av Hewlett-Packard under sent 1960-tal. När metoden utan föregående kliniska tester infördes var det i förhoppning om att en fortgående CTG-registrering skulle möjliggöra tidig diagnos av hypoxirelaterade pulsförändringar hos fostret, vilket kunde ge obstetriker en bas för att förlösa fostret innan dess kondition försämrades med åtföljande neurologiska skador eller fetal död (figur 1) (2, 3).

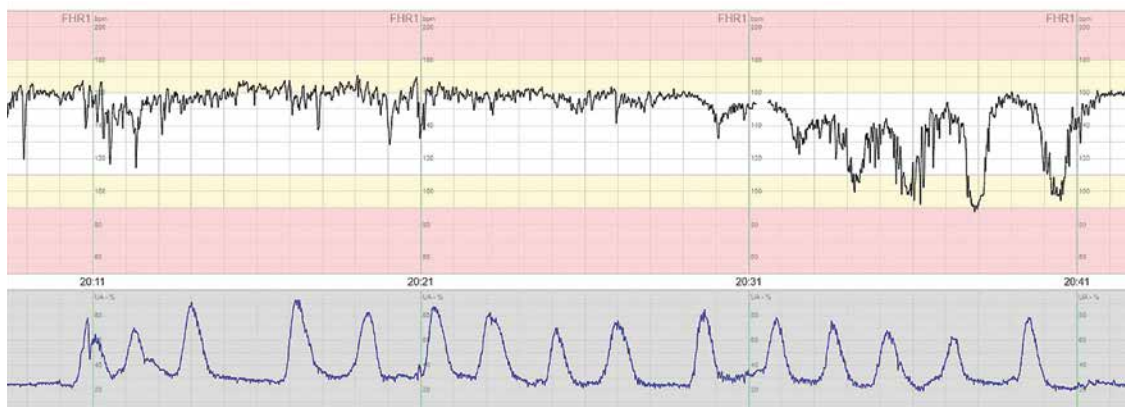
SKRIBENTERNA

Mikko Tarvonen, barnmorska, FM, forskare, HUS Kvinnokliniken

Matti Manninen, DI, ekonomie magister, doktorand vid Helsingfors universitet

Sture Andersson, professor emeritus i neonatologi, HUS Barnkliniken och Helsingfors universitet

Internationella direktiv om analys av CTG är baserade på en visuell granskning av pulskurvan för identifikation av specifika pulsförändringar. Reproducerbarheten vid analys av pulsförändringar är dock låg och stora skillnader har observerats mellan olika individer och till och med hos en och samma person vid upprepade granskning av samma registrering (4, 5). Registreringen kan också vara förknippad med tekniska problem som avbrott, störningar och oförmåga att särskilja moderns och fostrets puls (6). De här omständigheterna har lett till att antalet kejsarsnitt och andra operativa förlossningsmetoder har ökat utan signifikant positiv effekt på de nyföddas neurologiska morbiditet (7, 8).



Figur 1. CTG-registrering. Övre panelen: fostrets hjärtfrekvens. Mot slutet av registreringen ses upprepade decelerationer av hjärtfrekvensen som är inducerade av kemoreceptorer och startar efter kontraktionens maximum. Nedre panelen (tokografi): uteruskontraktioner.

En fördel med CTG är metodens känslighet. En normal CTG-registrering utesluter med stor sannolikhet en hypoxibaserad acidosis som kunde leda till neurologisk skada hos fostret (9, 10). En nyligen publicerad retrospektiv undersökning som omfattade över 300 000 fullgångna förlossningar visade att normalt CTG vid ankomsten till sjukhuset med stor sannolikhet utesluter en hjärnskada hos fostret (11). Sensitivitet och negativt prognostiskt värde var båda 100 procent och specificiteten 95 procent (11). Avvikande CTG vid ankomsten var associerat med en 11-faldig risk för existerande hjärnskada (11).

Fostrets respons på födelsestress

Stressen vid vaginal förlossning förbereder fostret för extrauterint liv. Ett friskt fullgånget foster, som har en normalt fungerande placenta och inte har utsatts för betydande syrebrist *in utero*, svarar i regel på stressen utan problem (12).

Fostrets puls påverkas av både blodtrycksförändringar och cirkulerande biokemiska faktorer. En ofta förekommande sänkning

av pulsfrekvensen är kardioprotektiv genom att den minskar hjärtmuskelnns belastning och syreförbrukning (13). Som svar på en förhöjning av blodtrycket, exempelvis i samband med kompression av navelsträngen, inducerar fostrets baroreceptorer en vagusmedierad sänkning av hjärtfrekvensen (14).

Kemoreceptorer svarar på biokemiska förändringar i cirkulationen, såsom låg syrekonzentration, lågt pH-värde och hög koldioxidnivå, genom att aktivera det sympatiska nervsystemet för att åstadkomma en redistribution av blodcirkulationen till vitala organ (12, 15). Födelsestress leder också till ökad frisättning av katekolaminer, främst noradrenalin, i binjurarna. Via betareceptorer ökar noradrenalin hjärtats pulsfrekvens, kontraktilitet och slagvolym (16). Katekolaminer inducerar också via medulla oblongata dilatation och kontraktion av blodkärl, vilket bidrar till redistribution av cirkulation till viktiga organ hos fostret, såsom hjärta, binjuror och centrala nervsystemet (17, 18).

En uterin sammandragning kan förorsaka en betydande försämring av blodcirkulationen i placenta och navelsträngen, vilket innebär en tillfällig minskning eller ett avbrott av gasutbytet

HUVUDBUDSKAP:

- Kardiotokografi (CTG) som registrerar fostrets hjärtfrekvens och uteruskontraktioner är den vanligaste metoden för övervakning av fostret under förlossningen.
- CTG:s styrka ligger i dess stora känslighet för hypoxiska förändringar i fostrets puls, men dess tillförlitlighet försämras dels av felaktigt positiva fynd, dels av stora skillnader i obstetrikers tolkningar.
- Under senare år har datorbaserade analysmetoder utvecklats för kardiotokografi. Metoderna har visat lovande resultat vid identifiering av hotande fetalhypoxi och kan bidra till större precision och mindre variation vid tolkning av CTG.

mellan placenta och fetus. Om intervallen mellan sammandragningarna är för korta eller om fostrets kompensationsmekanismer är otillräckliga eller förbrukade, leder detta till en signifikant ökad risk för fetal hypoxi och eventuella komplikationer (19).

Med *hypoxemi* avses det första skedet av syrebrist när syresaturationen i artärblodet minskar (20). Vid hypoxemi minskar fostrets rörelser, vilket sparar resurser för att uppehålla funktionen i hjärna, hjärta och binjurar. En längre period av relativ hypoxemi kan leda till minskad tillväxt hos fostret. Vid hypoxi har syresaturationen sjunkit och syrebristen påverkar fostrets perifera vävnader (16). *Asfyxi* är den allvarligaste nivån av hypoxi, när fostret måste ta hjälp av anaerob metabolism som leder till metabol acidosis (21). Asfyxi påverkar centrala organ och kan orsaka både övergående och bestående skador i centrala nervsystemet hos fostret eller det nyfödda barnet, t.ex. hypoxisk-ischemisk encefalopati (HIE), eller i svåra fall fostrets eller det nyfödda barnets död (22, 23).

Åtgärder vid tecken på ökad fetal stress

Den primära åtgärden för att under förlossningen förbättra tillståndet hos ett foster som visar tecken på ökad stress är inte akut kejsarsnitt eller instrumentell vaginal förlossning, utan metoder som syftar till att förbättra fostrets intrauterina tillstånd (24). Tillvägagångssätt som används är exempelvis att föderskan ändrar ställning för att befria en inklämd navelsträng, att hypotension korrigeras, att för intensiva sammandragningar reduceras eller att föderskan ges febernedsättande läkemedel (25). Effekten av åtgärderna och en korrigering av fostrets tillstånd bör kontrolleras med normalisering av CTG.

AI-baserad CTG-analys

Datorbaserad analys av CTG utvecklades på 1980-talet av Dawes och Redman för att underlätta identifiering av avvikande fetala pulskonfigurationer och för att möjliggöra en idealisk tidpunkt för förlossningen. De första analytiska metoderna var baserade på pulsens basfrekvens och på dess variationer, accelerationer och decelerationer samt en strävan efter att kopiera tolkningar gjorda av sakkunniga obstetriker (26). Metoderna använde sig dock inte av datadriven teknik och försöksdesignen var inte optimal (27, 28).

Utvecklandet av maskininlärning (*machine learning*) och djup maskininlärning (*deep*

learning) under 2000- och 2010-talen möjliggjorde bland annat en betydande förbättring av maskinseende (*machine vision*) med utnyttjande av konvolutionsnätverk (*convolutional network*) och analys av tidsserier (*time series*) (29).

Teknik för CTG-analys baserad på djup maskininlärning kan i princip delas in i maskinseende, tidsseriemodeller och hybridmodeller. Maskinseendemodeller tolkar en CTG-registrering i form av bilder. Modellerna är relativt omfattande och kräver stor datorkapacitet. En vidareträning av modellerna kräver också ett relativt stort datamaterial. Tidsseriemodeller undersöker hur CTG-signalen förändras kronologiskt och de kan analysera trender, specifika händelser och olika fenomen. Under senare år har hybridmodeller blivit vanligare. I dem kombineras bland annat konvolutionsnätverk, som identifierar specifika förändringar och egenskaper, och tidsserier som noterar tidsmässiga faktorer (30).

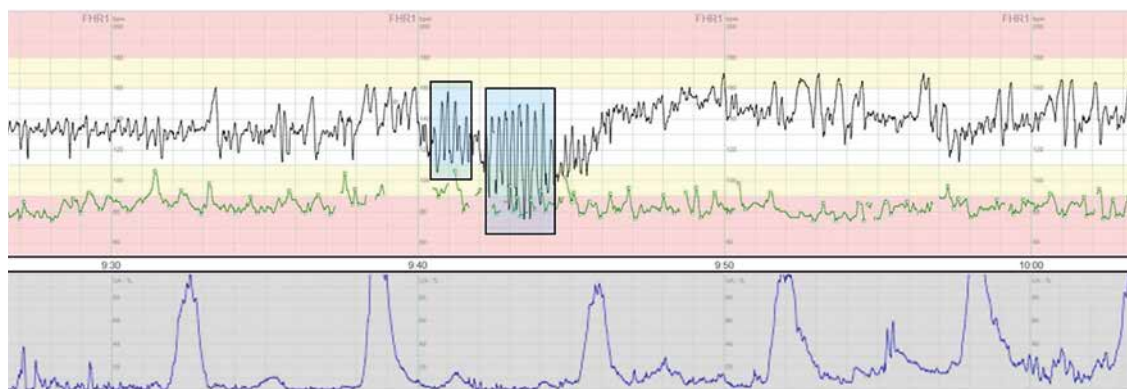
Existerande AI-analysmetoder för CTG har uteslutande baserats på en totalbedömning av CTG-registrering i förhållande till analyserade hypoximarkörer. Den infallsvinkeln förutsätter tillgång till en massiv mängd CTG-analyser och stor datorkapacitet. Det är sällan kraven har kunnat tillgodoses.

McCoy et al. publicerade tidigare i år den hittills sannolikt bästa studien rörande AI-analys av CTG. Där gav deras bästa modell en area under ROC-kurvan (*receiver operating characteristic*) på 0,87 för en kombination av navelarteriellt pH-värde under 7,05 och BE under -11 mekv/l. Deras studie byggde på ett ursprungligt patientmaterial omfattande 124 777 förlossningar, av vilka 10 182 kunde användas för slutgiltig analys, 7 644 (75 %) för träning av modellen och 2 549 (25 %) som testgrupp (31).

Ökad pulsvariation (sicksackmönster) hos fostret

Pulsvariabiliteten hos fostret återspeglar en fortgående interaktion mellan de parasympatiska och sympatiska autonoma nervsystemen (2). Normala gränser för pulsvariation är en amplitudförändring på 5–25 slag i minuten. Minskad variabilitet, under 5 slag/min, och ökad variabilitet, över 25 slag/min – så kallat sicksack eller saltatorisk puls, är båda avvikande fynd (figur 2) (33).

I en serie publikationer har vår grupp visat att ökad pulsvariation under förlossningen korrelerar med syrebrist hos fostret. I en



Figur 2. CTG-registrering. Övre panelen: fostrets och moderns (grön) hjärtfrekvens. Nedre panelen: uterina sammandragningar (tokografi). I övre panelen ses under de första och sista 10 minuterna normal fetal hjärtfrekvens, som avbryts av två sekvenser (inramade) med patologiskt ökad frekvensvariation, så kallat sicksack.

kohort som omfattade 5 150 förlossningar kunde vi i navelblod konstatera en klart signifikant korrelation av sicksackförändringar med acidosis i navelartärblod och med förhöjd koncentration av erytropoetin, som indikator på hypoxi. Sicksackepisoder i mer än två minuter förekommer vid cirka 11 procent av fullgångna graviditeter och de kan associeras med allvarliga komplikationer hos nyfödda, bland annat med ökat behov av intensivvård och hypoglykemi under de första 24 timmarna postnatalet (10, 34).

Våra fynd tyder på att patologiskt ökad pulsvariation, sicksack, i CTG fungerar som tidig signifikant indikator på fetal hypoxi (10, 33). Forskningsrön från både humanstudier och djurförsök visar att en kortvarig sicksackförändring fungerar som indikator för placentadysfunktion och därmed som tidig varningssignal för försämrat tillstånd hos fostret (33).

AI-analys av ökad pulsvariation (sicksack)

I ett pågående projekt undersöker vår grupp om pulsförändringar av typen sicksack kan fungera som bas för AI-analys av CTG. I ett material omfattande 4 988 vaginala förlossningar vid fullgången tid har en algoritm baserad på maskinseende nära nog identisk förmåga att identifiera sicksackförändringar jämfört med erfarna obstetrikers visuella analys (Cohens kappakoefficient 0,98) (35). Vi har tillgång till detaljerade data från en kohort omfattande 317,126 förlossningar vid HUS mellan 2005 och 2024 och vårdanmälningsdiagnoser (Hilmo) för föderskor och barn. Utifrån dessa data har vi utvecklat en AI-algoritm

baserad på en hybridmodell för tidsserier som identifierar hypoxiska sicksackavvikelser i CTG. Vårt projekt syftar till att klarlägga hur ofta en hypoxidiagnos kan ställas snabbare med AI och i vilken utsträckning anknyttande terapeutiska åtgärder kan reducera akut och kronisk morbiditet hos fostret och det nyfödda barnet, om AI-algoritmen är integrerad i sjukhusets kliniska datasystem.

Begränsningar i AI-medierad CTG-analys

Trots att utvecklingen av AI-baserade modeller har avancerat innebär integrering av dem i kliniskt beslutsfattande betydande utmaningar. AI kan inte, och ska inte, ersätta obstetriker och barnmorskor utan dess roll är att stödja deras arbete exempelvis genom att snabba upp diagnostiken och minska arbetsmängden. Kritiskt beslutsfattande kräver även i framtiden individuell bedömning baserad på vetenskaplig evidens, med beaktande av moderns situation och önskemål.

Användningen av AI begränsas av flera faktorer. För det första beror algoritmernas precision på kvaliteten på den inmatade informationen, vilket betyder att data som är defekta eller fattas försvagar modellens tillförlitlighet. För det andra är modellerna ofta specifika för den population som de bygger på och kan därför inte direkt tillämpas på olika befolkningsgrupper. För det tredje bygger AI-forskningsresultat nästan uteslutande på förlossningsvård i utvecklade länder med sina vådrutiner och resurser, vilket begränsar möjligheterna att direkt utnyttja dem i medel- och låginkomstländer. Internationella multicenterstudier kommer att krävas för att

säkerställa modellernas generaliserbarhet, kulturella lämplighet och pålitlighet i olika hälso- och sjukvårdssystem och populationer. Bakgrunden både för forskare och för data kan vara förenad med oavsiktlig partiskhet, till exempel beroende på socioekonomiska, etniska eller språkmässiga faktorer, vilket är något som kan försvaga AI-modellernas noggrannhet och nytta i praktiskt kliniskt bruk. AI-modeller baserade på historiska CTG-data har, när de har testats i realtid i praktiska kliniska situationer, inte till alla delar kunnat infria de förhoppningar som ställts på noggrannhet gällande både positivt och negativt prediktionsvärde.

Största delen av fetala pulsförändringar som uppträder under förlossning är benigna. Tolkningen av fostrets pulskurva är baserad på identifiering av specifika mönster av puls-förändringar och kombineras med bedömning av fostrets fysiologiska reaktioner och individuella kompensationskapacitet. En analys av CTG bör därför alltid ske mot bakgrund av den kliniska helhetsbilden. Hänsyn till existerande riskfaktorer för modern, fostret och förlossningen som en del av en AI-baserad CTG-tolkning kan i idealfallet reducera onödig intervenering i förlossningens förlopp samtidigt som tolkningen förhindrar uppkomsten av hypoxiska fosterskador.

Genom att utnyttja en CTG-analys som simultant beaktar riskfaktorer för föderskan, fostret och förlossningsförloppet kan längre utvecklade AI-baserade modeller komma att minimera uppkomsten av hypoxiska fosterskador och samtidigt reducera onödig intervenering, och därmed bidra till att förverkliga Willibald Pschyrembels (1901–1987) maxim ”Man muss in der Geburtshilfe viel wissen, um wenig zu tun” (I förlossningsvården måste man veta mycket för att [kunna] göra litet).

Författarna tackar för stöd från Finska Läkaresällskapet och Stiftelsen för pediatrik forskning samt för statlig finansiering för hälsoforskning på universitetsnivå.

Mikko Tarvonen
mikko.tarvonen@hus.fi

Inga bindningar

Matti Manninen
matti.manninen@helsinki.fi

Inga bindningar

Sture Andersson
sture.andersson@helsinki.fi

Inga bindningar

Referenser

1. Malmström T. The parturiometer, a tocographic device II. Acta Obstet Gynecol Scand Suppl 1958;7:36 (suppl): 397–9.
2. Low JA, Pickersgill H, Killen H, Derrick EJ. The prediction and prevention of intrapartum fetal asphyxia in term pregnancies. Am J Obstet Gynecol 2001;184:724–30.
3. Parer JT, Ikeda T. A framework for standardized management of intrapartum fetal heart rate patterns. Am J Obstet Gynecol 2007;197:26.e1-26.e266.
4. Rhöse S, Heinis AM, Vandenbussche F, van Drongelen J, van Dillen J. Inter- and intra-observer agreement of non-reassuring cardiotocography analysis and subsequent clinical management. Acta Obstet Gynecol Scand 2014;93:596–602.
5. Sabiani L, Le Dû R, Loundou A, d’Ercole C, Bretelle F, Boubli L, Carcopino X. Intra- and interobserver agreement among obstetric experts in court regarding the review of abnormal fetal heart rate tracings and obstetrical management. Am J Obstet Gynecol 2015;213:856.e1–8.
6. Tarvonen M, Markkanen J, Tuppurainen V, Jernman R, Stefanovic V, Andersson S. Intrapartum cardiotocography with simultaneous maternal heart rate registration improves neonatal outcome. Am J Obstet Gynecol 2024;230:379.e1-379.e12.
7. Devane D, Lalor JG, Daly S, McGuire W, Cuthbert A, Smith V. Cardiotocography versus intermittent auscultation of fetal heart on admission to labour ward for assessment of fetal wellbeing. Cochrane Database Syst Rev 2017;26:1:CD005122.
8. Peters LL, Thornton C, de Jonge A, Khashan A, Tracy M, Downe S, Feijen-de Jong EI, Dahlen HG. The effect of medical and operative birth interventions on child health outcomes in the first 28 days and up to 5 years of age: A linked data population-based cohort study. Birth 2018;45:347–57.
9. Ayres-de-Campos D, Arulkumaran S. FIGO Intrapartum Fetal Monitoring Expert Consensus Panel. FIGO consensus guidelines on intrapartum fetal monitoring: Physiology of fetal oxygenation and the main goals of intrapartum fetal monitoring. Int J Gynaecol Obst 2015;131:5–8.
10. Tarvonen M, Hovi P, Sainio S, Vuorela P, Andersson S, Teramo K. Intrapartum zigzag pattern of fetal heart rate is an early sign of fetal hypoxia: A large obstetric retrospective cohort study. Acta Obstet Gynecol Scand 2021;100:252–62.
11. Tarvonen M, Jernman R, Stefanovic V, Tuppurainen V, Karikoski R, Haataja L, Andersson S. Hypoxic-ischemic encephalopathy following intrapartum asphyxia: is it avoidable? Am J Obstet Gynecol 2025;S0002-9378(25)00305-9. doi: 10.1016/j.ajog.2025.04.073. Förhandspublicerad online.
12. Lear CA, Wassink G, Westgate JA, Nijhuis JG, Ugwumadu A, Galinsky R, Bennet L, Gunn AJ. The peripheral chemoreflex: indefatigable guardian of fetal physiological adaptation to labour. J Physiol 2018;596:5611–23.
13. Lear CA, Kasai M, Booth LC, Drury PP, Davidson JO, Maeda Y, Magawa S, Miyagi E, Tomoaki I, Westgate JA, Bennet L, Gunn AJ. Peripheral chemoreflex control of fetal heart rate decelerations overwhelms the baroreflex during brief umbilical cord occlusions in fetal sheep. J Physiol 2020;598:4523–36.
14. Jia YJ, Ghi T, Pereira S, Gracia Perez-Bonfils A, Chandraran E. Pathophysiological interpretation of fetal heart rate tracings in clinical practice. Am J Obstet Gynecol 2023;228:622–44.
15. Wood CE, Keller-Wood M. Current paradigms and new perspectives on fetal hypoxia: implications for fetal brain development in late gestation. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 2019;317:R1–R13.
16. Giussani DA. The fetal brain sparing response to hypoxia: physiological mechanisms. J Physiol 2016;594:1215–30.
17. Olofsson P. Umbilical cord pH, blood gases, and lactate at birth: normal values, interpretation, and clinical utility. Am J Obstet Gynecol 2023;228:S1222–S1240.
18. Chandraran E, Kahar Y, Pereira S, Fieni S, Ghi T. Rational approach to fetal heart rate monitoring and management during the second stage of labor. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol 2025;305:159–69.
19. Evans MI, Britt DW, Worth J, Mussalli G, Evans SM, Devoe LD. Uterine contraction frequency in the last hour of labor: how many contractions are too many? J Matern Fetal Neonatal Med 2022;35:8698–705.
20. Bhide A, Johnson J, Räsänen J, Acharya G. Fetal heart rate variability with hypoxemia in an instrumented sheep model. Ultrasound Obstet Gynecol 2019;54:786–90.
21. Gunn AJ, Bennet L. Fetal hypoxia insults and patterns of brain injury: insights from animal models. Clin Perinatol 2009;36:579–93.

-
22. Frey HA, Liu X, Lynch CD, Musindi W, Samuels P, Rood KM, Thung SF, Bakk JM, Cheng W, Landon MB. An evaluation of fetal heart rate characteristics associated with neonatal encephalopathy: a case-control study. *BJOG* 2018;125:1480–7.
 23. Turner JM, Mitchell MD, Kumar SS. The physiology of intrapartum fetal compromise at term. *Am J Obstet Gynecol* 2020;222:17–26.
 24. Simpson KR. Intrauterine resuscitation during labor: review of current methods and supportive evidence. *J Midwifery Womens Health* 2007;52:229–37.
 25. Fieni S, Morganelli G, Chandharan E, Dall'Asta A, Ghi T. Intrauterine fetal resuscitation: from maternal repositioning to the latest pharmacological strategies. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2025;38:2502977. doi: 10.1080/14767058.2025.2502977.
 26. Dawes GS, Redman CWG, Smith JH. Improvements in the registration and analysis of fetal heart rate records at the bedside. *BJOG* 1985; 92: 317–25.
 27. Bhide A, Meroni A, Frick A, Thilaganathan B. The significance of meeting Dawes-Redman criteria in computerised antenatal fetal heart rate assessment. *BJOG* 2024;131:207–12.
 28. Davis Jones G, Albert B, Cooke W, Vatish M. Performance evaluation of computerized antepartum fetal heart rate monitoring: Dawes-Redman algorithm at term. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2025;65:191–7.
 29. Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *NeurIPS Advances in Neural Information Processing Systems* 25 NeurIPS 2012;25:1097–105.
 30. Francis F, Luz S, Wu H, Stock SJ, Townsend R. Machine learning on cardiotocography data to classify fetal outcomes: A scoping review. *Comput Biol Med.* 2024;172:108220
 31. McCoy JA, Levine LD, Wan G, Chivers C, Teel J, La Cava WG. Intrapartum electronic fetal heart monitoring to predict acidemia at birth with the use of deep learning. *Am J Obstet Gynecol* 2025;42:181–8.
 32. Dalton KJ, Dawes GS, Patrick JE. The autonomic nervous system and fetal heart rate variability. *Am J Obstet Gynecol* 1983;146:456–62.
 33. Tarvonen MJ, Lear CA, Andersson S, Gunn AJ, Teramo KA. Increased variability of fetal heart rate during labour: a review of preclinical and clinical studies. *BJOG* 2022;129:2070–81.
 34. Tarvonen M, Hovi P, Sainio S, Vuorela P, Andersson S, Teramo K. Factors associated with intrapartum ZigZag pattern of fetal heart rate: A retrospective one-year cohort study of 5150 singleton childbirths. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 2021;258:118–25.
 35. Tarvonen M, Manninen M, Lamminaho P, Jehkonen P, Tuppurainen V, Andersson S. Computer vision for identification of increased fetal heart variability in cardiotocogram. *Neonatology* 2024;121:460–67.

Summary

Can AI Predict Non-reassuring Fetal Status during Labor?

Cardiotocography (CTG) is the main method of fetal monitoring during labor, with the intention to detect changes in fetal heart rate indicative of hypoxia. The first computerized interpretations of CTG were implemented in the 1980s. However, the development during the last 20 years of deep learning models based on machine vision or time series analysis, or their combination is a prerequisite for AI based analysis of CTG. Recently some AI based interpretations of CTG have reached impressive performance in identifying fetal hypoxia. The use of AI as support of human decision making may enter the clinical field in the coming years.

AI för karakterisering av huvud- och halstumörer

ANTTI A. MÄKITIE OCH RASHEED OMOBOLAJI ALABI

Huvud- och halscancer representerar en heterogen och aggressiv cancerform med en hög andel patienter med dålig övergripande prognos, trots framsteg inom både kirurgiska och onkologiska behandlingar. Tidig diagnos och korrekt prognos har ansetts erbjuda en metod för personlig onkologi samtidigt som de har förbättrat kliniskt beslutsfattande. Under senare år har artificiell intelligens (AI) visat lovande potential för dessa ändamål vid skivepitelcancer i huvud- och halsregionen, vilket kan underlätta anpassningen av onkologiska behandlingsplaner. Några av de anmärkningsvärda tillämpningarna av AI inom huvud- och halsonkologi inkluderar identifiering av prognostiska markörer, karakterisering av tumörmikromiljö samt egenskaper som inducerar resistens mot strålbehandling och AI-baserad radiomik. Därför har integration av AI i rutinmässig onkologi potential att förbättra de diagnostiska processerna och prognosen, vilket kan vara till hjälp i kliniskt beslutsfattande och förbättra patientutfallet. Innan integrationen sker bör dock frågor relaterade till AI inom medicinsk onkologi, såsom data- och modellbias, generaliserbarhet, förklarbarhet, datasäkerhet, patientintegritetsregler samt etiska och regulatoriska överväganden, noggrant behandlas.

