

# Helelektrische hart IN KAAART GEBRACHT

De eeuwwisseling is net achter de rug. In zijn laboratorium in Leiden maakt Willem Einthoven voor het eerst gebruik van zijn uitvinding, de elektrocardiograaf. Gemaakt van pijl en boog, aangedreven door accu's en bestuurd via een telefoonlijn, registreert het apparaat de elektrische activiteit van het hart. Als Einthoven, in 1902, zijn uitvinding wereldkundig maakt, staat de geneeskunde op zijn kop. Voor het eerst is het mogelijk de conditie van het hart op een eenvoudige wijze zichtbaar te maken. Tot op de dag van vandaag maken artsen elektrocardiogrammen waarop ze onmiddellijk kunnen zien of een hart ziek is en wat er aan mankeert.

De geschiedenis van de elektrocardiograaf begint eigenlijk al ruim een eeuw eerder. In Italië merkt Luigi Galvani in 1791 dat de spieren van een kikker samentrekken zodra hij ze aan elektriciteit blootstelt. In de negentiende eeuw ontdekten wetenschappers dat spieren ook van nature als gevolg van elektrische signalen samentrekken. Die signalen komen vanuit onze hersenen en gaan via zenuwen naar de spier. Het hart vormt hierop een uitzondering, het maakt zijn eigen elektrische signalen, actiestromen, die het orgaan tot het rondpompen van bloed aanzetten.

## VAN HET HART NAAR DE HUID

De actiestromen blijven niet in het hart, ze ontsnappen en bereiken uiteindelijk de huid. Juist dit fenomeen maakt het meten van de actiestromen zo aantrekkelijk. Elektrodes op de huid moeten de stromen verder kunnen geleiden naar een meetapparaat. Maar hoe dat moet, daar breken wetenschappers uit heel de wereld decennialang het hoofd over.

De Brit Augustus Waller bedenkt als eerste een min of meer bruikbare methode. Wallers belangrijkste medewerker en proefpersoon is zijn hond Jimmie. Hij leerde Jimmie lange tijd stil te staan, met elke poot in een bakje met zout water, de toenmalige elektroden.

De spanningsverschillen die hij op de huid van Jimmie en later ook op die van mensen wil meten, zijn klein. Ze bedragen slechts enkele tientallen millivolt ofwel enkele honderdduizendsten van het spanningsverschil in een stopcontact. Daar komt bij dat de verschillen snel veranderen. Een hele hartslag verloopt in ongeveer één seconde. Tijdens zo'n slag veranderen de actiestromen continu van sterkte en als gevolg daarvan ook de spanningsverschillen op de huid.

Waller gebruikt een capillaire elektrometer. In een capillair, een smal glazen buisje, brengt hij een laagje

