

# Rätt kopplat EKG – en förutsättning för rätt diagnos

## UPPÅT 4 PROCENT AV ALLA EKG- REGISTERINGAR ÄR FELKOPPLADE

EKG är den i särklass vanligaste kardiologiska undersökningsmetoden. För att EKG ska kunna bedömas adekvat ska det registreras enligt precisa och standardiserade anvisningar [1]. Tre extremitetsavledningarna (I, II och III) »skapas« från elektroder placerade på vänster arm, höger arm och vänster ben. Dessa tre elektroder skapar även de tre s k unipolära extremitetsavledningarna aVL, -aVR och aVF. Sex elektroder fästs på bröstet (C1-C6) och skapar tillsammans med en sammankoppling av elektroderna på vänster arm, höger arm och vänster ben (den s k Wilsons terminal) de sex bröstavledningarna (V1-V6) [1].

Korrekt elektrodplacering är en förutsättning för korrekt diagnostik. Elektroderna kopplas till EKG-apparaten med en uppsättning sladdar som är färgmärkta (Figur 1). Felaktig placering kan ge upphov till såväl falskt positiva som falskt negativa fynd [2-5]. Exempelvis kan EKG-fynd som vid hjärtinfarkt både introduceras och missas [6]. Felaktig elektrodplacering har rapporterats förekomma i upp till 4 procent av EKG-registreringar [7, 8]. Olika typer av felkopplingar kan ge upphov till typiska EKG-förändringar, varav vissa kan upptäckas av en del datortolkningsprogram.

Avsikten med denna artikel är att förklara och exemplifiera vanliga felkopplingsmönster. Eftersom handläggningen av patienten kan påverkas avsevärt av en felaktig EKG-diagnos, är det av värde för såväl den som registrerar EKG som ordinerande läkare att känna till dessa mönster (Tabell 1) [2].

### Felplacerade elektroder

Nedan beskrivs typiska felkopplingar, och EKG-exempel presenteras. I Figur 2 och 3 presenteras EKG registrerade på samma individ. Figur 2 A och 3 A visar rätt kopplat EKG, medan Figur 2 B-F och 3 B-F visar resultaten av de beskrivna felkopplingarna.

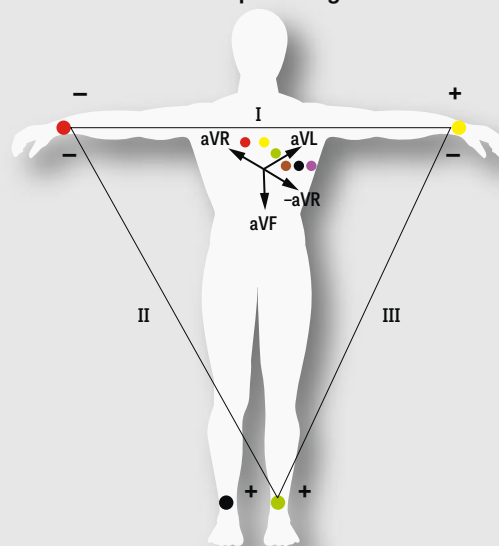
### Förväxling av armelektroder

Avledning I registrerar potentialskillnaden mellan vänster och höger arm (Figur 1). Förväxlade armelektroder är en vanlig felkoppling [8] som ger upphov till ett inverterat, dvs uppochnedvänt, EKG i avledning I (Figur 2 B) eftersom potentialskillnaden i stället registreras i motsatt riktning (höger till vänster i stället för vänster till höger). Dessutom byter aVL och -aVR

**Thomas Lindow**, doktorand, specialistläkare, klinisk fysiologi, Centrallasarettet Växjö, FoU Kronoberg  
● [thomas.akesson-lindow@kronoberg.se](mailto:thomas.akesson-lindow@kronoberg.se)

**Olle Pahlm**, professor emeritus, f d överläkare, klinisk fysiologi, Skånes universitetssjukhus, Lund; båda institutionen för kliniska vetenskaper, Lunds universitet

