

Hjartarafrit – EKG

Guðmundur Þorgeirsson
prófessor emeritus

Heil öld er liðin síðan hollenski læknirinn og lífeðlisfræðingurinn Willem Einthoven fékk Nóbelsverðlaun fyrir uppgötvun sína og þróun á hjartarafritinu (EKG). Þrátt fyrir byltingu í tækjabúnaði og aðferðum til sjúkdómsgreininga heldur hjartarafritið velli sem mikilvæg aðferð til að meta hjartastarfsemi, og um það hafa spunnist mikil fræði.^{1,2,3} Í þessum stutta pistli verður fátta eitt talið en áhersla lögð á lífeðlisfræðilegan grundvöll og á skipulag við úrlestur og túlkun.

Hjartarafrit má skilgreina sem grafíska framsetningu á rafvirkni hjartans sem á uppruna sinn í vöðvafrumum hjartans en er númerin á yfirborði líkamans með rafskautum sem eru staðsett þannig að upplýsingar fáiast um rafvirknina frá mörgum sjónarhornum samtímis.^{1,2,4} Hefðbundið hjartarafrit samanstendur af skráningum frá 12 stöðum á yfirborði líkamans (Mynd 1A og B). Jónaflæði inn í, út úr og á milli frumna skapar rafsvið kringum hverja frumu sem síðan tengjast þannig að margir hjartapræðir virkjast á samhæfðan hátt og mynda bylgjufald afskautunar.¹ Grafísk tjáning á krafti sýnir stefnu og stærð og kallast vigur, vektor. Styrkur og stefna þeirrar rafvirkni sem skráð er í hjartarafritið eru meðaltal heildarafskautana og endurskautana í frumum hjartans á hverju augnabliki, summa augnabliksvigra sem varpað er úr þríviðu rúmi á tvívíðan flöt hjartarafritsins, mismunandi eftir staðsetningu rafskautanna og sibreytilegar með framvindu hjartsláttar (*cardiac cycle*).^{1,2} Hjartaöxull er heildarvigur sem sýnir meðalstefnu allra afskautunarbylgna í lóðréttu plani í einum hjartslætti, P-öxull fyrir forhölf og QRS-öxull fyrir slegla.

Allar vöðvafrumur hjartans og frumur leiðslukerfis hafa þann eiginleika gangráðsfrumna að geta afskautast án ytra áreitis. Frumur sínushnútsins efst í hægri forhölf hafa hæsta tíðni sjálfkrafa afskautana (60-100/mín) og ráða venjulega ferðinni en aðrar frumur geta

tekið yfir gangráðshlutverkið í leiðslu-truflunum eða valdið aukaslögum eða hraðtakti og þannig tekið völdin. Framlag hjartarafritsins í klínisku mati er ekki síst fólgið í því að hver skráning lýsir allri atburðarásinni sem verður í rafkerfi hjartans (Mynd 2A,B), allt frá því afskautun verður í forhölfunum (P-bylgja), boðin sameinast í AV-hnútnum (PQ-bil), leiðslukerfi slegla virkjast og síðan vöðvafrumur sleglanna (QRS-samstæða). Loks lokar endurskautun (ST-T-bylgja) hringnum (Mynd 2A,B). Truflanir og alvarlegar bilanir geta orðið í öllum hlekkjum þessa samþætta kerfis sem oft er hægt að greina og staðsetja með hjartarafriti.

Úrlestur – Túlkun: Við úrlestur á hjartarafriti eins og í annarri klíniskri vinnu er mikilvægt að vinna eftir **ákveðnu skipulagi**. Fyrst er mat á skráningunni sjálfri, útprentunarhraða (algengast 25 mm/sek) og skala á spennumælingum (algengast 10 mm/mv). Þá tekur við skipuleg yfirferð á öllum þáttum hjartarafritsins og loks samanburður við eldrit ef til eru.^{1,2,4}

1. taktur

Sínus taktur (60-100/mín). **Sínus hraðtaktur** (>100/mín). Sérhverri P-bylgju fylgir QRS-samstæða (Mynd 3). Eðlilegur P-öxull (+60 gr.) bendir til að afskautun byrji í sínus hnút. Viðsnúinn P-öxull (neikvæð P-bylgja í II og AVF) bendir til að afskautun byrji neðarlega í forhölfum eða í AV-hnúti.