Inledning

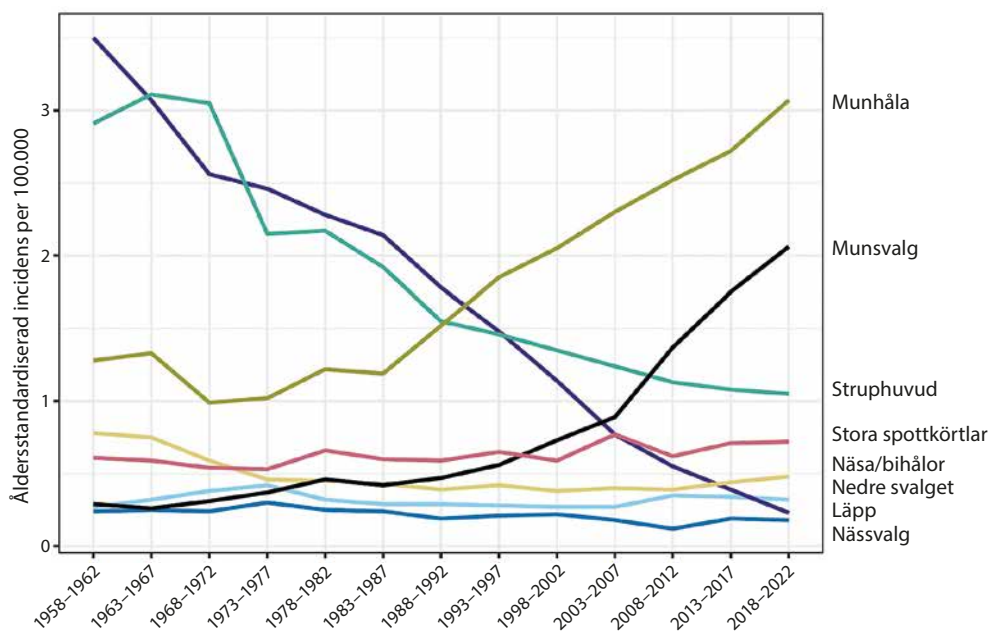
Huvud- och halscancer (*Head and Neck Cancer, HNC*) består av heterogena grupper av maligniteter som vanligtvis utgår från epitelväggarna i munhålan, svalget, larynx, näsan och dess bihålor eller från spottkörtlarna (1). De flesta av maligniteterna klassificeras histologiskt som skivepitelcancer, men särskilt spottkörteltumörer har andra histologiska typer. Därför kallas de gemensamt för skivepitelcancer i huvud och hals (*Head and Neck Squamous Cell Carcinoma, HNSCC*). De viktigaste riskfaktorerna för HNSCC inkluderar tobaksbruk (2, 3), tuggande av betelnöt (arekanöt) (4), överdriven alkoholkonsumtion (5–7), överexponering för strålning (gamma och ultraviolett) och solljus, humant papillomvirus (särskilt för orofaryngeal skivepitelcancer) (8) och Epstein-Barr-virus (EBV) (för nasofaryngeal skivepitelcancer) (9). Den globala incidensen av HNC fortsätter att öka, och enligt de senaste GLOBOCAN-uppskattningarna (2024) är den numera den sjunde vanligaste cancerformen globalt med uppskattningsvis drygt 940 000 nya fall respektive över 480 000 dödsfall årligen (10, 11). HNC genomgår för närvarande betydande epidemiologiska förändringar i västländerna. Enligt den senaste rapporten från Finlands Cancerregister diagnostiserades 2023 totalt 1 088 nya fall av HNC i vårt land.

SKRIBENTERNA

Antti A. Mäkitie, md.o.kir.dr, professor, Forskningsprogrammet i systemonkologi, medicinska fakulteten, Helsingfors universitet och Avdelningen för öron-, näs- och halssjukdomar – huvud- och halskirurgi, Helsingfors universitet och Helsingfors universitetssjukhus och enheten för öron-, näs- och halssjukdomar, Institutionen för klinisk vetenskap, intervention och teknik, Karolinska Institutet och Karolinska Universitetssjukhuset, Stockholm.

Rasheed Omobolaji Alabi, fil.dr, Forskningsprogrammet i systemonkologi, medicinska fakulteten, Helsingfors universitet och Akademiska enheten för teknik och innovationsledning, Vasa universitet.

Anmärkningsvärt är att majoriteten av HNSCC-fallen diagnostiseras i ett avancerat stadium, vilket sänker överlevnadsgraden avsevärt, även efter en kurativ behandlingsplan. Följaktligen är den övergripande prognosen för HNSCC fortfarande dålig, med en genomsnittlig chans till 5-årsöverlevnad som rapporteras ligga inom intervallet 28–67 procent, beroende på diagnosstadium. Därför blir metoder



Figur 1. Incidenser i Finland av olika typer av huvud- och halscancer i 5-årsperioder.
Källa: Finlands Cancerregister 10.12.2024.

som garanterar tidig och snabb upptäckt av HNSCC avgörande för korrekt behandling. Ett exempel på en sådan metod är beaktande av artificiell intelligens (AI) inom onkologi.

Artificiell intelligens för huvud- och halsonkologi

Traditionellt sett baseras diagnosen av HNSCC på utvärdering av vävnadssnitt (biopsier eller kirurgiska resektioner) för att fastställa den histopatologiska diagnosen. Denna metod är dock tidskrävande och behäftad med fel till följd av betydande variationer i interobservervariabilitet vad gäller diagnos, konsekvent gradering och möjlig prognos. Detta kan påverka behandlingen av HNSCC och den totala överlevnaden. Därför bidrar tidig upptäckt och ökad prediktionsnoggrannhet i hög grad till korrekt hantering av HNSCC

(12). Under senare år har det skett framsteg inom datoranvändningen som har gynnat presentation och effektiv hantering av medicinska bilddata i olika format. Anmärkningsvärt är att dessa framsteg också har varit till hjälp vid maskininlärning (*machine learning, ML*) och djupinlärning (*deep learning, DL*), det vill säga delområden inom AI, som innebär att bearbeta eller samla in insikter och tack vare dessa data upptäcka mönster för diagnostiska och prognostiska ändamål. Det är värt att notera att de flesta diagnostiska syftena har varit knutna till bearbetning av primärdiagnostiska digitaliserade medicinska bilder för att extrahera meningsfull information, som kan underlätta avgränsningen av funktioner av kliniskt intresse (segmentering) eller beskrivningar av olika etiketter (klassificering) (12–15).

Vanligtvis fungerar de högdimensionella, extraherbara medicinska bilderna som indata för

HUVUDBUDSKAP:

- Integreringen av artificiell intelligens (AI) och dess delområden, det vill säga maskininlärning och djupinlärning i huvud- och halsonkologi har transformativt potential att avsevärt förbättra diagnostisk exakthet och individanpassad behandling och styra upp kliniskt beslutsfattande.
- Denna artikel belyser flera viktiga områden för tillämpning av AI inom huvud- och halsonkologi – tidig upptäckt, biomarkörupptäckt, extraktion av kvantitativ information från radiologiska bilder av tumören (radiomik), karakterisering av tumörmikromiljö och riskbedömningsverktyg.

att träna ML/DL-algoritmerna. Efter en framgångsrik träningsfas anses ML/DL-modellen ha "lärt sig" ställa diagnoser för nya fall som inte har setts av ML/DL. Flera studier har rapporterat lovande resultat av ML/DL-modeller för diagnostiska och andra ändamål för att förbättra personlig huvud- och halsonkologi och kliniskt beslutsfattande. I den här artikeln syftar vi till att diskutera ML:s roll i i) identifiering av prognostiska markörer för HNC, ii) karakterisering av tumör-mikromiljöer, iii) karakterisering av egenskaper som inducerar resistens mot strålbehandling, och iv) AI-baserad radiomik i HNC.

AI för identifiering av prognostiska markörer för HNC

I strävan efter korrekt cancerbehandling har kontinuerliga ansträngningar gjorts för att identifiera korrekta prognostiska indikatorer för olika cancerområden. Emellertid har endast ett fåtal biomarkörer validerats och framgångsrikt tillämpats inom rutinmässig klinisk onkologi (16). Dessutom har deras prognostiska värden mestadels innehållit felaktigheter, trots att de flesta biomarkörer normalt är användbara för tidig upptäckt av cancer. (17). Den höga heterogeniteten och de komplexa interaktionerna inom tumörmikromiljön har bidragit till svårigheter med att identifiera tillförlitliga prognostiska biomarkörer och terapeutiska mål för HNSCC (18). Genom att dra nytta av ML/DL-tekniker är det mer sannolikt att dessa begränsningar kan övervinnas, särskilt med de kända biomarkörerna. ML/DL-teknikernas förmåga att hantera stora mängder komplex biologisk data (inklusive radiomiska, genomiska, proteomiska och klinisk-patologiska data) med miljontals datapunkter för att hitta meningsfulla mönster och korrelationer gör dem överlägsna jämfört med traditionella analysmetoder och därmed lämpliga för biomarkörupptäckt.

Till exempel använde studien av Yang et al. (19) ML-tekniker för att identifiera AUNIP (även känt som AIBp) som en viktig prognostisk faktor för oral skivepitelcancer. På liknande sätt har flera andra studier rapporterat potential hos ML för att identifiera prognostiska signaturer för att förutsäga HNSCC-prognos (18, 20, 21). Inom genomik har AI-paradigmer använts för att analysera DNA-sekvenser för att identifiera mutationer, genuttrycksprofiler och epigenetiska förändringar som indikerar HNC (22). På liknande sätt har en AI-baserad metod i en

storskalig proteinstudie visat lovande resultat vid analys av proteinmönster för förändring, uttrycksnivåer och modifieringar för att identifiera proteiner som indikerar HNC (23). Att identifiera sådana proteinbiomarkörer kan underlätta forskningen angående utveckling av blodprover eller andra analyser som kan medverka till tidig HNC-detektering.

Med de utmaningar som är förknippade med traditionella prognostiska markörer vad gäller kostnad, provinsamling eller tillförlitlighet, är maskinlärningstekniker positionerade för att erbjuda en noggrann, relativt snabb och tillförlitlig metod för att analysera komplexa bilder av vävnadsprov. Detta sker genom att extrahera texturella och morfologiska egenskaper, kantgradientegenskaper (edge gradient features) och till och med biologiska egenskaper, som kanske inte kan extraheras med traditionella metoder. Dessutom kan den prognostiska betydelsen av flera prognostiska markörer analyseras för att endast behålla de markörer som har potential att inte bara effektivisera kliniska beslutsprocesser utan också bana väg för ytterst individanpassade behandlingsstrategier.

AI för tidig upptäckt och riskbedömning

Tidig upptäckt och effektiv riskbedömning är hörnstenar i effektiv hantering av HNC. DL-baserade metoder, specifikt faltningsneurala nätverk (*convolutional neural network, CNN*), har visat lovande resultat inom dessa områden genom att analysera olika medicinska bilddata (fotografiska och histopatologiska) för detektion och klassificering av lesioner (24, 25). Till exempel vid oral cancer har CNN visat hög känslighet och precision vid analys av fotografiska bilder tagna vid rutinmässiga tandkontroller för att upptäcka avvikelser som leukoplaki, erytroplaki och andra precancerösa tillstånd (26, 27). Sådan tidig diagnos kan underlätta snabba insatser och potentiellt förhindra progression till invasiv cancer. På liknande sätt har ML-modeller använts för att analysera klinisk-patologiska, sociodemografiska, behandlingsrelaterade och molekylära data för att ge mer exakta och individuella riskprognoser (1). Genom att analysera dessa data kan modellen hitta mönster och riskfaktorer kopplade till sjukdomsbeteendet och resultaten (28). Till exempel har ML-metoden använts för att analysera olika datatyper (t.ex. genetiska mutationer och kliniska egenskaper) för att hitta mönster och interaktioner

som kan indikera sannolikheten för fjärrmetastaser eller återfall (29). Dessa modeller kan fungera som ett kompletterande verktyg med förmåga att förändra hur kliniker bedömer patienters prognos och fattar behandlingsbeslut.

AI för karakterisering av tumörmikromiljöer

Tumörmikromiljö (*tumor microenvironment, TME*) har rapporterats vara en avgörande faktor i beslutsfattande och personlig behandling för HNC eftersom den bidrar till tumörutveckling, progression, metastasering och prognos (30). På grund av HNC:s mycket heterogena natur har de många varierande histologiska subtyper, molekyllära profiler, kliniska utfall och svar på behandling. Det är värt att notera att det finns en betydande intratumoral heterogenitet (*intratumoral heterogeneity, ITH*) med genetiska variationer inom TME som kan leda till behandlingsmisslyckanden och dålig prognos. Därför blir det absolut nödvändigt att förstå ITH, men att förstå ITH utgör dock en betydande utmaning inom cancergenomik och HNC-onkologi.

Den nuvarande genetiska analysmetoden, såsom genuttrycksprofilering, har varit lovande, men har kritiserats för att vara opraktisk inom diagnostiken av tidig HNSCC på grund av att HNSCC tenderar att invadera omgivningen samt också på grund av kostnader, tekniska krav och erforderlig specialutrustning (30). På liknande sätt har histopatologibaserad mikroskopi för att utvärdera TME tillsammans med kvantifiering och lokalisering av celler riskerat att utmynna i provbias och vara subjektiv. Dessutom har metoden kritiserats för att den inte kunnat extrahera flerdimensionella egenskaper (kvantitativa och rumsliga egenskaper hos olika parametrar) av TME snabbt och intuitivt. Därför är det starkt motiverat att föreslå en avbildningsfenotypbaserad metod för icke-invasiv karakterisering av ITH av TME. Numera har DL-metodiken föreslagits för att rumsligt och explicit kartlägga tumörregioner. Tanken är att möjliggöra patientspecifik karakterisering av TME i syfte att förutsäga molekyllära fenotyper och överlevnad i HNC.

Denna metod har visat betydande precision i bedömningen av densiteten i tumörinfiltrerande lymfocyter (*tumor infiltrating lymphocytes, TILs*) utifrån hematoxylin- och eosinfärgade helbilder av tumörprover före behandling (31). Därför är denna AI-baserade metod ett effektivt sätt att analysera kvantitativa och rumsliga lokaliseringsegenskaper hos olika

celler (tumörceller, immunceller och icke-immunceller) i TME, vilket följaktligen kan bidra till nya idéer för behandling, bedömning av HNC-patienters svar på postoperativ behandling och prognostisk prediktion. Till skillnad från den konventionella metoden har den AI-baserade metoden potential att integrera stora mängder data från olika källor, såsom genomik, transkriptomik och avbildning, för att ge mer omfattande information om TME.

AI-baserad radiomik

Medicinska bilder innehåller viktig information som kanske inte upptäcks vid visuell inspektion (32). Därför är det motiverat att extrahera denna information för att förbättra noggrannheten i diagnostiska modeller och prognostisering av kliniska resultat (32). Radiomik är ett kostnadseffektivt och snabbt växande område för att utnyttja medicinska radiologiska bilder; kvantitativa egenskaper extraheras för att ge specifik information om tumörheterogenitet, textur, intensitet och morfologi. Vanligtvis används DL-tekniker för att extrahera sådana egenskaper eftersom de är viktiga för att karakterisera en patients fenotyp. DL-baserad radiomik använder funktions-teknik för att detektera intratumorala egenskaper, som normalt inte upptäcks vid visuell inspektion av kliniska bilder. De extraherade egenskaperna kan tränas med ML-tekniker för olika resultatprognoser – tumörhistologi, grad, metabolism, återfall, fjärrmetastaser och rentav för patientöverlevnad (33). Till exempel studien av Ren et al. använde radiomikgenererade egenskaper för stadiindelning av HNSCC (34). På liknande sätt undersökte studien av Ho et al. de potentiella radiomik-extraherade egenskaperna för att skilja mellan godartade och elakartade lymfkörtlar (35). För att få en mer robust modell kan de extraherade parametrarna kombineras med klinisk-patologiska eller genomiska (radiogenomiska) parametrar hos patienterna för att generera en prediktiv modell som tar hänsyn till viktiga fenotypiska och genotypiska egenskaper hos patienterna.

AI-tillämpningar inom cytologi

Cytologiska undersökningar är fortfarande en viktig hörnsten inom cancerpatologi och diagnos. Till exempel cytologisk HNC-detektion är i stor utsträckning baserad på finnålsaspirationscytologi (*fine-needle aspiration cytology, FNAC*) (36). Metoden har dock

kritiserats för sin subjektivitet och variabilitet, sina diagnostiska fel och det ständiga behovet av en specialistpatolog inom huvud och hals för tolkning av resultaten (36). I vissa fall kan proverna ha låga cellvolym, vilket kan leda till mindre optimal känslighet och specificitet, vilket påverkar den diagnostiska noggrannheten (36). På grund av dessa begränsningar har AI använts för att analysera cytologiska bilder och upptäcka avvikelser i cellulära egenskaper och därmed förbättra den diagnostiska noggrannheten. Till exempel studien av Alabrak et al. (37) använde CNN för att subklassificera sköldkörtelcytopatologiska bilder (stadium IV) i follikulärt adenom och follikulärt karcinom (37).

På liknande sätt visade studien av Duan et al. (38) lovande noggrannhet för detektion och klassificering av sköldkörtelpatologi med hjälp av en tvåstegs CNN-bild på ett helt dia. Det första steget bestod i att detektera de misstänkt positiva områdena, medan det andra steget innebar att det detekterade området vidarebefordrades för klassificering (38). De flesta av de nuvarande tillämpningarna av AI inom HNC-cytologi, särskilt inom sköldkörtelcancer, innefattar att differentiera mellan benign och malign, det vill säga follikulärt adenom respektive karcinom och icke-invasiv follikulär sköldkörtelneoplasm med papillär-nukleära egenskaper respektive papillärt karcinom (39). Även om mycket arbete fortfarande behövs för att korrekt beskriva hur AI kan tillämpas inom cytologi, visade den initiala prestandanoggrannheten i flera studier att metoden kan resultera i ett effektivare och noggrannare beslutsfattande, vilket i slutändan ger noggranna och personliga diagnoser. AI har även använts för muncancerdiagnostik (40, 41).

Avslutningsvis

Sammanfattningsvis kan man säga att den fortsatta utvecklingen av AI-algoritmer och bättre beräkningskraft väcker berättigat hopp om att AI ska bli en snabb, exakt och tillförlitlig metod, som kan förbättra diagnosen och prognosen vid HNC. Framväxten av högupplösta bildmodaliteter har dessutom gett en aldrig tidigare skådad möjlighet för kvantitativ funktionsutvinning genom omvandling till utvinningsbara bilder till relativt låg kostnad och icke-invasivt. Detta öppnar för möjligheten att utveckla en toppmodern AI-baserad metod för att förbättra detektionsnoggrannheten och resultatprognosen för HNC. Trots potentialen för AI-baserade

metoder inom HNC-onkologi finns det flera viktiga frågor, såsom algoritmisk bias och rättvisa, modellgeneraliserbarhet, förklarings- och tolkningsbarhet, datakvalitet och tillgänglighet, datasäkerhet och patientintegritet, kontinuerlig förbättring av maskininlärningsmodeller, etiska och regulatoriska överväganden och behovet av tvärvetenskapliga samarbetslag, som bör behandlas noggrant innan man rekommenderar AI-baserade metoder i den dagliga kliniska onkologin. Om dessa problem kan hanteras ordentligt har AI och dess delområden potential att revolutionera HNC-behandlingen genom att tillhandahålla innovativa och kompletterande verktyg som kan förbättra diagnostisk noggrannhet och anpassa behandlingsstrategierna.

Framöver kommer nya teknologier, såsom avancerade maskininlärningsalgoritmer, förklarbar AI, transparent och ansvarsfull AI och AI-driven robotik, att driva fram betydande framsteg. Ett potentiellt multimodalt dataparadigm kommer att ge djupare insikter och fler skräddarsydda behandlingsmetoder. I takt med att dessa innovationer fortsätter att utvecklas kommer synergien mellan tekniker och kliniker att vara avgörande när det gäller att forma det framtida landskapet för AI inom HNC-onkologibehandling och förbättra diagnostisk noggrannhet, personliga behandlingar och i slutändan höja patientresultaten.

Antti A. Mäkitie

antti.makitie@helsinki.fi

*Bindningar: Konsultationsavvode:
MSD Finland och Merck Finland*

Rasheed Omobolaji Alabi

rasheed.alabi@helsinki.fi

Inga bindningar

Referenser

1. Johnson DE, Burtneß B, Leemans CR, Lui VWY, Bauman JE, Grandis JR. Head and neck squamous cell carcinoma. *Nat Rev Dis Primers* 2020;6(1):92.
2. Shaw R, Beasley N. Aetiology and risk factors for head and neck cancer: United Kingdom National Multidisciplinary Guidelines. *J Laryngol Otol* 2016;130(S2):S9–12.
3. Torrens L, Moody S, De Carvalho AC, Kazachkova M, Abedi-Ardekani B, Cheema S, et al. The complexity of tobacco smoke-induced mutagenesis in head and neck cancer. *Nat Genet* 2025;57(4):884–96.
4. Warnakulasuriya S, Chen THH. Areca Nut and Oral Cancer: Evidence from Studies Conducted in Humans. *J Dent Res* 2022;101(10):1139–46.
5. Praud D, Rota M, Rehm J, Shield K, Zatoński W, Hashibe M, et al. Cancer incidence and mortality attributable to alcohol consumption. *Int J Cancer* 2016;138(6):1380–7.
6. Di Maso M, Bravi F, Polesel J, Negri E, Decarli A, Serraino D, et al. Attributable fraction for multiple risk factors: Methods, interpretations, and examples. *Stat Methods Med Res* 2020;29(3):854–65.

7. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Vol. 100E. Personal habits and indoor combustions. IARC Sci Publ, Lyon, 2012; 2012.
8. Chaturvedi AK, Engels EA, Pfeiffer RM, Hernandez BY, Xiao W, Kim E, et al. Human Papillomavirus and Rising Oropharyngeal Cancer Incidence in the United States. JCO 2011;29(32):4294–301.
9. Su ZY, Siak PY, Leong CO, Cheah SC. The role of Epstein-Barr virus in nasopharyngeal carcinoma. Front Microbiol 2023; 14:1116143.
10. Bray F, Laversanne M, Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. CA Cancer J Clin 2024;74(3):229–63.
11. Siegel RL, Giaquinto AN, Jemal A. Cancer statistics, 2024. CA Cancer J Clin 2024;74(1):12–49.
12. Alabi RO, Bello IO, Youssef O, Elmusrati M, Mäkitie AA, Almangush A. Utilizing Deep Machine Learning for Prognostication of Oral Squamous Cell Carcinoma—A Systematic Review. Front Oral Health 2021;26:2:686863.
13. Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M, et al. A survey on deep learning in medical image analysis. Med Image Anal 2017 Dec;42:60–88.
14. Shen D, Wu G, Suk HI. Deep Learning in Medical Image Analysis. Annu Rev Biomed Eng 2017;19(1):221–48.
15. Alabi RO, Almangush A, Elmusrati M, Mäkitie AA. Deep Machine Learning for Oral Cancer: From Precise Diagnosis to Precision Medicine. Front Oral Health 2022;2:794248.
16. Hussein AA, Forouzanfar T, Bloemena E, De Visscher J, Brakenhoff RH, Leemans CR, et al. A review of the most promising biomarkers for early diagnosis and prognosis prediction of tongue squamous cell carcinoma. Br J Cancer 2018;119(6):724–36.
17. Rivera C, Oliveira AK, Costa RAP, De Rossi T, Paes Leme AF. Prognostic biomarkers in oral squamous cell carcinoma: A systematic review. Oral Oncol 2017;72:38–47.
18. Li C, Lu J, Zhu J, Zhou T, Shen Q, Huang B, et al. Machine learning-based prognostic modeling integrating PANOptosis in head and neck squamous cell carcinoma. Discov Oncol 2025;16(1):511.
19. Yang Z, Liang X, Fu Y, Liu Y, Zheng L, Liu F, et al. Identification of AUNIP as a candidate diagnostic and prognostic biomarker for oral squamous cell carcinoma. EBioMedicine 2019;47:44–57.
20. Li SZ, Sun HY, Tian Y, Zhou LQ, Zhou T. Machine-learning derived identification of prognostic signature to forecast head and neck squamous cell carcinoma prognosis and drug response. Front Immunol 2024;15:1469895.
21. Wang Y, Zhou C, Li T, Luo J. Prognostic value of CDKN2A in head and neck squamous cell carcinoma via pathomics and machine learning. J Cell Mol Med 2024;28(9):e18394.
22. Viet CT, Asam KR, Yu G, Dyer EC, Kochanny S, Thomas CM, et al. Artificial intelligence-based epigenomic, transcriptomic and histologic signatures of tobacco use in oral squamous cell carcinoma. NPJ Precis Oncol 2024;8(1):130.
23. Gu X, Salehi A, Wang L, Coates PJ, Sgarbetta N, Nylander K. Early detection of squamous cell carcinoma of the oral tongue using multidimensional plasma protein analysis and interpretable machine learning. J Oral Pathol Med 2023;52(7):637–43.
24. Tobias MAS, Nogueira BP, Santana MCS, Pires RG, Papa JP, Santos PSS. Artificial intelligence for oral cancer diagnosis: What are the possibilities? Oral Oncol 2022;134:106117.
25. Kavyashree C, Vimala HS, Shreyas J. A systematic review of artificial intelligence techniques for oral cancer detection. Healthcare Analytics 2024;5:100304.
26. García-Pola M, Pons-Fuster E, Suárez-Fernández C, Seoane-Romero J, Romero-Méndez A, López-Jornet P. Role of Artificial Intelligence in the Early Diagnosis of Oral Cancer. A Scoping Review. Cancers 2021;13(18):4600.
27. Talwar V, Singh P, Mukhia N, Shetty A, Birur P, Desai KM, et al. AI-Assisted Screening of Oral Potentially Malignant Disorders Using Smartphone-Based Photographic Images. Cancers 2023;15(16):4120.
28. Alabi RO, Mäkitie AA, Elmusrati M, Almangush A, Tiblom Ehrsson Y, Laurell G. Machine learning explainability for survival outcome in head and neck squamous cell carcinoma. Int J Med Inform 2025;199:105873.
29. Habibi M, Taheri G. A new machine learning method for cancer mutation analysis. PLoS Comput Biol 2022;18(10):e1010332.
30. Lv T, Hong X, Liu Y, Miao K, Sun H, Li L, et al. AI-powered interpretable imaging phenotypes noninvasively characterize tumor microenvironment associated with diverse molecular signatures and survival in breast cancer. Comput Methods Programs Biomed 2024;243:107857.
31. Hong M, Kim CG, Hong MH, Koh YW, Hong HJ, Kim D, et al. 874P Artificial intelligence (AI)-powered spatial tumor-infiltrating lymphocyte (TIL) analysis in recurrent/metastatic (R/M) head and neck squamous cell carcinoma (HNSCC) patients treated with immune checkpoint inhibitor (ICI) treatment. Ann Oncol 2023;34:S564.
32. Alabi RO, Elmusrati M, Leivo I, Almangush A, Mäkitie AA. Artificial Intelligence-Driven Radiomics in Head and Neck Cancer: Current Status and Future Prospects. Int J Med Inform 2024;188:105464.
33. Fh T, Cyw C, Eyw C. Radiomics AI prediction for head and neck squamous cell carcinoma (HNSCC) prognosis and recurrence with target volume approach. BJROpen 2021;3(1):20200073.
34. Ren J, Tian J, Yuan Y, Dong D, Li X, Shi Y, et al. Magnetic resonance imaging based radiomics signature for the preoperative discrimination of stage I-II and III-IV head and neck squamous cell carcinoma. Eur J Radiol 2018;106:1–6.
35. Ho TY, Chao CH, Chin SC, Ng SH, Kang CJ, Tsang NM. Classifying Neck Lymph Nodes of Head and Neck Squamous Cell Carcinoma in MRI Images with Radiomic Features. J Digit Imaging 2020;33(5):613–8.
36. Hays P. Artificial intelligence in cytopathological applications for cancer: a review of accuracy and analytic validity. Eur J Med Res 2024;29(1):553.
37. Alabrak M, Megahed M, Alkhouly A, Mohammed A, Elfandy H, Tahoun N, et al. Artificial Intelligence Role in Subclassifying Cytology of Thyroid Follicular Neoplasm. Asian Pac J Cancer Prev 2023;24(4):1379–87.
38. Duan W, Gao L, Liu J, Li C, Jiang P, Wang L, et al. Computer-Assisted Fine-Needle Aspiration Cytology of Thyroid Using Two-Stage Refined Convolutional Neural Network. Electronics 2022;11(24):4089.
39. Kezlarian B, Lin O. Artificial Intelligence in Thyroid Fine Needle Aspiration Biopsies. Acta Cytol 2021;65(4):324–9.
40. Koriakina N et al. Deep multiple instance learning versus conventional deep single instance learning for interpretable oral cancer detection. PLoS ONE 2024 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302169>
41. Sunny S et al. A smart tele-cytology point-of-care platform for oral cancer screening. PLoS One. 2019 Nov 15;14(11): e0224885. doi: 10.1371/journal.pone.0224885.

