

Tema 3

Moment 1: Mätteknik och temperaturmätning

Materialet i detta dokument beskriver kortfattat begrepp som mätning, sensor och mätinstrument. Det ger också exempel på sensorer för temperaturmätning som används inom sjukvården. Innehållet är till stora delar inspirerat av boken ”Biomedical transducers and instruments” av Togawa, Tamura och Öberg.

Inledning

Biomedicinska mätningar görs för att hjälpa undersökaren att ställa diagnos. I dagens sjukvård används mätningar och olika typer av mätteknik inom de flesta medicinska specialiteter, allt ifrån MR-kameran på röntgenavdelningen till febertermometern där hemma. För att göra en korrekt mätning måste man använda rätt mätmetod, ha kunskap om handhavandet så att man förstår och undviker felkällor, samt ha kompetens att bedöma resultatet. Användare inom vården måste därför besitta tillräcklig kunskap om instrumenten och sensortekniken för att kunna göra en kritisk bedömning av resultatet innan man går vidare med diagnos och behandling.

Trenden är att ställa diagnosen allt tidigare och att göra det så automatiskt som möjligt, gärna i hemmet och av patienten själv. Detta ställer ytterligare krav på medicintekniken och dess sensorer.

Mätning

En mätning är en procedur för att bestämma ett mätvärde för en storhet. Exempel på storheter som mäts kan vara tryck, flöde, temperatur med fler. En mätning presenterar alltså en storhet i form av siffror. En enhet som kan utföra en mätning och konvertera en fysikalisk eller kemisk kvantitet till en signal, vanligen elektrisk spänning, kallas en sensor. Signalen är komponenten i registrerat data som innehåller information om den sökta storheten och brus är komponenter som inte är relaterade till storheten.

När man ska analysera resultatet från en mätning måste man alltid titta på vad det finns för osäkerheter i mätningen. Viktiga definitioner i den analysen är:

- Absolutvärdet – som är det sanna värdet,
- Noggrannheten – som är relaterat till felet från det sanna värdet
- Precisionen – som är variationen i det mätta värdet om det sanna värdet hålls konstant.

Man kan göra en jämförelse med en piltavla där man siktar mot centrum, noggrannheten är då hur nära centrum pilarna hamnar och precisionen är hur samlade pilarna är. Felen kan vara av olika typer – systematiska fel vilket ger en försämrad noggrannhet och slumpmässiga (tillfälliga) fel vilket ger en försämrad precision och därmed också bidrar till en sämre noggrannhet. Om man har pilarna väl samlade men inte i centrum har man en god precision men en systematisk avvikelse. I tidsberoende signaler finns också ett dynamiskt fel vilket betyder att man inte hinner mäta förändringar som sker. Man kan likna det med att någon flyttar runt piltavlan snabbare än man hinner ställa om siktet vilket ger en extra spridning på tavlan.

Mätinstrument

Ett mätinstrument består av sensor, elektronik, hölje, någon form av display, mm. En egenskap registreras av sensorn och konverteras till en elektrisk kvantitet, bearbetas och presenteras. I instrumentet kan även ingå stimuleringar av olika slag. Ett medicintekniskt mätinstrument har alltid en hög grad av inbyggt säkerhetstänkande som är anpassat till instrumentets avsedda användning. Man skall därför alltid rådgöra med medicinteknisk personal innan modifiering av instrumentet eller kombinationsanvändning med andra instrument, som inte är beskriven, genomförs. Felaktig användning kan medföra direkt fara för patient men det kan också leda till mätfel vilket kan leda till feldiagnos.

Sensorer

Biomedicinska sensorer klassificeras som fysiska, elektriska eller kemiska. Dessutom finns en klass med biosensorer som använder något typ av biologiskt element i sin givarprincip.

Sensorer kan beskrivas genom dess egenskaper. Dessa egenskaper är viktigast för den som skall välja en sensor för ett mätinstrument eller mätsystem. Men sensorerna är oftast det som begränsar ett mätinstruments egenskaper så det också bra för användaren att känna till begreppen för att tolka manualer och för att bedöma resultatets tillförlitlighet.

Sensoregenskaper

- Sensitivitet (känslighet) – hur en ändring i den mätta storheten påverkar utsignalen från sensor. För en tryckgivare med en spänningsutsignal skulle enheten för känsligheten bli (mV/kPa).
- Resolution (upplösning) – Minsta ändringen i sanna värdet som sensorn klarar att registrera.
- Reproducerbarhet – intervall i utsignal vid mätning av en storhet då storheten hålls konstant, ges vanligen med 95 % konfidensintervall. Kallas repeterbarhet i korta tidsintervall.
- Mätområde – intervallet inom vilket angiven sensitivitet, upplösning och reproducerbarhet gäller.
- Dynamiska egenskaper såsom tröghet. Hur snabba förlopp sensorn kan mäta.

Förpackning av sensorer

För medicinska sensorer ställs speciella krav på förpackningen, dvs. höljet runt själva sensorelementet. En viktig aspekt är säkerheten och risken som patient och personal utsätts för. Man måste t.ex. alltid göra en riskanalys innan man tar en ny sensor eller ett nytt system i bruk, speciellt viktigt är det om man har aktiva sensorer till vilka man tillför energi. Det finns regelverk och normer på vilka krav medicintekniska produkter skall klara. Miljön där sensorn skall arbeta är också ofta besvärlig med kroppsvätskor som påverkar och tränger in. Detta får inte påverka sensorns funktion och omvänt skall sensorn så lite som möjligt påverka och störa mätmiljön. För implanterbara sensorer ställs också krav på biokompatibilitet och lång livslängd eftersom det ofta krävs en operation för att byta ut sensorn. Medicinska sensorer måste dessutom vara steriliserbara för att inte orsaka inflammation eller infektion. Detta görs vanligen med ånga eller kemiskt, sensorn måste klara denna behandling.