FIGUR 1. Korrekt elektrodplacering



► Gul extremitets elektrod placeras på vänster arm, röd på höger arm, grön på vänster ben och svart på höger ben. C1 (röd) placeras i 4:e interkostalrummet vid sternums högra kant, C2 (gul) i 4:e interkostalrummet vid sternums vänstra kant, C3 (grön) mellan C2 och C4, C4 (brun) i 5:e interkostalrummet midklavikulärt, C5 (svart) i samma transversalplan som C4 i främre axillarlinjen, C6 (lila) i samma transversalplan som C4 och C5 midaxillärt. Avledning I avspeglar potentialskillnaden mellan vänster arm och höger arm, avledning II mellan vänster ben och höger arm samt avledning III mellan vänster ben och vänster arm.  $aVR = -(I + II)/2$ ,  $aVL = (I - III)/2$  och  $aVF = (II + III)/2$ . I svensk EKG-presentation används -aVR, det vill säga en inverterad version av aVR.

plats med varandra och inverteras. Även avledning II och III byter plats med varandra, medan avledning aVF är oförändrad. EKG-fyndet kan felaktigt tolkas som lateral hjärtinfarkt. Datortolkningsprogram upptäcker flertalet fall av denna vanliga felkoppling, men inte alla [8].

### Förväxling av elektroder på vänster arm och ben

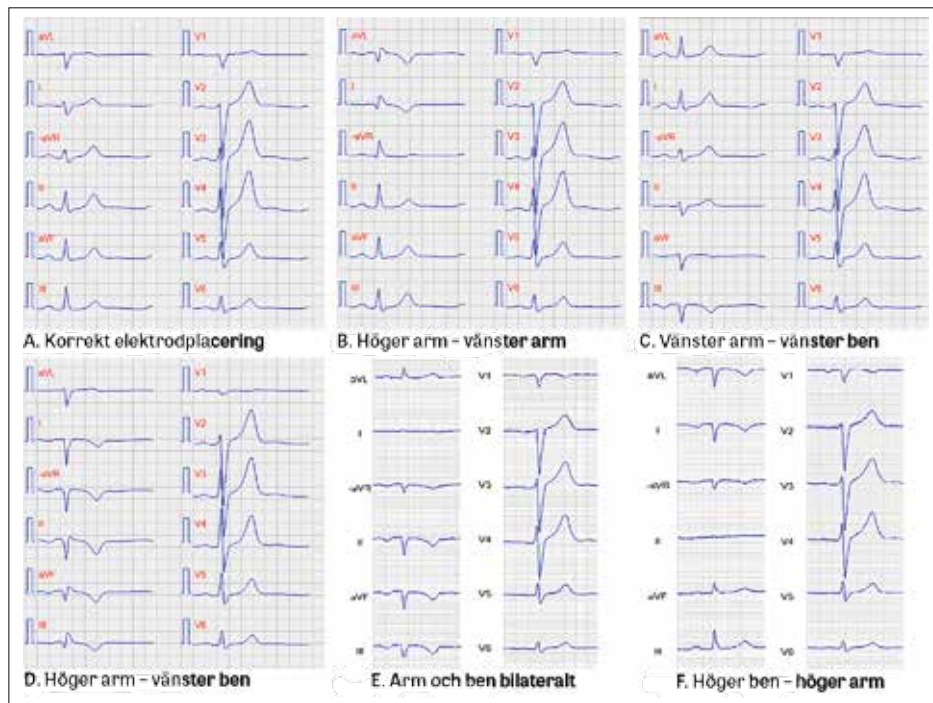
Förväxling av vänster armelektrod och vänster ben-elektrod kan vara svår att upptäcka [9, 10], trots att alla extremitetsavledningar utom -aVR påverkas av förväxlingen. Avledning II, vilken normalt beskriver potentialskillnaden mellan vänster ben och höger arm, byter plats med avledning I. Avledningarna aVF och aVL byter därmed också plats med varandra. Avledning III inverteras. Negativa komplex i inferiora

### HUVUDBUDSKAP

- Korrekt elektrodplacering är en förutsättning för att EKG ska kunna bedömas korrekt.
- Olika typer av felkopplingar kan ge upphov till förändringar av EKG-bilden, som kan påverka handläggningen av patienten.
- Typiska felkopplingsmönster presenteras och exemplifieras.