Summary

Artificial Intelligence for Characterization of Head and Neck Cancer

AI-based approach can enhance automatic detection and classification of lesions in the Head and Neck region, leading to more accurate and timely diagnosis. Machine learning algorithms can sift through complex datasets to identify patterns and correlations that indicate possible biomarkers. AI plays a transformative role in personalized treatment planning through its capacity to integrate and analyze large data types. To allow for the integration of AI-based approach in routine Head and Neck oncology, several factors such as data security, patient privacy, data quality and accessibility, model explainability and interpretability, and ethical and regulatory frameworks should be carefully considered.

AI i hematologisk diagnostik

OSCAR BRÜCK

Artificiell intelligens (AI) har under det senaste decenniet växt fram som en transformativ kraft inom medicinen, inte minst inom hematologin. I en disciplin där diagnoser är beroende av tolkning av komplexa data, såsom fullständig blodstatus och proteinfraktioner, cytomorfologi, histopatologi, flödescytometri, cytogenetiska och genetiska analyser, erbjuder beräkningsmässiga metoder nya lösningar att hantera och förstå dessa informationsmängder. För läkare inom hematologi väcker detta både förväntningar och frågor. Kan tekniken förbättra diagnostisk noggrannhet och effektivitet eller riskerar den att marginalisera det kliniska omdömet?

Inledning

Diagnostiken inom hematologin är ofta multidisciplinär och kräver samarbete mellan kliniker, laboratorieläkare, patologer och genetiker. Hematologen är ansvarig för att samla ihop och tolka resultaten från olika prov, i synnerhet med beaktande av patientens symtom. AI har potential att underlätta detta komplexa arbete genom att automatisera och effektivisera analysen av stora datamängder från olika diagnostiska metoder. Maskininlärning kan hjälpa till att identifiera mönster och samband som kan vara svåra för människor att upptäcka, vilket kan bidra till snabbare och mer träffsäkra diagnoser. Dessutom kan AI fungera som ett beslutsstöd som inte ersätter utan kompletterar läkarens expertis och bidrar till att minska risken för felbedömningar. Samtidigt frigör den tid för specialisterna att fokusera på svårare och mer komplexa fall (1).

Från blodstatus till AI-assisterad mikroskopi

Blodstatus är ett av de vanligaste blodproven och används för att undersöka en rad olika symtom och sjukdomstillstånd. Det är ett grundläggande verktyg vid utredning av trötthet, infektioner och blödningar. Genom att analysera mängden och fördelningen av blodets olika celler – röda och vita blodkroppar och blodplättar – kan man få viktig information om kroppens hematologiska och immunologiska status.

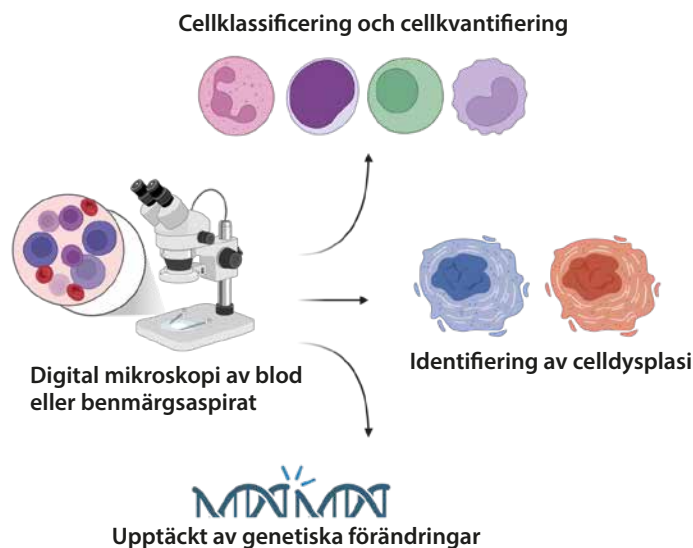
Avvikande fynd i blodstatus verifieras vanligtvis med digital mikroskopi. I det steget förbereds ett perifert blodutstryk som färgas och digitaliseras med hjälp av högupplösta skannrar. De digitala bilderna analyseras

SKRIBENTEN

Oscar Brück, docent, är ledare för forskningsgruppen Hematoscope Lab vid Helsingfors universitetssjukhus och Helsingfors universitet. Han har också grundat företaget Hematoscope Oy, som utvecklar AI-baserad programvara för tolkning av cellbilder.

sedan av ett AI-system som tränats med övervakade inlärningsalgoritmer för att upptäcka och klassificera olika celltyper, inklusive eventuella patologiska avvikelser (figur 1). Typiskt sett identifierar dessa system omkring tio av de vanligaste celltyperna, såsom röda blodkroppar, neutrofiler, lymfocyter, monocytter, eosinofiler, basofiler, blaster, trombocyter och metamyelocyter. Systemet markerar misstänkta celler och föreslår klassificeringar, men resultaten kontrolleras alltid av bioanalytiker eller i vissa fall av läkare. Det mänskliga omdömet är avgörande för att säkerställa korrekt tolkning, särskilt i fall med ovanliga eller otydliga fynd. Flera studier har visat att AI-assistans kan förbättra träffsäkerheten i morfologiska bedömningar och samtidigt minska den tid som krävs för analys (2, 3). Däremot görs ingen detaljerad bedömning av cellernas morfologi, eftersom det fortfarande kräver mänsklig expertis.

Bildanalys är känsligt för hur proverna är förberedda och kräver att de hanteras på ett standardiserat sätt (4, 5). Digitaliseringen måste därför oftast ske med ett och samma bildsystem för att säkerställa att bildupplösning, färgtoner och nyanspalett överensstämmer med vad AI har tränats på. Avvikelser i dessa parametrar kan påverka analysens noggrannhet och leda till felklassificeringar.



Figur 1. Potentiella tillämpningar av AI-modeller för att stödja laboratorieläkare i cytomorfologiska analyser. Figuren har skapats med Bio Render.

AI kan minska subjektiviteten i cytomorfologisk analys

Om läkaren misstänker en hematologisk sjukdom tas vanligen ett benmärgsaspirat för vidare analys. Aspiratprover möjliggör flera olika tester parallellt, men en av de mest centrala och omfattande undersökningarna är den cytomorfologiska bedömningen med hjälp av ett optiskt mikroskop.

Det är en krävande och tidsintensiv uppgift som kan ta upp till 60 minuter att genomföra, särskilt när både perifert blod och benmärg ska analyseras. Laboratorieläkaren bedömer då cellernas sammansättning, förekomst av avvikande eller omogna celler, dysplastiska förändringar och graden av mognad i cellinjerna. En särskilt tidskrävande uppgift är beräkningen av blaster vid akut leukemi, lymfocyter vid kronisk lymfatisk leukemi och plasmaceller vid multipelt myelom från 500

utvalda celler. Bedömningen är avgörande för att ställa diagnos, kontrollera behandlingssvar och remittera till fortsatt behandling.

Oavsett sin betydelse är den cytomorfologiska bedömningen av benmärgen känd för att vara känslig för subjektivitet och variation mellan bedömare (6). Det traditionella mikroskopets roll utmanas av digitala skannrar som kan producera högupplösta bilder tillgängliga för både människa och maskin (figur 1). Med hjälp av maskininlärning kan system tränas att klassificera celler med hög precision och i vissa fall identifiera atypiska fynd (7). Men även i den mest omfattande publicerade studien varierar precisionen för olika blodkroppstyper kraftigt, från så lågt som 0,02 för avvikande eosinofiler till 0,95 för neutrofiler, och algoritmerna har ännu inte validerats på externa datauppsättningar (7). Typiskt sett arbetar algoritmer som är utvecklade för detta ändamål i två steg: först identifieras enskilda

HUVUDBUDSKAP:

- AI-assisterad analys spänner över mikroskopi, molekylärgenetisk diagnostik, flödescytometri och kromosombandsanalys.
- De flesta AI-tillämpningar bygger på de senaste framstegen inom djupinlärning, i synnerhet på konvolutionella neurala nätverk och transformermodeller.
- AI erbjuder nya lösningar för att hantera och tolka komplexa medicinska data, vilket potentiellt kan förbättra diagnostisk noggrannhet och effektivitet inom hematologi.
- Trots fördelar finns det regulatoriska, etiska och praktiska frågor att lösa, inklusive behov av transparenta och validerade AI-modeller. Vidare är det av största vikt att säkerställa att läkare bibehåller sin kompetens.

celler i bilden och därefter klassificeras de i 10–20 distinkta cellklasser, beroende på modellens omfattning och syfte. Vanligtvis bygger modellerna på övervakad inlärning och använder arkitekturer som konvolutionella neurala nätverk eller transformermodeller, som är två av de mest framgångsrika ramverken för bildanalys med hög noggrannhet (8). Det innebär en möjlighet att standardisera morfologiska bedömningar som annars är utsatta för subjektiv variation. Särskilt intressant är detta i fall där diagnosen är beroende av subtila skillnader mellan cellpopulationer, exempelvis av omogna blaster vid tidig akut leukemi eller myelodysplastiska syndrom.

I vissa fall krävs en benmärgsbiopsi för att kunna bedöma sjukdomens utbredning vid exempelvis lymfom och utesluta möjlig benmärgsmetastas eller när aspiratprov inte kan erhållas. Det kallas ”dry tap” och kan inträffa vid sjukdomstillstånd där benmärgen är fibrotisk, vilket är särskilt vanligt vid myelofibros.

Biopsiproverna färgas vanligen med hematoxylin och eosin, men kan även genomgå ytterligare färgningar och immunhistokemiska analyser för att identifiera specifika celltyper eller strukturer. Preparaten analyseras av hematopatologer som spelar en central roll i att ställa diagnos och bedöma sjukdomens omfattning, särskilt vid komplexa eller ovanliga hematologiska tillstånd.

Brück et al. och andra har visat att det finns en potential för att använda histopatologiska bilder för att förutsäga förekomsten av genmutationer, kromosomavvikelser och prognoser (9, 10) (figur 1). I vår studie kunde vi demonstrera att maskininlärningsmodeller tränade för att uppskatta förekomsten av en specifik mutation visade en tydlig korrelation med mutationsbördan, kvantifierad genom den variant av allelfrekvens som uppmätts (9). Det tyder på att bildbaserad analys med hjälp av AI inte bara kan identifiera morfologiska förändringar, utan även kan spegla underliggande genetiska avvikelser. Denna upptäckt öppnar för nya möjligheter inom diagnostik och riskstratifiering.

Beslutsstöd vid molekyllärgenetisk analys

Utanför morfologin ser man en parallell utveckling inom genetisk diagnostik. Högkapacitetssekvensering genererar enorma mängder data som kräver sofistikerad tolkning. De inledande stegen, såsom varianthantering och variantdetektion (*alignment* och *calling*),

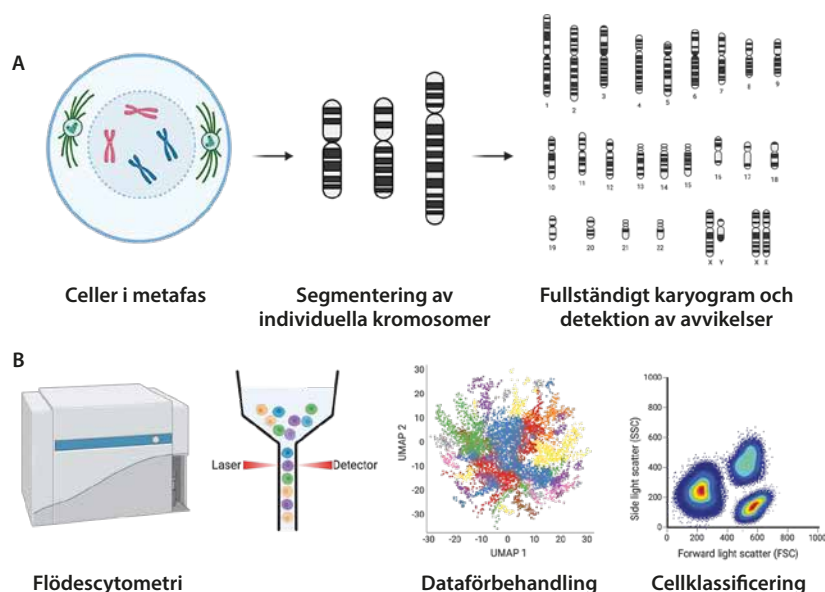
utförs vanligtvis med etablerade datahantlingspipeliner som inte bygger på AI. Däremot har AI visat sig användbart i tolkningen av okända varianter, till exempel genom att analysera 3D-proteinstrukturen med hjälp av verktyg som Alpha Fold2 (11). I en annan studie utvecklade forskare med djupinlärning en algoritm (Boost DM) för att identifiera vilka mutationer som driver tumörbildningen baserat på data från över 28 000 tumörer, inklusive fler än 30 hematologiska maligniteter (12). Med hjälp av SHAP-analys kunde de även tydliggöra, vilka egenskaper som låg till grund för att klassificera en mutation som drivare. Det ökade modellens tolkbarhet och transparens. Samtidigt möjliggörs djupare förståelse av hur en specifik genetisk förändring kan påverka proteinets funktion. Det i sin tur kan ge insikter om klinisk relevans och potentiella behandlingsstrategier.

Kromosombandsanalys är i dag guldstandard för att identifiera cytogenetiska avvikelser vid hematologiska neoplasmer. Analysen är viktig för diagnostik, prognos och terapival, men är arbetskrävande och tidsödande. För att effektivisera processen har automatiserade system utvecklats med tre huvudsakliga steg: segmentering, klassificering och avvikelседetektion (figur 2A).

Segmentering innebär att identifiera och separera enskilda kromosomer i en metafاسبild. Moderna metoder, inklusive U-Net-baserade nätverk, har visat hög noggrannhet även vid överlappande kromosomer. I klassificeringssteget tilldelas kromosomerna sina korrekta positioner i ett karyogram utifrån form, storlek, centromerplacering och bandmönster. Här har andra djupinlärningsbaserade modeller visat god prestanda (94 % träffsäkerhet för klassificering av kromosomer). En metod kombinerade segmentering och klassificering med geometrisk optimering och uppnådde lovande resultat (13).

Automatiserad detektion av numeriska kromosomavvikelser, exempelvis trisomier, är möjlig genom att räkna kromosomer i varje klass (figur 2 A). Däremot har strukturella avvikelser som translokationer varit svårare att detektera. En ny modell baserad på konvolutionella neurala nätverk (*Chromosome-ReAD*) visade hög träffsäkerhet (F1-poäng på 97 %) för vissa strukturella avvikelser och identifierade biologiskt relevanta mönster, vilket stärker dess kliniska potential (14). Automatiserade karyotyper förväntas därmed snart bli standard i klinisk praxis.

Inom immunfenotypning används flödescytometri som rutinverktyg för att karakterisera



Figur 2. Automatisering av (A) kromosomanalys och (B) analys av flödescytometridata. Figuren har skapats med Bio Render.

cellpopulationer. Resultaten är ofta svåra att överblicka på grund av den höga dimensiona- liteten i data (figur 2 B). Varje cell analyseras utifrån flera markörer samtidigt. AI kan här användas för att identifiera mönster i dessa data, klustra cellpopulationer och jämföra med kända sjukdomsprofiler (15). Det är sär- skilt värdefullt i fall där det inte finns tydliga gränser mellan normal och patologisk fenotyp, exempelvis vid kroniska lymfoproliferativa tillstånd eller i efterbehandling av leukemier där minimal kvarvarande sjukdom (*minimal residual disease, MRD*) bedöms. I en studie klassificerade forskare flödescytometriprover med hjälp av ett konvolutionellt neuralt nät- verk med avsevärd träffsäkerhet (F1-poäng på 94 %) i en testuppsättning med 2 348 fall av sju olika B-cellsneoplasier (16). Modellen kunde dessutom klassificera 70 procent av fallen med minst 95 procents säkerhet.

Förbättrad effektivitet är en av de mest efter- frågade effekterna av AI inom klinisk hema- tologi. Många hematologer upplever i dag ett ökat tryck på att snabbt leverera diagnoser och terapirekommendationer. Att ställa korrekt diagnos och subklass kan kräva detaljerad tolkning av flera diagnostiska tester och observation av flera molekylära och cy- togenetiska förändringar, som ibland rentav kan vara flertydiga (17). Om AI kan minska handläggningstider genom automatiserad dataanalys eller förhandsklassificering av prover, kan det bidra till att avlasta kliniker och frigöra tid för patientkontakt.

En annan intressant aspekt är frågan om diagnostisk standardisering. I dag kan utfallet av vissa hematologiska bedömningar variera beroende på vem som analyserar provet, var i landet eller världen det sker och vilken teknisk utrustning som används. För närva- rande undersöker flera prospektiva studier tillämpningen av AI-modeller för diagnostik av blodcancer (NCT04466059) (18). AI erbjuder möjligheten att harmonisera bedömningarna och minska variationerna. Det kan bidra till ökad jämlikhet i vården, där patienter oavsett geografisk tillhörighet får tillgång till samma typ av expertis.

Regulatoriska och etiska utmaningar

Trots alla dessa fördelar används AI-systemen inte autonomt. Anledningen är att felbedöm- ningar fortfarande förekommer. Till exempel inom cytomorfologi händer det särskilt vid sällsynta sjukdomsbilder eller när bildkva- liteten är otillräcklig. Därför fungerar AI i dag och sannolikt långt in i framtiden som beslutsstöd snarare än som ersättare för mänsklig expertis.

Introduktion av AI-baserade verktyg i kli- nisk rutin kräver godkännande från tillsyns- myndigheter. Det medicintekniska regelverket bidrar till att AI-systemen ofta certifieras som medicinska apparater med låg risk, eftersom det medför lägre regulatoriska krav och underlättar godkännandeprocessen. Det innebär också att algoritmer och programvaror måste

genomgå samma typ av noggrann kontroll som traditionell medicinsk utrustning (MDR och IVDR). Därmed kan introduktionen fördröjas och endast 1,8 procent av de medicintekniska produkter som godkändes av den amerikanska läkemedelsmyndigheten FDA 1990–2024 används främst inom hematologi (19).

Nyckelelement i den här typen av reglering och lagstiftning inkluderar krav på att tillverkaren ska säkerställa produktens säkerhet och prestanda genom omfattande riskanalys och klinisk utvärdering. Produkten måste ha tydlig dokumentation och spårbarhet, inklusive transparens kring algoritmens funktion och eventuella begränsningar. Regelverken ställer också krav på kontinuerlig övervakning efter marknads lansering för att snabbt kunna hantera eventuella problem eller avvikelser. Dessutom måste integritet och datasäkerhet garanteras, i synnerhet när personuppgifter hanteras.

Ett annat återkommande dilemma är kvaliteten på de data som används för att träna AI-modeller. Om algoritmer tränas på felaktiga eller bristfälliga uppsättningar finns risk för att de reproducerar bias eller missar ovanliga men kliniskt relevanta fynd. Läkare måste därför förstå att AI:s rekommendationer reflekterar det underlag den bygger på. Det krävs transparens kring hur modellerna är konstruerade och validerade, och möjlighet till manuell kontroll av resultaten.

Tolkbarhet är också en central fråga. Många AI-modeller, särskilt de som bygger på djupinlärning, är svarta lådor där det är svårt att förstå hur beslutsvägarna ser ut. I ett medicinskt sammanhang är detta problematiskt, eftersom ansvar måste kunna utkrävas och beslut motiveras för patienter och kollegor. Forskning pågår för att utveckla modeller som är begripliga för användaren.

Dessutom ställer EU:s förordning om artificiell intelligens, som nyligen godkändes av Europaparlamentet, nya krav för medicintekniska produkter med medelhög risk och hög risk. Detta innebär att tillverkare måste dokumentera datakällornas ursprung, kvalitet och representativitet för den verkliga patientpopulation där systemet ska användas. Dessutom ska AI-modellens beslut kunna förklaras på ett begripligt sätt för både användare och tillsynsmyndigheter för att öka transparensen och möjliggöra säker och ansvarsfull användning i klinisk praxis.

Sett från ett praktiskt perspektiv är det viktigt att AI-integrationen inte leder till kompetensförlust inom hematologi. Laboratorieläkare, patologer, genetiker och hematologer måste

fortsatt kunna tolka morfologiska fynd, förstå genetiska analyser och hantera osäkerheter. AI bör ses som ett verktyg för att höja kvaliteten, inte som en genväg för att minska utbildningskraven. I bästa fall kan tekniken vara en lärplattform, där yngre läkare snabbt kan få återkoppling och träna på diagnostiska situationer i simulerade miljöer.

På sikt öppnar AI möjligheter för ännu mer avancerad integration av patientdata. En tänkbar framtidsvision inom hematologin är att systemen kan kombinera genetisk profil, tidigare behandlingssvar, bilddiagnostik och realtidsdata från kliniska parametrar för att generera individanpassade behandlingsförslag. Det kräver dock inte bara teknisk utveckling utan även organisatoriska och juridiska kriterier för att data ska kunna samlas in, delas och tolkas på ett säkert sätt.

En viktig roll för den behandlande hematologen blir därför att vara tolk och förmedlare mellan AI-systemens resultat och den enskilda patientens situation. Den tekniska utvecklingen kräver också att läkare engagerar sig i hur systemen fungerar, deltar i utvecklingen av dem och är med och sätter ramarna för hur de ska användas.

Slutsats

Det diagnostiska trycket inom hematologin ökar, drivet av en växande befolkning och förbättrad överlevnad vid kroniska blodsjukdomar. Samtidigt råder det brist på specialiserade laboratorieläkare och det gör att många laboratorier står inför svårigheter med att upprätthålla både kapacitet och kvalitet. Behovet av standardisering och effektivisering är därför stort.

AI erbjuder ett kraftfullt tillskott till den hematologiska verktygslådan. Den kan bidra till att förbättra diagnostik, effektivisera arbetsflöden och skapa mer jämlik vård. Men dess värde avgörs inte bara av den tekniska kapaciteten, utan också av hur tekniken införs, tolkas och används i klinisk verklighet. För laboratorieläkare, genetiker, patologer och hematologer gäller det därför att hålla sig informerade, vara kritiskt granskande och delta aktivt i utformningen av framtidens diagnostik.

Oscar Brück

oscar.bruck@hus.fi

Bindningar: konsultarvoden från Novartis, Sanofi, Astra Zeneca, Amgen, GSK och Astellas Pharma, forskningsbidrag från Pfizer och Gilead Sciences samt aktieäggande i Hematoscope Oy.

Referenser

1. Walter W, Pohlkamp C, Meggendorfer M, Nadarajah N, Kern W, Haferlach C, et al. Artificial intelligence in hematological diagnostics: Game changer or gadget? *Blood Reviews*. 2023; 58:101019.
2. Nakashima MO, Doyle TJ, Phelan-Lewin K, Summers JM, Bena J, Hsi ED. Assessment of semi-quantitative grading of red blood cell abnormalities utilizing images from the CellaVision DM 96 compared to manual light microscopy. *Int J Lab Hematology* [Internet]. 2017 Oct [cited 2025 Jun 3];39(5). Tillgänglig på: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijlh.12673>.
3. Egelé A, Stouten K, Van Der Heul-Nieuwenhuijsen L, De Bruin L, Teuns R, Van Gelder W, et al. Classification of several morphological red blood cell abnormalities by DM 96 digital imaging. *Int J Lab Hematology* [Internet]. 2016 Oct [cited 2025 Jun 3];38(5). Tillgänglig på: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijlh.12530>.
4. Howard FM, Dolezal J, Kochanny S, Schulte J, Chen H, Heij L, et al. The impact of site-specific digital histology signatures on deep learning model accuracy and bias. *Nature Communications*. 2021;12(1):4423.
5. Brummer O, Pölönen P, Mustjoki S, Brück O. Computational textural mapping harmonises sampling variation and reveals multidimensional histopathological fingerprints. *British Journal of Cancer*. 2023;129(4):683–95.
6. Font P, Loscertales J, Soto C, Ricard P, Novas CM, Martín-Clavero E, et al. Interobserver variance in myelodysplastic syndromes with less than 5% bone marrow blasts: unilineage vs. multilineage dysplasia and reproducibility of the threshold of 2% blasts. *Annals of hematology*. 2015;94:565–73.
7. Matek C, Krappe S, Münzenmayer C, Haferlach T, Marr C. Highly accurate differentiation of bone marrow cell morphologies using deep neural networks on a large image data set. *Blood*. 2021 Nov 18;138(20):1917–27.
8. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015;521(7553):436–44.
9. Brück O, Lallukka-Brück S, Hohtari H, Ianevski A, Ebeling F, Kovanen PE, et al. Machine Learning of Bone Marrow Histopathology Identifies Genetic and Clinical Determinants in MDS Patients. *Blood Cancer Discovery*. 2021 Jan 1;2(3):238–49.
10. de Almeida JG, Gudgin E, Besser M, Dunn WG, Cooper J, Haferlach T, et al. Computational analysis of peripheral blood smears detects disease-associated cytomorphologies. *Nature Communications*. 2023;14(1):4378.
11. Cheng J, Novati G, Pan J, Bycroft C, Žemgulytė A, Applebaum T, et al. Accurate proteome-wide missense variant effect prediction with AlphaMissense. *Science*. 381(6664):eadg7492.
12. Muñíos F, Martínez-Jiménez F, Pich O, Gonzalez-Perez A, Lopez-Bigas N. In silico saturation mutagenesis of cancer genes. *Nature*. 2021 Aug 1;596(7872):428–32.
13. M. S. Al-Kharraz, L. A. Elrefaei, M. A. Fadel. Automated System for Chromosome Karyotyping to Recognize the Most Common Numerical Abnormalities Using Deep Learning. *IEEE Access*. 2020;8:157727–47.
14. Cox A, Park C, Koduru P, Wilson K, Weinberg O, Chen W, et al. Automated classification of cytogenetic abnormalities in hematolymphoid neoplasms. *Bioinformatics*. 2022 Mar 1;38(5):1420–6.
15. Saes Y, Van Gassen S, Lambrecht BN. Computational flow cytometry: Helping to make sense of high-dimensional immunology data. *Nature Reviews Immunology*. 2016;16(7):449–62.
16. Zhao M, Mallesh N, Höllein A, Schabath R, Haferlach C, Haferlach T, et al. Hematologist-Level Classification of Mature B-Cell Neoplasm Using Deep Learning on Multiparameter Flow Cytometry Data. *Cytometry Part A*. 2020 Oct 1;97(10):1073–80.
17. Khoury JD, Solary E, Abla O, Akkari Y, Alaggio R, Apperley JF, et al. The 5th edition of the World Health Organization Classification of Haematolymphoid Tumours: Myeloid and Histiocytic/Dendritic Neoplasms. *Leukemia*. 2022;36(7):1703–19.
18. Haferlach T, Pohlkamp C, Heo I, Drescher R, Hänselmann S, Lörch T, et al. Automated Peripheral Blood Cell Differentiation Using Artificial Intelligence - a Study with More Than 10,000 Routine Samples in a Specialized Leukemia Laboratory. *Blood*. 2021 Nov 23;138:103.
19. Tjoe S, Gomez, Martin. FDA Approvals of AI Medical Devices Rise Rapidly [Internet]. 2024 Nov. Tillgänglig på: <https://www.goodwinlaw.com/en/insights/publications/2024/11/insights-technology-aiml-fda-approvals-of-ai-medical-devices>.

Summary

Artificial intelligence in the diagnostics of blood diseases

Artificial intelligence (AI) is becoming a valuable and even an inevitable tool in the diagnostics of hematological diseases. Computational solutions can enhance diagnostic accuracy and speed up workflows in areas like blood smear evaluation, flow cytometry, and molecular testing. Most established solutions are based on image analysis and deep learning by enhancing cell differentials of peripheral blood and bone marrow samples. Although AI supports decision-making, it is not yet used independently due to potential errors and regulatory requirements. Therefore, integrating AI into clinical practice requires careful attention to ethical issues and patient safety.

Patientnära AI-understödd digital mikroskopi

JOAR VON BAHR

Artificiell intelligens (AI) har sedan 2015 kunnat uppnå lägre felfrekvens än genomsnittsmänniskan i klassificering av naturliga bilder. Eftersom läkaryrket innefattar en stor mängd visuella bedömningar, har det lett till mycket forskning på AI inom medicinsk bildigenkänning, till exempel inom radiologi, dermatologi och patologi. I avancerade patologilaboratorier har AI och digital mikroskopi potential att kunna sänka kostnader, leda till omfördelning av arbetsuppgifter, öka diagnostisk träffsäkerhet och möjliggöra nya typer av analyser. Att applicera AI och digital mikroskopi i patientnära miljöer skulle, förutom fördelarna i avancerade laboratorier, även kunna öka tillgången till snabb diagnostik där den inte finns tillgänglig idag. Detta skulle kunna vara av stort värde i låg- och medelinkomstländer, där det råder brist på experter men även i höginkomstländer som Finland, framför allt i glesbygdsområden. Patientnära AI-understödd digital mikroskopi kan användas för att analysera ett flertal provpreparat, däribland blod, urin, sputum, feces och cellutstryk. Forskningen visar att AI har potential att uppnå likvärdig diagnostisk träffsäkerhet jämfört med konventionell mikroskopi. Framför allt skulle AI-understödd digital mikroskopi kunna leda till ökad sensitivitet. Det finns dock flera utmaningar som ännu behöver lösas för att maximera den kliniska nyttan av patientnära AI-understödd digital mikroskopi. Det faktum att forskningen inom området ökar snabbt kan generera lösningar på dessa frågor.