Takttruflanir – greining

- Ákvarða tíðni sleglaörvunar: >100/mín er hraðtaktur; <60/mín hægataktur. Er taktur reglulegur eða óreglulegur, kannski óreglulega óreglulegur (einkennir gáttatíf)? Eru aukaslög?
- Eru P-bylgjur greinanlegar? (sjást best í II og V₁). Tíðni. Útlit, P-öxull, mælistærðir. Í gáttatífi eru engar P-bylgjur.
- Samband P-bylgna og QRS-samstæðna. (Mynd 3).

- Er 1 P-bylgja fyrir hverja QRS-samstæðu? Ef ekki, vaknar spurning um aftengingu forhólfa frá sleglum (*AV-dissociation*) vegna sleglahraðtakts eða leiðslurofs.
- Kemur P-bylgja á undan sérhverri QRS-samstæðu?

- Hvað er PQ-bilið langt? Breytilegt? (Um AV-blokk, sjá neðar).
- QRS-samstæðan sýnir alla afskautunarvirkni í sleglum gegnum einn slátt hjartans, röð atburða, tímasetningu þeirra og samþættingu. Margir sjúkdómar hafa áhrif á útlitið í heild eða hluta samstæðunnar (byrjun, miðkafla eða enda). Skipuleg greining er því gagnleg.

Hvað tekur afskautun sleglanna langan tíma? QRS<120ms telst grónn samstæða; örvunarbylgjan fer þá eftir brautum sérhæfða leiðslukerfisins og sleglarnir örvast nánast samtímis. Hraðtaktur með grónnum QRS-samstæðum á alltaf upptök sín ofan slegla. QRS>120 ms er breið samstæða og bendir annað hvort til sleglahraðtakts eða ofansleglahraðtakts með leiðslu-truflun, oft hægri greinrofi. Í báðum tilvikum eru sleglarnir raðtengdir, þ.e. örvast ekki samtímis, og allt tekur lengri tíma. Hægri greinrof er vísbending um ofanslegla-hraðtakt.

2. Hraði

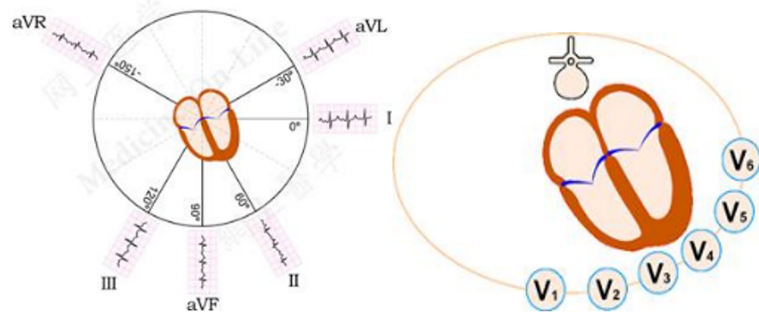
Telja stórar rúður á milli QRS-samstæðna: 1 rúða=300 slög/mín. 2=150/mín, 1=100 (mynd 3).

3. Bil á hjartarafriti

Sýna hraða boðflutnings um leiðslukerfið og gefa vísbendingu um staðsetningu leiðslu-truflana.

PQ >200 msek (5 litlar rúður):

- gráðu AV-blokk** (mynd 4A): seinkuð leiðni en hverri p-bylgju fylgir QRS-samstæða. **2. gráðu blokk, Mobitz I og II** (mynd 4B,C): hluti P-bylgna skilar engum QRS-sam-



Mynd 1. Leiðslukerfi hjartarafrits. A. Lóðrétt plan. B. Lárétt plan.

stæðum. **3.gráðu AV-blokk:** algert rof milli forhólfa og slegla (mynd 4D). **QRS>120 msek (3 rúður):** Um seinkun afskautunarferlis í greinrofi, sjá að ofan.

Vinstra greinrof: Síðasti þáttur rafvirkinnar hefur stefnu til vinstri í átt frá V₁ (neikvætt útslag) en í átt að aVL og V₆ (jákvætt útslag). (mynd 5A), minnir á Hallgrímskirkjuturn).

Hægra greinrof: Lokavigur til hægri og fram á við. Stórt R' í V₁, líkist kanínueyra (mynd 5B).

QT: Breytilegt eftir kynjum og hjartsláttarhraða. Hætta á hjartsláttaróreglu tengist lengdu QTc (QT-corrected sem merkir að tekið hafi verið tillit til hjartsláttarhraða).