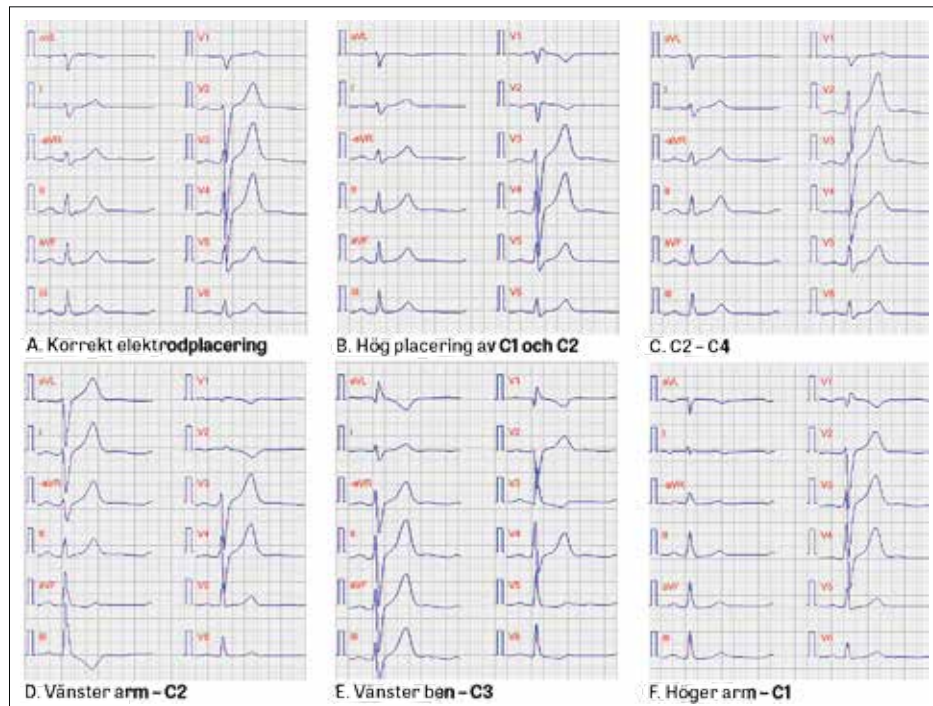
**TABELL 1.** Olika felkopplingar och deras ledtrådar. Extremitetsavledningar som inte påverkas av felkopplingen är grönmarkerade.

Felkoppling/felplacering	Ledtråd	Avledningsmotsvarighet i korrekt kopplat EKG					
		aVL	I	-aVR	II	aVF	III
● Höger arm – vänster arm	Inverterade komplex i I, aVL och -aVR	+aVR	-I	-aVL	III	aVF	II
● Vänster arm – vänster ben	P-vågen är större i I än i II	aVF	II	-aVR	I	aVL	-III
● Höger arm – vänster ben	Inverterade komplex i extremitetsavledningar	aVL	-III	-aVF	-II	+aVR	-I
● Jordelektrod förväxlad med annan extremitets elektrod	Mycket låga amplituder i I, II eller III						
● Vänster arm – C2; vänster ben – C3	Bisarra komplex i flertalet avledningar						
● Kranial placering av bröstelektroder	Negativa eller flacka P-vågor och lika komplex i V1 och V2						
● Förväxling av bröstelektroder	Avvikande P-, QRS- och T-progression						



**Figur 2.** EKG med olika elektrodplaceringar utförda på en av artikelförfattarna (Thomas Lindow).  
 A. Korrekt elektrodplacering.  
 B. Förväxling av armelektroderna. Inverterade komplex i I, aVL och -aVR.  
 C. Förväxling av vänstersidiga extremitetselektroder. P-vågsamplituden är större i I än i II.  
 D. Förväxling av höger armelektrod och vänster benelektrod. Inverterade komplex i flera extremitetsavledningar, aVL är oförändrad.  
 E. Förväxling av arm- och benelektroder bilateralt. Låga amplituder i avledning I.  
 F. Förväxling av höger ben- och armelektrod. Låga amplituder i avledning II.

