

POWER in the people

HOE LICHAAMSENERGIE PACEMAKERS KAN AANDRIJVEN

Loop je jarenlang probleemloos met een pacemaker rond, moet je toch weer onder het mes omdat de batterijen leeg zijn. Terwijl het lichaam zelf genoeg bruikbare energie produceert om zo'n inwendig apparaatje aan de praat te houden. TEKST: STEF MEIJERS

De eerste pacemaker-patiënt ter wereld was Arne Larsson. In 1958 diende de destijds 43-jarige Zweed als menselijk proefkonijn voor de implantatie van een medische stimulator. Het apparaatje werd succesvol aangebracht, maar hield er na drie uur alweer mee op. De tweede 'gangmaker' hield het slechts twee dagen uit, met als gevolg dat Larsson voor de derde keer onder het mes moest. Gelukkig ontwikkelde het medische hulpmiddel zich hierna razendsnel en leidde Larsson een onbezorgd leven tot hij in 2001 op 86-jarige leeftijd overleed. Daarvoor betaalde hij wel een 'kleine' prijs. In totaal lag hij in 43 jaar tijd 26 keer op de operatietafel. Meest voorkomende reden voor het vervangen van zijn pacemaker: lege batterijen.

Veel mensen kunnen tegenwoordig een normaal leven leiden door *implantable medical devices* (IMD's). Of het nou om pacemakers, defibrillators of geavanceerde gehoor toestellen gaat, eenmaal in de mens helpen of vervangen ze essentiële functies van organen. Nadeel is alleen dat al die apparaten een kleine accu met zich meedragen. Die gaat maar een bepaalde tijd mee, waardoor patiënten meerdere keren in hun leven een operatie moeten ondergaan voor een nieuw setje batterijen. Daarom doen wetenschappers ver-

woede pogingen om IMD's zelf-energievoorzienend te maken. Zowel *in vitro* (buiten het lichaam) als *in vivo* (in het lichaam) zijn er talloze mogelijkheden. Het menselijk lichaam herbergt immers legio potentiële energiebronnen. Denk aan het strekken van een spier, het bewegen van een arm of been, een hartslag of bloedstroom. Hierbij wordt allemaal mechanische energie opgewekt. De vraag is echter hoe je deze – vaak minimaal opgewekte – energie door middel van nanotechnologie kunt aanwenden voor geïmplanteerde apparaten. En dan ook nog het liefst zonder dat je er zelf iets van merkt of dat anderen het aan de buitenkant zien. De laatste ontwikkelingen op het gebied van *in vivo energy harvesting* zijn veelbelovend.

Nanospringplank

Tot voor kort was het onderzoek op dit gebied vooral gebaseerd op twee methoden van energieopwekking. De eerste aanpak was gericht op biobrandstofcellen. Deze zouden glucose uit het lichaam omzetten in de benodigde energie voor een IMD. Verder dachten onderzoekers aan nucleaire toepassingen die veilig én duurzaam zouden zijn. Helaas bleek later dat deze werkwijzen ook nadelen hadden. Hoge productiekosten, mogelijke verontreiniging van het lichaam en inefficiënte prestaties deden deze

applicaties (voorlopig) de das om. "Een andere manier om in het lichaam energie te genereren, is door middel van piëzo-elektrische materialen", zegt Mark Huijben. Hij is programmadirecteur voor de richting Nanomaterials for Energy bij het MESA+ Instituut voor Nanotechnologie in Enschede. Piëzo-elektriciteit zet trillingen om in bruikbare energie. Deze methode kent al veel toepassingen in ons dagelijks leven. Gasaanstekers, luidsprekertjes en druktoetsen in elektronische apparatuur maken er bijvoorbeeld gebruik van. Huijben vergelijkt het met een springplank op nanoschaal. "Stel je voor: een minuscule springplank met een gewicht op het uiteinde. Als zo'n systeem in de buurt van trillingen, zoals een kloppend hart, wordt geplaatst, zal het gewicht op de plank heen en weer gaan bewegen." De springplank stelt het piëzo-elektrische materiaal voor dat een spanning opwekt op het moment van het verbuigen. Zo krijg je dus bij snellere en sterkere trillingen steeds meer verbuigen en dus meer stroom. Naast trillingen van spieren valt er ook energie te winnen uit warmteverschil. Dit fenomeen heet het Seebeck-effect. Hierbij creëert temperatuurafwijking over een materiaal een spanning. Medische apparaatjes die met deze methode werken, hoeven zich dus niet per se bij een spier te bevinden. Hoewel ▶

