

Noggrann, intelligent och portabel:

Långtidsövervakning av lungorna

med elektrisk impedanstomografi



Av **Andreas Mangler, Rutronik**

Andreas Mangler läste fysik i Karlsruhe och blev sedermera civilingenjör i elektroteknik där. Det har gått tre decennier sedan han rekryterades av Rutronik till en post som chef för marknads-kommunikation. Sedan 2013 är han strategisk marknadschef och sedan 2019 medlem i Rutroniks utökade styrelse.

Tomogram, eller genomskärningar, har stor betydelse vid medicinsk diagnostik, för att till exempel fastställa lungskador. Datortomografi (CT) är förmodligen den mest kända avbildningsmetoden. Med sin höga rumsliga upplösning ger den en detaljerad bild av det undersökta organet. Men CT är baserad på joniserande strålning. Därför blir kontinuerlig övervakning, för analys av förändringar i lungfunktionen under den akuta fasen av sjukdom eller för regelbundna uppföljningar, omöjlig på grund av exponeringen för strålning.

I framtiden kommer nya, alternativa metoder att behövas, speciellt under långa terapifaser hos de många långtidssjuka covidpatienterna. Kontinuerlig och tillförlitlig övervakning av lungorna är nödvändig för att kunna anpassa och förbättra behandlingen av sängliggande äldre, kroniskt sjuka och patienter som behöver mekanisk ventilation.

Elektroimpedanstomografi (EIT) är en relativt ny avbildningsmetod, som bygger på visualisering av den rumsliga fördelningen av elektrisk impedans i kroppen. Istället för joniserande strålning används högfrekvent växelström i intervallet mellan 10 och 100 kHz med strömstyrkor mellan 100 nA och 10 mA. En växelström leds mellan två intilliggande elektroder i ett elektrodbräde och differentialspänningen mäts över alla återstående elektroddar. Därefter låter man strömmen flyta genom nästa, intilliggande elektroddar, tills alla elektroddar har använts en gång. Samtidigt mäter man spänningen över alla andra par. Därefter använder man de uppmätta spänningarna till att beräkna de lokala impedanserna.

På detta sätt kan en lokal vätskeansamling upptäckas och blodflödet till enskilda organ undersökas, eftersom kroppens vävnader och vätskor har olika konduktivitet. EIT är sär-

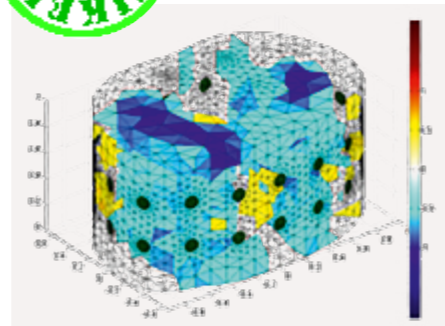
skilt lämplig för lungfunktionsdiagnostik eftersom mänsklig lungvävnad har en konduktivitet som är cirka fem gånger lägre än annan mjukvävnad i bröstet, vilket ger hög kontrast.

Eftersom EIT är en icke-invasiv metod kan den användas kontinuerligt på patienter. En annan fördel är att utrustningen som krävs för EIT är mindre och billigare än för andra metoder. Den tidsmässiga upplösningen av EIT är också relativt hög, vilket gör att både ventilation och blodflöde kan registreras i realtid.