**»Olika typer av felkopplingar kan ge upphov till typiska EKG-förändringar, varav vissa kan upptäckas av en del datortolkningsprogram.«**



**Figur 3.** EKG med olika elektrodplaceringar utförda på en av artikelförfattarna (Thomas Lindow).  
 A. Korrekt elektrodplacering.  
 B. Hög placering av C1 och C2. Negativa P-vågor i V1 och V2. Brugadaliknande mönster i V1 och V2.  
 C. Förväxling av C2 och C4. Avvikande R-progression: R i V4 är lägre än R i V3 och R i V5.  
 D. Förväxling av gulmarkerade elektroder (vänster arm och C2). Bisarra komplex i flera avledningar. Djup S-våg i avledning I, negativ T-våg i avledning III.  
 E. Förväxling av grönmarkerade elektroder (vänster ben och C3). Bisarra komplex i flera avledningar. ST-höjningar (>1 mm) i inferiora avledningar.  
 F. Förväxling av rödmarkerade elektroder (höger armelektrod och C1). Avvikande komplex i V1. Högre amplituder i inferiora avledningar än med korrekt elektrodplacering.

## »Jordelektroden kan placeras var som helst på kroppen utan att EKG-komplexen påverkas, om bara den inte byter plats med en annan elektrod.«

avledningar är emellertid inte ovanliga och inte omedelbart uppseendeväckande. Normalt sett (vid sinusrytm) är P-vågen i avledning II större än i avledning I. När I och II har bytt plats är P-vågen i stället större i avledning I (Figur 2 C), och detta kan användas för att identifiera felkopplingen [9].

### Förväxling av elektroder på höger arm och vänster ben

När höger armelektrod placeras på vänster ben och vice versa påverkas samtliga extremitetsavledningar utom aVL. Avledning II inverteras. Avledning I mäter nu potentialskillnaden mellan vänster arm och vänster ben, och avledning III mäter potentialskillnaden mellan höger arm och vänster arm, dvs de blir spegelvända versioner av varandra, liksom aVF och -aVR. EKG-förändringarna kan felaktigt bedömas som ischemiska, och rytmen kan misstolkas som ektopisk förmaksrytm (Figur 2 D).

### Felaktig placering av höger benelektrod (jordelektrod)

Jordelektroden kan placeras var som helst på kroppen utan att EKG-komplexen påverkas, om bara den inte byter plats med en annan elektrod. Om jordelektroden placeras på höger arm och höger armelektrod på höger ben kommer potentialskillnaden mellan den felaktigt placerade högra armelektroden och vänster benelektrod (avledning II) att vara nära noll, och avledning II blir således näst intill en rak linje (Figur 2 E). Avledning III påverkas inte av felkopplingen. Alla bröstavledningar blir felaktiga, eftersom Wilsons terminal inte är korrekt.

Förflyttning av vänster benelektrod till höger ben leder inte till någon märkbar förändring av EKG, eftersom potentialskillnaden mellan höger och vänster ben är mycket liten [11]. Bilateral förväxling av arm- och benelektroder är ovanlig. Eftersom de bägge armelektrodena nu beskriver potentialskillnaden mellan

## »Förväxling av elektroder/sladdar med samma färg kan också inträffa; exempelvis är sladdarna till både vänster armelektrod och C2-elektroden gulmarkerade.«

vänster och höger ben blir avledning I en rak linje (Figur 2 F). Avledningarna II och III blir identiska och inverterade versioner av den korrekta avledning III [12]. Wilsons terminal är inte korrekt, och alla bröstavledningar blir felaktiga.