Op een röntgenfoto is de complexe constructie van een pacemaker goed te zien. Binnenkort kan deze 'gangmaker' misschien levenslang meegaan dankzij het benutten van lichaamsenergie.

INWENDIGE APPARATEN MET BATTERIJEN

Geïmplanteerd apparaat:	Gebruikt bij:	Benodigd vermogen:
Pacemaker	Hartritmestoornissen	30 tot 100 microwatt
Defibrillator	Hartritmestoornissen	30 tot 100 microwatt
Neurologische stimulator	Onwillekeurige krampen van spieren	30 microwatt tot enkele milliwatt
Medicijnpomp	Spasticiteit	100 microwatt tot 2 milliwatt
Cochleair implantaat (CI)	Gehoörproblemen	Enkele microwatt tot 10 milliwatt

(1 microwatt is een miljoenste watt; 1 milliwatt een duizendste watt)

in het hele lichaam temperatuurverschillen te meten zijn, is gebleken dat vlak onder de huid de meeste warmteafwijkingen zijn. Bovendien is het niet zo ingewikkeld om net onder de huid een IMD te plaatsen. Een inwendig apparaatje kan ter plekke, door middel van een serie thermo-elektrische elementen, een temperatuurverschil omzetten. Elektronen, die ook een klein beetje warmte met zich meebrengen, worden dan door halfgeleiders gestuurd. Zo ontstaat er een elektrische spanning die de benodigde energie voor het medische hulpmiddel genereert.

Stroomtekort

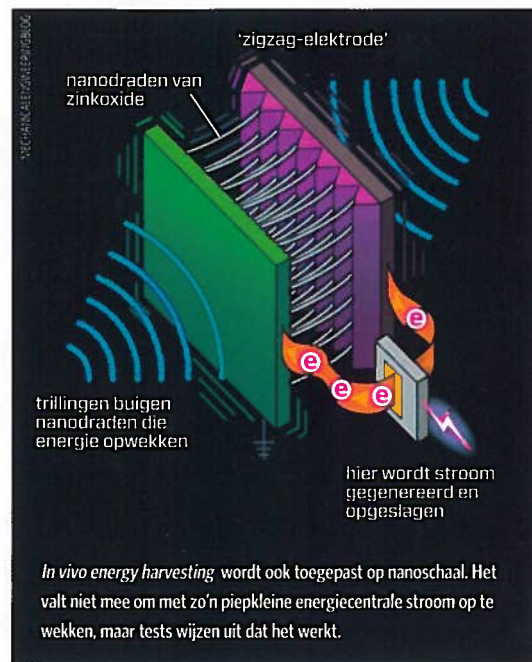
Tot zover de theorie. Zijn deze technieken ook toepasbaar op levende wezens? Deze piepkleine energiecentrales leveren namelijk ook maar een piepkleine hoeveelheid stroom op. Gelukkig heeft een doorsnee-IMD ook maar heel weinig energie nodig (zie kader

hierboven). Deze piezo-elektrische materialen worden namelijk ook gebruikt in zeer gevoelige sensors. "Neem de nanospringplank weer", legt Huijben uit. "Als die in een bepaalde trilling wordt gebracht, kun je er op nanoschaal gas of vloeistof mee in aanraking laten komen. Hierdoor verandert de frequentie van de trilling, en dat kun je meten."

