4

Mätteknik

"...when you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meager and unsatisfactory kind..."

Lord Kelvin, 1883

Citatet ovan av Lord Kelvin har återgetts många gånger för att belysa vikten av att använda god mätmetodik inom vetenskap och teknik. Citatet gäller också för modern sjukvård, som i stor utsträckning bygger på att man med mätvärden anger en patients tillstånd. Ofta är det bara möjligt att ge rätt behandling när resultatet av en undersökning kan anges med siffror.

Men siffror har också en magi, som tillfredsställer irrationella behov. Om ett instruments »noggrannhet» anges med decimaler tror vi oss veta att instrumentet måste vara bra, även om inget sägs om vad som ligger bakom siffrorna. Om den statistiska signifikansen för en studie anges i p-värden med många nollor invaggas vi i tron att resultaten är övertygande även om uppläggningen av undersökningen är tvivelaktig. Siffror har ett mystiskt egenvärde som bedövar vårt omdöme.

Det finns exempel på medicinska doktorsavhandlingar som inte ens uppfyller lågt ställda tekniska krav när noggrannheter anges. Författare (och tydligen även opponenter) nöjer sig med att mätosäkerheten anges som ett visst antal procent, utan uppgift om hur procenten beräknats. Det räcker med att en siffra finns där, även om ingen kan förstå innebörden.

Både tillverkare av instrument och användare inom sjukvården tar ofta för lätt på hur man redovisar mätosäkerheter. Observera att termen »noggrannhet», som har en kvalitativ mening, inte skall användas när man med siffror anger en **mätosäkerhet**. Det korrekta uttrycket är egentligen i stället **onoggrannhet**.

EX 4:1 INFUSIONSAGGREGATS ONOGGRANNHET

En av de större tillverkarna uppgav »noggrannheten» för en av sina infusionspumpar till 5%. Detta är språkligt fel, då avsikten måste ha varit att tala om att pumpens mätosäkerhet var 5%. Inget sades om vad procenten hade beräknats på eller under vilka förhållanden bestämningen gjorts. De flesta antar nog att värdet 5% representerar ett maximalt fel under alla tänkbara förhållanden. Man undrar dels hur tillverkaren bestämt detta, dels om det verkligen är det maximala felet och inte något medeltal?

Är det angivna procentuella felet 5% (vad det nu innebär) beräknat på inställt värde eller på det högsta värdet inom mätområdet?

Mätosäkerheten borde ha angivits på ett mera adekvat sätt som är vanligt i andra tekniska sammanhang, exempelvis som summan av felet i procent av avläst värde och felet i procent av fullt utslag.

Man saknar även en uppgift på den infusionstid under vilken felet beräknats, vilket är en brist då vid infusioner under korta tider mätosäkerheten är många gånger större.

Inom sjukvården har nog de flesta kliniskt verksamma genom erfarenhet fått en sund skeptisk inställning till mätvärden. Men en viss övertro kan nog fortfarande finnas på resultat från laboratorier.

I praktisk sjukvård har man i allmänhet inte tid att bekymra sig om de tekniska egenskaperna hos instrumenten. Det är den medicintekniska personalens sak att se till att instrumenten uppfyller kraven på prestanda.

God sjukvård fordrar givetvis att man kan lita på erhållna mätresultat. Detta förutsätter att instrumenten uppfyller givna krav. Vid inköp skall fordringarna på noggrannhet ingå i kravspecifikationen, vilken talar om de egenskaper mätinstrumentet måste ha. Uppfylls kraven så är det känt hur stor tilltro man kan fästa till erhållna värden.

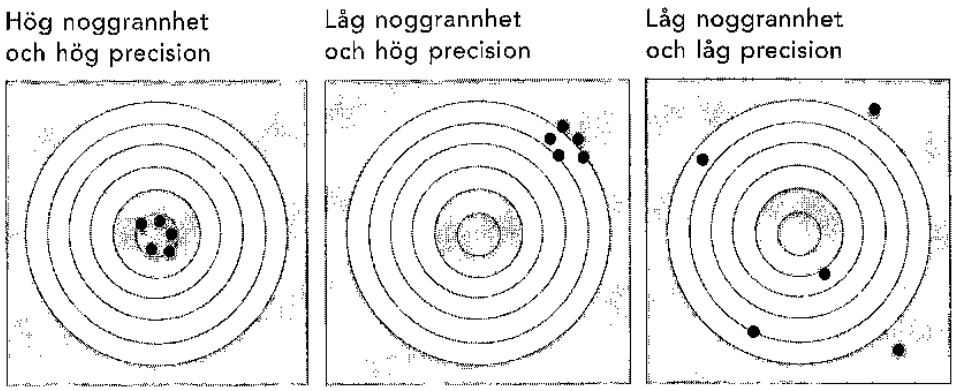
En förutsättning är dock att instrumentet kalibreras med hjälp av en **normal**. För en blodtrycksmanschett kan normalen utgöras av en kvicksilvermanometer och för ett kemiskt analysinstrument av en standardlösning. Sådana standarder läggs in bland prover från patienter och genomgår exakt samma behandling som alla andra prover. Erhålls ett avvikande värde för standardlösningen kan instrumentet kalibreras och analysresultaten korrigeras.

