

ELEKTROKARDIOGRAFI OCH HJÄRTLJUD

Elektrokardiografi (EKG) innebär registrering av hjärtats elektriska aktivitet med hjälp av elektroder på kroppsytan. Det man observerar är således de potentialförändringar som uppkommer i kroppsdelarna runt hjärtat som ett resultat av de strömmar som genereras som resultat av hjärtcellernas aktivitet. Det moderna elektrokardiogrammet kan härledas till Willem Einthovens uppfinning av ett nytt, snabbt registreringsinstrument (stränggalvanometern) vid början av 1900-talet, och det är Einthovens beteckningar som vi idag använder för att beskriva EKG. För sin upptäckt av mekanismen bakom elektrokardiogrammet belönades Einthoven med Nobelpriset år 1924.

EKG är ett diagnostiskt hjälpmedel vid många allvarliga tillstånd såsom hjärtinfarkt, arytmier, belastning av vänster kammare vid hypertension eller av höger kammare vid akut lungemboli, och en lång rad andra tillstånd. Tolkning av ett EKG kräver dock ett stort mått av träning.

Nomenklaturen i EKG

Utslagen i ett normalt EKG brukar benämnas antingen vågor (de rundare P-, T- och U-utslagen) eller taggar (Q, R och S) då dessa är spetsigare. *P-vågen* motsvarar förmakens depolarisering. *QRS-komplexet* motsvarar kammarens depolarisering och *T-vågen* kammarens repolarisering. Ett utslag som motsvarar förmakens repolarisering ses normal ej, troligen därför att detta är ett mycket litet utslag som infaller under QRS-komplexet.

Beteckningarna Q,R och S är rent deskriptiva. Ett R är ett utslag som går uppåt. Ett Q är ett utslag som går ner före ett R medan S går ner efter ett R. Saknas R helt brukar man tala om det nedåtgående utslaget som ett "QS-komplex", även om det enligt resonemanget innan borde betecknas som ett Q. Orsaken till dessa olika utslag beror dels på hjärtats depolarisering, men i lika hög grad på elektrodernas placering. Det som ger upphov till ett R i en avledning kan vara detsamma som orsakar ett Q i en annan. Därför är det viktigt att komma ihåg att beteckningarna är rent deskriptiva. Och det går alltså inte att tala om ett "negativt R" eller ett "positivt Q"!

Uppkomsten av EKG

Den exakta bakgrunden till EKGets uppkomst är komplicerad, och här kommer endast en förenklad förklaring att ges.

Alla celler uppvisar en membranpotential som i huvudsak beror på skillnaderna i koncentration för natrium och kalium mellan cellens inre och yttre samt på skillnaderna i cellmembranens permeabilitet för sedda joner. I en cell i vila, där membranpotentialen är stabil, går inga nettoströmmar över cellmembranen. När cellen ändrar sitt elektriska tillstånd (t.ex. under en aktionspotential) går det däremot nettoströmmar in i eller ut ur cellen. Dessa strömmar löper från en del av cellen till den andra via vätskan utanför cellen i tre dimensioner – det extracellulära rummet fungerar här som en s.k. volymkonduktor, en elektrisk ledare med tre dimensioner. Strömmar som löper i denna kommer att ge potentialförändringar i den. Som en följd av cellens aktivitet kan således potentialändringar avläsas på ett avstånd ifrån cellen under en aktionspotential. I vila syns däremot inget. .

När det rör sig om hjärtat är begreppet ”cell” komplicerat, eftersom de histologiskt identifierbara cellerna är elektriskt kopplade till varandra i funktionella syncytier (förmak resp. kamrar). Med visst fog kan man betrakta förmaken resp. kamrarna som stora celler, där ström löper runt hela syncytiet under aktionspotentialen mellan det ställe i syncytiet där en potentialförändring äger rum till de andra delarna av syncytiet.