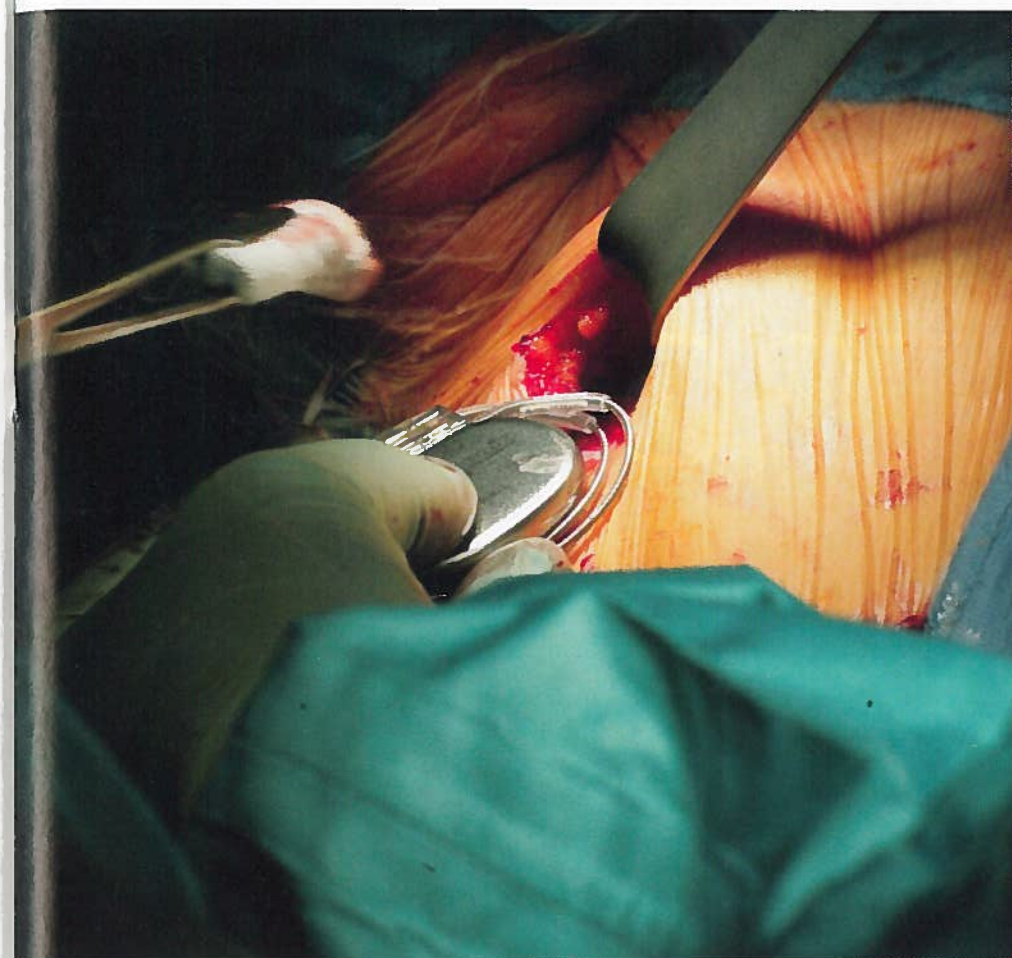
Problem solved, zou je zeggen. Toch was er nog een probleem waar wetenschappers een oplossing voor moesten vinden: het feit dat ons lichaam 'onregelmatige energie' produceert. Een mens loopt bijvoorbeeld niet constant met dezelfde snelheid en ons hart klopt sneller bij inspanning dan bij ontspanning. De ene keer produceren deze bewegingen en trillingen dus meer stroom dan de andere keer. Dit zou een stroomtekort voor een IMD kunnen veroorzaken, waardoor een patiënt in gevaar komt. Onderzoekers van de

Universiteit van Michigan hebben echter een prototype ontwikkeld dat energie uit elke hartslag kan halen. Het apparaatje is in staat om zowel bij een lage als een hoge frequentie van de hartslag energie op te wekken. Zelfs bij slechts twintig hartslagen per minuut (de gemiddelde hartslag van een mens in rust is zeventig) produceert het prototype nog voldoende stroom om bijvoorbeeld een pacemaker aan te drijven.