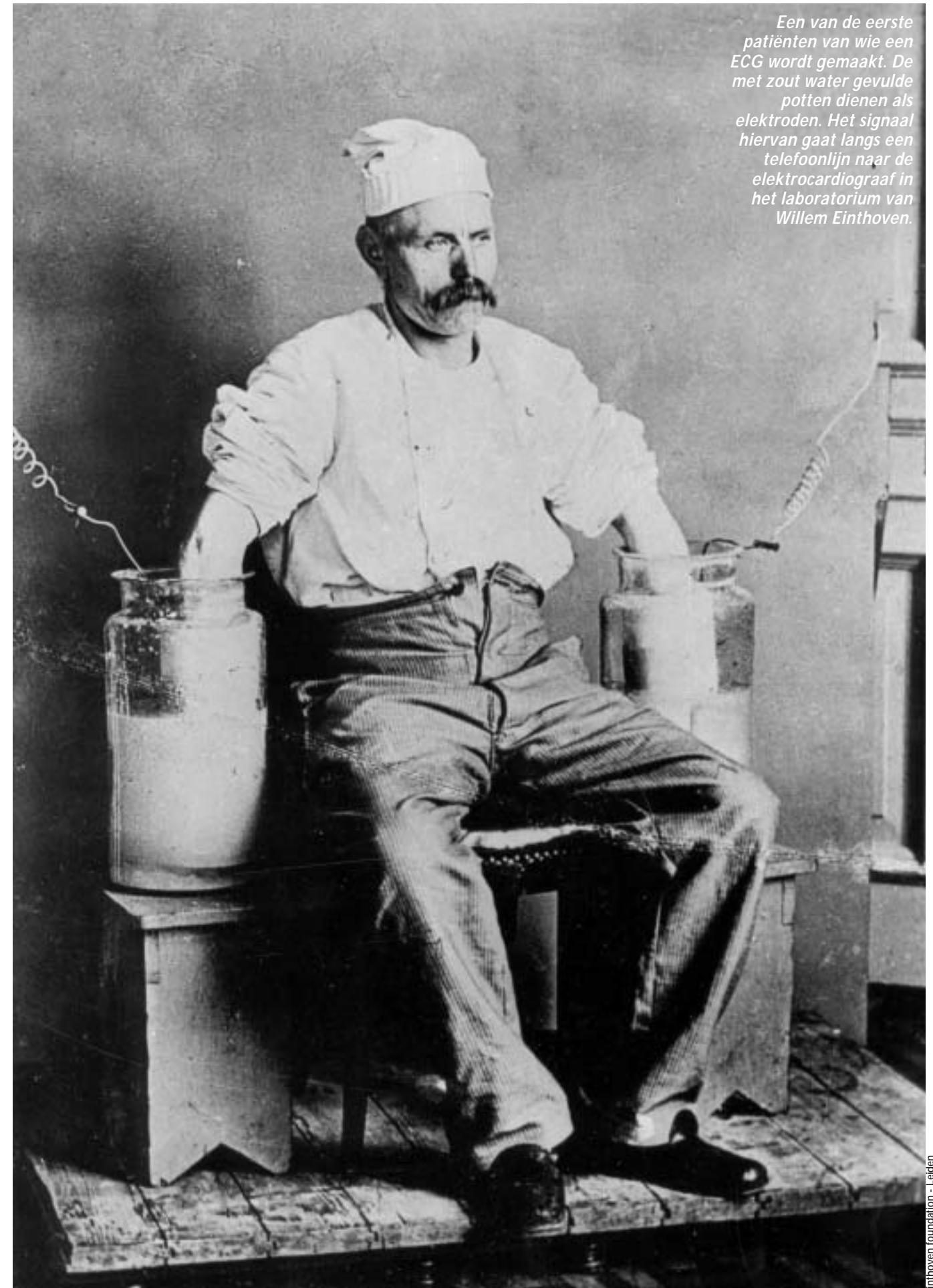
kwik met daarop een laagje zwavelzuur. Beide uiteinden van het capillair verbindt hij met de elektroden. Zodra het spanningsverschil tussen de elektroden verandert, zal de grenslaag tussen het kwik en het zwavelzuur verschuiven. Waller registreerde die verschuiving met behulp van een lichtstraal die door



Augustus Waller, een van de pioniers van het ECG. Zijn hond Jimmie fungeerde als proefdier.

members.evansville.net/ict/calendar.htm

Van driehonderd kilogram naar honderd gram, van kamerbreed naar vestzakformaat



Een van de eerste patiënten van wie een ECG wordt gemaakt. De met zout water gevulde potten dienen als elektroden. Het signaal hiervan gaat langs een telefoonlijn naar de elektrocardiograaf in het laboratorium van Willem Einthoven.