Temperatur

Temperatur mäts på många ställen i kroppen för klinisk diagnos, framförallt i samband med feber men även för hypotermi vid nedkylning. Temperaturen i kroppens inre kallas kärntemperatur, den är normalt mellan 35 och 40 grader. Kärntemperaturen anses kunna mätas korrekt på trumhinnan och i esofagus men även rektalt och i urinblåsan. Referenspunkt för kärntemperaturmätning är i lungartären. Hudtemperaturen mäts också i fysiologiska studier och för kliniska diagnoser, framförallt används den för att monitorera perifera cirkulationen. Den varierar mellan kärntemperaturen och omgivande temperaturen. Mätområdet bör vara mellan 0 och 50 grader. Avvikelser i hudtemperaturen pekar på abnormal cirkulation, vaskulärisering eller värmeproduktion i underliggande vävnad. T.ex. vid bröstcancer letar man förhöjningar i temp. Metabolisk aktiv vävnad har högre temperatur och kan ha högre än blod, i det läget fungerar blodet som kylvätska. Vid hypertermisk terapi av cancer krävs noggrann lokal temperaturmätning. Vid 43 grader överlever de friska cellerna medan cancercellerna dör. Temperaturregleringen bör hållas inom 0.1 grader.

Temperaturgivare

Många fysikaliska egenskaper hos material har ett temperaturberoende. Ofta kan detta ge upphov till problem; järnvägsräls som blir längre en solig sommardag, uppvärmningstid hos elektronik och mätsystem som bara är kalibrerade för användning i rumstemperatur. Å andra sidan kan man utnyttja materials temperaturegenskaper för att skapa sensorer med vilka man kan bestämma temperaturen. Kvicksilvertermometern är ett exempel på hur man använder metalls expansion vid uppvärmning och nedan visas även några exempel på hur temperaturberoende elektriska egenskaper utnyttjas för sensor konstruktion. De olika sensorprinciperna har olika egenskaper vad gäller känslighet, mätområde, responshastighet etc. Valet av sensor för en termometer beror på var man vill mäta, hur stor får proben vara och vilken temperaturvariation förväntas, hur man vill mäta, kontinuerlig övervakning eller en punktmätning, hur snabba förändringar man vill kunna registrera mm.

Termoresistiv metall

Termometrar baserade på termoresistiv metall utnyttjar det faktum att det elektriska motståndet hos metallen ökar med temperaturen. Den största fördelen med termoresistiva element är att de har en konstant temperatur koefficient (känslighet) vilket ger en linjär signal över ett stort temperaturområde. De har också en liten värmekapacitet per yta vilket ger en snabb respons. Det vanligaste materialet är Platina (Pt100).

Termistor

Termistorn är en halvledarkomponent med negativ temperaturkoefficient (NTC). Det betyder att elektriska motståndet minskar med ökande temperatur. Känsligheten för en termistor är ca 10 ggr högre än för ett Pt100 element men i stället är den inte linjär. Termistorn måste därför linjäriseras med ett motstånd antingen i serie eller parallellt. Man får då en linjär sensor med hög känslighet inom ett smalare temperaturintervall. Det lämpar sig bra för medicinskt bruk, framförallt för att mäta kärntemperatur, eftersom man har ett smalt temperaturintervall där det krävs god känslighet.

Termoelement

Ett termoelement består av två trådar av olika metaller. Zeebeck effekten gör att om man kopplar ihop dem på två ställen med olika temperatur kommer en spänningskillnad att skapas

som är beroende av temperaturskillnaden. När man mäter med termoelement är det viktigt med en stabil referenstemperatur. Traditionellt har man använt isvatten med noll grader som referens. Detta är ju inte särskilt praktiskt och idag finns det kretsar som kompenserar och skapar ett virtuellt vattenbad. I praktiken mäts temperaturen i referenspunkten vid kretsen med t.ex. en termistor. Termoelement finns i många modeller, t.ex. nål, isolerade, kateter och mikrosmå.

Temperaturmätning utan kontakt

Detta kan göras genom att mäta strålningsvärmen. Infraröda strålningstermometrar och termografer har använts för att studera hudtemperatur. En strålningstermometer mäter termiska strålningen som emitteras från objektets yta. Från en kropp som är 37 grader ligger strålningstoppen i övre det infraröda området. Strålningen kommer både från emitterad strålning och från reflekterad strålning. Hos människan (hud) är 97 % emitterad strålning.

Kliniska termometrar

Den klassiska kvicksilvertermometern är exakt och enkel, nackdelar är att den är långsam, datainsamling eller kontinuerlig monitorering är inte möjlig och det faktum att den innehåller kvicksilver vilket har gjort att den idag inte är tillåten. För monitorering av patientens kärntemperatur används ofta en flexibel kateter med en termistor eller ett termoelement som placeras rektalt. Den tympaniska termometern som mäter i örat med en ickekontakt infraröd pyrosensor blir allt vanligare och ger kärntemperaturen. Metoden ger god noggrannhet och är snabb och enkel.