Det följer av det ovanstående att det uppstår potentialförändringar runt hjärtat i de ögonblick som hjärtat förändrar sitt elektriska tillstånd. När alla muskelceller är normalt polariserade (i vila) finns inget att mäta runt hjärtat, och när alla celler är depolariserade (under aktionspotentialens platå) syns heller inget. Däremot medan aktionspotentialen håller på att spridas över hjärtat går det strömmar i och runt hjärtat, vilka orsakar elektriska potentialförändringar i hjärtats omgivning som kan avläsas på avstånd från hjärtat. Detta är grunden för EKG-registreringen.

Storleken på de strömmar som går runt hjärtat – och därmed storleken på potentialförändringarna som registreras i EKG – beror på hur mycket muskel som depolariseras per tidsenhet. Ju större muskelmassa som depolariseras, och ju fortare det går, desto större utslag. Dessutom spelar riktningen roll – en depolariseringsvåg som rör sig mot

eller från en elektrod (egentligen mellan elektroden och referenspunkten) ger störst utslag, en våg som utbreder vinkelrätt däremot ger inget utslag alls. Därför är det väsentligt att känna till depolarisationens tredimensionella utbredning över tid.

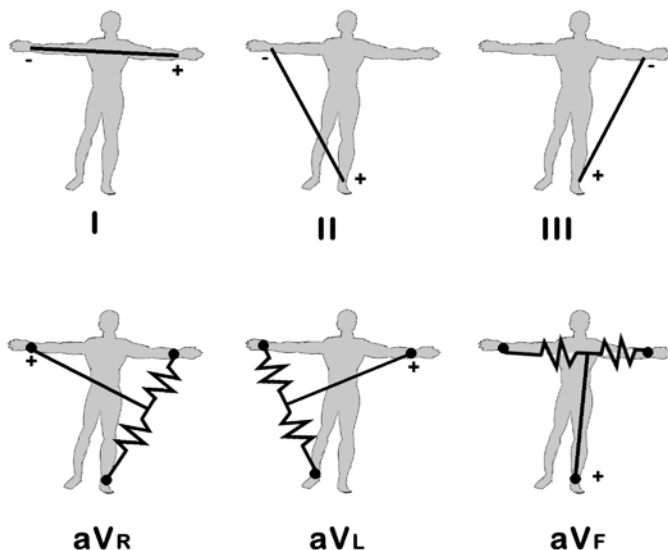
Hjärtats depolarisering sker med start i sinusknutan, varifrån den elektriska aktiviteten sprids över förmaken (mest i riktning framåt vänster eftersom sinusknutan sitter uppåt-bakåt i höger förmak), via AV-knutan (med fördröjning) ner till His bunt och ledningssystemet. Från detta kommer kammaren att depolariseras: först septum i riktning från vänster till höger, därefter apex, sedan kammarväggarna bilateralt och till sist kammarbasen i riktning uppåt-bakåt. Eftersom vänster kammars vägg är betydligt tjockare än höger kammars kommer denna att dominera kammardepolarisering. Därför kan kammardepolariseringen sammanfattas som en vektor som börjar med liten amplitud åt höger (septumdepolariseringen), växer och vrider sig åt vänster (mer muskel på vänster sida), når sin största amplitud snett nedåt vänster för att därefter avta i amplitud medan den fortsätter att vridas uppåt och lite bakåt.

Dessutom bör det nämnas att kammardepolariseringen sker från hjärtats insida till dess yta eftersom ledningssystemet ligger på kamrarnas insida. Däremot är av någon anledning aktionspotentialdurationen kortare på hjärtytan än på ventriklarnas insida (ev. pga trycket inne i kammaren och därav följande påverkan på blodförsörjningen). Detta medför att repolarisationen förlöper i motsatt riktning mot depolarisationen – utifrån och in. Så förklaras att T-vågen oftast går i samma riktning som QRS-komplexet.