Einthoven Foundation - Leiden

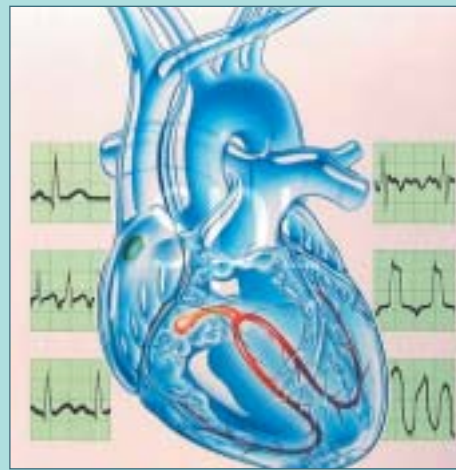


## HOE HET HART ZICHZELF TOT POMPEN AANZET

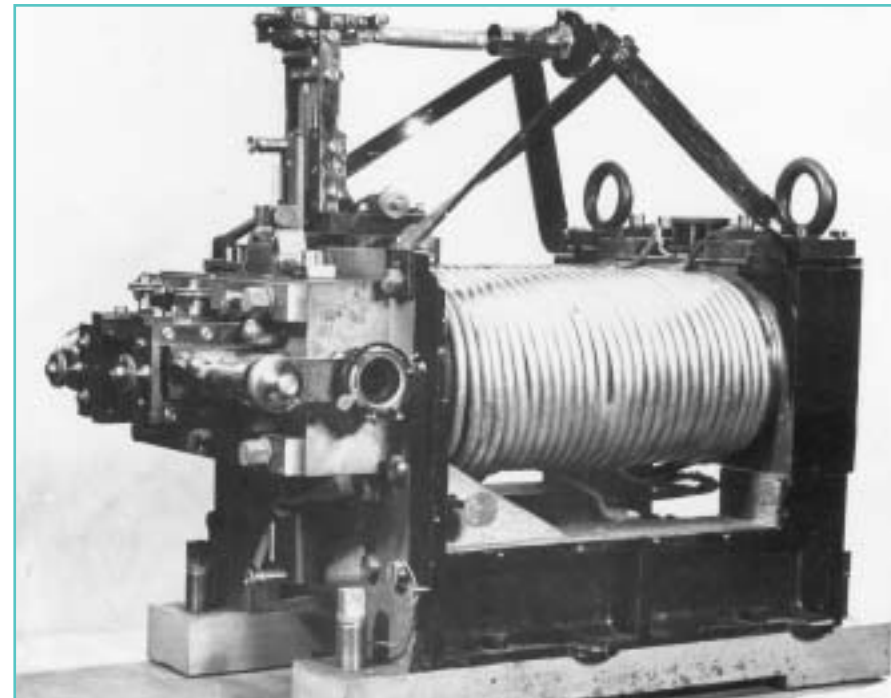
Het hart is een spier met vier holle ruimtes, twee boezems en twee kamers. De boezems ontvangen bloed vanuit de longen of het lichaam en verplaatsen het naar de kamers. Deze pompen het bloed op hun beurt weer naar longen of lichaam. De cirkel is rond.

Het hart kan alleen goed pompen als elke holte op het juiste moment samentrekt. Zouden de boezems en de kamers dit gelijktijdig doen, dan kan geen bloed vanuit de boezems in de dichtgeknepen kamers komen. Daarom pompen de boezems eerder dan de kamers. Om deze bewegingen in goede banen te leiden, heeft het hart zijn eigen controlecentrum. Dit bestaat uit celgroepjes (knopen) en geleidende vezels. Deze vezels brengen elektrische prikkels naar de hartspier, waardoor deze samentrekt.

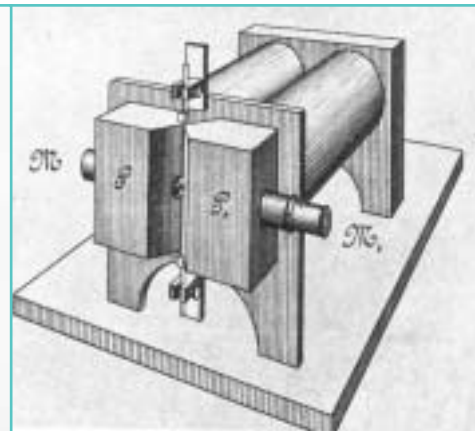
Het hele proces begint boven in het hart, in de rechter boezem. Hier stuurt de sinus-knoop (groen in de figuur), een groepje gangmakercellen, een elektrische prikkel op pad. Hierdoor trekken de boezems samen en pompen bloed naar de kamers. De prikkel stopt bij de AV-knoop (geel in de figuur). Na ongeveer één tiende seconde vervolgt hij, via geleidende vezels (rood in de figuur), zijn weg naar de kamers. Deze pompen hun bloed naar het lichaam. De prikkel dooft uit en het proces begint opnieuw.