4. Hjartaöxull

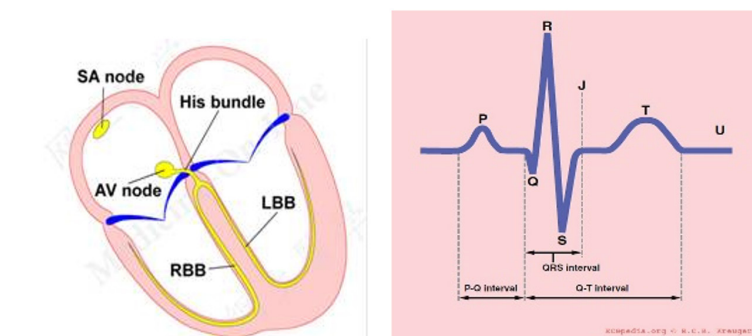
Vigur sem sýnir meðal heildarrafvirkni slegla. Eðlilegt bil er milli -30 og +90gráður (bæði aVF og II eru jákvæðar). **Vinstri öxull** stefnir meira til vinstri en -30 (bæði aVF og II neikvæðar), sbr. vinstra fremra hálfgreinrof. **Hægri öxull** stefnir lengra til hægri en +90 (leiðsla I neikvæð en aVF jákvæð). Dæmi: lungnaháprýstingur af ýmsum orsökum.

5. P-bylgja – útlit og mælistærðir

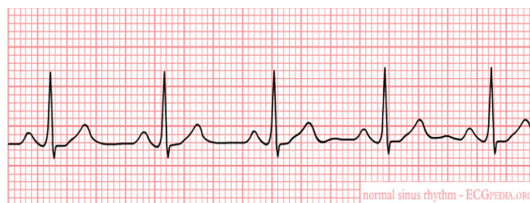
Stefna vigurs í eðlilegri afskautun er frá hægri til vinstri, um +60 gráður og P-bylgja jákvæð í I og II. Þar sem P-bylgjan er samsett úr afskautun beggja forhólfa sem hafa mismunandi vigrastefnu er hún oft tvífasa í V₁, jákvæð frá hægri forhólfi en neikvæð og byrjar seinna frá því vinstra sem liggur aftan við það hægri í brjóstkassanum.

Stækkað vinstra forhólf: Neikvæði hluti P-bylgju í V₁>1mm². Dæmi: míturleki.

Stækkað hægri forhólf: P>2mm að hæð í II,III,aVF og/eða P>1,5mm í V₁. Dæmi: ýmsir lungnasjúkdómar (P- pulmonale).



Mynd 2. A. Rafkerfi hjartans B. Hjartarafrít prentað út á hefðbundnum skala: 25mm/s, 10 mm/mv. Sýnir allar bylgjur (P, QRS, ST-T) og bil (PQ, QRS og QT) hjartarafrits.



Mynd 3. Eðlilegur sinus taktur.



Mynd 4. A. 1. gráðu. AV-blokk (lengt PR-bil)



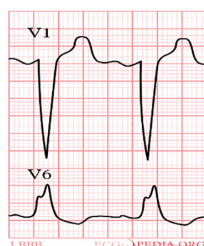
B. 2. Gráðu AV-blokk, Mobitz I (Wenckebach).



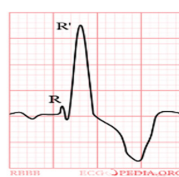
C. 2. Gráðu AV-blokk, Mobitz II.



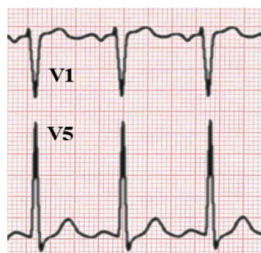
D. 3. Gráðu AV-blokk.



Mynd 5. A. Vinstra greinrof.



B. Hægri greinrof.



Mynd 6. Þykkun vinstri slegils (LVH).



Mynd 7. a-e. Þróun báðra hjartadrepshreyfinga (b) á klst. og dögum: ST-hækkun gengur smám saman til baka, T-bylgja snýst við, oft tímabundið, og Q-bylgja myndast.

5. QRS-samstæða - útlit og mælistærðir

Breið samstæða (>120msek) sbr. 3. lið að ofan. Óeðlileg Q-bylgja getur verið vísbending um hjartadrep. Sjá kafla um blóðþurrð. **Þykknaður vinstri slegill (LVH):** einföld formúla til greiningar: $R \text{ í } V_5/V_6 + S \text{ í } V_6 > 35\text{mm}$. (Mynd 6). Álagsbreytingar í endurskautun, bæði ST-lækkunir og hækkunir. Mörg fleiri algrím notuð til að greina LVH.

Þróun R-bylgna: Hækka í brjóstleiðslum frá V_1 - V_5 . $R > S$ eftir V_3 .