Avledningar

Registrering av elektrokardiogrammet kräver att man ansluter en känslig spänningsmätare till elektroder på kroppsytan med ledningar. Man mäter således spänningen mellan två punkter på kroppsytan, och den spänning man kan registrera är mycket beroende av den exakta lokaliseringen av elektroderna. För att man på ett meningsfullt sätt skall kunna jämföra olika EKG med varandra är det alltså nödvändigt att man känner elektrodplaceringen, och därför använder man standardiserade elektrodplaceringar. Dels placerar man elektroder på extremiteterna ("extremitetsavledningar"), dels på bröstkorgen ("bröstavledningar").

Med hjälp av tre elektroder, en på vardera armen och en på ena foten, registrerar man avledningarna som visas i Fig. 1. I praktiken ansluter man ytterligare en elektrod av tekniska skäl. Personen som undersöks kan ju ha en spänning i förhållande till jord som kan vara kanske stor (tänk på att statisk elektricitet kan göra att det slår gnistor mellan en människa och jord). För att inte överlasta den elektriska utrustningen jordar man personen genom en extra ledning (vanligtvis till höger fot). Här registrerar man alltså mellan två elektroder (I, II, III) eller mellan en elektrod och summan av de två andra (aV-avledningarna).



Figur 1. De sex standardiserade extremitetsavledningarna. De tre klassiska avledningarna i övre raden kan tänkas bilda en triangel (Einthovens triangel).

Pluspolen kan sägas vara den utforsande elektroden och minuspolen referenselektroden.

Därutöver kan man med ytterligare elektroder avleda i ett annat plan. Dessa placeras på bröstkorgen ungefär från höger mamillarlinje till vänster bakre axillarlinje. Ett antal av dessa placeringar är definierade med beteckningar som V3R och V1-V7. Typiskt väljer man sex av dessa, antingen V1-V6 eller V3R, V1, V2, V4, V5, V7. Som referens använder man summan av de tre extremitetsavledningarna, som kan tänkas vara spänningen i mittpunkten av Einthovens triangel, dvs en punkt mitt i bröstkorgen.

Avledningarna visar elektriska förändringar, framför allt de som sker i en riktning mellan utforskande elektrod och referenspunkten. Förändringar som löper vinkelrätt mot denna riktning är i princip osynliga i avledningen, och de med annan riktning har lägre amplitud. Därför kompletterar de olika avledningarna varandra, och man kan från dem sammantaget få en bild av hjärtats elektriska aktivitet både vad gäller storlek och riktning.

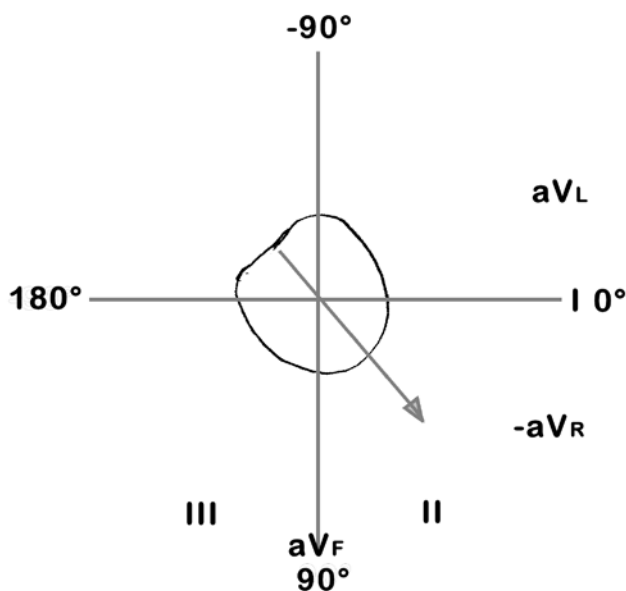
EKG brukar skrivas ut på ett papper eller visas på en skärm med tre eller sex avledningar ovanför varandra. I anglosaxiska länder (och Danmark) brukar de presenteras i ordningen I-II-III-aVR-aVL-aVF, medan man i många andra länder, häribland Sverige, använder det s.k. Cabrera-systemet (aVL-I-(-aVR)-II-aVF-III), som ger en mer anatomisk representation av ordningsföljden mellan elektroderna.