Noggrannhet och precision

Noggrannhet är inte detsamma som precision. Med **noggrannhet** hos en mätning avses **graden av överensstämmelse mellan ett avläst värde och det sanna värdet**. Mäts kroppstemperaturen upprepade gånger med rätt teknik och med en termometer, som nyligen är kontrollerad och godkänd vad avser mätfel, och mycket snarlika värden erhålls vid varje mätning, är det troligt att noggrannheten är hög.

Med **precision** avses graden av **överensstämmelse mellan upprepade mätningar** med samma instrument. Mäts temperaturen med en termometer upprepade gånger och snarlika värden erhålls vid varje tillfälle är precisionen hög, men noggrannheten blir ändå låg om termometern är felaktig och till exempel alltid systematiskt visar för höga värden.

Hög noggrannhet förutsätter hög precision, men noggrannheten kan vara låg även om precisionen är hög. Skillnaden brukar åskådliggöras med träffbilder på måltavlor, figur 4:1. Skytten som träffade den vänstra tavlan sköt med hög noggrannhet, dvs han riktade inte enbart vapnet med stor omsorg utan han använde också ett mycket bra vapen med ett rätt inställt sikte. Kulorna träffade mitt i prick. Skytten som träffade tavlan i mitten riktade vapnet med lika stor omsorg och skicklighet mot mitten på tavlan, och kulorna träffade inom ett lika avgränsat område. Men siktet på geväret var fel inställt och kulorna hamnade uppåt höger på tavlan. Precisionen för bägge skyttarna var lika hög. Men den som sköt mot vänstra tavlan hade dessutom hög noggrannhet tack vare ett bra vapen. Den som sköt mot den högra tavlan hade både låg noggrannhet och låg precision.



Figur 4:1 Ett vanligt sätt att illustrera skillnaden mellan noggrannhet och precision.

Mätosäkerhet

En av de mest väsentliga egenskaperna hos ett mätsystem är den noggrannhet som man kan vänta sig. Skillnaden mellan ett funnet mätvärde och det sanna värdet kallas **mätfel**. Om man bortser från grova **slarvfel**, såsom att avläsa värdet 39,3 när temperaturen är 38,3°C, förekommer två olika typer, **tillfälliga** och **systematiska mätfel**.

De **tillfälliga felen** varierar varje gång avläsningen görs. Ett exempel på tillfälligt fel är det som erhålls vid blodtrycksmätning med manschett (s 105). Det blodtryck som avläses är något olika varje gång mätningen görs (även om patientens blodtryck är detsamma). När luften släpps ur manschetten, och det systoliska värdet avläses, skulle inte något mätfel uppstå om trycket i manschetten just då var exakt detsamma som trycket i artären vid pulsvågens maximum. Och på samma sätt skulle rätt värde fås vid avläsning av det diastoliska värdet om manschettrycket just då var precis lika med trycket vid pulsvågens minimum. Men detta är inte möjligt då vi inte kan styra utsläppet av luft så att trycken är exakt desamma i manschetten som i artären i rätt ögonblick. Vi får något olika värde vid varje mätning, dvs en mätosäkerhet.

De tillfälliga felen kan anges som standardavvikelse*, och kallas inom mättekniken **standardfel**. Är mätosäkerheten låg, dvs standardfelet litet, har instrumentet eller mätmetoden hög precision. Precisionen är alltså ett mått på samstämmigheten vid upprepade mätningar. Men även om precisionen är hög kan, som ovan sagts, noggrannheten vara låg genom systematiska fel – något man inom sjukvården måste försöka undvika.