AI i bildigenkänning

Den förmåga att identifiera mönster som är kännetecknande för artificiell intelligens (AI) har applicerats framgångsrikt inom bildigenkänning. Redan 2015, för tio år sedan, utvecklades AI-algoritmer som kunde klassificera "naturliga bilder" (det vill säga hundar, katter, bilar och så vidare) med lägre felfrekvens än genomsnittsmänniskan (1). Denna framgång berodde till stor del på konvolutionella neurala nätverk (KNN) och maskininlärning. Dessa KNN analyserar ett flertal närliggande pixlar och upptäcker bland annat kanter eller textur-

SKRIBENTEN

Joar von Bahr, läkare och doktorand vid Helsingfors universitet och Karolinska Institutet

förändringar. Kanterna och texturförändringarna kombineras sedan för att skapa större objekt, som till exempel en hund eller en katt. Sedan dess har algoritmerna utvecklats: transformers är det senaste i denna utveckling och överträffar KNN i vissa situationer.

HUVUDBUDSKAP:

- Forskningen om AI-understödd digital mikroskopi för patientnära diagnostik accelererar tack vare utvecklingen av billigare mikroskopskannrar, kraftfullare grafikkort (GPU:er) och förbättrade AI-algoritmer.
- AI-understödd digital mikroskopi har flera tillämpningsområden, till exempel analys av blod-, avförings-, urin- och cellprover.
- I flera studier har AI-understödd digital mikroskopi uppvisat jämförbar diagnostisk träffsäkerhet med manuell mikroskopi och därtill potential att öka den diagnostiska sensitiviteten.
- AI-understödd digital mikroskopi kan öka tillgången till diagnostik, framförallt där det råder expertbrist, som i låg- och medelinkomstländer samt glesbygdsområden i höginkomstländer.

Transformers bygger på en annan princip än KNN, som tillåter att relationer mellan pixlar i områden långt ifrån varandra kan identifieras. Ett exempel kan vara att det i en bild med två ögon och en svans talar för att objektet är en hund, medan två ögon och en knorr i stället talar för att det är en gris (2).

Bildigenkänning i läkaryrket

Inom läkaryrket krävs en bred uppsättning av färdigheter, och en viktig färdighet är att kunna göra olika visuella bedömningar. Allt ifrån att klassificera och diagnosticera hudförändringar och sår till röntgenbilder och mikroskopidiagnostik kräver visuella bedömningar, alltså bildigenkänning. Behovet av visuella bedömningar inom medicinen och den potential som AI visat har resulterat i omfattande forskning på AI inom medicinsk bildigenkänning (3). Inom vissa fält har forskningen kommit så långt att klinisk användning av AI har påbörjats, till exempel inom mammografiscreening för bröstcancer (4). Ett område som är väl lämpat för bildanalys är mikroskopianalyser. I takt med att tillgången till digitala skannrar ökar, ökar möjligheterna att applicera AI på de digitaliserade bilderna. Att det finns en trend mot digitalisering inom patologin illustreras av en studie, som har visat att ungefär hälften av de undersökta patologilaboratorierna i Europa använder digitala skannrar och att det skett en kraftig ökning de senaste tio åren (5).

Mikroskopidiagnostik med AI

När AI-baserad analys introduceras i arbetsflöden för mikroskopidiagnostik i avancerade patologilaboratorier ökar möjligheterna att automatisera arbetsflöden, öka produktiviteten och förbättra diagnostiska träffsäkerheten (6). Det finns även potential att använda AI för att genomföra sådana typer av diagnostik som människan har svårt för, till exempel att gradera förändringar på ett mer detaljerat sätt än vad människan kan (7). Idag finns ett antal AI-baserade diagnostiska system som redan har godkänts för kliniskt bruk, exempelvis för screening av livmoderhalscancer och diagnostik av prostatacancer (8). De flesta system i bruk idag använder avancerade digitala skannrar och kräver tillgång till avancerad laboratorieinfrastruktur, vilket gör dem mindre lämpliga för patientnära diagnostik, i till exempel primärvårdslaboratorier (6, 9). Utvecklingen av billigare, portabla digitala

mikroskopskannrar har emellertid möjliggjort forskning på AI-understödda diagnostiska system som kan erbjuda patientnära diagnostik (10, 11).

Mikroskopi nära patienten

Att applicera AI-understödd digital mikroskopi i patientnära miljöer utanför avancerade laboratorier skulle kunna ge ytterligare fördelar, förutom fördelarna vid implementering i avancerade laboratorier, till exempel att erbjuda snabbare och patientnära diagnostik där den idag saknas. Världshälsoorganisationen (WHO) har betonat vikten av att tillhandahålla diagnostik nära patienten i primärvården för att öka precisionen och snabbheten i diagnostiken, underlätta kliniskt beslutsfattande och minska risken för diagnostiska fel (12). Inom litteraturen finns det flera termer som används för att klassificera patientnära diagnostik; några av dessa är *"point-of-care"*, *"point of contact"* och *"primary healthcare"*. Termerna har delvis olika betydelse men idén är densamma: diagnostik som är snabb, lättillgänglig och robust och kräver begränsad specialkunskap, vilket gör att den kan användas nära patienten. Mikroskopering av biologiska prover med enkla preparationsmetoder faller inom ramen för sådan diagnostik (13).

Dagens läge för patientnära AI-understödd mikroskopi

Patientnära AI-understödd digital mikroskopi har applicerats på ett flertal provtyper i olika diagnostiska syften. Inom vissa områden, som blodmikroskopering, finns system som är godkända för kliniskt bruk (14, 15). Därtill finns det flera andra appliceringsområden där forskning på fullständiga diagnostiska system i kliniska miljöer har genomförts, som att analysera urin, cytologiska prover, avföring och sputum. Studierna har fokuserat på att identifiera malaria, tarminfektioner, urogenitala parasitinfektioner, atypiska celler från livmoderhalsen och munhålan och urinanalyser (cell- och partikeldetektion). Därtill har kristallmönster i sputum analyserats för att identifiera inflammation i lungor. Utöver de tidigare nämnda applikationsområdena finns det ett flertal andra områden där olika pilotstudier genomförts, bland annat tuberkulos, andra parasitsjukdomar, luftvägscytologi, spermierörlighet och sickelcellsanemi (16).

Trots att flertalet användningsområden för patientnära AI-understödd digital mikroskopi

har förekommit i forskningen är antalet studier ännu begränsat. I en systematisk översiktsartikel, sammanställd av vår forskargrupp vid Helsingfors universitet och publicerad som preprint i JMIR, undersökte vi AI för digital mikroskopi i patientnära miljöer definierat som primärvårdslaboratorier (16). Totalt 22 publikationer uppfyllde kraven på att använda AI-understödd mikroskopi för att uppnå en diagnos på patientnivå i primärvårdslaboratorier. Detta jämfört med att 71 studier uteslöts eftersom de inte genomfördes i primärvårdslaboratorier, vilket tyder på att AI-understödd digital mikroskopi främst undersöks i avancerade laboratorier. En annan vanlig orsak till att artiklar uteslöts var att de saknade diagnostik på provnivå (n = 58), vilket visar att de flesta studier hittills har koncentrerat sig på att visa att AI kan identifiera specifika mål snarare än att integrera AI i fullständiga diagnostiska system, vilket är ett nödvändigt nästa steg för verklig implementering av patientnära AI-understödd digital mikroskopi. Även om det låga antalet inkluderade studier i förhållande till uteslutna studier tyder på att patientnära AI-understödd digital mikroskopi är ett relativt outforskat område, indikerar det faktum att 9 av de 22 inkluderade studierna publicerades under det senaste året en uppåtgående trend inom forskningsfältet (16).

Betydelse i lågresursmiljöer

Implementering av patientnära AI-understödd digital mikroskopi i lågresursmiljöer skulle kunna ha extra stora fördelar då det råder en generell brist på experter, alltså specialiserade mikroskopister, och laboratorieinfrastruktur

där. Detta gör att kliniker ofta får klara sig med bristfällig information när de handlägger patienter (12). En betydelsefull del av denna diagnostik tillgodoses i primärvårdslaboratorier genom mikroskopering av biologiska prover. Implementering av AI kan dels ersätta delar av det manuella tolkningsarbetet för patologer och mikroskopister, dels via telepatologi tillåta verifiering av AI-fynd på annan plats. Därmed blir diagnostik möjlig på kliniker som tidigare saknat möjligheten, vilket skulle kunna minska felbehandlingar och frigöra tid för experter att handlägga mer komplexa fall (13,17).

Betydelse i Finland

Även i Finland kan implementering av patientnära AI-understödd digital mikroskopi vara fördelaktigt, trots att det inte råder brist på experter i samma utsträckning som i låg- och medelinkomstländer. Ett exempel på hur patientnära AI-understödd digital mikroskopi kunde bli användbart är ett system för blodanalys där man kan få ett komplett blodutstryk inom 20–30 minuter från provtagning (15). Att kunna genomföra analysen på plats kan spara tid om kliniken, till exempel en primärvårdsmottagning, inte har ett närliggande laboratorium och prover behöver transporteras för att analyseras. Framför allt skulle AI-understödd digital mikroskopi kunna bli värdefullt för glesbygdsområden, där avstånden mellan vårdenheter är längre.

Diagnostisk prestanda

I översiktsartikeln av vår grupp visade det sig att AI-understödd digital mikroskopi kan

Tabell 1. Modifierad tabell med resultat från: *Artificial intelligence-supported digital microscopy diagnostics in primary health care laboratories: a scoping review*, doi: 10.2196/preprints.78500: S = Sputum, CBC = Fullständigt blodstatus, D = Downey-celler, F = Kristallmönster (ferning) som indikerar inflammation, U = Urinanalys; AI bättre än mikroskopi: tom = ingen jämförelse; ja = högre/samma sensitivitet och specificitet, mix = högre sensitivitet och lägre specificitet, nej = lägre sensitivitet och specificitet; Antalet prover i testset: k = 1 000. Villkorsstyrd formatering tillämpades på alla numeriska värden, där höga värden markerades i grönt och låga värden i gult.

Studienummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Prover	Blod												Cytologi		S	Feces		Urin				
Målobjekt	CBC			D	Malariaparasit								Cellatypi		F	Parasit		U	Parasit			
Manuell verifiering		✓	✓		✓			✓			✓											
Sensitivitet %				57	90		95	83	91	72	95	87		100	89	94	86	80	81	87	94	63
Specificitet %				100	96		91	94	76	85	100	100		78	100	96	100	95	88	49	94	79
Pearsonkorrelation	.94	.94	.91			.90																
AI bättre än mikroskopi					mix			mix		mix					ja		ja		nej			mix
Antalet prover i testset	679	550	450	31	190	27	488	1.2k	2.3k	400	31	35	307	390	30	160	73	792	240	487	65	339

uppnå diagnostisk träffsäkerhet jämförbar med manuell mikroskopi för majoriteten av de applikationer som utvärderades: blodanalys, urinanalys, detektion av parasiter i feces och urin, malaria och atypiscreening för livmoderhalscancer och oralcancer. Anmärkningsvärt var att resultaten indikerade att AI-understödd digital mikroskopi potentiellt kan öka sensitiviteten, då sex av de sju (85,7 %) studier som jämförde AI med manuell mikroskopi rapporterade högre sensitivitet för AI-understödd digital mikroskopi (tabell 1)(16).

Även om detta tyder på att den diagnostiska träffsäkerheten med AI-understödd digital mikroskopi kan bli likvärdig eller rentav bättre än manuell mikroskopi finns det fortsatt flera utmaningar som är viktiga att ta hänsyn till, för såväl de som utvecklar de diagnostiska systemen som för de kliniker som använder dem. Av utvecklare krävs det att system anpassas för att kunna prestera i verkliga kliniska miljöer. Det kräver att provtagning och förberedning, skanning samt AI-analys är robusta och inte påverkas av de variationer som uppstår när system används i riktiga kliniska miljöer. En annan utmaning för att utveckla diagnostiskt träffsäkra system är att det krävs tillgång till en stor mängd träningsdata. För att kunna uppnå detta krävs samarbete mellan utvecklare och kliniker. För kliniker som använder systemen finns ett värde i att förstå hur en AI-algoritm för bildiagnostik fungerar. – Det är en funktion som tar in pixelvärdena av en bild för att sedan förutspå förekomsten av något. Att tala om AI som intelligens blir därmed missvisande då det handlar om avancerad mönsterigenkänning, vilket är mer begränsat än mänskligt intellekt. Med denna förståelse blir det lättare att som läkare tolka och förstå när resultaten kan vara felaktiga, till exempel om ett prov skannats efter ovanligt långt tid, vilket gjort att de bilder som AI-algoritmen analyserar avviker från hur de vanligen ser ut.

Manuellt verifierad AI

En annan aspekt att ta hänsyn till är huruvida manuell verifiering bör inkluderas. Förutom att det kan vara viktigt för att någon ska vara ansvarig för de diagnostiska resultaten, kan kombinationen av AI och mänsklig verifiering även förbättra den diagnostiska träffsäkerheten. Det finns studier som har jämfört AI med och utan manuell verifiering och som har visat att AI kan användas för att öka specificiteten (18, 19). Det kan göras då AI kan göra misstag som en människa inte skulle göra. I en studie

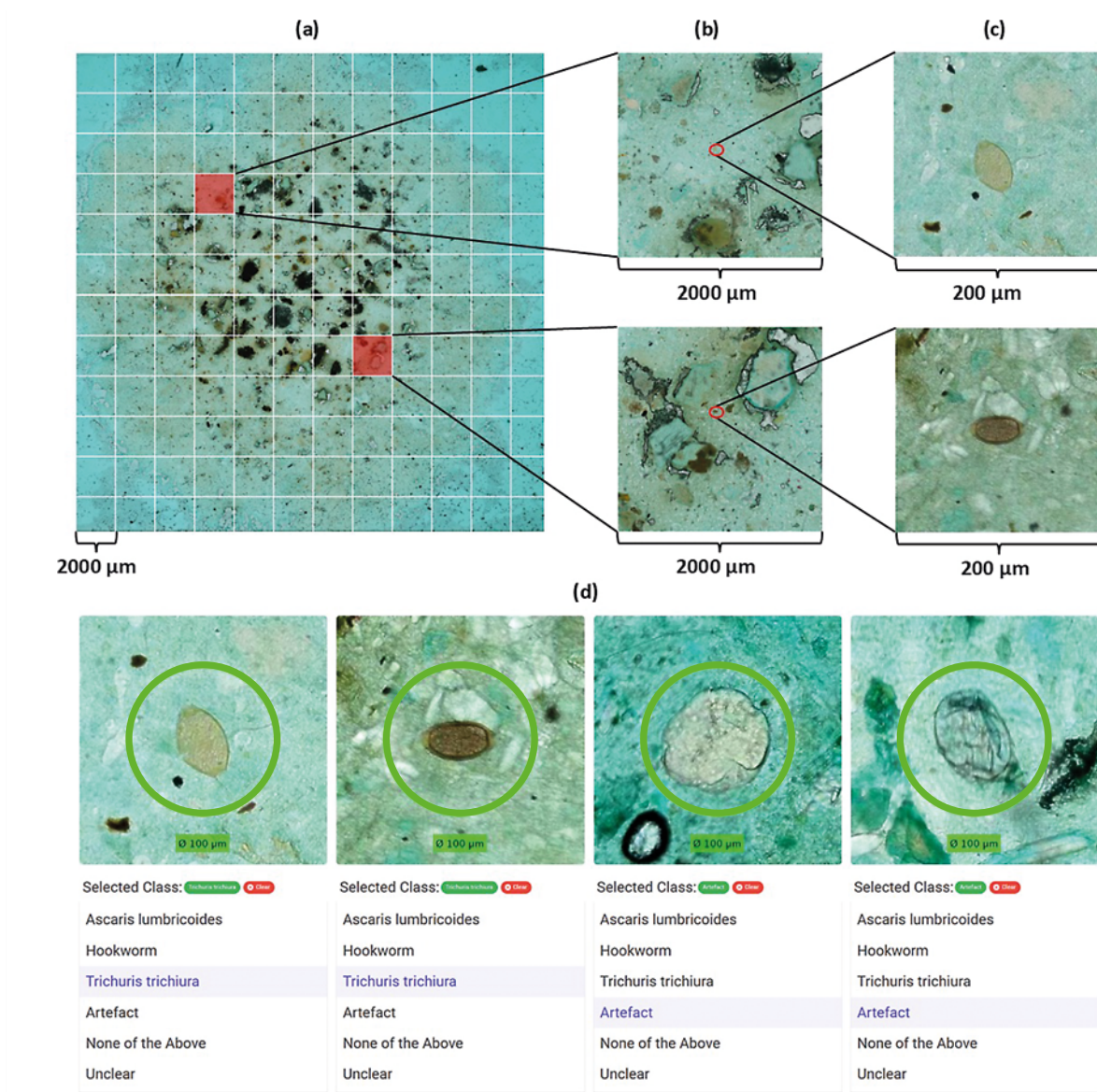
av vår grupp kunde vi även visa att manuell verifiering kan öka sensitiviteten för detektering av parasiter i feces jämfört med både manuell mikroskopi och overifierad AI (20). Sammantaget tyder det på att både sensitiviteten och specificiteten för AI-understödd digital mikroskopi kan förbättras med manuell verifiering. Den manuella verifieringen kan dessutom bli mindre tidskrävande än manuell analys av prov, när experten endast behöver verifiera suspekta objekt. I vår studie tog det bara cirka en minut per prov för att expert-verifieramisstänkta fynd, jämfört med över fem minuter för att analysera i ljusmikroskop (figur 1)(20, 21).

Utmaningar

Det finns vissa hinder för implementering av AI-understödd digital mikroskopi för patientnära diagnostik. Ett potentiellt hinder är behovet av tydliga styrmekanismer, som tar hänsyn till att det kan vara möjligt att kontinuerligt förbättra de AI-understödda systemen eftersom det kunde gynna utvecklingen av mer exakta AI-modeller. Kostnaden är ett annat hinder. Att billigare skannrar har utvecklats har visserligen minskat utgifterna, men de flesta kommersiellt tillgängliga skannrarna är fortfarande dyrare än traditionella mikroskop(22). Mikroskop fungerar vanligtvis tillförlitligt under lång tid, och skannrarna skulle behöva en liknande livslängd för att AI-understödd digital mikroskopi ska bli kostnadseffektivt. En del AI-understödda mikroskopisystem är utvecklade för specifika sjukdomar, vilket ökar kostnaden för implementering i kliniker eftersom flera system skulle behöva införskaffas för att ersätta mikroskop och kunna tillgodose det diagnostiska behovet. För att införandet ska bli ekonomiskt hållbart kan det därför vara nödvändigt att de nya systemen kan användas för flera sjukdomar. Skannrar kan generellt digitalisera olika provtyper, och liknande metoder kan därmed tillämpas på flera sjukdomar (16). System som är utvecklade för en specifik sjukdom kan i stället vara användbara där det finns stora flöden för samma typ av diagnostik, till exempel inom screeningprogram för livmoderhalscancer.

Framtidsrelaterade och allmänna observationer

AI-understödd digital mikroskopi har flera potentiella fördelar jämfört med manuell



Figur 1. Figur från artikeln *AI-supported versus manual microscopy of Kato-Katz smears for diagnosis of soil-transmitted helminth infections in a primary healthcare setting* (CC4.0) doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07309-7>, som visar hur manuell verifiering av AI ger kortare analystid och bättre förmåga att upptäcka parasiter. Figuren visar fynd från samma parasitprov, som klassificerades som negativ vid manuell mikroskopi men som positiv med manuell verifierad AI (a). Hela fecesprovet med ett rutnät som representerar områden som ses under ett 10X-objektiv (färgade röda om positiva för parasitägg); (b) de två områden där parasitägg upptäcktes; (c) en närbild av de två parasitäggen (*T. trichiura*); (d) visualisering av de fyra objekt (där de två parasitäggen finns med) som identifierades av AI-algoritmen som potentiella parasitägg och krävde manuell verifiering.

mikroskopi i patientnära diagnostik. För det första kan metoden potentiellt ge högre diagnostisk träffsäkerhet, som skulle kunna förbättras ytterligare av mänsklig verifiering (17). För det andra kan den öka tillgången till snabb diagnostik genom att diagnostiska procedurer kan utföras patientnära, vilket eliminerar behovet av att skicka prover till andra enheter (10, 23). För det tredje kan metoden

minska personalens arbetsbörda genom att arbetsuppgifter omfördelas, vilket kan höja experternas produktivitet och därmed öka tillgången till mikroskopidiagnostik (24).

Joar von Bahr
joar.vonbahr@helsinki.fi

Inga bindningar

Referenser

1. Langlotz CP, Allen B, Erickson BJ, et al. A Roadmap for Foundational Research on Artificial Intelligence in Medical Imaging: From the 2018 NIH/RSNA/ACR/The Academy Workshop. *Radiology*. 2019;291(3):781-791. doi:10.1148/radiol.2019190613
2. Shamsad F, Khan S, Zamir SW, et al. Transformers in medical imaging: a survey. *Med Image Anal*. 2023;88:102802. doi:10.1016/j.media.2023.102802
3. Pinto-Coelho L. How Artificial Intelligence Is Shaping Medical Imaging Technology: A Survey of Innovations and Applications. *Bioengineering*. 2023;10(12):1435. doi:10.3390/bioengineering10121435
4. Först ut att använda AI i mammografi. Accessed July 28, 2025. <https://regionvarmland.se/regionvarmland/nyhetsarkiv/regionvarmland/2023-05-29-forst-ut-att-anvanda-ai-i-mammografi>.
5. Pinto DG, Bychkov A, Tsuyama N, Fukuoka J, Eloy C. Real-World Implementation of Digital Pathology: Results From an Intercontinental Survey. *Lab Invest*. 2023;103(12). doi:10.1016/j.labinv.2023.100261
6. Mariana T. Rezende, Bianchi AGC, Carneiro CM. Cervical cancer: Automation of Pap test screening. *Diagn Cytopathol*. 2021;49(4):559-574. doi:10.1002/dc.24708.
7. Wang Y, Acs B, Robertson S, et al. Improved breast cancer histological grading using deep learning. *Ann Oncol Off J Eur Soc Med Oncol*. 2022;33(1):89-98. doi:10.1016/j.annonc.2021.09.007
8. Muehlemaier UJ, Daniore P, Vokinger KN. Approval of artificial intelligence and machine learning-based medical devices in the USA and Europe (2015–20): a comparative analysis. *Lancet Digit Health*. 2021;3(3):e195-e203. doi:10.1016/S2589-7500(20)30292-2
9. da Silva LM, Pereira EM, Salles PG, et al. Independent real-world application of a clinical-grade automated prostate cancer detection system. *J Pathol*. 2021;254(2):147-158. doi:10.1002/path.5662
10. Holmström O, Linder N, Kaingu H, et al. Point-of-Care Digital Cytology With Artificial Intelligence for Cervical Cancer Screening in a Resource-Limited Setting. *JAMA Netw Open*. 2021;4(3):e211740. doi:10.1001/jamanetworkopen.2021.1740
11. Ward P, Dahlberg P, Lagatie O, et al. Affordable artificial intelligence-based digital pathology for neglected tropical diseases: a proof-of-concept for the detection of soil-transmitted helminths and *Schistosoma mansoni* eggs in Kato-Katz stool thick smears. *PLoS Negl Trop Dis*. 2022;16(6):e0010500. doi:10.1371/journal.pntd.0010500
12. World Health Organization. (2016). Diagnostic errors. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/252410>. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
13. Fleming KA, Naidoo M, Wilson M, et al. High-Quality Diagnosis: An Essential Pathology Package. In: Jamison DT, Gelband H, Horton S, et al., editors. *Disease Control Priorities: Improving Health and Reducing Poverty*. 3rd edition. Washington (DC): The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank; 2017 Nov 27. Chapter 11. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK525286/> doi: 10.1596/978-1-4648-0527-1_ch11.
14. Bachar N, Benbassat D, Brailovsky D, et al. An artificial intelligence-assisted diagnostic platform for rapid near-patient hematology. *Am J Hematol*. 2021;96(10):1264-1274. doi:10.1002/ajh.26295
15. Gasparin AT, Araujo CIF, Cardoso MR, et al. Hilab System Device in an Oncological Hospital: A New Clinical Approach for Point of Care CBC Test, Supported by the Internet of Things and Machine Learning. *Diagnostics*. 2023;13(10). doi:10.3390/diagnostics13101695
16. Artificial intelligence-supported digital microscopy diagnostics in primary health care laboratories: a scoping review. *JMIR Preprints*. Accessed July 7, 2025. <https://preprints.jmir.org/preprint/78500>
17. Bogoch II, Lundin J, Lo NC, Andrews JR. Mobile phone and handheld microscopes for public health applications. *Lancet Public Health*. 2017;2(8):e355. doi:10.1016/S2468-2667(17)30120-2
18. Linder N, Turkki R, Walliander M, et al. A Malaria Diagnostic Tool Based on Computer Vision Screening and Visualization of *Plasmodium falciparum* Candidate Areas in Digitized Blood Smears. *PLOS ONE*. 2014;9(8):e104855. doi:10.1371/journal.pone.0104855
19. Ewnetu Y, Badu K, Carlier L, et al. A digital microscope for the diagnosis of *Plasmodium falciparum* and *Plasmodium vivax*, including *P. falciparum* with hrp2/hrp3 deletion. *PLOS Glob Public Health*. 2024;4(5):e0003091. doi:10.1371/journal.pgph.0003091
20. von Bahr J, Suutala A, Kucukel H, et al. AI-supported versus manual microscopy of Kato-Katz smears for diagnosis of soil-transmitted helminth infections in a primary healthcare setting. *Sci Rep*. 2025;15:20332. doi:10.1038/s41598-025-07309-7
21. Bosch F, Palmeirim MS, Ali SM, Ame SM, Hattendorf J, Keiser J. Diagnosis of soil-transmitted helminths using the Kato-Katz technique: what is the influence of stirring, storage time and storage temperature on stool sample egg counts? *PLoS Negl Trop Dis*. 2021;15(1):e0009032. doi:10.1371/journal.pntd.0009032
22. Patel A, Balis UGJ, Cheng J, et al. Contemporary Whole Slide Imaging Devices and Their Applications within the Modern Pathology Department: A Selected Hardware Review. *J Pathol Inform*. 2021;12:50. doi:10.4103/jpi.jpi_66_21
23. Sunny S, Baby A, James BL, et al. A smart tele-cytology point-of-care platform for oral cancer screening. *PloS One*. 2019;14(11):e0224885. doi:10.1371/journal.pone.0224885
24. Hamid MMA, Mohamed AO, Mohammed FO, et al. Diagnostic accuracy of an automated microscope solution (miLab™) in detecting malaria parasites in symptomatic patients at point-of-care in Sudan: a case-control study. *Malar J*. 2024;23(1):200. doi:10.1186/s12936-024-05029-3

Summary

Point-of-care AI-supported Digital Microscopy

Artificial intelligence (AI) has shown high performance in image classification, which is a key task for medical professionals, for example, in pathology. Applying AI and digital microscopy in point-of-care settings may increase access to rapid and accurate diagnostics where it is currently unavailable, making it especially valuable in low- and middle-income countries and scarcely populated regions of high-income countries. Multiple types of samples can be analyzed with AI-supported digital microscopy, such as blood, urine, sputum, feces, and cell smears. In research, AI-supported digital microscopy has achieved comparable diagnostic accuracy to conventional microscopy and shown potential to increase sensitivity.