Hjärtats elektriska axel

Depolarisationens utbredning över hjärtat kan teoretiskt sammanfattas i form av en vektor. Vektorns längd motsvarar den mängd muskel som depolariseras vid en viss tidpunkt, och dess riktning avspeglar den sammanvägda riktningen av depolarisationens utbredning ("nettoriktningen" med hänsyn tagen till hur mycket muskel som depolariseras i vilken riktning). Denna vektor förändras således med tiden under depolariseringens gång. I början har den liten amplitud snett neråt höger, när septum depolariseras från insidan av vänster kammare. Därefter växer amplituden och vektorn svänger över åt vänster, eftersom visserligen både höger och vänster kammare depolariseras samtidigt, men vänster kammare innehåller så mycket mer muskel att den kommer att dominera riktningen. Till slut faller vektorns amplitud när riktningen går snett uppåt bakåt vänster. Den riktning som vektorn har när den är maximal (med störst amplitud) kallas för hjärtats elektriska axel. Denna riktning är normalt mellan 0° och 90° (se Fig. 2). En elektrisk axel mellan 90° och 180° kallas högerställd och mellan 0° och -90° vänsterställd. Sådana avvikelser kan tyda på hypertrofi

eller belastning av respektive kammare, men kan också bara antyda ett ovanligt läge hos hjärtat (t.ex. vänsterställd axel vid horisontellt hjärta och högerställd vid vertikalt). En axel i området -90° till 180° förekommer inte i ett normal EKG utan tyder på felkoppling.

Om avledningarna ordnas enligt Cabrerasystemet är det lätt att ungefärligt bestämma den elektriska axelns riktning – man söker efter den största R-taggen, eventuellt interpolerar man mellan två avledningar för att få ett noggrannare gradtal. På detta vis kan man enkelt uppskatta axeln med en noggrannhet på 10° .



Figur 2. Hjärtat sett framifrån inplacerat i ett koordinatsystem men angivande av de olika avledningarnas riktningar. Dessa ligger med ungefär 30° mellanrum från -30° (aV_L) till 120° (III). Hjärtats elektriska axel faller normalt inom den nedre vänstra kvadranten (0 - 90°).

HJÄRTLJUDEN

Som en konsekvens av hjärtats mekaniska arbete skapas ljud som kan höras med stetoskop på bröstkorgens yta. Från det normala hjärtat hörs ljud från klaffstängningarna, det första och andra hjärtljudet. I vissa fall kan man även höra andra ljud (det tredje och fjärde hjärtljudet) från ett normalt hjärta.

Det första hjärtljudet uppstår som en följd av stängningen av atrioventrikularklaffarna, alltså tricuspidalis- och mitralisklaffen. Detta ljud beskrivs typiskt som ett lite mjukare ljud ("lubb").

Det andra hjärtljudet beror på stängningen av fick-klaffarna, dvs pulmonalis- och aortaklaffen. Då dessa klaffar omges av större tryckskillnader än AV-klaffarna stängs de med större kraft och ljuden som uppstår låter därför hårdare ("dupp").

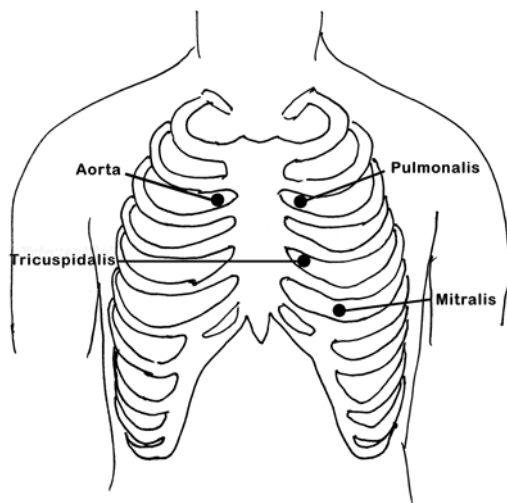
Det tredje hjärtljudet uppstår under den snabba fyllnadsfasen, dock oftast inte omedelbart efter klafföppningen utan först när kammaren har blivit lite fylld. Det uppstår troligen i kammarväggen när denna hastigt spänns ut av det inrusande blodet. Sannolikheten för att höra detta ljud ökar om slagvolymen blir större. Detta ljud hörs normalt ej, i varje fall inte i en vilande individ, men räknas ändå som normalt.