John Bavosi/Science Photo Library



Eindhoven foundation - Leiden



Eindhoven foundation - Leiden

Het schema verduidelijkt de werking van de snaargalvanometer. Twee buizen vormen de elektromagneet die uitmondt in twee wigvormige uiteinden (P en P1). Tussen de polen van de magneet, de smalle delen van de wiggen, bevindt zich de snaar. Hier loopt de actiestroom van het hart doorheen. Die variabele stroom zorgt ervoor dat de snaar meer of minder door de magneetpolen wordt aangetrokken. Kortom, de snaar gaat trillen. Die trilling is zichtbaar door de microscoop die door de wiggen loopt (M en M1). Op de foto omgeeft een waterslang – voor koeling – de buisvormige delen van de magneten. De ronde opening van de microscoop is net links van de waterslang zichtbaar.

ling die hij aan de hand van de capillaire elektrometer maakte (zie kaderstukje 'Hoe ontstaat een ECG?').

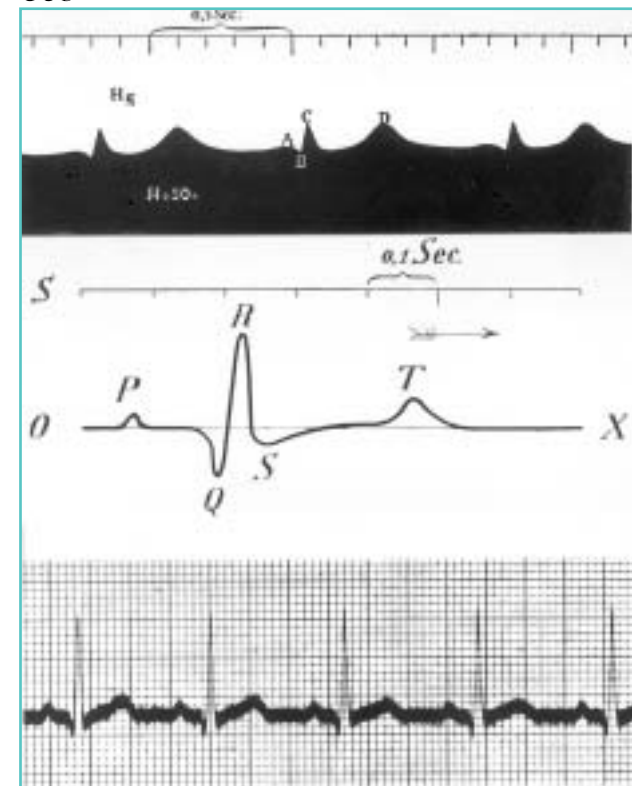
Tijdens alle experimenten fungeren de laboratoriummedewerkers als proefpersoon. Ze zitten met handen en voeten in bakken met zout water, de elektroden. Nu zijn elektrocardiograaf of ECG-apparaat klaar is, wil Einthoven het bij patiënten proberen. Dan volgt een tegenslag. Hij mag geen patiënten vanuit het Academisch Ziekenhuis Leiden naar zijn laboratorium halen. Het ECG-apparaat naar het zieken-

pen. Op een dag valt kort voor een onweersbui bijzonder fel licht door het glazen dak van het laboratorium. Einthoven en zijn medewerkers zien honderden draden als een geestachtige verschijning door de ruimte zweven. De hoogleraar weet nu hoe hij de draden kan vinden en verhuist pijl en boog naar een stofvrije kamer met speciale verlichting.