Systematiska fel ger värden som alltid går i en viss riktning så att det uppmätta värdet är större eller mindre än det sanna värdet. Felet kan vara konstant inom området, då det kallas **skevhet** (*eng* **bias**), eller variera med ingångssignalens storlek. Ett exempel på skevhet är om visaren på ett instrument vridits på axeln. Om blodtrycksmanschettens visare inte står exakt på noll innan trycket pumpas upp, kommer ett systematiskt fel att uppstå, och blodtrycksvärdet blir för högt eller för lågt varje gång vi använder den defekta manschetten.

Ett exempel på ett systematiskt fel, vars storlek är proportionellt mot mätvärdet, är om tiden mäts med ett stoppur som går för fort.

---

*Standardavvikelsen s vid n upprepade mätningar av x, som resulterar i medelvärdet $\bar{x}$, är $s = (\Sigma(x - \bar{x})^2 / (n - 1))^{1/2}$.

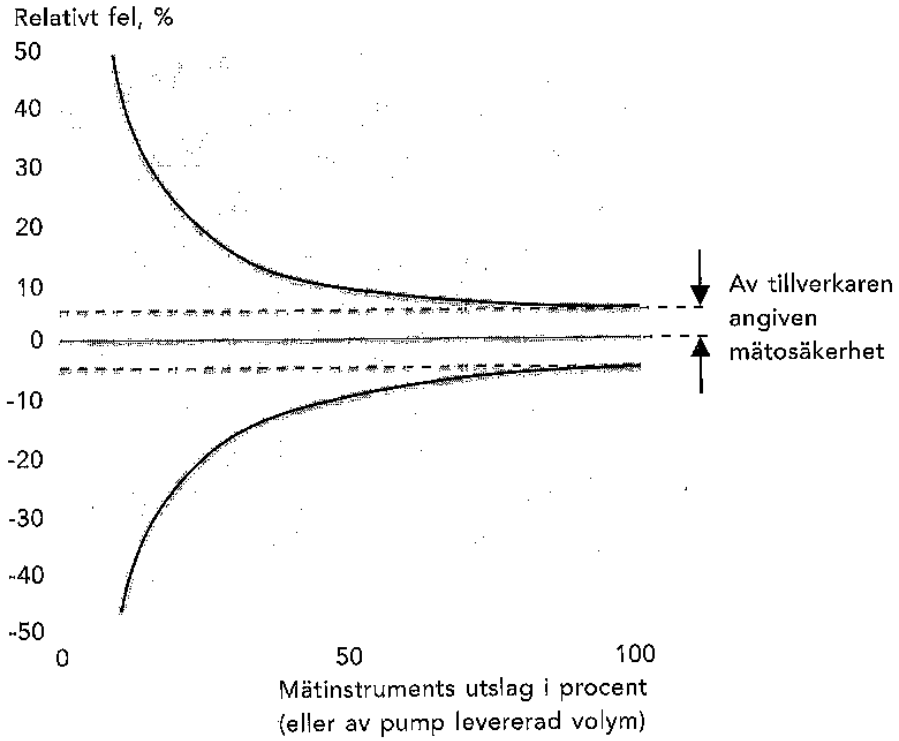
Felet e (*eng* error) är skillnaden mellan det uppmätta värdet M (Measured) och det sanna värdet T (True). Vi kan göra en korrektion om det systematiska felets storlek är känt. För korrektion av en skevhet utnyttjas det enkla sambandet:

$$T = M - e$$

Felet e utgör det **absoluta felet**. Det anges i en viss sort, exempelvis för en termometer i °C och för en blodtrycksmanschett i mm Hg. För att ange ett mätinstruments mätosäkerhet är det ofta mer praktiskt att ange det **relativa felet** som erhålls om man dividerar felet e med det uppmätta värdet M:

$$\text{Relativt fel} = e / M$$

Det relativa felet anges ofta i procent (promille). För ett mätinstrument anges det relativa felet ofta som procent av fullt utslag på skalan. Det innebär att den mätosäkerhet som tillverkaren garanterar ökar ju lägre mätvärdet är. En termometer, som visar temperaturer mellan 0 och 300°C med en av tillverkaren uppgiven mätosäkerhet på ±5 procent av fullt utslag, dvs ±15°C, ger vid



Figur 4:2 Det relativa felets storlek vid olika utslag på ett mätinstrument, eller felet i avgiven volym i förhållande till den på en pump avlästa volymen.