Det fjärde hjärtljudet är en följd av förmakskontraktionen och den åtföljande snabba utspänningen av kammaren. Det förekommer hos små barn men är sällsynt hos vuxna. Även detta räknas som ett normalfynd.

Övriga ljud som kan höras som följd av hjärtats arbete räknas som patologiska. Hit hör t.ex. de för klaffel typiska blåsljuden, systoliska eller diastoliska beroende på typen av fel.

För att höra de olika klaffarnas ljud förefaller det naturligt att dessa borde vara starkast över klaffarna. Man måste dock ta i beaktande att ljuden fortplantas med blodströmmen, och att de därför oftast hörs bäst nedströms. Därför är t.ex. den bästa positionen för att höra ljud från aortaklaffen inte till vänster som sternum som man skulle tro av aortaklaffens läge i kroppen,

utan till höger därför att aorta leder blodet initialt uppåt höger innan den kröker bakåt – vänster – nedåt. Lämpliga punkter att avlyssna klaffljuden framgår av Fig. 2:



Figur 3. Lämpliga platser för avlyssning av de olika klaffarnas ljud..

LABORATIONENS UTFÖRANDE

Syftet med laborationen är

- Att ge en känsla för hur EKG-komplexet ser ut och hur hjärtats elektriska axel är riktad
- Att identifiera första och andra hjärttonen samt deras relation till pulsen

1. EKG-komplexets utseende i olika avledningar

Starta programmet Biopac Student Lab. Låt ledningarna ligga lösa (icka anslutna) på ett bord eller på golvet. Kalibrera utrustningen nu.

Fäst självhäftande engångselektroder enligt följande (rengör ev. platsen lite hårdhänt med en torr pappershandduk eller fint sandpapper först för att reducera hudmotståndet):

- a. en elektrod vid höger handled
- b. en elektrod i nacken något till höger om kota C7
- c. en elektrod till höger om sternum ungefär i 4:e interkostalrummet
- d. en elektrod precis nedom hjärtats apex (palpera ictus cordis)
- e. en elektrod i medioaxillarlinjen i 5:e intercostalrummet

Anslut den svarta ledningen (jord) till elektrod a (denna kan sitta var som helst på kroppen, men i laborationen är handleden mest praktisk). Koppla vit ledning till elektrod b (referens). Koppla den röda ledningen till var och en av c-e och registrera minst 10 sekunder från vardera positionen (tryck på "Record", vänta ett tag, tryck sedan på "Suspend"). . Efter varje registrering, gå in på menyn "Display", välj "Autoscale waveforms", markera en box runt 3-4 cykler med förstoringsglasverket nere till höger och rita av EKG-signalen. Om det finns mycket brus på registreringen – kontrollera att elektroderna sitter bra och har god kontakt.

Notera att EKG-komplexet ser olika ut beroende på elektrodens placering. Förklara varför.

2. Hjärtauskultation

Koppla ur EKG och avlägsna elektroderna.

Palpera a. radialis och räkna pulsen.

Lägg stetoskopet över I2 sin. eller apex och lyssna efter hjärtljud. Fortsätt att känna pulsen i a. radialis samtidigt. Pröva sedan att lyssna på t.ex. de markerade platserna i Fig. 2 och notera hur hjärtljuden låter på de olika platserna.

Notera tidsrelationen mellan pulsen och hjärtljuden. När känns pulsen i förhållande till första resp. andra tonen?

Andra saker att observera är rytmen (regelbunden? extraslag?). Följs varje slag av en puls?

Egna anteckningar.