De Leidse hoogleraar plaatst de snaar tussen twee wigvormige elektromagneten. Op de snaar sluit hij vervolgens de elektroden aan. Door het metaallaagje op de dunne kwartsdraad loopt nu een variabele stroom afkomstig van het hart van de patiënt. De wisselende lading in de snaar zorgt ervoor dat deze meer of minder door de polen van de magneet wordt aangetrokken. De

snaar gaat trillen. Die trilling is zo gering dat ze alleen door een microscoop zichtbaar is. Einthoven bouwt daarom zo'n instrument in zijn elektrocardiograaf in.

Natuurlijk wil Einthoven zijn elektrocardiogram vastleggen op papier. Daarom fotografeert hij het met een valcamera. De camera bestaat uit een lange, rechtopstaande plank met daarop twee geleiders. Tussen de geleiders zakt een fotografische plaat omlaag. In de plank zit een smalle sleuf waardoor licht vanuit de microscoop op de plaat valt. Zo ontstaat een foto waarop de sterk vergrote schaduw van de trillende snaar zichtbaar is. Een triomf voor Einthoven, want de eerste elektrocardiogrammen komen overeen met zijn voorspel-



Eindhoven foundation - Leiden

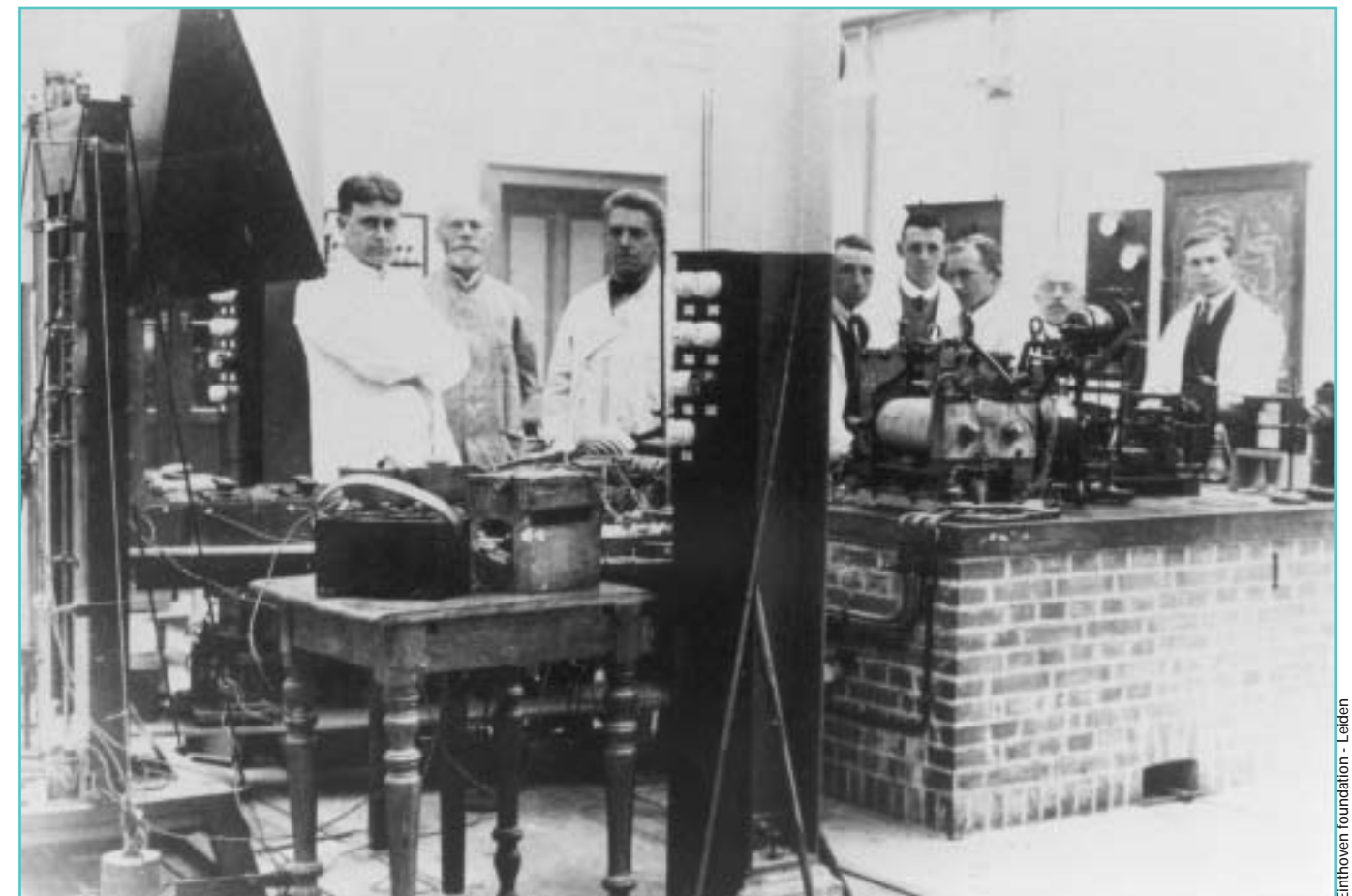
Drie honderdjarige elektrocardiogrammen. Boven een opname gemaakt met een capillaire elektrometer. De grenslaag tussen zwavelzuur en kwik in het capillair beweegt onder invloed van de actiestromen van het hart. Dit leidt tot het berglandschap op de foto. Met hulp van zulke opnamen voorspelde Einthoven de eigenlijke vorm van het ECG (tekening in midden). Dat zijn voorspelling klopt blijkt uit het onderste ECG, gemaakt met de snaargalvanometer. Dit is het eerste elektrocardiogram dat Einthoven, in 1902, publiceerde.