Erfarenheter av AI-baserad screening av livmoderhalscancer i Östafrika

NINA LINDER

Våra erfarenheter av AI-baserad livmoderhalscancerscreening i Östafrika visar att digital diagnostik är genomförbar på primärvårdsnivå i resurssvaga miljöer. En förutsättning är att tekniken anpassas till de lokala förhållandena och integreras i fungerande hälso- och sjukvårdssystem. Artificiell intelligens har stor potential att förbättra tillgången till screening av livmoderhalscancer med hög diagnostisk noggrannhet och kostnadseffektivitet. Men modern AI-baserad teknologi i sig räcker inte. I praktiken krävs också investeringar i infrastruktur, utbildning av personal och pålitlig tillgång till adekvat behandling. Goda framsteg för att uppnå förbättrad och mer jämlik tillgång till cancerförebyggande screening ligger inom räckhåll och kan uppnås genom att utveckla integrerade, lokalt förankrade tillvägagångssätt, som bygger på modern AI-baserad diagnostik.

Inledning

Nya teknologier, som digital patologi i kombination med artificiell intelligens (AI), har stor potential för screening av cancer och används redan i höginkomstländer. Vi har utvecklat ett patientnära diagnostiskt system baserat på AI som använder portabla, lättanvända mikroskopskanners kopplade till en molnbaserad AI-analysplattform via mobilnätverk (1). Mikroskopiproverna digitaliseras och överförs för fjärrdiagnostik utförd av en kombination av AI och en mänsklig expert (figur 1). Vi har i en resursbegränsad miljö visat att hög noggrannhet (sensitivitet 95,7 % och specificitet 84,7 %) kan uppnås vid screening av cytologiska cervixutstryk (Papanicolaou-prover) med AI (2). Screening och diagnostik spelar en avgörande roll för att förebygga och upptäcka tidiga cellförändringar i cervix. Trots att sjukdomen ofta kan förebyggas ge-

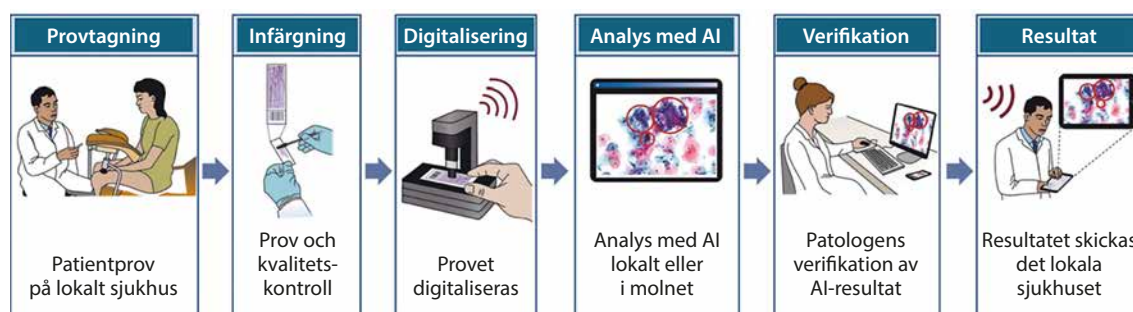
SKRIBENTEN

Nina Linder, medicine doktor, professor (AI-baserad medicinsk diagnostik), Finlands molekylärmedicinska institut FIMM, HiLife, Helsingfors universitet och Institutionen för kvinnors och barns hälsa, Uppsala universitet, Sverige

nom vaccination mot humant papillomvirus (HPV) och olika former av screeningprogram, har investeringar i nya diagnostiska metoder lämpade för bruk i lågresurstmiljöer varit begränsade. Detta har lett till ojämlikheter i tillgången till säker och kostnadseffektiv screening av livmoderhalscancer, särskilt i låginkomstländer. Skillnaderna är påtagliga: bland kvinnor i trettio- till femtioårsåldern har över åttio procent i höginkomstländer någon gång blivit screenade för förändringar i cervix,

HUVUDBUDSKAP:

- Det är möjligt att med artificiell intelligens diagnostisera livmoderhalscancer i en patientnära miljö, men effekten beror på hur väl tekniken integreras i de lokala hälsosystemen.
- Kostnadsberäkningar, fungerande leveranskedjor och myndighetsgodkännande är nödvändiga för storskalig implementering.
- För att möjliggöra storskalig användning krävs stark reglering, etiska ramar, finansiering och innovationer som gör metoderna enklare och mindre beroende av infrastruktur och användarens kompetens.



Figur 1. Det diagnostiska systemet med bildbaserad artificiell intelligens (AI) och fjärrverifiering av en mänsklig expert. Ett cytologiskt prov från cervix tas, cellprovet färgas (Papanicolaou-prov), provet digitaliseras, överförs till en molnmiljö och analyseras med AI. Resultaten skapade med AI verifieras av en mänsklig expert på distans och rapporten skickas tillbaka till vårdenheten.

medan motsvarande siffra i låginkomstländer är endast cirka tio procent (3).

På global nivå är livmoderhalscancer den fjärde vanligaste cancerformen hos kvinnor, med omkring 660 000 nya fall år 2022 (4). Samma år avled cirka 350 000 kvinnor till följd av sjukdomen, varav hela 94 procent i låg- och medelinkomstländer. År 2020 översteg dessutom antalet dödsfall i livmoderhalscancer för första gången antalet graviditetsrelaterade dödsfall, vilket visar sjukdomens växande betydelse som globalt hälsoproblem. Totalt står låg- och medelinkomstländer för 80 procent av alla fall av livmoderhalscancer i världen. Den globala åldersstandardiserade incidensen är 14 per 100 000 kvinnor, men i Östafrika är den mer än tre gånger så hög, det vill säga 43 per 100 000. Tillgången till patologi-tjänster är dessutom mycket begränsad: i Kenya finns endast 1,38 patologer per en miljon invånare och i Tanzania så få som 0,46 per en miljon invånare (5). Livmoderhalscancer framstår därför som en sjukdom starkt associerad med fattigdom och ojämlikhet.

AI-stödd livmoderhalscancerscreening på landsbygden i Kenya

Vår erfarenhet av att implementera AI-stödd screening av livmoderhalscancer bygger på användning av minimal infrastruktur på Kinondo-sjukhuset i Kwale på landsbygden i södra Kenya, och vår erfarenhet är att det är essentiellt att ny diagnostik integreras i ett fungerande lokalt hälso- och sjukvårdssystem. Inom projektet etablerade vi ett laboratorium för digital diagnostik vid sjukhuset och använde oss av befintlig infrastruktur såsom elektricitet, vatten och internet. Det AI-stödda systemet analyserade de digitaliserade cervi-

kala cellproverna vid kliniken, och de fysiska cellproverna skickades till lokala patologer för konventionell diagnostik. Ett dedikerat lokalt team bestående av sjukskötare, laboranter, gynekolog, allmänläkare och laboratorietekniker utbildades med stöd av standardiserade protokoll.

Medarbetarna fick utbildning i provtagning, preparering av provet, digitalisering, analys med algoritmerna och digital datainmatning av kliniska parametrar och resultaten. Rekryteringen av kvinnor för cellprov gjordes både genom att lokala hälsoarbetare uppsökte byarna nära sjukhuset för att informera om livmoderhalscancer och möjligheterna till screening och genom särskilda hälsokampanjer för kvinnor (figur 2). Båda metoderna byggde på kulturellt anpassad kommunikation samt nära samarbete med de lokala hälsoarbetarna för att säkerställa att deltagandet var frivilligt. Efter den första kliniska studien i Kenya överfördes konceptet till ett annat primärvårds-sjukhus i Kenya (Diani-sjukhuset) och till ett motsvarande sjukhus i Tanzania (St. Benedict-sjukhuset i Dar es Salaam). Vi använde Kinondo-sjukhuset som utbildningscenter för AI-baserad diagnostik för personalen från de andra sjukhusen.

Kapaciteten för analyserna begränsades av osäker tillgång till Papanicolaou-reagenser, bristfälliga lagringsmöjligheter för reagenser och strömavbrott. En viktig del av studierna var att vi även testade studiedeltagarna för HPV-infektion, och HPV-analyserna utfördes av utomstående laboratorier. HPV-analyserna försenades ofta eller var för dyra på grund av svårigheter med upphandling av HPV-reagenser.

Möjligheterna att ta hand om kvinnor med cellförändringar är små i regionen, vilket



Figur 2. A) Kvinnor som väntar på screening av livmoderhalscancer vid Kinondo-sjukhuset i södra Kenya. B) Teknikern med hårdvaran för det patientnära diagnostiska systemet baserat på AI, som bygger på en minimal infrastruktur med en portabel dator (1) och en lättanvänd mikroskopskanner (2) trådlöst uppkopplad till en molnbaserad AI-analysplattform via mobilnätverk (3).

väckte etiska frågor, eftersom det kan vara problematiskt att diagnostisera förstadier till cancer utan säker tillgång till behandling. I denna studie fick dock alla våra patienter behandling i enlighet med lokala och nationella riktlinjer.

En kontinuerlig dialog med lokala hälsomyndigheter är avgörande för att anpassa diagnostiken till de regionala vårdstrukturerna och för att säkerställa att kvinnor med cellförändringar får adekvat och snabb behandling. Erfarenheterna visar att det är orealistiskt att förvänta sig att diagnostik, oavsett om den är konventionell eller AI-stödd, kan implementeras framgångsrikt i ett isolerat sammanhang. Samarbete med regionala hälsovårdspolitiker, leverantörer av reagenser och lokal medicinsk personal är helt avgörande. För att verkligen göra skillnad måste nya diagnostiska metoder integreras i redan fungerande hälso- och sjukvårdssystem.

Introduktionen av livmoderhalscancerscreening försvåras av att kvinnorna har begränsade kunskaper om livmoderhalscancer och saknar erfarenhet av screeningverksamhet i allmänhet. Det råder brist på utbildad vårdpersonal och integrationen av cancerdiagnostik inom primärvården är dåligt utvecklad. Vidare är tillgången till behandling begränsad och kostnadskrävande och cancersjukdomar generellt stigmatiserande. Arbetet försvåras även av bristande infrastruktur och av oklara och otillräckliga riktlinjer. De regulatoriska hindren är ofta betydande eftersom tydliga ramverk för myndighetsgodkännande av ny teknik saknas, vilket fördröjer implemen-

teringen. AI-baserade metoder är dessutom förknippade med utmaningar gällande datalagring och molntjänster. Ett ytterligare problem är gapet mellan innovation och implementering. Nya teknologier utvecklas ofta utan hänsyn till de lokala behoven, vilket gör att de riskerar att bli underutnyttjade. För att övervinna dessa hinder krävs en helhetsyn där beslutsfattare, forskare, finansiärer och vårdpersonal samverkar. Endast då kan diagnostiska innovationer omsättas i bättre hälsoutfall i resursbegränsade miljöer.

Diskussion

Vi har visat att nya AI-baserade metoder för screening av livmoderhalscancer kan implementeras i lågresursmiljöer inom primärvården. Resultat från studier vid större medicinska centra visar att AI-stödd cytologisk screening av livmoderhalscancer kan vara effektiv, tillgänglig och kostnadseffektiv (6), men studierna på primärvårdsnivå i resursbegränsade miljöer är än så länge mycket få. Diagnostiska metoder som tidigare krävde specialkunskaper och manuell tolkning kan i allt högre grad automatiseras, men det finns betydande utmaningar gällande implementeringen av nya metoder, både i höginkomstländer och framför allt i låginkomstmiljöer (7, 8). Även om molekyllära tester för HPV rekommenderas som det primära screeningtestet för livmoderhalscancer(9), behöver cytologibaserade tester omvärderas, eftersom de är lämpade för AI-baserad automatisering och eftersom de sannolikt kommer att förbättra

den diagnostiska träffsäkerheten jämfört med manuell, expertbaserad bedömning (8). Även om ett negativt HPV-test innebär låg risk för livmoderhalscancer under det kommande decenniet, måste kvinnor med ett positivt HPV-test utvärderas (10). För att undvika att överbelasta sjukvårdssystemet med HPV-positiva kvinnor krävs ytterligare triagering för remiss till kolposkopi (11). Resultat från storskaliga studier om AI-stödd cytologisk screening visar att den manuella arbetsbördan minskar avsevärt, antalet falskt negativa provsvar blir färre, screeningstäckningen ökar och tiden för triagering förkortas från några dagar till några timmar (11, 12). I en konsensusstudie med över tjugo experter med erfarenhet av AI-stödd patologi ansågs det mycket sannolikt att cytologisk screening helt och hållet kommer att handhas av AI år 2030 (7).

För att framgångsrikt implementera och skala upp AI-stödd diagnostik i resursbegränsade miljöer är en robust och anpassad infrastruktur avgörande. Det behövs nya metoder som kan fungera tillförlitligt och användas på vårdenheten även utan tillgång till elektricitet och mobilt internet. Dessutom måste de lokala laboratorierna stärkas genom utbildning av personal och tydliga protokoll för kvalitetskontroll. Vår erfarenhet från Kenya och Tanzania är att teknologier måste anpassas till lokala förhållanden och göras kostnadseffektiva, portabla och användbara utan avancerad teknisk expertis.

Det pågår utveckling av nya tekniker, där AI-analyserna utförs lokalt (s.k. *edge AI*) i stället för i molnmiljö. Detta skulle dels möjliggöra att diagnostiken utförs på plats och minskar beroendet av internetuppkoppling och molninfrastruktur, dels ge vårdinrättningar möjlighet att interagera direkt med systemet för provtolkning och rapportering (12). Sådana system kunde med fördel inkludera agentisk (intelligenta system eller "agenter", som uppvisar en högre nivå av autonomi och förmåga att fatta beslut), och multimodal AI, som tillåter triagering av högriskfall för expertgranskning, vilket kan öka den diagnostiska effektivitet och träffsäkerheten.

Åtgärder krävs från flera aktörer. Regeringar och hälsomyndigheter spelar en avgörande roll när det gäller att etablera screeningprogram och hållbara finansieringsmodeller. De flesta låg- och medelinkomstländer förlitar sig fortfarande på allmänna lagar om dataskydd och medicinteknik (13). Lovande initiativ finns för att reglera medicinsk användning

av AI, och riktlinjer har publicerats för hur regelverk kan upprättas (14). Donatorer och finansörer bör inte bara investera i anskaffning av ny teknik utan även stödja långsiktigt kapacitetsbyggande. De som utvecklar tekniken måste arbeta nära lokala vårdinrättningar och patienter för att säkerställa att verktygen är praktiskt användbara, pålitliga och anpassade till de lokala behoven.

För att påskynda implementeringen av AI-baserad diagnostik bör modern teknik inbegripas i nationella cancerkontrollprogram och samarbetet mellan offentliga och privata aktörer främjas för att skala upp användningen av innovationerna på ett ansvarsfullt sätt. Med hjälp av sådana åtgärder kan AI-stödd cytologi bli en central del av en mer jämlik prevention av livmoderhalscancer i resursbegränsade miljöer.

Nina Linder

nina.linder@helsinki.fi

Inga bindningar

Referenser

1. Linder N, Nyirenda D, Mårtensson A, Kaingu H, Ngasala B, Lundin J. Implementing AI-supported cervical cancer screening in resource-limited settings. *BMJ : British Medical Journal*. 2025;In press.
2. Holmström O, Linder N, Kaingu H, Mbuuko N, Mbete J, Kinuya F, Törnquist S, Muinde M, Krogerus L, Lundin M, Diwan V, Lundin J. Point-of-Care Digital Cytology With Artificial Intelligence for Cervical Cancer Screening in a Resource-Limited Setting. *JAMA Network Open*. 2021;4(3):e211740-e.
3. Bruni L, Serrano B, Roura E, Alemany L, Cowan M, Herrero R, Poljak M, Murillo R, Broutet N, Riley LM, de Sanjose S. Cervical cancer screening programmes and age-specific coverage estimates for 202 countries and territories worldwide: a review and synthetic analysis. *The Lancet Global Health*. 2022;10(8):e1115-e27.
4. World Health Organization. Data visualization tools for exploring the global cancer burden in 2022 2022 [18.3.2024]. Tillgänglig på: <https://gco.iarc.fr/today/en>.
5. Pathology Capacity in Sub-Saharan Africa [Internet]. African Strategies For Advancing Pathology. 2019 [cited 10.06.2025]. Tillgänglig på: <https://www.pathologyinafrica.org/surveydata/>.
6. Zhu X, Yao Q, Dai W, Ji L, Yao Y, Pang B, Turic B, Yao L, Liu Z. Cervical cancer screening aided by artificial intelligence, China. *Bull World Health Organ*. 2023;101(6):381-90.
7. Berbis MA, McClintock DS, Bychkov A, Van der Laak J, Pantanowitz L, Lennerz JK, Cheng JY, Delahunt B, Egevad L, Eloy C, Farris AB, III, Fraggetta F, García del Moral R, Hartman DJ, Herrmann MD, Hollemans E, Iczkowski KA, Karsan A, Kriegsmann M, Salama ME, Sinard JH, Tuthill JM, Williams B, Casado-Sánchez C, Sánchez-Turrión V, Luna A, Aneiros-Fernández J, Shen J. Computational pathology in 2030: a Delphi study forecasting the role of AI in pathology within the next decade. *eBioMedicine*. 2023;88.
8. von Bahr J, Diwan V, Mårtensson A, Linder N, Lundin J. Artificial intelligence-supported digital microscopy diagnostics in primary health care laboratories: a scoping review. *JMIR Preprints*. 2025.
9. World Health Organization. WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee. WHO guideline for screening and treatment of cervical pre-cancer lesions for cervical cancer prevention. Geneva: World Health Organization. © World Health Organization 2021.; 2021.
10. Perkins RB, Wentzensen N, Guido RS, Schiffman M. Cervical Cancer Screening: A Review. *JAMA*. 2023;330(6):547-58.

-
11. Wentzensen N, Lahrmann B, Clarke MA, Kinney W, Tokugawa D, Poitras N, Locke A, Bartels L, Krauthoff A, Walker J, Zuna R, Grewal KK, Goldhoff PE, Kingery JD, Castle PE, Schiffman M, Lorey TS, Grabe N. Accuracy and Efficiency of Deep-Learning-Based Automation of Dual Stain Cytology in Cervical Cancer Screening. *J Natl Cancer Inst.* 2021;113(1):72-9.
 12. Kurita Y, Meguro S, Kosugi I, Enomoto Y, Kawasaki H, Kano T, Saitoh T, Shinmura K, Iwashita T. Enhancing cervical cancer cytology screening via artificial intelligence innovation. *Scientific Reports.* 2024;14(1):19535.
 13. Townsend BA, Sihlahla I, Naidoo M, Naidoo S, Donnelly DL, Thaldar DW. Mapping the regulatory landscape of AI in healthcare in Africa. *Front Pharmacol.* 2023;14:1214422.
 14. World Health Organization. Regulatory considerations on artificial intelligence for health2023 31.05.2025 [cited 2025 31.05.2025];[61 p.]. Tillgänglig på: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240078871>.

Summary

Experience with Artificial Intelligence-based Cervical Cancer Screening in East Africa

Our experience with AI-based cervical cancer screening in East Africa shows that digital diagnostics is feasible at the primary healthcare level in low-resource settings. Success depends on adapting technology to local conditions and integrating it into functioning health systems. Artificial intelligence has great potential to improve access to cervical cancer screening with high diagnostic accuracy and cost-effectiveness. However, modern AI technology alone is not enough. Practical implementation requires investments in infrastructure, staff training, and reliable access to treatment. Sustainable improvements and equitable access can be achieved through integrated, locally grounded approaches based on modern AI-powered diagnostics.

Smartklockor som verktyg för att mäta samspelet mellan hjärtrytm och andning

En ny metod för att undersöka dysautonomi efter covid-19

GUSTAF KRANCK

Störningar i det autonoma nervsystemet – dysautonomi – har uppmärksammats som en möjlig orsak till långvariga symtom efter covid-19, såsom trötthet, hjärklappning och posturala besvär. Traditionellt har utredning av autonom dysfunktion varit förknippad med både tidskrävande och resurskrävande mätningar på sjukhus. Samtidigt har över 200 miljoner EKG-aktiverade smartklockor sålts globalt, vilket öppnar möjligheten för kontinuerlig, hemmabaserad monitorering av hjärtats autonoma reglering.

I denna artikel beskrivs en ny metod, där samspelet mellan hjärtrytm och andning mäts med en smartklocka som registrerar EKG i sittande och stående ställning under kontrollerad andning. Förhållandet mellan S- och R-vågornas amplitud (S/R-kvot) har visat sig spegla graden av vagal synkronisering mellan hjärta och andning. Vid dysautonomi, såsom posturalt ortostatiskt takykardisyndrom (POTS) efter covidinfektion, ökar S-vågens relativa amplitud och S/R-kvoten blir mer negativ.

Metoden ger nya biomarkörer för autonoma störningar och möjliggör långtidsuppföljning i hemmiljö. Resultat från en patient med långvarig covidsymtomatik visar att förbättring av hälsotillståndet över tid åtföljdes av normaliserad S/R-kvot och hjärtfrekvensvariabilitet (HRV). Tekniken kan därmed bidra till bättre diagnostik och uppföljning av patienter med långvariga postinfektiösa tillstånd.

Inledning

Efter pandemin har ett betydande antal patienter rapporterat kvarstående trötthet, hjärklappning, blodtrycksvariationer och kognitiva symtom flera månader efter en covid-19-infektion. Dessa symtom sammanfattas ofta under begreppet postcovid och överlappar med tillstånd som posturalt ortostatiskt takykardisyndrom (POTS) och kroniskt trötthetssyndrom (CFS). Flera studier tyder på att störningar i det autonoma nervsystemet – framför allt i vagusnervens reglering av hjärta och andning – spelar en central roll (1, 2).

Utredning av autonom dysfunktion har traditionellt krävt specialutrustning och övervakning på sjukhus. Behovet av tillgängliga metoder för objektiv, upprepad mätning i hemmiljö har därför ökat. Med den snabba utvecklingen av smartklockor som kan registrera EKG uppstår nu nya möjligheter för distansbaserad diagnostik.

SKRIBENTEN

Gustaf Kranck, M.Sc., grundare av och vd för Vagus Health Ltd, Cambridge, UK. Verksam inom utveckling av digital hälsoteknik för diagnostik och stimulering av vagusnerven.

Fysiologisk bakgrund

Hjärtrytmerna påverkas kontinuerligt av andningen via den så kallade respiratoriska sinusarytmin (RSA). Vid inandning minskar vagusaktiviteten och stiger hjärtfrekvensen, medan utandning ökar vagustonus och sänker hjärtfrekvensen (3, 4). En välfungerande vagal kontroll leder till ett regelbundet växlande mönster mellan hjärtrytm och andning – en synkronisering som speglar kroppens förmåga till autonom balans.

Vid dysautonomi rubbas denna balans. Det leder till så kallad kardiorespiratorisk vagal desynkronisering, som kan manifesteras i förändrad hjärtfrekvensvariabilitet (HRV) och förändringar i EKG-morfologi, framför allt i förhållandet mellan S- och R-vågorna i QRS-komplexet (5, 6).

Smartklockans roll i autonom monitorering

De flesta medicinskt certifierade smartklockor mäter en enkel avledning motsvarande avledning I på ett standard-EKG. Genom att analysera rådata kan man beräkna biomarkörer som speglar hjärtats elektriska aktivitet under olika fysiologiska tillstånd.

I Vagus Healths databas, som omfattar över 50 000 EKG-registreringar från drygt 2 800 användare, har man observerat att den genomsnittliga S/R-kvoten hos friska personer är cirka -0,3, vilket innebär att R-vågen normalt är omkring tre gånger högre än S-vågen. Vid autonom dysreglering tenderar S-vågen att relativt höja R-vågen, särskilt vid stående (7).

Postural testning med kontrollerad andning

Det testprotokoll som utvecklats av Vagus Health kombinerar en enkel ändring av kroppsställning med kontrollerad andning (0,1 Hz; 5 s inandning, 5 s utandning). Testet utförs genom att användaren först registrerar ett 30 sekunders EKG sittande med armbågarna stödda på bordet, därefter direkt ett nytt EKG i stående ställning med armbågarna i brösthöjd (figur 1). Resultaten analyseras automatiskt i realtid via appen Breathe Flow och en molnbaserad plattform som genererar över 40 biomarkörer per test.

Fallbeskrivning

I en nyligen publicerad fallrapport (8) beskrivs en 35-årig man med långvarig covidsymtomatik, POTS och uttalad trötthet. Under sex månader registrerade han 328 EKG-mätningar enligt ovanstående protokoll. I början av perioden noterades tydlig skillnad i hjärtfrekvens mellan sittande och stående (upp till +30 slag/min) samt en starkt negativ S/R-kvot (under -1,0), vilket tydde på uttalad vagal desynkronisering.

När patientens tillstånd successivt förbättrades normaliserades värdena: HRV ökade, S/R-kvoten närmade sig normalvärden och postural takykardi försvann. Subjektiv hälsa skattad med EQ-5D-5L följde samma mönster.

Möjliga fysiologiska mekanismer

Förändringar i S-vågens amplitud kan spegla variationer i hjärtats elektriska ledningsvägar och kontraktilitet, som påverkas av blodvolymfördelning och autonom tonus. Vid POTS och liknande tillstånd aktiveras det sympatiska nervsystemet kraftigt vid uppresning, medan parasympatisk aktivitet dämpas (9). Resultatet blir en förskjutning i depolariseringsmönstret som kan avspeglas som ökad S-våg.

En återgång mot normal S/R-kvot tyder därför på förbättrad balans mellan sympatik och parasympatik, en möjlig fysiologisk markör för återhämtning efter dysautonomi.

Klinisk betydelse

Den presenterade metoden erbjuder flera praktiska fördelar:

- Tillgänglighet: smartklockor med EKG-funktion är redan utbredda bland befolkningen.
- Standardiserbarhet: testprotokollet är enkelt att utföra hemma med vägledning via app.

HUVUDBUDSKAP:

- Smartklockor med EKG-funktion möjliggör enkel och tillgänglig mätning av hjärtats autonoma reglering i patientens hemmiljö.
- Posturala tester med kontrollerad andning ger reproducerbara data om hur det autonoma nervsystemet reagerar på förändringar i kroppsställning.
- Förändringar i S/R-kvot och hjärtfrekvensvariabilitet (HRV) följer patientens kliniska tillstånd och kan användas för att följa återhämtning vid långvariga postcovidsymtom.
- Artificiell intelligens kan bearbeta stora datamängder från smartklockor och identifiera mönster i autonom reglering som stöd för diagnostik och forskning.
- Kombinationen av bärbar sensorteknik, fysiologisk förståelse och AI-analys öppnar för en ny generation digitala metoder för att diagnostisera och följa dysautonomi.

Hand-till-hand EKG registreras med en smartklocka, medan man utför diafragmatisk kontrollerad andning vid 0,1 Hz: 5 sekunders inandning följt av 5 sekunders utandning.

Sittande: Analys av vagusnervens funktion med hjälp av EKG-övervakning med smartklocka i sittande ställning (med händer och armbågar på bordet) medan kontrollerad andning utförs (märkt "sittande").



Stående: Analys av vagusnervens funktion med hjälp av EKG-övervakning med smartklocka omedelbart efter att man har rest sig upp. Händer och armbågar ska vila mot en plan yta i brösthöjd, medan man förblir stående (märkt "stående").



Figur 1. Illustration av mätprotokollet med kontrollerad andning i sittande och stående ställning.

- Uppföljning: upprepade mätningar möjliggör objektiv bedömning av sjukdomsförlopp och behandlingseffekt.
- Forskningspotential: stora mängder realtidsdata kan analyseras med artificiell intelligens (AI) för att identifiera nya mönster av autonom dysreglering.

Metoden är inte avsedd att ersätta klinisk diagnostik, men kan fungera som komplement för uppföljning av patienter med långvarig trötthet, POTS eller andra postinfektiösa autonoma störningar.

Framtida utveckling

Kombinationen av bärbar sensorteknik och AI-baserad signalanalys öppnar möjligheter för ny diagnostik inom kardiologi och neurofysiologi. Genom att analysera förändringar i S/R-kvot, HRV och RSA kan man skapa en helhetsbild av hur hjärta och andning samspelar över tid.

Hypotesen är att dessa biomarkörer inte bara speglar autonom återhämtning efter covid-19, utan även kan användas vid andra tillstånd där vagusnervens funktion påverkas, såsom diabetesneuropati, inflammatoriska tillstånd eller kronisk stress.

Användning av artificiell intelligens (AI)

Vagus Health har artificiell intelligens (AI) i flera delar av sin verksamhet för att stödja medicinsk forskning, dataanalys och patientkommunikation. Företaget använder AI som ett verktyg för att effektivisera informationshantering, identifiera nya samband i data och förbättra förståelsen för hälsa och välbefinnande. Den centrala teknologin bygger på moderna språkmodeller, främst i form av Chat GPT från Open AI.