### Förväxling utifrån färg

Förväxling av elektroder/sladdar med samma färg kan också inträffa; exempelvis är sladdarna till både vänster armelektrod och C2-elektroden gulmarkerade. Förväxling av dem ger upphov till bisarra komplex i flera avledningar (Figur 3 D). Eftersom vänster armelektrod nu felaktigt placeras på bröstkorgen, förändras Wilsons terminal och därmed också samtliga bröstavledningar. Samtliga extremitetsavledningar blir också felaktiga. Djupa S-vågor i avledning I och Q- och inverterade T-vågor i avledning III kan ses.

Bisarra komplex ses även vid förväxling av grönmarkerade elektroder (vänster ben och C3). I EKG-exemplet i Figur 3 E ses också ST-höjningar (>1 mm) i inferiora avledningar. Förväxling av rödmarkerade elektroder (höger armelektrod och C1) ger upphov till avvikande utseende i V1. I EKG-exemplet i Figur 3 F ses också ökade amplituder i inferiora avledningar jämfört med EKG vid korrekt elektrodplacering. Förväxling av jordelektroden (svart) och C5 (svart) ger endast upphov till avvikande komplex i V5. Om C5 placeras på höger ben, där jordelektroden oftast placeras, blir amplituderna låga i V5.

### Placering av extremitets elektroder

Extremitets elektrodena ska placeras nedom mitten av överarmen respektive mitten av låret [13]. En skillnad i QRS-amplituder, framför allt i frontalplanet, kan observeras vid proximal kontra distal placering av extremitets elektrodena, och en avvikande placering bör därför noteras i samband med undersökningen [13]. Om elektrodena placeras på bälten, som vid arytmiövervakning och arbets-EKG [14], sker en tydlig högerförskjutning av elaxeln (lägre amplituder i avledning I och aVL, högre amplituder i avledningar II, aVF och III). Elektrodplacering på bälten ska undvikas vid vilo-EKG-registrering [13, 15].

### Felaktig placering av bröst elektroder

Elektrodena på bröstkorgen (C1-C6) placeras inte sällan antingen ett interstitium upp eller ner på bröstkorgen [16]. Vid alltför kranial placering påverkas ST-sträckan mest för avledning V1 och V2, vilka också blir mer lika varandra (Figur 3 B) [6]. I en studie rapporterades att ST-höjningsinfarkter missades i 11 procent av fallen vid alltför kranial placering av bröst elektrodena [6]. Denna elektrodplacering kan också ge upphov till falskt positivt fynd som vid genomgången hjärtinfarkt (minskad R-vågsamplitud) eller Brugadamönster (avvikande form på ST-sträckan i högersidiga avledningar) [17, 18].

En negativ P-våg i V1-V2 kan avslöja en alltför kranial elektrodplacering, och P-vågornas morfologi bör därför kontrolleras och jämföras med tidigare EKG-registreringar, exempelvis vid misstanke om falskt positivt Brugadamönster (Figur 3 B) [18, 19]. Det bör dock nämnas att sk typ I-Brugadamönster (välvd ST-höjning  $\geq 2$  mm med avslutande negativ T-våg i V1/V2)

kan vara diagnostiskt även vid hög elektrodplacering. [20]. Bröstelektrodena kan också placeras i fel ordning, vilket ger avvikande progression av vågformer inom P, QRS och T (Figur 3 C).

## Konklusion

Olika typer av felkopplingar kan ge upphov till typiska EKG-förändringar, vilka kan påverka handläggningen av patienten om de inte upptäcks. Även om datoriserade EKG-tolkningsstöd ofta rapporterar misstanke

om felkopplingar är det av vikt att såväl klinikern som den som utför EKG-registreringen är medvetna om de typiska mönster som kan förekomma. Den kände radiologen Merrill Sossman formulerade det väl: »You see only what you look for - you recognize only what you know« [21]. ○

● Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna. Citera som: Läkartidningen. 2018;115:EUSW