huis brengen kan ook niet. Het gevaarte weegt bijna driehonderd kilogram en neemt een groot deel van het laboratorium in beslag. Einthoven bedenkt een oplossing die zijn tijd ver vooruit is. Hij verplaatst de elektroden, bakken met zout water, naar het ziekenhuis en stuurt vervolgens het signaal van de patiënt via een telefoonlijn naar het laboratorium waar de opname van het elektrocardiogram (ECG) gebeurt. Hij noemt deze methode het telecardiogram. Eigenlijk vindt hij hiermee de telegeneeskunde uit die nu, zo'n honderd jaar later, aan een echte opmars begint. Steeds vaker stuurt een huisarts via de fax of e-

mail een ECG naar een hartspecialist.

Maar wat moet je nu met een grafiek van de elektrische activiteit van het hart, die niet meer is dan een opeenvolging van steeds weer dezelfde vier pieken. De Leidse onderzoekers en hun collega's in binnen- en buitenland maken al snel duidelijk dat de vorm en de positie van de pieken veranderen als het hart ziek is. Zo laten een hartinfarct, zuurstofgebrek of ritmestoornissen elk hun eigen sporen in het ECG achter. Einthoven stelt een standaard manier voor om naar een ECG te

Willem Einthoven (tweede van links) in zijn laboratorium. De snaargalvanometer staat links op de bakstenen tafel. Rechts daarvan een booglamp die door de microscoop schijnt. Helemaal links in beeld de manshoge valcamera die de ECG's op foto vastlegt.



Eindhoven foundation - Leiden

## HET ZIEKE HART

Als het ECG afwijkt van zijn normale patroon ligt de oorzaak vrijwel altijd bij een verstoring van de elektrische geleiding in het hart. In de meeste gevallen heeft die verstoring een van drie volgende oorzaken:

### Hartritmestoornis

De naam zegt het al. Het ritme waarmee het hart klopt is ontregeld. Dit varieert van onschuldige hartkloppingen tot het ernstige kamervibrilleren. Van de eerste heeft iedereen wel eens last. Het hart slaat een slag over. Op het ECG is dit zichtbaar als een pauze tussen twee hartslagen. De laatste is levensbedreigend. De hartspier knijpt niet goed samen en wiebelt snel heen en weer. Het ECG laat een onregelmatige opeenvolging van vlakke pieken zien. De bloedstroom staat stil.