Användning av chattbot

En av de primära tillämpningarna av AI inom Vagus Health är den interaktiva chattbotten som baseras på Chat GPT. Chattbotten används för att kommunicera med användare på ett effektivt, tillgängligt och empatiskt sätt. Den kan besvara frågor, förklara medicinska begrepp och stödja patienter i deras förståelse av behandlingsprogram. Vid så kallad *promptning*, det vill säga när systemet instrueras eller får frågor, är en central princip att *ingen personlig information* överförs till Chat GPT eller Open AI. Denna designprincip garanterar att patienternas integritet bibehålls fullt ut och att konversationer aldrig innehåller identifierbara data.

Tabell 1. Exempel på biomarkörer som genereras: S/R-kvot, HRV (SDNN), RSA-index och hjärtfrekvensskillnad mellan sittande och stående.

Månad	Hälsotillstånd	Genomsnittlig S/R-kvot (Sittande)	Genomsnittlig S/R-kvot (Stående)	Genomsnittlig HRV (SDNN, ms) Alla tester	Genomsnittligt RSA-index Alla tester
Januari	Trött	-0,35	-1,22	95	76
Februari	Allvarlig trötthet	-0,3	-0,92	101	77
Mars	Trött	-0,32	-0,77	103	82
April	Förbättrad	-0,31	-0,71	106	75
Maj	Förbättrad	-0,27	-0,42	128	80
Juni	Förbättrad	-0,24	-0,44	129	83
Juli	Förbättrad	-0,24	-0,34	135	88
Augusti	Tillfällig återgång	-0,25	-0,49	133	84

Databearbetning och analys

För att utnyttja AI:s potential inom medicinsk analys har Vagus Health utvecklat en *anonymiserad data-plattform*. All kunddata hanteras i två parallella system:

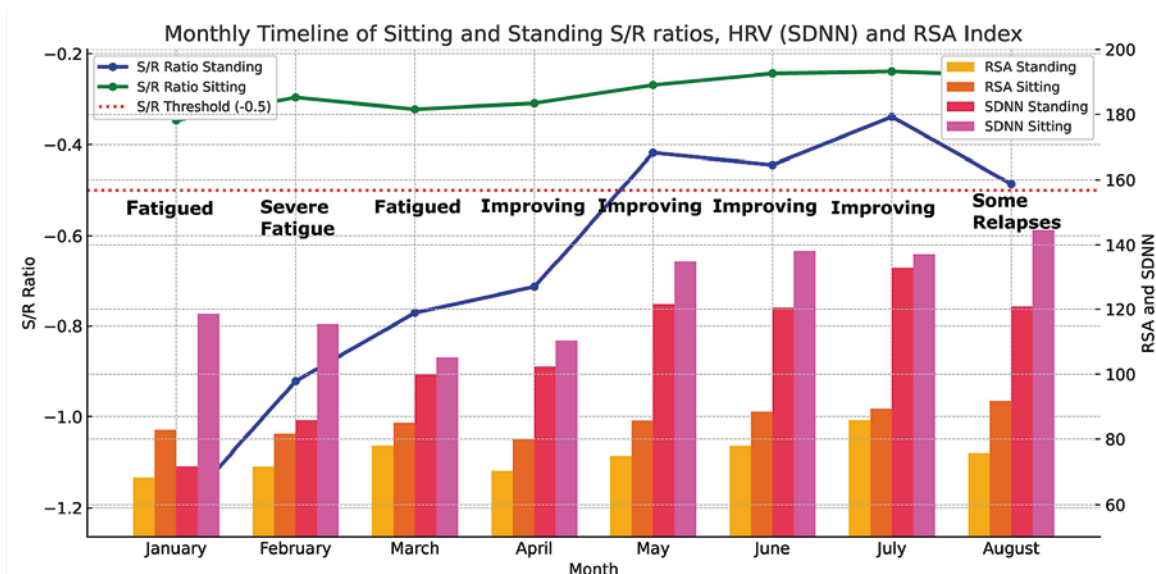
1. En originaldatabas som innehåller personuppgifter.
2. En fullständigt anonymiserad databas, där samtliga identifierande element (som namn, personbeteckning och kontaktinformation) har tagits bort eller ersatts med neutrala tokens.

Endast den anonymiserade databasen görs tillgänglig för Chat GPT vid dataanalys. På så sätt kan AI-modellen användas för att identifiera mönster, kopplingar och korrelationer i stora datamängder utan att kompromettera någon individs integritet.

Resultat och insikter

Denna metodik har visat sig vara mycket givande. Genom att låta Chat GPT analysera de anonymiserade datamängderna har Vagus Health fått fram nya och oväntade insikter om samband mellan olika hälsovariabler, beteendemönster och behandlingsutfall. AI-drivna analyser har kompletterat traditionella statistiska metoder och bidragit till ett mer holistiskt och dynamiskt synsätt på medicinsk forskning.

Genom en strikt integritetsmodell och en välgenomtänkt teknisk infrastruktur har Vagus HealthAI etablerat ett robust ramverk för användning av AI inom medicinsk verksamhet. Kombinationen av avancerad språkmodellering, anonymiserad datahantering och etisk medvetenhet har gjort det möjligt att förena innovation med ansvar och skapa



Figur 2. Exempel på förändring av S/R-kvot och HRV över tid hos patienten.

en väg framåt, där AI kan bidra till både vetenskapliga framsteg och ökad patientnytta.

Slutsatser

Smartklockor med EKG-funktion erbjuder ett nytt, lättillgängligt sätt att mäta samspelet mellan hjärta och andning. Med AI kan man samla bättre kvalitetsdata (chattbot) och få nya insikter via komplexa databaser. Analys av S/R-kvot och relaterade biomarkörer kan ge värdefull information om autonom funktion och dess förändring över tid. Den presenterade metoden kan bidra till tidig upptäckt och uppföljning av dysautonomi efter covid-19 och potentiellt även vid andra kroniska tillstånd.

Gustaf Kranck
gustaf@vagus.co

Bindningar: Författaren är grundare av och vd för Vagus Health Ltd, som tillhandahåller den analysplattform som beskrivs i artikeln. Inga andra bindningar rapporteras.

Referenser

1. Fedorowski A, Fanciulli A, Raj SR, Sheldon R, Shibao CA, Sutton R. Cardiovascular autonomic dysfunction in post-COVID-19 syndrome: a major health-care burden. *Nat Rev Cardiol*. 2024;21(6):379-95.10.1038/s41569-023-00962-3.
2. Grossman P, Taylor EW. Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions. *Biol Psychol*. 2007;74(2):263-85.10.1016/j.biopsycho.2005.11.014.
3. Berntson GG, Cacioppo JT, Quigley KS. Respiratory sinus arrhythmia: autonomic origins, physiological mechanisms, and psychophysiological implications. *Psychophysiology*. 1993;30(2):183-96.10.1111/j.1469-8986.1993.tb01731.x.
4. Malik M, Bigger JT, Camm AJ, Kleiger RE, Malliani A, Moss AJ, Schwartz PJ. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*. 1996;17(3):354-81.10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868.
5. Jones AY, Kam C, Lai KW, Lee HY, Chow HT, Lau SF, Wong LM, He J. Changes in heart rate and R-wave amplitude with posture. *Chin J Physiol*. 2003;46(2):63-9.
6. Raunio H, Rissanen V, Lampainen E. Significance of a prominent S wave in leads I and V6 in the electrocardiograms of middle-aged and elderly hospital patients. *Ann Clin Res*. 1976;8(6):347-58.
7. Vagus Health Ltd. Database report. 2024.
8. Kranck G, Ståhlberg M, Andersson U, Lundin J, Fedorowski A. Monitoring of cardiorespiratory vagal desynchrony using novel biomarkers derived from smartwatch electrocardiograms in a patient recovering from long COVID: case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2025;9(10):ytaf425.10.1093/ehjcr/ytaf425.
9. Okamoto LE, Raj SR, Peltier A, Gamboa A, Shibao C, Diedrich A, Black BK, Robertson D, Biaggioni I. Neurohumoral and haemodynamic profile in postural tachycardia and chronic fatigue syndromes. *Clin Sci (Lond)*. 2012;122(4):183-92.10.1042/cs20110200.

Summary

Smartwatches for Monitoring Heart-breathing Synchronization – a New Approach to Assessing Dysautonomia after COVID-19

Autonomic dysfunction, including postural orthostatic tachycardia syndrome (POTS), has emerged as a major cause of persistent symptoms after COVID-19. This article describes a novel smartwatch-based electrocardiogram (ECG) protocol combining posture change and controlled breathing to assess cardiorespiratory synchronization. The S/R amplitude ratio derived from the ECG serves as a new biomarker for vagal function. In a patient recovering from long COVID, normalization of S/R ratio and heart rate variability paralleled clinical improvement. The method offers a simple, standardized tool for remote monitoring of dysautonomia.

AI-baserad påvisning av *Toxocara*-ägg med hjälp av mobilkamera försedd med försättslins – en attraktiv modell för att påvisa maskinfektioner i resursfattig miljö?

EWERT LINDER

Artikeln beskriver hur AI-baserad bildanalys i kombination med mobiltelefonmikroskopi kan användas för att påvisa *Toxocara*-ägg i avföringsprov. Det är en metod som är särskilt relevant i resursfattiga miljöer där traditionell mikroskopi är svår att genomföra. *Toxocara* är en global zoonos där hundar och katter fungerar som reservoarer, och kontroll av infekterade djur kan minska risken för human toxocariasis. Eftersom diagnosen inte kräver humanprover lämpar sig *Toxocara* som modell för utveckling av enklare diagnostik av maskinfektioner ur ett One Health-perspektiv.

Min studie visar att mobilkameror utrustade med enkla försättslinser (5–10 gångers förstoring) kan generera bilder av tillräckligt god kvalitet för att AI ska kunna identifiera maskägg även när den visuella bedömningen är svår. Bildserier i olika fokalplan, exempelvis via Live Photo"- eller burst-funktion, förbättrar träffsäkerheten ytterligare. En algoritm tränades på digitala bilder från avföringsprov med verifierade *Toxocara*-ägg, och preliminära resultat visar god prestanda, särskilt med högkvalitativa makrolinser.

Metoden kräver minimal utrustning och utbildning och möjliggör fjärrbaserad diagnostik genom uppladdning av bilder till molnbaserade analysnoder. Den föreslagna modellen framstår därmed som ett kostnads- och resurseffektivt sätt att stärka kontrollen av maskinfektioner i låginkomstregioner.

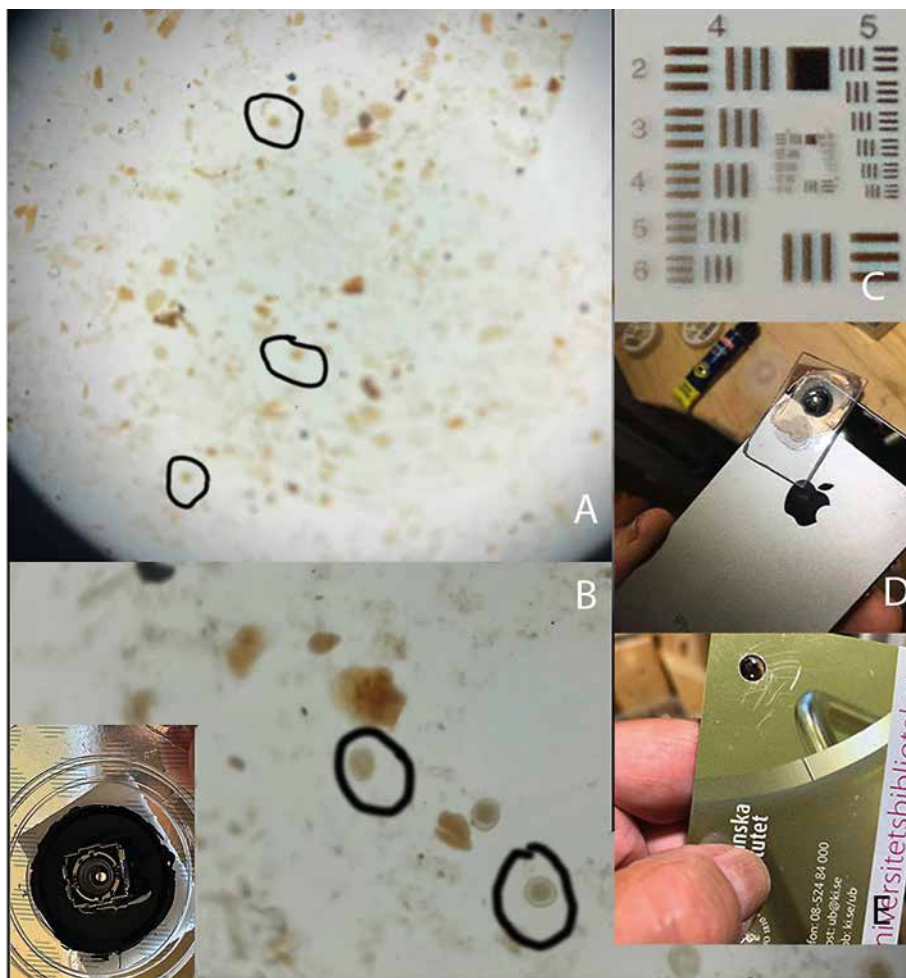
Inledning

Avsikten är att automatiskt identifiera *Toxocara*-ägg med hjälp av bildanalys. Konventionell diagnostik baserad på mikroskopi är tidskrävande och beroende av utbildad personal, vilket begränsar dess användning i resursfattiga miljöer. Nya tillämpningar av artificiell intelligens (AI) möjliggör däremot fjärrbaserad diagnostik baserad på digitala bilder tagna med mobilkamera och enkel försättslins.

Eftersom maskinfektioner hos människor i fattiga endemiska områden är ett mångfacetterat problem, som ofta är förknippat med djupt rotade vanor och sedvänjor, är det en

SKRIBENTEN

Ewert Linder, professor emeritus i parasitologi. Han var chef för parasitologiska avdelningen vid Statens bakteriologiska laboratorium (senare Smittskyddsinstitutet) i Stockholm 1982–2003 och adjungerad professor vid Karolinska Institutet där 1995–2003. Hans arbete har fokuserat på diagnostik av maskinfektioner, kvalitetssäkring av parasitologiska laboratorier samt utveckling av digitala och datorstödda metoder, ofta med global hälsa och resursfattiga miljöer i åtanke.



Figur 1A. Lågupplöst bild av avföringsprov från hund erhållit från ett laboratorium för veterinärmedicinsk diagnostik. Provet undersöktes med kameran på en mobiltelefon av märket Apple Iphone och kameran var försedd med en 7 gånger förstörande försättslins. *Toxocara*-ägg kunde – dock med viss osäkerhet – ses vid visuell inspektion (i bilden märkta med cirklar). Vid undersökning med en försättslins av högre kvalitet (inverterad kameramodul i en Nokia E71 placerad framför linsen i en Iphone med hjälp av dubbelsidigt te) kunde dock *Toxocara*-ägg med säkerhet påvisas. **Figur 1B.** Bilder tagna med dubbelkonvexa linser av olika ursprung med 5–10 gångers förstoring (visar två olika linser: dels i **figur 1D** limmad på en akrylskiva försedd med ett 6 millimeter stort hål för linsen, dels i **figur 1E** limmad på ett kreditkort som fästes med dubbelsidig tejp på mobilen) gav bilder med en upplösning på cirka 70 linjepar per millimeter (USAF 1951 resolution chart [grupp 5, element 5–9], **figur 1C**) motsvarande ungefär 1/100 mm. Dessa bilder utgjorde basen för den algoritm som presenteras i detta arbete.

fördel om interventionen i första hand riktar sig mot husdjur. *Toxocara*-infektioner kan därför tjänstgöra som modell för diagnostik av flera olika maskinfektioner hos människor.

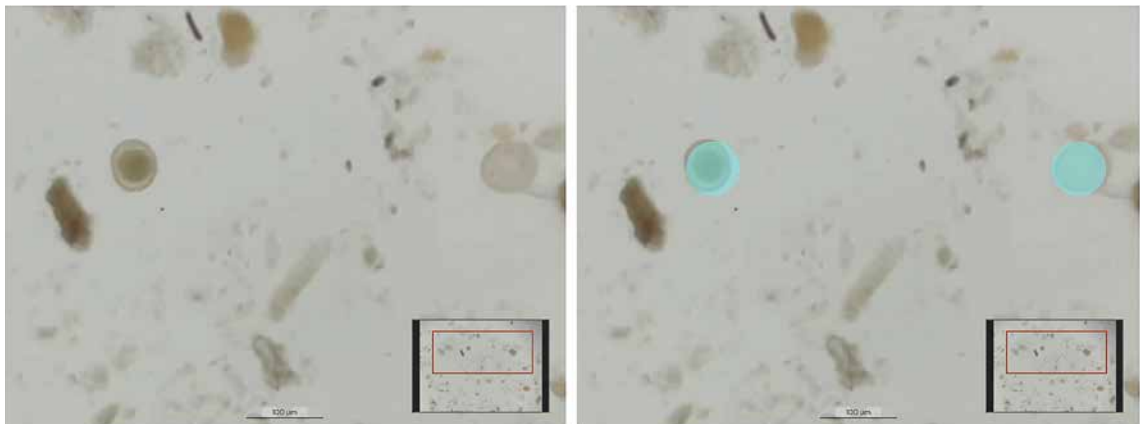
Toxocariasis är en av världens mest spridda zoonoser, där hundar och katter fungerar som parasitvärd och reservoar. Äggen som utsöndrats med avföringen mognar till ett infektiöst stadium, *larva migrans*, som hos infekterade människor bland annat kan söka sig till

ögonbotten. Kontroll av sjukdomen genom fokusering på smittkällan och effektivisering av diagnostiken kan minska förekomsten av humaninfektioner på ett kostnads- och resurseffektivt sätt.

Bakgrund

Toxocara-infektioner orsakas av rundmaskarna *Toxocara canis* och *Toxocara cati*, som

¹ Metoden att ta flera bilder av ett tredimensionellt objekt så gott som samtidigt kallas ofta för "focus stacking". Metoden möjliggör skarp avbildning både av större objekt och av händelser som befinner sig i olika fokalplan vid en viss tidpunkt.



Figur 2. Automatiserad detektion av *Toxocara*-ägg i bild tagen med mobilkamera försedd med enkel försättslins. Vänster panel visar originalbilden; höger panel visar AI-modellens prediktioner markerade med färgade överlägg. Modellen tränades med hjälp av djupinlärning för att identifiera ägg i bildserier tagna i olika fokalplan med kamerans Live-photo eller burst-funktion.

infekterar hundar respektive katter. Ägg som utsöndras med avföringen kan överleva länge i miljön och infektera människa som oavsiktlig värd och utveckla ett larvstadium, *larva migrans*, i kroppens vävnader. Infektionen är global och särskilt vanlig i tropiska och subtropiska områden med stora populationer av herrelösa djur och bristande sanitet (2–4). Kontroll av dessa infektioner kräver effektiva diagnostiska metoder för att identifiera infekterade djur. Traditionell mikroskopi är fortfarande standard men kräver omfattande utbildning och laboratorieresurser, vilket ofta saknas där sjukdomsbördan är störst.

Maskäggen har en storlek på 60–90 mikrometer, och storleken och de optiska egenskaperna motsvarar i stort sett dem man ser hos andra parasitära maskar. Trots att *larva migrans* är sällsynt och *Toxocara*-infektioner inte primärt drabbar människan, kan infektionen ha betydelse som modell för diagnostikutveckling för masinfektioner generellt. Att studera *Toxocara* verkar ha vissa fördelar ur ett "One Health"-perspektiv, utöver de som är direkt förknippade med just denna zoonos hos hundar och katter, eftersom man inte behöver involvera infekterade människor.

Metoder och tillämpning av AI-baserad bildanalys

Artificiell intelligens (AI) och bildanalys (*Image Analysis, IA*) kan tillämpas för att automatiskt känna igen *Toxocara*-ägg i digitala

mikroskopibilder. I resursbegränsade miljöer kan sådana bilder tas med mobiltelefon och en enkel försättslins som förstörar 4–10 gånger. Bildserier i olika fokalplan, till exempel tagna med mobilkamerans *Live Photo*-funktion, *focus stacking* eller *burst*-funktion², ökar mängden användbara bilddata och förbättrar modellens träffsäkerhet. Liknande metoder har tidigare framgångsrikt använts för att identifiera ägg av *Schistosoma haematobium* och andra helminter i fält (6). Kombinationen av mobilmikroskopi och AI gör det möjligt att överföra bilddata till molnbaserade analysnoder, där diagnostiken kan utföras automatiskt och på distans.

En algoritm utvecklades för att påvisa *Toxocara*-ägg utsöndrade i avföringen hos infekterade hundar. Material erhöles från det veterinärmedicinska laboratoriet *Vidilab* (<https://www.vidilab.se>). Avföringsprover med ägg av *Toxocara* påvisade med gängse parasitologisk metodik fotograferades med en kameraförsedd mobiltelefon. Kameran modifierades för makrofotografi genom att den försågs med en försättslins. Enkla bikonkava linser utvärderades med en högupplösande linsmodul som referensmetod.

För att utvärdera användbarheten av enkla dubbelkonvexa lågförstorande (510 gånger motsvarande ungefär 25–30 dioptrier) linser användes en högupplösande kameramodul från en mobiltelefon (Nokia E71, Nokia, Finland) som positiv kontroll. Digitala bilder annoterades för specifik påvisning av

² Metoden har varit känd sedan åtminstone tio år tillbaka och har publicerats i sociala medier som ett sätt att åstadkomma makrofotografier. (Se t.ex. Sharath Prakash. Reversed-Lens & Cellphone Macro Photograph, Amazing Macro Pictures on the Cheap! www.instructables.com)

Toxocara-ägg med hjälp av en molnbaserad tjänst för träning av AI (Aiforia Create, Aiforia Technologies, Helsingfors). Dessa annoterade bilder användes sedan för att träna ett neuralt nätverk, som automatiskt lärde sig att känna igen de visuella mönster som är typiska för *Toxocara*-ägg. Efter den initiala träningen testades modellen på nya bilder. Eventuella felklassificeringar ledde till ytterligare annotationer och omträning för att successivt förbättra precisionen. När modellen nått tillräckligt stor noggrannhet kunde den användas för att automatiskt identifiera *Toxocara*-ägg i nya prov, även i bilder med varierande kvalitet eller där äggen var svåra att urskilja visuellt.

Resultat och diskussion

Preliminära resultat tyder på att högupplösta bilder erhållna med makrolins bestående av en inverterad mobilkameramodul² gav bilder som enkelt kunde identifieras som *Toxocara*-ägg också visuellt, medan äggen i lågupplösta bilder ofta var svåra att identifiera dels på grund av att de inte låg i fokus, dels för att upplösningen gav mindre typiska bilder. Dessa kunde dock identifieras med ökad tillförlitlighet när bilderna analyserades med AI och när ett större material stod till förfogande i bildserier tagna i olika fokalanplan med mobilkamerans *Live Photo*- eller *burst*-funktion. Den beskrivna modellen för påvisning av *Toxocara*-ägg är en preliminär

studie som stöder tanken på att enkel utrustning kan möjliggöra utveckling av rutiner för att kontrollera maskinfektioner i fattiga endemiska områden, speciellt om det sker i kombination med fjärrbaserad AI-diagnostik. Eftersom systemet kräver begränsad lokal utbildning och utrustning, kan det vara särskilt väl lämpat för låginkomstområden och diagnostik som inte är beroende av humanprov. Verksamheten kan bedrivas globalt ur ett "One Health"-perspektiv – från centraliserad laboratoriemiljö till fältbaserad, digital och automatiserad analys av stora provmängder.

Ewert Linder
ewertlinder@icloud.com

Inga bindningar

Referenser

1. Macpherson CNL. A walk on the wild side: A review of the epidemiology of *Toxocara* and the role of paratenic hosts. *Parasite Epidemiol Control*. 2023;23:e00312.
2. Holland CV, Smith HV. The epidemiology and control of *Toxocara canis* in puppies: A review. *Parasitology*. 2020;147(7):795–807.
3. Rostami A, Ma G, Wang T, et al. Dog and cat contact as risk factors for human toxocariasis: A global systematic review and meta-analysis. *Front Public Health*. 2022;10:854468.
4. Ma G, Holland CV, Wang T, Hofmann A, Fan CK, Maizels RM, et al. Toxocariasis: a silent threat with a progressive public health impact. *Infect Dis Poverty*. 2018;7(1):59.
5. Bogoch II, Lundin J, Lo NC, Andrews JR. Mobile phone and handheld microscopes for public health applications. *Lancet Public Health*. 2017;2(8):e355.
6. Holmström O, Linder N, Ngasala B, et al. Point-of-care mobile digital microscopy and deep learning for the detection of soil-transmitted helminths and *Schistosoma haematobium*. *Glob Health Action*. 2017;10(suppl 3):1337325.

Summary

AI-based detection of Toxocara eggs with a mobile phone camera equipped with a simple biconcave lens – a useful model to detect worm infections in low-resource regions

We here suggest that a simple biconcave lens allows for macro-photography with a standard mobile phone camera to generate images with a resolution sufficient for AI based detection of helminth eggs based on image analysis (IA).

As toxocariasis is a zoonotic infection and its control does not involve samples of human origin it appears to be a useful model to develop for control of worm infections in general in endemic low income regions.

Toxocara infections are among the most widespread zoonoses globally, with dogs and cats acting as reservoirs. Conventional microscopy-based diagnostics is time-consuming and requires skilled personnel, limiting access in low-resource settings.

Macro-photography using simple low power biconcave lenses give images having sufficient resolving power to allow for image analysis also in cases where visual inspection may be demanding. In addition, the "burst function" allows for an about tenfold increase in sample material for analysis in different focal planes of the samples. New applications of artificial intelligence (AI) enable remote diagnostics using mobile phone cameras with simple optical attachments. and automated image analysis can identify parasite eggs with high precision.

Johan Lundin ser oerhörd potential i medicinsk artificiell intelligens

Mänsklig expertis överträffar fortfarande medicinsk artificiell intelligens, särskilt när det gäller att tolka betydelsen av avvikelser i prover.

– Men vi kommer att se automatiserade AI-processer i mycket större utsträckning i medicinen, säger Johan Lundin, samtidigt som han påpekar att det kan vara långt dit. Många skulle bli förvånade om de visste hur lite medicinsk AI nu faktiskt används, tillägger han.

Lundin är inte bara professor i medicinsk teknologi vid Karolinska Institutet i Stockholm, med målsättningen att omsätta AI-metoder i praktiska kliniska studier i lågresursområden. Han är också forskningsdirektör vid Institutet för molekyylär medicin i Finland med inriktning på digital AI-baserad diagnostik. Lägga till att hans idéer har genererat omfattande forskning och gett upphov till bolag som på olika sätt använder medicinsk AI.

Vägen hit slog han in på redan i ungdomen, när han och hans yngre bror **Mikael** någon gång på 1980-talet fascinerades av spelprogrammering på hemdator i Hangö.

– Mikael som är fyra år yngre lärde sig tidigt programmera. Självlärde jag mig grunderna för programmering i 18–20-årsåldern och de spelbara spel som vi gjorde gav insikt om att tekniken kunde tämjäs, också för att göra nytta.

Under läkarstudierna var Lundin sedan bland de första som använde textbehandling. För doktorsavhandlingen forskade han i cancerbiomarkörer på Kirurgiska sjukhuset i Helsingfors med professorerna **Caj Haglund** och **Peter Roberts** som handledare – då var hans avsikt att bli kirurg.

Han började också tidigt hantera sina data på dator, vilket var nytt på den tiden. På Kirran stod en Macintosh, minns han. Den använde han för grafer och modeller för utfallsbedömning.

Det ledde till att han, när han år 1996 disputerade om cancermarkörer i

pankreascancer, också bemästrade den nyaste datatekniken.

Sporrande nyfikenhet

– Jag har alltid varit intresserad av teknik och när jag hör om en ny lösning funderar jag genast på hur den kunde användas för medicinska ändamål.

Vilket kan förklara att han efter att ha doktorerat började specialisera sig i ögonsjukdomar, där tekniken är central, men hoppade av ungefär halvvägs. Parallellt hade han fortsatt med postdocforskning i nära samarbete med professor **Heikki Joensuu** på Cancerkliniken och småningom tog forskningen över.

– När artificiell intelligens mot slutet av 1990-talet introducerades som ett mycket kraftfullt, tekniskt redskap satte jag mig in i det, för att det fascinerade mig. På 90-talet deltog jag i kongresser om medicinsk AI, då främst med fokus på expertsystem.