70°C ett mätosäkerhetsområde mellan 55 och 85°C. I figur 4:2 visas det relativa felets storlek vid olika utslag på ett mätinstrument – felet stiger brant vid små utslag. Dylika diagram har fått benämningen **trumpetkurvor**.

Samma typ av kurvor beskriver exempelvis en infusionspumps noggrannhet om man ritar ett diagram över felet som kvoten av erhållen volym och avläst värde. Osäkerheten är mycket stor vid små levererade volymer. Då är de en mycket liten bråkdel av den volym på vilken mätosäkerheten har angivits, och det relativa felets storlek är i motsvarande grad mångfaldigt större. Även infusioner under korta intervall ger stort fel.

Ett instruments mätfel bestäms genom **kalibrering** med hjälp av en standard, till exempel för en blodtrycksmanschett med en kvicksilvermanometer. Ett instruments eller en metods mätosäkerhet är summan av tillfälliga och systematiska fel.

TIPS 4:1 Undvik att använda den ***nedre tredjedelen av ett mätinstruments skala.*** Då blir det relativa felet aldrig större än tre gånger den av tillverkaren angivna mätosäkerheten för fullt utslag.

Mätinstruments egenskaper

Mätområde

Mätområdet anger inom vilka gränser ett mätinstrument kan användas. För en febertermometer är 35–42°C ett vanligt mätområde, vilket med marginaler täcker det kliniska behovet.

Känslighet

Varje instrument har en gräns för hur små ändringar i ingångssignalen som kan registreras, och denna känslighet är i någon mån oberoende av mätområdet. Känsligheten är alltså ett mått på instrumentets **upplösningsförmåga**. Den kan anges i antalet längdenheter på skalan per mätenhet, till exempel för en EKG-registrering millimeter utslag per millivolt spänning (mm/mV).

Frekvenskarakteristik

För en viss storlek, s k amplitud, på ingångssignalen bör utamplituden inte ändras med signalens frekvens. Detta är ett krav som kan vara svårt att uppfylla. Ett instruments frekvenskarakteristik anger hur utamplituden varierar med frekvensen. En vanlig telefon

har ett ganska snävt omfång i frekvens på ca 350–3500 Hz, vilket är tillräckligt för att förstå tal. En bra musikförstärkare har ett mycket större omfång, till exempel 20–20000 Hz.

Stabilitet

När ingångsamplituden är konstant får inte utgångsamplituden variera med tiden, vilket kallas **drift**. Man observerar lämpligen om baslinjen driver då instrumentet står påkopplat en längre tid. Stabiliteten kan anges i den maximala ändringen i avläst ingångssignal med tiden, exempelvis mV per timme.

Signal-brus-förhållande

Brus yttrar sig som variationer i utgångssignalen utan att ingångssignalen ändras. Bruset kan bero dels på egenskaper i mätinstrumentet (vilket är sällsynt inom sjukvården), dels på störningar som framkallas i patientens kropp eller i de ledningar som går till apparaten. Exempelvis är störningar vanliga i EKG-apparater och kardioskop. Givetvis skall mätsignalen vara så hög som möjligt i jämförelse med bruset.

Användaren kan ofta bidra till ett högt signal-brus-förhållande genom att anbringa elektroder på föreskrivet sätt, främst genom att åstadkomma en mycket god kontakt med huden. Signal-brus-förhållandet anges som en fraktion, säg 10:1, vilket anger att signalens amplitud är tio gånger så stor som brusets.

Isolation

Patienter måste skyddas mot strömmar och instrument mot störningar från andra apparater. För nätanslutna apparater är det viktigast att nättransformatorn har tillräckligt god elektrisk separation mellan lindningarna. Speciella kretsar kan även utnyttjas för att åtskilja patient och mätapparat, exempelvis då mätsignalen överförs med hjälp av ljus. Patientkretsen blir då elektriskt helt skild från resten av mätapparaten. Telemetri, dvs signalöverföring med hjälp av radiovågor, ger mycket god isolation.

Som nämnts i kapitel 2 indelas apparater i tre klasser B, BF och CF beroende på de läckströmmar som kan ledas till patienten. Denna indelning är betingad av den isolation som kan uppnås.

Isolation specificeras även beroende på vad isolationen avser. Ett kardioskop för övervakning av hjärtinfarkter måste tåla den spänning som används vid defibrillering. För en sådan apparat anges isolationen i den spänning i volt som inte kan skada apparaten.