### Geleidingsstoornissen

Als een van de knopen of het geleidingsweefsel niet goed functioneert, dan blokkeert dit de vrije doorgang van de prikkel. Sommige delen van het hart trekken niet of op het verkeerde moment samen. Zo kan de pauze tussen het pompen van de boezems en de kamers langer worden. De afstand tussen de P- en Q-top in het ECG wordt langer. Zijn de geleidingsbanen naar de kamers beschadigd, dan loopt de ontlading van de spiercellen in de kamer vertraging op. Als gevolg daarvan wordt de R-top breder. Zo zijn er tal van blokkades die elk een eigen afwijking in het ECG laten zien.

### Hartinfarct

Bij een hartinfarct krijgt een deel van de hartspier geen zuurstof meer en gaat dood. Dit deel van de spier neemt niet langer deel aan de elektrische ontlading van het hart. Daarnaast kan het geen prikkels meer geleiden naar de omringende delen van de spier. De ontlading van de hartspier loopt vertraging op. Op een ECG heeft dit een karakteristieke uitwerking. De R-top keert niet op de basislijn terug vóór de T-top begint.

Niet alle afwijkingen op een ECG hebben een hartziekte als oorzaak. Een eenvoudige griep bijvoorbeeld kan het ECG afwijkend maken. De oorzaak hiervan is dezelfde als die van de spierpijn die we bij griep ervaren. Het griepvirus tast tijdelijk het spierweefsel aan.

kijken. Hij geeft de meest karakteristieke punten in het elektrocardiogram de letters P, Q, R, S en T mee. Hij kiest bewust voor vijf letters in het midden van het alfabet, omdat hij niet zeker is dat hij alle pieken al heeft gevonden. Ook stelt hij voor een ECG met drie elektroden te maken. Elke elektrode is hierbij met een vaste plaats op het lichaam verbonden. Een andere plaatsing van de elektroden zou tot een andere vorm van het ECG leiden. Tegenwoordig maken artsen gebruik van twaalf elektroden, elk op een welbepaalde plek. Zo

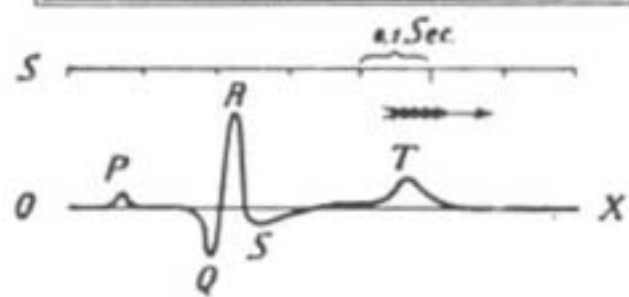
*Honderd jaar geleden vormden bakken met zout water de elektroden. Tegenwoordig zijn ze gelukkig veel kleiner en handzamer. Met een zuignap of plakker worden ze op de huid bevestigd. In de elektroden zit een metalen stripje dat de actiestromen van het hart naar de elektrocardiograaf geleidt.*



P. Marx / Cardio Control NV Delft



P. Marx / Cardio Control NV Delft



www.isu.edu/~andecurr/BIO5652.html



Cardio Control NV Delft



Cardio Control NV Delft

*Meestal ligt een patiënt bij de opname van een ECG. Soms echter moet de patiënt zich inspannen. Bijvoorbeeld als zijn klachten, pijn op de borst, alleen bij inspanning optreden. Hij fietst dan, beplakt met elektroden en draden, op een ergometer terwijl het ECG gemaakt wordt.*

beschrijft. De elektrocardiograaf veroverde de wereld en Einthoven verwerft wereldfaam. Tijdens een lezingentournee die hij in 1924 in de Verenigde Staten houdt, hoort hij dat hij de Nobelprijs voor de geneeskunde krijgt. Omdat hij zijn tournee niet wil onderbreken, haalt hij de prijs pas in 1925 op. Einthoven overlijdt twee jaar later. Hij is dan zevenenzestig.