Het volgende struikelblok voor wetenschappers is dat er materia-



In vivo energy harvesting wordt ook toegepast op nanoschaal. Het valt niet mee om met zo'n piepkleine energiecentrale stroom op te wekken, maar tests wijzen uit dat het werkt.



Het inbrengen van een pacemaker gebeurt tegenwoordig aan de lopende band. 's Werelds eerste pacemakerpatiënt moest gedurende zijn leven 26 keer onder het mes om de batterijen te laten vervangen. En dat in een tijd waarin operaties uiterst risicovol waren.

len in deze nanomachinetjes zitten die mogelijk giftig zijn. De meeste piezo-elektrische materialen bevatten bijvoorbeeld lood, dat schadelijk is voor ons lichaam. Maar ook daar lijkt een oplossing voor klaar te liggen. Behuizingen van titanium moeten onze ingewanden beschermen tegen het giftige lood. Titanium wordt nu al gebruikt voor implantaten en piercings en staat erom bekend dat het niet reageert met weefsel in het lichaam.

Op volle toeren

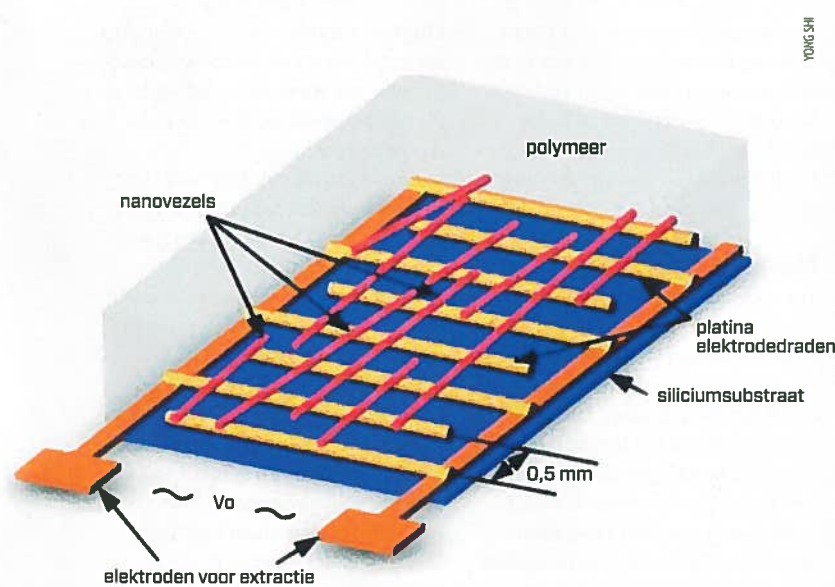
Al met al lijkt de weg vrij voor toepassingen van *in vivo energy harvesting* in het menselijk lichaam. De wetenschap is er na jaren van onderzoek in geslaagd om theorieën in de praktijk toe te passen. Momenteel draaien simulaties in laboratoria en tests met proefdieren dan ook op volle toeren. In Nederland popelen onderzoekers eveneens om hun ontdekkingen te delen met de medische wereld. "We staan eigenlijk nog maar aan het begin", vertelt Huijben. "Nanowetenschappers begin-

nen nu met het benaderen van mensen uit de gezondheidszorg met de vraag om mee te denken over eventuele toepassingen." Volgens Huijben duurt het echter nog wel een tijdje voordat chirurgen voor de eerste keer een zelf-energievoorzienend hulpmiddel in een persoon plaatsen. "Specialisten kunnen natuurlijk niet zomaar in iemand gaan snijden. Alle risico's moeten tot een minimum worden beperkt. Dat zal nog zeker vijf tot tien jaar duren." Hopelijk krijgen we dus binnen afzienbare tijd het levende bewijs van een 'menselijke energiecentrale'.