Lágspennit rit: $QRS < 5 \text{ mm}$ í öllum útlímaleiðslum (Dæmi: hjarta-vöðvasjúkdómur, vökví í gollurs-húsi, offita).

7. ST-T breytingar

ST-T bylgja sýnir endurskautun slegla og endurheimt (*recovery*), byrjar lágspennit við J-punkt en breytist síðan mjúklega yfir í T-bylgjuna (Myndir 2B og 3). Hefur venjulega sömu stefnu og QRS-samstæðan sem á undan fer en er viðkvæm fyrir sjúkdómum, lyfjaáhrifum, breytingum í jónastyrk o.fl., sbr. kafla um blóðþurrð, gollurshúsbólgu, LVH.

ST-hækkun: Mismunagreiningar: Blóðþurrð, sérstaklega bráð kransæðastífla, gollurshúsbólga (útbreiddar ST-hækkunir) snemmkomin endurskautun, frávik án undirliggjandi sjúkdóms.

ST-lækkun: Blóðþurrð, álagsbreytingar í LVH, digitalisáhrif.

Viðsnúnar T-bylgjur: Stefna gagnstæð eða mjög frábrugðin stefnu QRS-vigurs. Mismunagreiningar: blóðþurrð og LVH.

Háar hvassar T-bylgjur: Hyperkalémía.

Flatar T-bylgjur: $< 0,5$. Ósértækt frávik.

Blóðþurrð: Í fyrsta hluta endur-

skautunar eru vöðvafrumur hjartans yfirleitt samferða og ST-bilið því flatt. Þetta raskast í blóðþurrð sem hefur flókin og tímaháð áhrif en innsti hluti hjartavöðvans er viðkvæmastur og blóðþurrð þar kemur fram sem ST-lækkun á EKG.

Bráð kransæðastífla veldur blóðþurrð sem nær í gegnum vegg slegilsins út á yfirborðið og veldur ST-hækkun í þeim leiðslum sem staðsettar eru yfir hjartadrepssvæðinu, skaðstraumur, „*injury current*.“ Mynd 7b. Vefrænar breytingar hjartadreps þróast á næstu klukkustundum og dögum og endurspeglast í EKG (mynd 7a-e).¹

Q-bylgjur: Neikvæðar bylgjur fremst í QRS-samstæðunni sýna rafkrafta sem stefna frá viðkomandi rafskauti. Geta verið hluti af eðlilegri QRS-samstæðu, til dæmis *septal Q* sem sýnir afskautun skilveggs milli slegla snemma í afskautunarbylgjunni, stefnir frá vinstri til hægri og kemur fram sem lítið Q í hliðarleiðslunum AVL og V_6 . Q-bylgjur geta einnig verið merki um tapaða rafkrafta, til dæmis vegna nýlegs hjartadreps eða örvefs eftir gamalt hjartadrep. Dæmi: Q-bylgjur í V_1 - V_3 eru óeðlilegar og benda til að framkrafta vanti (hjartadrep). Stærð Q-bylgna skiptir máli; Q í I, II, AVL, V_4 - V_6 með breidd $> 30 \text{ msek}$ og dýpt $> 1\text{mm}$, til staðar í tveimur aðliggjandi leiðslum, bendir til gamals hjartadreps.

Notagildi og framlag hjartarafritsins eru háð klínisku samhengi, tilefni rannsókna, tækni við töku rits og ekki síst færni og þekkingu þess sem ræður ritið og túlkar. Gervigreind sem hjálpartæki lofar góðu en ítarlegar handbækur, leiðbeiningar og hjálpargögn eru þegar aðgengileg á alnetinu.

Heimildaskrá

1. Mirvis DM, Goldberger AL. Electrocardiography. Braunwald's Heart Disease. A Textbook of Cardiovascular Medicine. Zipes DP, Libby P, Bonow RO, Braunwald E (ritstjórar). 7. útgáfa, Philadelphia: Elsevier/Saunders, 2005.
2. Myerburg RJ. Electrocardiography. Harrison's Principles of Internal Medicine. Wilson DJ, Braunwald E, Isselbacher KJ (ritstjórar). 12. útgáfa, New York: McGraw-Hill, 1991.
3. Norland K, Sveinbjörnsson G, Thorólfsson RB et al. Sequence variants with large effects on cardiac electrophysiology and disease. Nature Communications 2019; 10:4803.
4. de Jong JSSG et al. ECG PEDIA.ORG. Sótt febrúar 2025.