De ontwikkeling van het ECG-apparaat maakt in de twintigste eeuw een stormachtige ontwikkeling door. Van driehonderd kilogram naar honderd gram en van kamerbreed naar vestzakformaat. De elektroden van Einthoven, emmers met zout water, maken al snel plaats voor zuignappen en later plakelektroden. De snaargalvanometer zelf blijft tot in de jaren zestig van vorige eeuw in gebruik. Daarna lost elektronica de galvanometer af. De microscoop wordt een elektronische versterker en de valcamera een schrijver met

kunnen ze vanuit verschillende richtingen naar de elektrische activiteit van het hart kijken. Dit levert extra informatie op, net zoals we meer informatie over een auto krijgen als we hem vanuit verschillende hoeken bekijken.

## DE NOBELPRIJS, EEN JAAR LATER

De ontdekkingen volgen elkaar nu in snel tempo op. Het is vooral de Engelse arts Thomas Lewis die bij veel afwijkingen in het ECG de ermee gerelateerde ziekte



Cardio Control NV Delft

*Honden, zoals Jimmie, dienden niet alleen als proefkonijn bij de ontwikkeling van het ECG. Ze hebben er nu, bij de dierenarts, ook profijt van.*

pen. In de toekomst zal ook de schrijver verdwijnen. Het ECG verschijnt nu al in menig ziekenhuis op een computerscherm of rolt uit de printer. Ook neemt de computer de interpretatie van een ECG voor zijn rekening. De afwijkingen die bij een hartziekte horen zijn zo karakteristiek dat een computerprogramma ze kan herkennen. De arts hoeft alleen maar te controleren of de computer geen fouten heeft gemaakt.

Eindhoven ontwikkelt zijn ECG als een eenvoudige diagnostische methode. Toch maken sommige hartspecialisten er inmiddels een ingewikkelde ingreep van. Ze plaatsen de elektroden niet op de huid, maar in het hart. Langs de liesslagader brengt de arts de elektroden in de holle ruimte van het hart. Hier meet hij heel nauwkeurig de elektrische activiteit. Zo maakt hij een driedimensionale kaart van het elektrische hart. Deze techniek is bij uitstek geschikt om fouten in de elektrische geleiding van het hart op te sporen. Patiënten die daar last

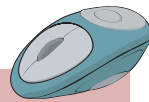
van hebben ondervinden hartritmestoornissen. Met de inwendige elektroden spoort de arts de plek op waar de foutieve geleiding ontstaat. Vervolgens kan hij deze wegbranden, waarna de hartritmestoornissen verdwijnen.

Iedereen van wie ooit een klassiek ECG gemaakt is, weet hoe eenvoudig de procedure in zijn werk gaat. Even op een bed lig-

*Een electrocardiograaf in vestzakformaat. De miniaturisering van elektronica leidt ook tot steeds kleinere ECG-apparaten. Het witte kastje links neemt het ECG op en digitaliseert het. De palmtop computer geeft het weer en analyseert het meteen. Deze kleine electrocardiograaf is een uitvinding van Cardio Control, de enige Nederlandse fabrikant van ECG-apparaten.*

gen terwijl iemand twaalf elektroden op je borst plakt. De opname zelf duurt slechts enkele tientallen seconden. Een getraind arts ziet onmiddellijk of er iets, en zo ja, wat er mankeert. Eigenlijk is het ECG het eenvoudigste en minst belastende medische onderzoek. Moderne computertechnologie en elektronica zullen dit in de toekomst nóg makkelijker maken. Wie weet kunnen we over een aantal jaren zelf een ECG maken, met een pocket computer die ons waarschuwt wanneer we naar de dokter moeten.

Patrick Marx |



### NOG MEER WETEN?

Op onze site vindt u extra links naar meer informatie over dit onderwerp.

[www.eosweb.com](http://www.eosweb.com)

*Een ECG-apparaat zoals ziekenhuizen ze al decennia gebruiken. Een schrijver legt de elektronisch versterkte actiestromen van het hart vast.*



P. Marx / Cardio Control NV Delft



P. Marx / Cardio Control NV Delft