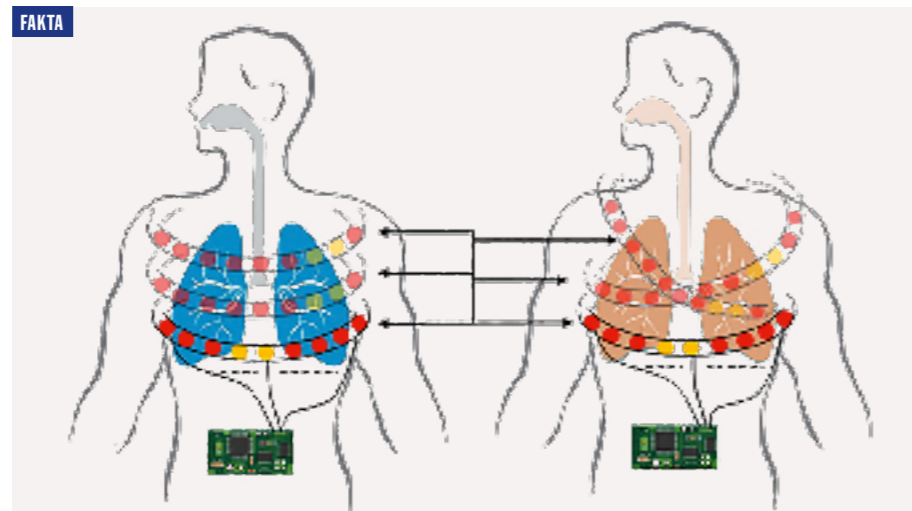
Den rumsliga upplösningen i de rekonstruerade bilderna är dock låg och begränsad till

avståndet mellan elektroderna. Utrustning som normalt används kliniskt visar bara lungornas tillstånd tvådimensionellt, och bara där elektrodbandet är placerat. Men för att övervaka de distribuerade lesionerna i lungvävnaden, som i fallet med Covid-19-patienter, är det viktigt med 3D-övervakning. En annan stor utmaning för EIT är att även de minsta mätfel kan leda till betydande förändringar i impedansfördelningen och därmed åstadkomma felaktiga mätresultat.

Och där kommer forskningsprojektet ELIOT vid Chemnitz Tekniska Universitet in i



FAKTA



ELIOT: 3D elektrisk impedanstomografi för övervakning av lungor vid behandling av Post-Covid

Under ledning av Institutionerna för Numerisk matematik och Mät- och sensorteknik vid Chemnitz Tekniska Universitet avser den ESF-anknutna forskargruppen ELIOT att skapa en metod för noggrann tredimensionell övervakning av mänskliga lungor med hjälp av befintliga instrument för impedanstomografi. Projektet syftar vidare till att skapa ett nätverk

för samarbete mellan medicin, universitet och industri.

Rutronik Elektronische Bauelemente GmbH är en långvarig affärs- och forskningspartner till Chemnitz Tekniska Universitet, samt distributör och leverantör för Sciospec Scientific Instruments GmbH, som tillverkat EIT-systemen som använts i projektet.



Sciospec EIT32 är särskilt konstruerat för elektrisk impedanstomografi.

bilden (se faktaruta) med en praktisk lösning för långtidsbehandling av lungpatienter. Man har kunnat utöka funktionen hos befintliga EIT-system och har därmed lyckats realisera omfattande tredimensionell övervakning av lungorna. Som ett led i detta avser man att undersöka olika rekonstruktionsalgoritmer baserade på artificiella neurala nätverk och ta fram en ny mätstrategi.

Avbildning av lungor i 3D med hjälp av AI

Forskarna behöver en dynamisk och så exakt modell som möjligt av den mänskliga bröst-korgen som underlag för simuleringarna och övervakningen. För detta ändamål har ett tidigare utvecklat finita-elementpaket anpassats för 3D EIT-modellering och utrustats med vanliga elektrodmodeller. Eftersom kvaliteten på mätresultaten bland annat beror på antalet använda elektroder och deras placering på kroppen, tar man också hänsyn till de olika signaleffekterna vid olika positioner. Inverkan av mätparametrarna undersöks också, såsom excitationssignalens amplitud och frekvens.

Rekonstruktionen av den rumsliga spridningen av konduktiviteten utifrån spänningsmätningarna, speciellt vid bröstorgans-kanten, är kärnan i EIT-rekonstruktionen och kan sorteras in i klassen omvända problem. Problemet är att även de minsta mätfel, orsakade av bland annat oönskade mätbrus, kan leda till godtyckligt stora förändringar i impedansfördelningen. Det blir därmed svårt eller omöjligt att skilja mellan omgivande vävnad och vatteninneslutningar.