Ungefär samtidigt lanserades artificiella neurala nätverk, som är grunden för dagens AI och i det skedet kontaktade han Heikki Joensuu och föreslog en AI-studie kring bröstcancer.

Det ledde till att de tillsammans startade FinProg, ett riksomfattande forskningsprojekt med såväl kliniska uppgifter som vävnadsprover från mer än 2 000 finländska kvinnor med bröstcancerdiagnos. För varje kvinna hantlades 50–100 variabler, allt från ålder till patologiska uppgifter om tumörtyp

och -storlek, med huvudmålsättningen att identifiera svår sjukdom med tanke på optimal behandling. Projektet fortsätter delvis än och då 10-, 15- och 20-årsuppföljningar av faktiskt utfall gjordes ökade databankens betydelse kontinuerligt.

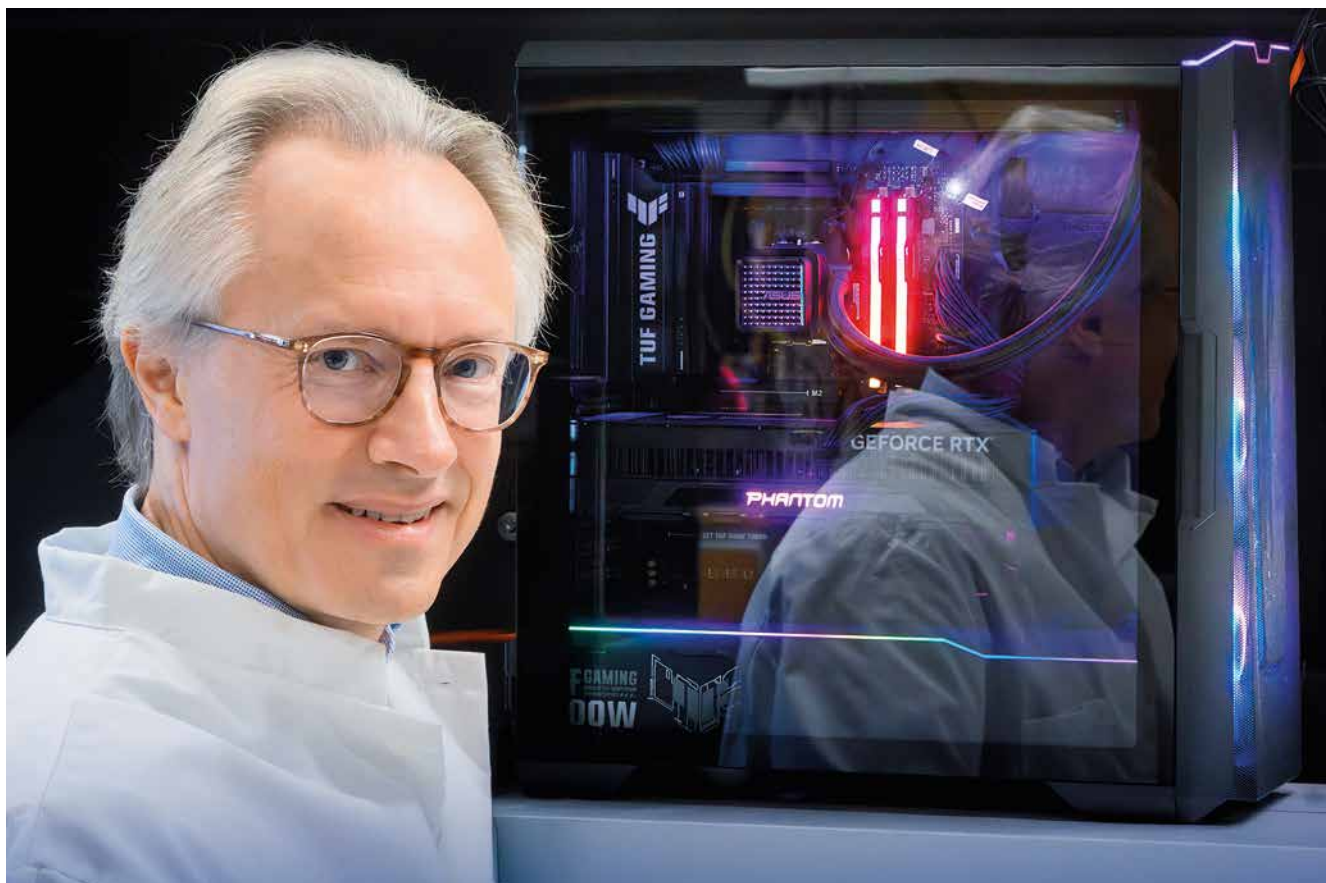
– Projektet har säkert gett upphov till minst 50 publikationer, konstaterar Lundin, som påpekar att en grundförutsättning för FinProg var att artificiella neurala nätverk hade slagit igenom just innan det startades.

Neuralnät härmar den mänskliga hjärnans funktioner och hittar mönster i data som är svåra att upptäcka med traditionell statistik. I grunden utför varje nod i nätverket en rätt så enkel linjär matematisk beräkning, förklarar han, men när många sådana grundläggande funktioner kopplas ihop kan nätverken lära sig hantera mycket komplicerade mönster.

– FinProg blev en grundsten i min forskarkarriär. Projektet öppnade nya möjligheter. Jag blev docent, men har ända sedan postdocperioden också haft nära samarbete med min bror.

Satellit teknik rörde väg

Tillsammans har de ägnat sig åt forskning med anknytning till FinProg, samtidigt som de utforskat tekniska möjligheter i hopp om nya tillämpningar. Historien om hur svårigheterna att hantera FinProgs enorma datamängder bemästrades ger en inblick i hur viktigt det varit att tänka kreativt.



Johan Lundin. Foto: Cata Portin.

För att kunna applicera AI för provanalys är digitalisering första kravet. I början på 2000-talet blev digital teknik för provskanning tillgänglig, men hur förvandla ett par tusen vävnadsblock utspridda i olika patologarkiv till en digitalt hanterbar databas?

Svaret blev att en person i forskningsgruppen åkte runt till berörda arkiv och tog små prover av de ursprungliga provena. Det tog ett år.

– Vävnadsprover snittas ju upp för att studeras i mikroskop, men när man tittar på ett prov är det som att se det genom ett nyckelhål. För att digitalisera ett helt prov måste fokus flyttas otaliga gånger. Det kan behövas upp till 100 000 skannade bilder per prov.

Det jobbet gjordes sedan också, i samarbete med professor **Jorma Isola**

i Tammerfors, men när allt lagrades på cd-skivor blev det flera hyllmeter.

– Då blev vi tvungna att hitta bättre tekniska lösningar och fick en idé. Vi tänkte att utmaningen påminde om den som satellitindustrin har. En satellit fokuserar på ett begränsat område, men när jorden rör sig fyller man på med bilder tills man har en som visar hela jordklotet. Kunde mängder av skannade laboratorieprover överblickas på samma sätt?

Bröderna Lundins snilleblxt fick dem att sätta sig in i teknik för satellitbilder och det visade sig att det fanns verktyg i USA och Australien som primärt hade utvecklats för kartläggning av naturresurser, miljö och för geologiskt bruk. År 2002 köpte Johan och Mikael Lundin sedan sådan programvara för

satellitbilder och Mikael som behärskar programmering gjorde den nödvändiga omställningen för att hantera mikroskopbilder. Det fungerade!

Webbmikroskop och bolag

– Vid samma tid utvecklades webben. Vi utarbetade ett webbmikroskop och fick också det att fungera. Till exempel i undervisning behöver medicine studerande titta i mikroskop, men för en hel kurs krävs det antingen väldigt många mikroskop eller så måste man nöja sig med att studera få prover. Vi löste problemet genom att digitalisera provserier för undervisning.

Det blev populärt och resulterade i Helsingfors universitets teknologiunderervisningspris. I dag används det här



Johan Lundin. Foto: Cata Portin.

webbmikroskopet i alla finska universitet och på vissa håll i Norden. För en del patologers veckomöten fungerade tekniken också.

När bildbaserad AI sedan år 2013 slog igenom på allvar grundade Johan Lundin och brodern Mikael det bolag som numera heter Aiforia Technologies (AI for Image Analysis). Behovet att visualisera vävnadsprover hade inte

bara ökat. Efter en cirka decennielång "AI-vinter", då utvecklingen mer eller mindre hade stampat på stället, lanserades nu AI-baserad djupinlärning, en mycket kraftfull, bildbaserad teknologi som möjliggjorde avsevärt förbättrade tekniska lösningar.

Fröet till bolaget hade satts år 2002 när bröderna fick satellitbildsteknologin att fungera för mikroskop. Nu gav

kraftigt förbättrad AI den avgörande impulsen.

Aiforia är en plattform i molnet som används för att träna och applicera AI, framför allt för patologi. Bolaget sysselsätter cirka 70 personer, det börslistades för fyra år sedan i Helsingfors, men har också kontor i Boston och Paris. Mikael Lundin är chef för supportavdelningen medan Johan sitter i styrelsen och är vetenskaplig rådgivare.

Fokus på utmaningar

Att Johan Lundin blev forskningsdirektör på FIMM, Institutet för molekylär medicin i Finland, hänger också ihop med hans teknikintresse.

– En dag dök professor **Olli Kallioniemi** och projektkoordinator **Kimmo Pitkänen** upp på vårt kontor i universitetssjukhusets biblioteksbyggnad i Mejlans i Helsingfors och berättade om det institut som skulle grundas. Ville vi vara med?

Då var bröderna Lundin anknutna till Folkhälsans forskningscentrum, men välkomnade utsikten att etablera en större grupp under FIMM med bättre forskningsmöjligheter och större resurser. Så kallade "Grand Challenges" ingick i det nya institutets mission, och en var digital utveckling och AI-diagnostik.

FIMM är sedan år 2007 ett fristående institut under Helsingfors universitet och dess forskningsdirektörer, var och en med sitt ansvarsområde, har en ställning som motsvarar fakultetsprofessor. Lundins uppgift är att utveckla digital AI-baserad diagnostik, ett område som han fått vara med om att utforma. De två övriga huvudspåren vid FIMM är bland annat genomik och precisionsmedicin.

– Vi får flera hundra ansökningar till doktorand- och gruppledarplatser varje år och all rekrytering sker internationellt. Målet är att införa nya metoder i praktiken. Det passar mig väldigt bra, det har jag alltid varit intresserad av. Som läkare vill jag att metoder som utvecklas också ska komma till användning.

Studier i lågresursmiljö

Publikationerna om webbmikroskop och digital provvisualisering ledde i sin tur till att Johan Lundin småningom blev professor vid Karolinska institutet i Stockholm. Första kontakt togs av

Ewert Linder, vid den tiden professor i parasitologi vid KI. Han hade tipsat **Vinod Diwan**, som då var KI-professor i internationell och global folkhälsa, om de finländska artiklarna och följden blev att Lundin år 2009 engagerades för att studera möjligheten att omsätta sina nya tankegångar i lågresursmiljöer.

– Kan vi inte utveckla ett digitalt mikroskop som går att ha i fickan, var den fråga professor Diwan ställde.

Det var ett intressant, ambitiöst spår, som triggade Lundins nyfikenhet. Anslag från flera håll beviljades och på grund av Finlands starka expertis inom mobiltelefoni gick det lätt att hitta ett ingenjörsteam i Uleåborg att samarbeta med.

– Små avancerade mobiltelefonkameror som ändå bara kostade 10–20 dollar användes. De prototyper för mobilt mikroskop som togs fram rymdes inte riktigt i fickan, men fungerade.

Tid och resurser att grunda det bolag som hade behövts för att förvandla innovationen till produkt hade han inte, men till följd av kontakt med några Tammerforsingenjörer som letade efter nya idéer, när Nokia slutat med mobiltelefoni i Finland, fick ansträngningarna en fortsättning.

– De hade fått startpeng för nyetablering och kom till vårt labb på FIMM i jakt på möjliga uppslag. Jag frågade om de kunde göra ett mobilt mikroskop. De fick prover av oss och började experimentera.

Inte heller nu blev resultatet det billiga mikroskop i fickformat som Johan Lundin hoppats. Steget var fortfarande för stort. I stället lanserades ett instrument som rymmer i en väska och för att tillverka det grundade ingenjörerna företaget Grundium. Deras mikroskop för cirka 20 000 € används nu av de forskningsgrupper som Lundin samarbetar med i Kenya och Tanzania.

Framsteget är betydande. För AI-baserad bilddiagnostik är digital provskanning outhärlig, men en traditionell skanner fungerar inte i fältförhållanden. De flesta är för otympliga redan på grund av sin storlek. Dessutom ligger priset för de billigaste skannerinstrumenten fortfarande kring 10 000–20 000 euro.

Men hoppet om en optimal lösning kvarstår. I fjol var Johan Lundin med om att grunda startupbolaget LensMakers i Salo som arbetar vidare på idén.

– Universitet har inte resurser för produktutveckling. De regulatoriska kraven är stränga, vilket de förstås ska vara, men det gör all utveckling oerhört resurskrävande. Därför behövs bolag som tar över.

Prototyper provas

I dag har Johan Lundin i uppgift att pröva hur teknik, som ännu inte utvecklats fullt ut, fungerar med existerande prototyper. Sedan 2019 är han KI-professor i medicinsk teknologi och i den egenskapen har han, tillsammans med **Nina Linder** som är professor i Uppsala och forskare vid FIMM, byggt upp forskarteam som genomfört kliniska studier vid tre sjukhus i Östafrika – två i Kenya och ett i Tanzania.

Första resan till Tanzania gjorde han år 2014. Då var avsikten att använda mobilt mikroskop för malariadiagnostik. Institutet man samarbetade med föreslog ändå fokus på livmoderhalscancer.

För något år sedan överskred den globala dödligheten i livmoderhalscancer antalet moderskapsrelaterade dödsfall och i Tanzania och Kenya är det den vanligaste orsaken till cancerdöd bland kvinnor. Med screening och tidig diagnos kan trenden vändas.

År 2016 inleddes samarbete med sjukhuset Kinondo Kwetu clinic i Kenya som hade grundats av nordbor. Där gör ett cirka trettiopersoners team fältstudier för att spåra både livmoderhalscancer och inälvsmaskar hos barn.

– I Kinondo har vi screenat ca 3 000 kvinnor och omkring 2500 barn och redan våra studier har förhindrat flera tiotal fall av livmoderhalscancer.

Fältstudier kring livmoderhalscancer görs också i Tanzania. I fjol genomfördes där en studie med prover från ca 600 kvinnor.

Arbetet har varit mycket givande. Läkare och medicinska team är lokala och enligt Lundin har metoderna fått ett mycket positivt mottagande.

– När proverna sedan digitaliserats letar AI efter cellavvikelser. Resultaten granskas också av lokala patologer, som kan arbeta på distans i och med den digitala tekniken.

I studierna har forskningsgrupperna genomgående anlitat mänskliga experter för konventionell analys. Dels ökar det säkerheten, dels ger det värdefullt

jämförelsematerial med tanke på AI-inlärningen.

För British Medical Journal ombads Nina Linder och Johan Lundin nyligen skriva en artikel om implementering av medicinsk AI i lågresursmiljöer – och om utmaningarna.

– Det är viktigt att anpassa AI-diagnostik i lågresursländer efter möjligheterna till behandling. Inom ramen för Förenta nationernas och WHO:s Global Initiative on AI for Health har vi fört mycket intressanta diskussioner kring de kliniska, etiska och regulatoriska aspekterna.

Hela system påverkas, men ju större expertbristen är i utgångsläget, desto större positiv inverkan kan förändringarna få.

Viktigt skede

Johan Lundins åsikt är att AI-utvecklingen över huvud taget är inne i en viktig fas.

– Letar vi efter analogier i historien kan skrivkonsten betraktas som en. När det skrivna och särskilt det tryckta ordet kom var oron stor att berättartraditionen skulle försvinna. Den industriella revolutionen innebar sedan ett annat stort språng, för i takt med att maskiner ersatte kroppsarbete förstärktes arbetets kognitiva karaktär. Nu börjar kognitivt arbete delvis ersättas med AI.

Själv använder Johan Lundin språkmodeller som Chat GPT i sådan utsträckning att han så smått känner sig ”sammankopplad” med dem. Det ger så stora fördelar att han säger att han annars skulle vara tvungen att sätta mycket mer tid på arbetet, till exempel för forskningstexter av visst format. I stället skriver han en text, som han låter AI omforma enligt det antal ord och det språk som efterfrågas.

– Det spar oerhört mycket tid, och minskar sådant kognitivt arbete som ändå inte är särskilt fruktbart.

Ofta utnyttjar han AI genom att ställa frågor, fascinerad som han är av ständig tillgång till praktiskt taget oändlig information.

– Det är ett enkelt sätt att sätta sig in också i mycket avancerade tekniska frågor. AI kan förklara som för ett barn. Själv för jag långa samtal med AI:n till exempel när jag kör bil till fritidshuset i Hangö.

En framtid där AI blir tillgänglig för allt fler innebär demokratisering av kunskap,

resonerar han. Samtidigt innebär AI-verktygens bristande tillförlitlighet en begränsning av demokratiseringen, för risken finns att användare inte har förmågan att skilja korrekt vetande från felaktiga påståenden i en situation där kunskap i allt större utsträckning genereras utan mänsklig expertis. Men när det till exempel gäller att hitta en cell som verkar förändrad, då kan AI tränas att bli bättre än en expert, säger han med femtonårig praktisk erfarenhet av bildbaserad AI.

– AI kan dessutom upptäcka mönster som ingen tidigare sett och hitta kopplingar i oerhört stora informationsmängder. Situationen påminner lite om tiden för mikroskopets upptäckt. Också då blev det möjligt att se sådant som ingen tidigare hade sett.

Tills vidare är AI:s främsta styrka förmågan att snabbt analysera mönster och generera insikter och innehåll på basis av existerande data och kunskap, anser Lundin. Trots att han ibland säger att det med hjälp av AI småningom kommer att göras upptäckter i Nobelprisklass, så tror han att mänsklig intelligens är ett strå vassare länge än. Den är bättre på att ge helt nya insikter och göra övergripande bedömningar, men steg för steg kommer AI att förändra medicinen, förutspår han.

– Innan medicinsk AI blir till verkligt stor nytta krävs ändå flera steg. Var och när avgörande genombrott sker vet vi inte, men potentialen är enorm.

I Finland kom bildbaserad AI till praktisk användning inom patologi först i år – och tills vidare endast i Tammerfors, i begränsad omfattning och för analys av vävnadsprover.

– Visst kan AI också göra felbedömningar, men som komplement, och tränad med en ofantlig mängd tidigare prover, kan AI fungera som värdefull konsult, menar han, när vi kommer in på eventuella framsteg på medellång sikt.

Otaliga möjligheter

AI-verktyg som registrerar samtal under läkarbesök och gör färdiga journalanteckningar tror han däremot att snart kan få omfattande användning. Den typen av AI beskrivs närmare i **Johan och Enni Sanmarks** artikel i detta nummer av Handlingarna. Uppskattningsvis en tredjedel av läkartiden under en mottagning går åt till journalanteckningar, så här skulle en förändring vara välkommen.

Personligen skulle han till exempel välkomna en AI-funktion som också pejar en färsk diagnos mot stora språkmodeller som Chat GPT.

– Och som skulle presentera slutsatserna, åtminstone för läkaren, men gärna också för mig.

Framtida så kallade AI-agenter, verktyg som självständigt kunde göra informationssökningar, föreslå laboratorieundersökningar eller till och med ställa diagnoser, ställer han sig mera tveksam till.

– Det är dessutom en mardröm för det regulatoriska systemet, då AI:ns språkmodeller är icke-deterministiska och varje gång presenterar lite olika resultat.

Egentligen kan dagens Chat GPT liknas vid en extremt avancerad, jättelik ZIP-fil – en komprimerad version av mänsklig text och kunskap, där inte bara innehållet sparas utan filen dessutom lär sig de underliggande mönstren i hur vi skriver och tänker, menar han. Det fungerar fint för att presentera information, men är sämre på att göra de rätta kopplingarna och dra de intelligenta slutsatserna. Därför kan AI inte bedöma tyngden i olika alternativ utan tenderar lyfta fram det mest sannolika. Men med den logiken kan färsk rön, som ännu inte citerats så flitigt, lämnas obeaktade, också när de kullkastar tidigare föreställningar. Exempel på det illustreras tydligt i **Markus Skrifvars** artikel i detta nummer.

Därför hoppas Johan Lundin på AI-inläring av helt ny typ.

– Medicinsk bildbaserad AI-inläring grundar sig till ca 95 procent på mänsklig expertis. Den replikerar mänsklig sakkunskap och kan bli lika träffsäker som en expert.

Men borde inte processen inriktas på hur behandlingarna utföll i stället för att efterlikna expertens handlingsmönster, frågar han. Utfallsstyrd inläring förekommer redan, till exempel i spelutveckling.

Expertbeslut bygger på förvärvat kunskap och är subjektiva, konstaterar han.

– Så varför inte träna AI att självständigt spåra kopplingar mellan prover, diagnoser och utfall? Då kanske helt nya mönster träder fram.

Text: Mardy Lindqvist

Foto: Cata Portin

Vem och vad?

Född 28.8.1964 i Helsingfors, student i Hangö, bosatt i Helsingfors.

Medicine licentiat 1990, medicine doktor 1996, docent 2003 vid Helsingfors universitet.

Familj: två vuxna barn och två barnbarn.

Tränar regelbundet: går på gym, spelar innebandy, padel.

Mindre kända fritidsintressen: kite-surfing, har ett förflutet som Hufvudstadsbladets ölskribent och är innehavare av Avancerat certifikat inom dryckeskunskap (WSET).

Motto: Låt inte det sunda förnuftet stå i vägen för forskningen.

Undervisning i planetär hälsa vid Helsingfors universitet

SAMUEL SANDBOGE

Inledning

Familjetid i skärgården hör till årets höjdpunkter för många och så även för mig. Sommaren 2023 stördes dock ölivets idyll av en aldrig sinande ström notiser från sociala medier angående rekordhöga temperaturer, naturkatastrofer, försvinnande havsis och grafer med illröda, gravt avvikande mätvärden, och jag hade svårt att låta bli att *doomscrolla*. Jag har i många år oroat mig för klimatförändring, artförlust och miljöföroreningar men just där och då – i sommarstugan, i trygga Finland – drabbades jag av en kraftig och svårhanterad oro. *Om läget redan nu är så här allvarligt och om förändringen sker i denna rasande takt, hur kommer då mina barns framtid se ut?* Jag lyckades ändå lägga ifrån mig telefonen och började i stället fundera på följande:

Hur ser mina möjligheter att påverka situationen ut – i min roll som läkare, forskare, individ?

Jag är född och uppvuxen i Göteborg men har bott i Helsingfors i sammanlagt tolv års tid, uppdelat i två perioder. Jag är specialistläkare i allmänmedicin och reumatologi men forskar sedan hösten 2021 på heltid. Forskarlivets möjlighet till flexibel tidsplanering gav mig lyckligtvis goda möjligheter att söka svar på mina frågor. Jag hittade snabbt det nationella nätverket Klimatuniversitetet och dess utmärkta kurskatalog och anmälde mig till flera kurser om hållbarhet och klimatförändring vid öppna universitet. Jag talade dessutom med Mikaela Grotenfelt-Enegren, överläkare i planetär hälsa vid Institutet för hälsa och välfärd (THL), och berättade om mina funderingar. Detta samtal ledde på sikt till att jag numera undervisar i planetär hälsa vid Helsingfors universitet, vilket i sin tur lagt grunden för en kommande nätkurs, PlanetaryHealth. now, och tillhörande forskning.

Var är planetär hälsa?

Planetär hälsa, ett begrepp som i år firar

SKRIBENTEN

Samuel Sandboge, MD, PhD, postdoktoral forskare vid Enheten för välfärdsvetenskaper/psykologi, Samhällsvetenskapliga fakulteten, Tammerfors universitet och gästforskare vid Avdelningen för allmänmedicin och primärvård, Helsingfors universitet.

10-årsjubileum, är ett lösningsorienterat och tvärvetenskapligt forskningsfält som undersöker människors påverkan på miljön samt denna miljöpåverkans konsekvenser för vårt välbefinnande och vår fysiska och psykiska hälsa (1). Centrala begrepp är bland annat klimatförändring, biodiversitetsförlust och miljöförorening. Den planetära hälsan har ett tydligt rättvis- och jämlikhetsperspektiv som betonar att hälsa och välbefinnande tillhör alla, inte bara de mest förmögna.

Tabell 1. Studenternas kunskaper om och attityder till planetär hälsa, oro för miljöförändringar samt tilltro till den egna förmågan att påverka (n = 167).

	Instämmer inte alls	Instämmer inte	Neutral	Instämmer	Instämmer helt
1. Föreläsningen hjälpte mig förstå sambanden mellan människors hälsa och naturens tillstånd, % (n)	1,2 (2)	0,6 (1)	11,4 (19)	71,9 (120)	15,0 (25)
	Minskat avsevärt	Minskat något	Förblivit oförändrat	Ökat något	Ökat avsevärt
2. Jämfört med innan föreläsningen har min oro för miljöförändringar, % (n)		2,4 (4)	59,9 (100)	35,3 (59)	2,4 (4)
3. Efter föreläsningen har min tilltro till min förmåga att påverka som individ, % (n)		3,0 (5)	52,7 (88)	41,3 (69)	3,0 (5)
4. Efter föreläsningen har min tilltro till min förmåga att påverka i min yrkesroll, % (n)		1,8 (3)	30,5 (51)	61,7 (103)	6,0 (10)
				Ja	Nej
5. Jag var bekant med begreppet planetär hälsa innan föreläsningen, % (n)				66,5 (111)	33,5 (56)
6. Jag vill lära mig mer om dessa ämnen på kommande kurser eller föreläsningar, % (n)				79,6 (133)	19,8 (33)
7. Föreläsningen gav mig nya idéer kring hur jag kan använda min egen expertis för att adressera miljö- och hälsoutmaningar, % (n)				68,3 (114)	31,7 (53)

Närundervisning i planetär hälsa vid Helsingfors universitet

Kliniska läraren Olga Gilbert, Mikaela Grotenfelt-Enegren och jag började planera den valbara kursen *Planetär hälsa och hållbar sjukvård* i slutet av 2023, och i maj 2024 arrangerades den för första gången för en liten men engagerad grupp psykologi- och medicinstudenter. Kursen, som varar två veckor och omfattar 2,5 studiepoäng, ges årligen och är även öppen för tandläkar- och logopedstudenter. På grund av den planetära hälsans bredd hålls föreläsningarna under kursens sex närundervisningsdagar inte enbart av läkare utan även av experter inom bland annat näringslära, veterinärmedicin, stadsplanering, klimatkänslor, farmakologi, politik och hållbar utveckling – en bredd som har uppskattats av studenterna.

Utöver den valbara kursen får alla första årets läkar- och tandläkarstudenter ta del av en obligatorisk introduktionsföreläsning i planetär hälsa. Jag har nu haft glädjen att hålla föreläsningen två gånger och vid det senaste tillfället, i augusti i år, närvarade 201 studenter. För att få en bild av studenternas förkunskaper om planetär hälsa, deras oro inför miljöförändringar samt deras tilltro till den egna förmågan att påverka, bad jag dem fylla i en frivillig enkät i samband med föreläsningen. Av de 167 studenter som deltog i undersökningen (83 %) angav 62,9 % (n = 105) att de var kvinnor och 33,5 % (n = 56) att de var män, medan övriga antingen avstod från att svara eller angav icke-binärt eller annat kön. Majoriteten, 86,8 % (n = 145), var 18–24 år, 10 % (n = 6) var 25–29 år och lika många var 30–39 år, medan 1,2 % (n = 2) angav en ålder på 40 år eller över. Enkätsvaren, som sammanfattas i tabell 1, diskuterades även med studenterna i direkt anslutning till föreläsningen.

Som föreläsare var det mycket glädjande att se att hela två tredjedelar av studenterna kände till begreppet planetär hälsa innan föreläsningen. Med tanke på föreläsningens allvarliga ämnen är jag inte heller förvånad att en såpass stor andel (35,3 % respektive 2,4 %) upplevde att deras oro kring miljöförändringar ökade något respektive avsevärt efter föreläsningen. Som motvikt till denna ökade oro angav många

studenter även en ökad tilltro till den egna förmågan att påverka situation, i synnerhet i yrkesrollen, där 61,7 % respektive 6 % angav en något respektive avsevärt ökad tilltro. Det fanns inga könsskillnader i svaren förutom i fråga 6, där 85,7 % av de kvinnliga respektive 67,5 % av de manliga studenterna uppgav att de önskade lära sig mer om planetär hälsa på kommande kurser eller föreläsningar (χ^2 -test, $p = 0,02$). Ett liknande mönster observerades i THL:s enkätundersökning Hälso-samma Finland från 2023, där kvinnor i större utsträckning än män angav oro för klimatförändringar (2).