## REFERENSER

- Kligfield P, Gettes LS, Bailey JJ, et al; American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; American College of Cardiology Foundation; Heart Rhythm Society. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part I: the electrocardiogram and its technology a scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology. *J Am Coll Cardiol.* 2007;49(10):1109-27.
- Baranchuk A, Shaw C, Alanazi H, et al. Electrocardiography pitfalls and artifacts: the 10 commandments. *Crit Care Nurse.* 2009;29(1):67-73.
- Chase C, Brady WJ. Artifacts of electrocardiographic change mimicking clinical abnormality on the ECG. *Am J Emerg Med.* 2000;18(3):312-6.
- Drew BJ. Pitfalls and artifacts in electrocardiography. *Cardiol Clin.* 2006;24(3):309-15, vii.
- Batchvarov VN, Malik M, Camm AJ. Incorrect electrode cable connection during electrocardiographic recording. *Europace.* 2007;9(11):1081-90.
- Bond RR, Finlay DD, Nugent CD, et al. The effects of electrode misplacement on clinicians' interpretation of the standard 12-lead electrocardiogram. *Eur J Intern Med.* 2012;23(7):610-5.
- Rudiger A, Hellebrandt JP, Mukherjee R, et al. Electrocardiographic artifacts due to electrode misplacement and their frequency in different clinical settings. *Am J Emerg Med.* 2007;25(2):174-8.
- Hedén B, Ohlsson M, Edenbrandt L, et al. Artificial neural networks for recognition of electrocardiographic lead reversal. *Am J Cardiol.* 1995;75(14):929-33.
- Abdollah H, Milliken JA. Recognition of electrocardiographic left arm/left leg lead reversal. *Am J Cardiol.* 1997;80(9):1247-9.
- Hedén B, Ohlsson M, Holst H, et al. Detection of frequently overlooked electrocardiographic lead reversals using artificial neural networks. *Am J Cardiol.* 1996;78(5):600-4.
- Harrigan RA, Chan TC, Brady WJ. Electrocardiographic electrode misplacement, misconnection, and artifact. *J Emerg Med.* 2012;43(6):1038-44.
- Hoffman I. A flatline lead I results from bilateral arm-to-leg electrode exchange. *J Electrocardiol.* 2008;41(5):388-90.
- Pahlm O, Haisty WK Jr, Edenbrandt L, et al. Evaluation of changes in standard electrocardiographic QRS waveforms recorded from activity-compatible proximal limb lead positions. *Am J Cardiol.* 1992;69(3):253-7.
- Mason RE, Likar I. A new system of multiple-lead exercise electrocardiography. *Am Heart J.* 1966;71(2):196-205.
- García-Niebla J, Llontop-García P, Valle-Racero JJ, et al. Technical mistakes during the acquisition of the electrocardiogram. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2009;14(4):389-403.
- Wenger W, Kligfield P. Variability of precordial electrode placement during routine electrocardiography. *J Electrocardiol.* 1996;29(3):179-84.
- Zema MJ, Luminais SK, Chiararama S, et al. Electrocardiographic poor R wave progression III. The normal variant. *J Electrocardiol.* 1980;13(2):135-42.
- Baranchuk A, Enriquez A, García-Niebla J, et al. Differential diagnosis of rSr' pattern in leads V1-V2. Comprehensive review and proposed algorithm. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2015;20(1):7-17.
- García-Niebla J, Rodríguez-Morales M, Valle-Racero JJ, et al. Negative P wave in V1 is the key to identifying high placement of V1-V2 electrodes in nonpathological subjects. *Am J Med.* 2012;125(9):e9-10; author reply e13.
- Priori SG, Wilde AA, Horie M, et al. HRS/EHRA/APHRS expert consensus statement on the diagnosis and management of patients with inherited primary arrhythmia syndromes: document endorsed by HRS, EHRA, and APHRS in May 2013 and by ACCF, AHA, PACES, and AEPCC in June 2013. *Heart Rhythm.* 2013;10(12):1932-63.
- Schamroth L. Disorders of cardiac rhythm. 3rd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1980. p. 216.

## SUMMARY

### Correct electrode placement – a prerequisite for correct ECG interpretation

Different lead misplacements may present with typical ECG changes, which may influence the management of the patient, if not identified and corrected. It is important, both for the ECG technician and for the interpreting physician, to recognize typical patterns of lead misplacement to avoid misinterpretation of the ECG.