En lovande metod att skärpa EIT-bilderna är att använda bayesisk 3D-konstruktion av lungorna med hjälp av neurala nätverk. Med den bayesiska metoden betraktas alla förekommande variabler som slumpmässiga, vilket förutom att rekonstruera vävnaden och

fördelningen av luft och vatten också möjliggör en bestämning av rekonstruktionens osäkerhet. Därmed kan man också uttala sig om till exempel en vattenansamling föreligger eller inte, med en given sannolikhet.

För att utvinna sådan information krävs mycket beräkningskraft. För att minska behovet av beräkningskraft kan man använda olika algoritmer för bildrekonstruktion, så kallade generative adversarial networks (GAN). Efter att algoritmerna tränats på ett framgångsrikt sätt kan de på mycket kort tid leverera ett stort antal rekonstruktioner, vilka kan användas för att bestämma sannolikheterna.

Först provas algoritmen på en 2D-modell och utökas sedan till en enkel 3D-modell, och anpassas slutligen till den framtagna, detaljerade bröstorgansmodellen. Målet är att härleda den optimala placeringen av mätelektroderna samt antalet mätningar som behöver utföras för att få bästa möjliga bildrekonstruktion.

Jämförelse mellan simulerade data och experimentella mätningar

De scenarion och provförhållanden som undersökts (elektroderpositioner och -antal, excitationssignalens egenskaper) har verifierats experimentellt genom mätningar på friska och sjuka försökspersoner. Ett EIT-system från Sciospec, en av deltagarna i studien, används för detta ändamål. Mätinstrumentet är särskilt konstruerat för elektrisk impedanstomografi och ger tillförlitliga mätdata med hög känslighet.

Instrumentet EIT32 används för de viktigaste experimenten. Det har 32 elektroder som dels används för att mata på ström (100 nA till 10 mA toppamplitud) och mäta spänning. En omkopplarmatris (antingen reedreläer med ultralågt läckage eller supersnabba halvledaromkopplare) kan koppla upp valfri

kombination av två kanaler för påmatning av positiva och negativa strömmar. Spänningen mäts samtidigt under några millisekunder på alla 32 kanaler, vilket är möjligt eftersom varje kanal har sin egen A/D-omvandlare. Detta är det enda sättet att exakt visa patientens tillstånd.

Systemet arbetar inom frekvensområdet 100 Hz till 1 MHz. Spektrummätningar med frekvenssvop med upp till 128 frekvenser är möjliga. Instrumenten har kommunikationsenheter för anslutning till industri-PC och kommer i framtiden även att kunna kommunicera i en IoT-miljö.

Ur de mätresultat som erhållits på detta sätt rekonstruerar AI-algoritmen 3D-bilder av lungorna, vilka sedan kan diskuteras med en medicinsk specialist, för utvärdering av systemet som helhet.

Intelligent system för en stor mängd tillämpningar

Baserat på data som kommit fram i projektet ELIOT, kommer man att följa upp med att utveckla en digital plattform för fjärrövervakning och visualisering av lungorna. Den mobila diagnosheten skulle kunna bestå av en teknisk textil som bärs på kroppen, samt en handhållen terminal. Patienten, vårdgivaren eller någon annan, skulle kunna använda detta i hemmet för att göra regelbundna mätningar av bröstorgans. Data sänds därefter vidare direkt till en specialist, alltså en telemedicin-tillämpning, så att förändringar kan upptäckas på ett tidigt stadium för att de ska kunna behandlas på lämpligt sätt.

Resultaten från detta forskningsprojekt skulle kunna användas i andra EIT-tillämpningar, som upptäckt av främmande föremål i vattentankar, undersökningar av den mänskliga hjärnan, eller utveckling av sensorsystem baserade på tunna lager nanomaterial. ■