PlanetaryHealth.now

Fundersam över utmaningarna att locka studenter till vår valbara kurs och inspirerad av mina egna mycket givande studier vid Klimatuniversitetet började jag förra året överväga möjligheten att skapa en nätkurs i planetär hälsa. Med uppmuntran och stöd från fler personer än jag kan nämna i denna text – bland annat från den valbara kursens föreläsare, kollegor vid medicinska fakulteten, lärare vid Klimatuniversitetet samt MOOC-centrets personal – kom jag så i slutet av 2024 att påbörja arbetet med PlanetaryHealth.now, en *Massive Open Online Course (MOOC)* som sedan november 2025 ingår i medicinska fakultetens valbara kursutbud samt i Klimatuniversitetets kursutbud via Helsingfors öppna universitet. Nätkursen omfattar 3 studiepoäng och är helt asynkron, vilket innebär att studenterna kan påbörja den när de vill och slutföra den helt i egen takt. Kursmaterialet består av texter, bildmaterial, ThingLink-uppgifter (en webapplikation för interaktiva bilder och scenarier), flervalsfrågor, medstudentgranskade essäer, ett flertal videor (såväl egenproducerade som externa) och ett podcastavsnitt inspelat särskilt för nätkursen. Arbetet med att skapa kursmaterialet har varit mycket givande. Jag har lärt mig mycket, både genom att fördjupa mig i de mångfaceterade ämnen som ingår i planetär hälsa samt genom att lära mig grunderna i video- och ljudredigering och webbsidedesign. Eftersom jag är nätkursens enda författare har materialet givetvis granskats av ett stort antal ämnesexperter för att säkerställa dess vetenskapliga korrekthet.

FAKTARUTA:

Klimatuniversitetet (Climate University)

Det nationella nätverket Klimatuniversitetet erbjuder kurser via flera av landets öppna universitet. En del av kurserna erbjuds i MOOC-format och kan påbörjas och slutföras helt i egen takt, medan andra följer det akademiska årets fyra perioder. Mer information finns på <https://www.climateuniversity.fi/>.

RAPHAEL-projektet

PlanetaryHealth.now utgör även underlag för två studier i det nyligen startade forskningsprojektet RAPHAEL, Research into Advancing Planetary Health Education and Literacy.

I den första studien använder vi oss av MOOC-plattformens integrerade generativa AI-chatbot. Studien utgår från *lärande genom undervisning*, en väletablerad pedagogisk metod där studenten förbättrar sin kunskap och förståelse genom att undervisa andra (3). Tidigare MOOC-kurser har ofta låtit AI-chatbottar fylla rollen som tutor eller assistent (4). I PlanetaryHealth.now får dock studenterna uppgiften att undervisa AI-chattbotten i ett av kursens ämnen för att undersöka, huruvida fördelarna med metoden "lärande genom undervisning" även gäller om eleven är artificiell. För att uppnå detta har chattbottens prompt, det vill säga dess instruktioner, utformats utifrån sokratisk dialog, vilket innebär att den ställer frågor som uppmuntrar till reflektion och eget resonemang. Studien syftar i första hand till att undersöka studenternas attityder till denna nyskapande pedagogiska metod men kommer också att kartlägga hur de förhåller sig till AI-teknikens miljöpåverkan.

I projektets andra studie undersöks klimatkänslor, coping samt upplevd handlingsförmåga hos MOOC-studenterna och består av en enkät med validerade frågor som ges vid kursens början och slut. Klimat- och miljöförändring kan ge upphov till ett flertal känsloreaktioner, vissa negativa såsom ångest och sorg, andra positiva såsom hopp och empati (6). Dessa känslor, som ofta förändras över tid (7), bör i första hand ses som rationella krisreaktioner. I mer uttalade fall kan de dock

FAKTARUTA:

AI-teknikens miljöpåverkan

Den generativa AI-teknikens snabba tillväxt, med tilltagande beräkningskraft och alltmer sofistikerade resonemangsförmågor, presenteras ofta som en möjlig lösning på de enorma miljöutmaningar mänskligheten står inför. Denna tillväxt har möjliggjorts av en omfattande utbyggnad av datacenter, vilket i sin tur påverkar miljön på ett flertal sätt. Driften av datacentren kräver stor förbrukning av vatten (dels direkt via kylsystem, dels indirekt via vattenförbrukning vid elektricitetsproduktion) och bidrar dessutom till ökade växthusgasutsläpp. Enligt en uppskattning från 2023 förväntas AI-teknikens globala vattenförbrukning 2027 uppgå till 4,2–6,6 miljarder kubikmeter, vilket enligt samma uppskattning motsvarar 4–6 gånger Danmarks förbrukning (i sammanhanget är det även viktigt att nämna att vattenkonsumtion kan mätas med flera metoder, varför direkta jämförelser är svåra att göra) (5). Generativ AI-teknologi utgör således ett janusansikte – å ena sidan kan den bidra till att hantera de utmaningar som behandlas inom den planetära hälsan, men å andra sidan riskerar den också att förstärka samma utmaningar.

påverka individens funktionsförmåga och kräva särskilt stöd och behandling. Undervisning i miljörelaterade ämnen tycks kunna hjälpa studenter att hantera och relatera till klimat känslor (8). Syftet med vår interventionsstudie är därför att undersöka, huruvida nätundervisning i planetär hälsa påverkar studenternas

FAKTARUTA:

Miljö- och klimat känslor

Att känna oro, sorg eller ångest inför de utmaningar vi står inför är både naturligt och rationellt. Ibland kan dock denna oro bli alltför stor att bära ensam – dela i sådana fall dina tankar med en närstå ende, en vän, eller en kollega. För den som är intresserad erbjuder även webbplatsen ymparistoahdistus.fi/ råd, övningar och kostnadsfritt samtalsstöd.

klimat känslor, coping samt tilltro till den egna förmågan att kunna påverka situationen.

Slutord

Jag har under drygt ett och halvt års tid haft glädjen att arbeta med att utveckla undervisningen i planetär hälsa vid Helsingfors universitet, och det som började som en uttalad framtidsoro har för mig med tiden ersatts av en tydlig riktning och plan. Min förhoppning är att undervisningen i planetär hälsa på samma sätt ska hjälpa andra att hitta tilltro till den egna handlingsförmågan, såväl på ett personligt som på ett professionellt plan. Den planetära hälsans multidisciplinära, holistiska och lösningsorienterade perspektiv bidrar till kunskap och beredskap att möta morgondagens medicinska, samhälleliga och etiska utmaningar och ger oss verktyg att skydda och bevara folkhälsan.

Samuel Sandboge
samuel.sandboge@helsinki.fi

Inga bindningar

FAKTARUTA:

Anmälan till kursen

Nätundervisningskursen PlanetaryHealth. now nås på planetary-health.mooc.fi samt via denna QR-kod:



Referenser

1. Whitmee S, Haines A, Beyrer C, et al. Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation–Lancet Commission on planetary health. *The Lancet*. 2015;386(10007):1973–2028. doi:10.1016/S0140-6736(15)60901-1.
2. Terveysden ja hyvinvoinninlaitos THL. Ilmastomuutos. Accessed September 15, 2025. https://repo.thl.fi/sites/terveysuomi/ilmioraportit_2023/ilmastonmuutos.html.
3. Duran D. Learning-by-teaching. Evidence and implications as a pedagogical mechanism. *Innovations in Education and Teaching International*. 2017;54(5):476–484. doi:10.1080/14703297.2016.1156011.
4. Harr M, Wienand M, Schütte R. Towards Enhanced E-Learning Within MOOCs: Exploring the Capabilities of Generative Artificial Intelligence. *PACIS 2024 Proceedings*. Published online July 2, 2024. https://aisel.aisnet.org/pacis2024/track14_educ/track14_educ/11.
5. Li P, Yang J, Islam MA, Ren S. Making AI Less “Thirsty”: Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. *arXiv*. Preprint posted online March 26, 2025. doi:10.48550/arXiv.2304.03271.
6. Pihkala P. Toward a Taxonomy of Climate Emotions. *Front Clim*. 2022;3. doi:10.3389/fclim.2021.738154.
7. Pihkala P. The Process of Eco-Anxiety and Ecological Grief: A Narrative Review and a New Proposal. *Sustainability*. 2022;14(24):16628. doi:10.3390/su142416628.
8. Olsen EK, Lawson DF, McClain LR, Plummer JD. Heads, hearts, and hands: a systematic review of empirical studies about eco/climate anxiety and environmental education. *Environmental Education Research*. 2024;30(12):2131–2158. doi:10.1080/13504622.2024.2315572.

Summary

Planetary Health Education at the University of Helsinki

The Planetary Health research paradigm addresses the many threats to health and wellbeing faced by current and future generations, including climate change, biodiversity loss, pollution, and the unsustainable and inequitable use of our planet's resources. At the University of Helsinki, Planetary Health is included in the introductory studies of all first-year medical and dentistry students and in an optional 2.5-credit course. November 2025 saw the launch of PlanetaryHealth.now, a 3-credit online course aimed at a wider learner audience. The course is included in the Medical Faculty's and Climate University's curricula, and available via Helsinki Open University.

**Jani Huuhtanen**

Hematology Research Unit Helsinki,
Helsingfors universitet och
Helsingfors universitetssjukhus

Disputation 28.5.2024, Helsingfors
universitet

Opponent: professor Catherine Wu,
Harvard Medical School, USA

Handledare: professor Satu Mustjoki
och professor Harri Lähdesmäki

Immunförsvaret måste hitta en balans mellan att vara för svagt och för starkt. Ett underaktivt immunförsvar kan leda till infektioner och cancer, medan ett överaktivt kan angripa kroppens egen vävnad och orsaka autoimmuna sjukdomar. Därför är det viktigt att kunna övervaka immunförsvaret i klinisk praktik. Encellssekvensering är en ny teknik, som gör det möjligt att undersöka immunförsvarets funktioner med en precision som vi inte haft tidigare.

I min avhandling använde vi encellssekvensering för att titta på immunförsvarets roll i olika kliniska situationer. Vi undersökte bland annat hur patienter svarar på nya cancerbehandlingar i kliniska prövningar och hur autoimmuna sjukdomar uppstår.

I studie 1 utvecklade vi ett maskininlärningsverktyg som kan förutsäga vilka T-celler som känner igen cancer. Detta verktyg skulle kunna användas för att diagnostisera patienter med ett blodprov för att förutse återfall i sjukdom och bedöma hur väl de kommer att svara på anti-PD1-immunterapi. I studie 2 såg vi att den nya kombinationsbehandlingen med anti-LAG3 + anti-PD1 kan fungera genom att aktivera både specifika NK-celler och tumorspecifika T-celler

hos melanompatienter som svarar bra på behandlingen.

I studie 3 undersökte vi patienter med kronisk myeloisk leukemi som fick den experimentella kombinationen dasatinib + IFN- α . Vi fann att patienterna hade nytta av läkemedlens motsatta effekter: dasatinib gjorde immunförsvaret mer moget men mindre aktivt, vilket IFN- α sedan kunde återställa.

Studie 4 fokuserade på en ovanlig form av leukemi, nämligen storgranulär T-cells lymfocyt leukemi med autoimmun bakgrund. Vi fann att det friska immunförsvaret runt de maligna T-cellerna spelar en roll för att upprätthålla sjukdomen. I studie V identifierade vi T-celler med gemensam specificitet tillsammans med aktiva NK-celler som orsak till immunmedierad aplastisk anemi, en sjukdom där benmärgen slutar producera blodkroppar.

Sammanfattningsvis visar avhandling-
en att immunövervakning på encellsnivå är ett kraftfullt verktyg för att förstå immunförsvarets komplexa roll vid cancer och autoimmuna sjukdomar. Resultaten kan leda till förbättrad sjukdomsdiagnostik och möjlighet att dela in patienter i nya undergrupper och öppnar upp för mer individanpassade behandlingar.

**Michelle Renlund-Vikström**

Nya barnsjukhuset, Helsingfors universitet och Helsingfors universitetscentralsjukhus, och Medicinska forskningsinstitutet Minerva

Disputation 7.6.2024 Helsingfors universitet

Opponent: Nicole Sekarski-Hunkeler,
Université de Lausanne,
Lausanne, Schweiz

Handledare: Taisto Sarkola,
Nya barnsjukhuset, Helsingfors universitet och Helsingfors universitetscentralsjukhus, och Medicinska forskningsinstitutet Minerva

Preeklampsiexponerade barns kardiovaskulära hälsa i prepubertal ålder

Högt blodtryck är den viktigaste hälsorelaterade orsaken till ökat antal funktionsjusterade levnadsår. Det är också en nyckelfaktor i utvecklingen av kardiovaskulär sjuklighet och dödlighet. Preeklampsi och andra hypertensiva tillstånd under graviditeten påverkar upp till 10 procent av graviditeter globalt. Ett barn exponerat för preeklampsi under graviditeten har visats ha ökad risk att utveckla hypertoni och hjärninfarkt i vuxen ålder. Det finns bara begränsat med data gällande preeklampsiexponerade barns kardiovaskulära riskprofiler och hur dessa är relaterade till modern, graviditeten och perinatale faktorer.

Syftet med denna doktorsavhandling var att jämföra kardiovaskulära riskprofiler, innefattande blodtryck, artärstelhet, artärväggen och dess tjocklek, hjärtfrekvensvariabilitet samt hjärtats struktur och funktion bland 182 prepubertala preeklampsiexponerade barn (varav 46 tidigt debuterande med diagnos före graviditetsvecka 34 + 0) och 85 kontrollbarn i samma ålder. Jämförelsen gjordes 8–12 år efter födseln. Vi evaluerade möjliga associationer mellan parametrarna och modern, graviditeten och perinatale faktorer, innefattande barnets födselstorlek och gestationsålder samt jämförde dem med barnets postnatale tillväxt, blodtryck, kropps-

storlek och kroppssammansättning samt övriga prepubertala kardiovaskulära riskfaktorer, såsom lipider, glukos och föräldrarnas rökning.

Avhandlingen ger vid handen att preeklampsiexponerade barn uppvisar en ofördelaktig kardiovaskulär riskprofil redan i prepubertal ålder med förhöjt blodtryck, ökad central och perifer artärstelhet samt med mer klotformad höger hjärtkammare och lindriga förändringar i vänster hjärtkammarens funktion. Detta kan indikera utveckling av kardiovaskulär sjukdom redan i tidig ålder. Barnens kroppsstorlek och kroppssammansättning, hjärtfrekvensvariabilitet, halspulsåderns artärstelhet, artärernas intima-media- och adventitiatjocklek, hjärtats vänster kammarens massa och vänster förmaks volym samt lipider, glukos, insulin eller högkänsligt C-reaktivt protein var dock inte associerade med preeklampsiexponering.

Moderns systoliska blodtryck under tidig graviditet samt barnets hämmande fostertillväxt och prematuritet var starkt förknippade med de preeklampsiexponerade barnens förhöjda systoliska blodtryck. Dessa skillnader var större hos barn utsatta för tidigt debuterande preeklampsi under graviditeten. Hos prepubertala barn ökade artärväggens tjocklek och hjärtats vänster kammarens massa av det förhöjda blodtrycket, medan hjärtats vänster kammarens massa och vänster förmaks volym ökade av barnens kroppsfett.

BENGT I LINDSKOGS SPRÅKPRIS 2025



Mottagaren av Bengt I Lindskogs pris 2025 Margareta Gustafsson flankeras av Svenska Läkaresällskapets ordförande Catharina Ihre Lundgren och vice ordförande Patrik Danielson. Årshögtiden ägde rum i Karolina Widerströmsalen i Svenska Läkaresällskapets hus på Klara Östra Kyrkogata i centrala Stockholm. En sammanfattning av årshögtiden med information om samtliga pris och pristagare hittas under länken <https://www.sls.se/sls/aktuellt/nyheter/bengt-i-lindskogs-sprakpris-2025>

Bengt I Lindskogs språkpris 2025 till Margareta Gustafsson

Margareta Gustafsson, språkgranskare för Finska Läkaresällskapets Handlingar, har belönats med Bengt I Lindskogs språkpris 2025 av Svenska Läkaresällskapet. Hon har i mer än ett decennium varit garant för att språket i Handlingarna håller hög klass. Hon håller sig ständigt ajour med den senaste utvecklingen inom det svenska språkområdet och arbetar kontinuerligt för att den medicinska svenskan i Finland ska följa språkbruket i Sverige. Som finlandssvensk språkvårdare är hon starkt medveten om riskerna med påverkan från å ena sidan finskan, å andra sidan engelskan. Hennes engagemang för riktig svenska inom medicinen gäller inte bara de egentliga medicinska termerna, utan också hälso- och sjukvårdsterminologi i allmänhet, och omfattar därmed både fackspråket och allmänspråket.

Margareta Gustafsson är en outtröttlig förkämpe för god svenska i alla sammanhang. I över 30 år arbetade hon som translator vid Finlands riksdag. Hennes

uppdrag bestod i att översätta från finska till svenska, och hon arbetade särskilt med texter, inklusive lagtexter inom social- och hälsovård och miljö. År 2007 tilldelades hon Hugo Bergroth-sällskapets språkpris för sitt arbete för ett gott och klart myndighetsspråk och 2020 fick hon Folktingets förtjänstmedalj för sitt arbete som translator på riksdagen.

I början av 2000-talet var Margareta Gustafsson en av initiativtagarna till Medicinska språkgruppen i Finland, en inofficiell sammanslutning som sammanställde en förteckning över uttryck och termer på finska och svenska inom hälso- och sjukvård. Hon har också varit språklig expert för Diabetesförbundet i Finland samt översatt artiklar, publikationer och flera läroböcker inom det medicinska fältet.

Margareta Gustafsson tog emot priset under festliga former vid Svenska Läkaresällskapets årshögtid i Stockholm den 21 oktober 2025.

Handlingarnas redaktion sällar sig till gratulanternas skara och gläder sig åt Margaretas fina utmärkelse.



Renata Lindberg

Handledare: MD Lena Hafrén
och ML Milla Viljanen

Myringoplastik – prognostiska faktorer för reperforation och postoperativa komplikationer

Infektioner, trauman och iatrogena ingrepp kan orsaka trumhinneperforationer.

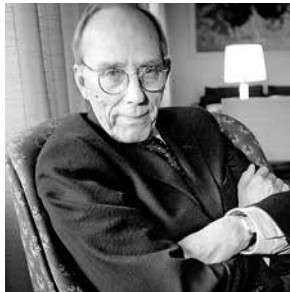
Trumhinneperforationer i sin tur ökar risken för kronisk mediaotit och kolesteatom och sänker den konduktiva hörseln med 0–50 dB. Personer med trumhinneperforation är tvungna att skydda mellanörat från vatten. Trumhinneperforationer kan korrigeras med fettpluggsingrepp eller myringoplastikingrepp.

Målet med denna studie var att undersöka faktorer som påverkar risken för reperforation och komplikation och att på så sätt kunna bestämma vilka patienter som har nytta av ingreppet, hur man kan utföra ingreppet på bästa

sätt och vid vilken tidpunkt det är bäst att utföra ingreppet.

Denna studie är en retrospektiv studie som består av 268 personer från HUS Öron-, näs- och halskliniken. I studien utfördes chi-square-test och Mann-Whitney-U för att undersöka vilka faktorer som ökar risken för reperforation och postoperativ komplikation.

I studien framkom det att stor perforationsstorlek var en riskfaktor för både reperforation och postoperativa komplikationer. Användning av systemiskt profylaktiskt antibiotikum minskade risken för reperforation, medan användning av ”donits” ökade risken för reperforation. Gällande komplikationer visade det sig att avvikande status i kontralaterala örat ökade risken för postoperativ komplikation. En postoperativ infektion ökade risken för reperforation, men sambandet var inte statistiskt signifikant.



Risto Pelkonen
19.8.1931–19.8.2025

Arkiatern, professor Risto Lauri Agathon Pelkonen, hedersledamot i Finska Läkaresällskapet, avled i Grankulla den 19 augusti 2025 i en ålder av 94 år. Med honom har en i vida kretsar högt respekterad läkare och humanist, kliniker, forskare, lärare, författare och tänkare gått ur tiden.

Risto Pelkonen föddes i Idensalmi den 19 augusti 1931, där hans far Erkki Pelkonen var läkare vid kommunalsjukhuset. Under några av Ristos uppväxtår bodde familjen på Kvinnokliniken i Helsingfors, där fadern, som hade specialiserat sig i obstetrik och gynekologi, verkade som överläkare. När Risto var nio år gammal stupade hans far i fortsättningskriget. Hans mor, sjuksköterskan Aune Pelkonen född Liuksiala, av släkten Meurman, blev ensam med fyra minderåriga barn.

Efter att ha tagit studenten vid Helsingin Suomalainen Yhteiskoulu 1950 inledde Risto Pelkonen sina studier i medicin vid Helsingfors universitet. Medicine licentiatexamen avlade han 1958 och fem år senare disputerade han för medicine och kirurgie doktorsgraden med en avhandling om lipid- och lipoproteinmetabolismen vid kranskärlsjukdom. Han specialiserade sig i inre medicin och endokrinologi vid III medicinska kliniken vid Helsingfors universitetscentralsjukhus, där han sedermera verkade som avdelningsöverläkare från 1981 fram till sin pensionering 1994. Docent i inre medicin blev han 1967. År 1990 tilldelade republikens president honom professors namn och värdighet. Han innehade också specialistkompetens i försäkringsmedicin och verkade som överläkare vid Återförsäkringsbolaget Varma 1970–1996.

Risto Pelkonens vetenskapliga publikationsverksamhet spänner över ett brett register av endokrina sjukdomar, från hypofys- och bisköldkörtelsjukdomar till binjuresjukdomar och diabetes mellitus. Tillsammans med Bror-Axel Lamberg och Esko Nikkilä skrev och redigerade han den på sin tid mycket uppskattade läroboken Kliininen endokrinologia. Bland sina kolleger var Risto Pelkonen känd som en skicklig

diagnostiker, en färdighet som firade triumfer bland annat på klinikmötena på Mejlans sjukhus, där hans träffsäkra och välformulerade kommentarer alltid var konstruktiva och fälldes med glimten i ögat.

År 1995 förlänades Risto Pelkonen av president Martti Ahtisaari hedertiteln arkiater, den högsta utmärkelse som en finländsk läkare kan erhålla. Han blev därmed vårt lands tolfte arkiater och den sjätte under Finlands tid som självständig nation. Den mer än två tusen år gamla titeln har vandrat den långa vägen från Antiokia och Alexandria via Rom, Paris och Stockholm till Åbo och Helsingfors.

Som arkiater gav Risto Pelkonen sin hedertitel ett rikt innehåll, som byggde på hans egen livsfilosofi. Han uttryckte öppet och rakryggat sin syn på både positiva och negativa företeelser inom hälso- och sjukvården. Tesen att ett samhälles grad av civilisation kan mätas med hur väl man tar hand om sina svagaste medlemmar hade i Risto Pelkonen en stark förespråkare. Han uttryckte ofta djup oro över ökande nöd, otrygghet och ensamhet bland medborgarna. Alla människors lika värde och lika rätt till vård var en central fråga för vår arkiater, som i enlighet med läkarens etik bland annat engagerade sig i de papperslösas rätt också till annan vård än den allra mest akuta. Han hade inte mycket till övers för profit- och konkurrenstänkande inom hälso- och sjukvården, utan talade varmt för en jämlik rätt till offentlig vård och förespråkade en utbyggnad av primärvården och allmänläkarservicen.

Redan i början av sin över ett kvartssekel långa egid som arkiater lade Risto Pelkonen fram ett förslag om att återinföra avläggande av läkareden i samband med läkarexamen. Tanken var att unga läkare genom eden skulle knytas fastare till yrkeskåren och dess etiska normer. Sedan dess har en moderniserad läkared avlagts en gång per termin vid publika evenemang inom samtliga fem medicinska fakulteter i landet och arkiatern har oftast varit personligen närvarande.

Risto Pelkonen var en pennans man, som också hade talets gåva. Han var en

mästare i att uttrycka sig på sitt modersmål. I sina många tal och i sina artiklar framför allt i Finlands Läkartidning och tidskriften Duodecim tog han upp ett stort antal för läkare fundamentala och djupt angelägna frågor. Han påminde oss om mål och mening i läkararbetet och betonade värdet av en stark läkaridentitet som grund för en hög etisk standard och ett starkt engagemang för yrket. När han deltog i samhällsdebatten utgick han alltid från den enskilda människans – patientens – behov. Han påminde oss upprepade gånger om vårt grundläggande uppdrag att lindra den enskilda människans nöd och lidande. Han blev ett slags läkarkårens samvete.

Att all medicinsk vård och behandling ska bygga på vetenskap och beprövad erfarenhet kämpade han kontinuerligt för. Akademisk frihet och högklassig klinisk forskning såg han som en förutsättning för god klinisk undervisning och därmed också för yrkeskunniga läkare. I mötet med den enskilda patienten betonade han starkt betydelsen av medmänsklighet och inlevelseförmåga. Tanken att inte enbart den medicinska läroplanen utan också skönlitteratur, ja bildning och kultur över huvud taget, ska vara byggstenar i läkarens professionella utveckling hade i honom en sann vän.

Risto Pelkonen påminde ofta forskare om hur angeläget det är att de populariserar sina rön och förmedlar sina forskningsresultat till allmänheten. Han såg riskerna med en djupnande klyfta mellan forskare och allmänhet och ville bevara och stärka medborgarnas förtroende för den medicinska vetenskapen.

Arkiatern engagerade sig i vår tids ödesfrågor. Han gav uttryck för stor oro inför klimatförändringen och den minskade biologiska mångfalden, för den rubbade balansen i naturen och dess skadliga inverkan på planetens och människornas hälsa. Ändå närde han hopp om en bättre värld och satte sin tilltro till det internationella forskarsamhället och särskilt till den unga generationen.

Kollegialitet var ett honnörsord för arkiatern. När Risto Pelkonen kort efter att ha tagit emot arkiatervärdigheten besökte Finska Läkaresällskapet betonade

han starkt betydelsen av kollegialitet, eller som han uttryckte det, kamratskap, inom läkarkåren. Både äldre och yngre kolleger har vittnat om Ristos goda föredöme när det gäller kollegialitet och framhållit att de har känt sig sedda, hörda och uppskattade av honom.

Risto Pelkonen blev hyllad med ett stort antal pris och utmärkelser. Han kallades till hedersmedlem av Finlands Endokrinologförening och Finska Läkarföreningen Duodecim 1991, Finlands Läkarförbund 1997, Förening för Invärtes Medicin i Finland 1998 och Finska Läkaresällskapet 2010. År 1982 erhöll han Jacob Poulsens pris för sin forskning kring diabetes, 1991 mottog han Konrad ReijoWaara-priset för sin läkargärning och samma år blev han belönad av Finska Kulturfonden för sina insatser inom vetenskapskommunikation. Sedan 1992 var han medlem av Finska Vetenskapsakademin. År 2021 tilldelades han Storkorset av Finlands Lejons orden av president Sauli Niinistö.

Redan under sin skoltid i Helsingfors träffade Risto sin blivande hustru Kristiina Taivainen, sedermera farmaceut, som hade flyttat från Viborg till Helsingfors. Paret gifte sig 1957 och fick tre barn samt barnbarn och barnbarnsbarn, till vilkas lekar Risto bidrog genom att tälja ett stort antal figurer av bark. Så småningom bildade barkfigurerna ett miniatyrsamhälle, byn Tuohela, som konstnären själv har beskrivit i två bokverk.

Ristos beläsenhet var enorm och han var en sann vän av de sköna konsterna. Ornitologi var ett av hans särintressen och man kunde möta honom i arla morgonstund, när han med sitt diagnostiska skarpsinne identifierade ovanliga fågelarter med samma träffsäkerhet som han ställde sjukdomsdiagnoser.

Arkiater Risto Pelkonen förunnades ett långt och rikt liv, som omfattade drygt 70 år i vetenskapens, medicinens, samhällets, kollegialitetens och etikens tjänst. Vi bevarar hans goda föredöme och professionella etos i tacksamt minne.

Tom Pettersson