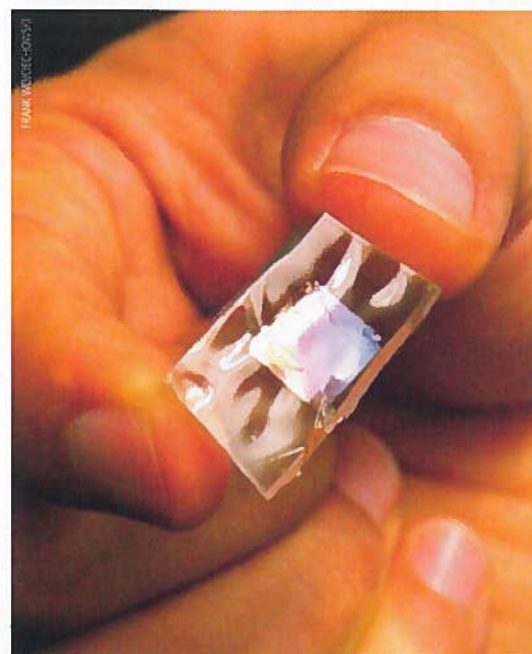
Links naar meer informatie vind je op www.kijkmagazine.nl/artikel/pacemakers

Stef Meijers sprak voor dit artikel met dr. ir. Mark Huijben (MESA+ Instituut voor Nanotechnologie). Verder gebruikte hij de volgende literatuur:

- M. Amin Karami e.a.: *Powering pacemakers from heartbeat vibrations using linear and nonlinear energy harvesters* | Applied Physics Letters (2012)
- Rusen Yang e.a.: *Converting biomechanical energy into electricity by a muscle-movement-driven nanogenerator* | Nano Letters (2009)
- Yang Yang e.a.: *Suitability of a thermoelectric power generator for implantable medical electronic devices* | Journal of Physics (2012)
- Zhou Li e.a.: *Muscle-driven in vivo nanogenerator* | Advanced Materials (2010)



Een voorbeeld van een nanogenerator die energie uit een menselijke beweging, zoals het lopen, kan winnen. In kleding of schoenen zou dit goed van pas komen, maar ook medische implantaten hebben er baat bij.



Dit apparaatje werkt op piezo-elektrische trillingen (bijvoorbeeld van een hart) in bruikbare energie om. In het dagelijks leven wordt dit principe onder andere in gasaanstekers toegepast.

DE GESCHIEDENIS VAN DE PACEMAKER

1774

Een zekere Mr. Squires uit Londen reanimeert voor de eerste keer iemand door middel van een elektrische schok.

1791

De Italiaan Luigi Galvani experimenteert met spierstimulatie via elektriciteit.

1800

Xavier Bichat uit Frankrijk doet verslag van experimenten met onthoofde misdadigers waarbij hij met elektrische schokken het hart weer op gang brengt.

1882

De Duitser Hugo von Ziemssen stimuleert het hart van een patiënt en toont aan dat stroomstoten de frequentie van de hartslag kunnen veranderen.

1932

Albert Hyman uit New York beschrijft de eerste succesvolle toepassing van een externe pacemaker.

1950

De Canadees John Hopps bouwt een externe pacemaker.

1958

Eerste implantatie van een compleet pacemakersysteem door de Zweedse hartchirurgen Rune Elmqvist en Åke Senning bij Arne Larsson (1915-2001).

1960

Implantatie van de eerste Chardack-Greatbatch-pacemaker met een kwikzinkbatterij. Die hoefde niet meer extern opgeladen te worden.

1967

Eerste tests met implanteerbare pacemakers die op kernenergie werken.

1975

Invoering van de pacemaker met lithiumbatterij.

1980

Implantatie van de eerste automatische cardioverter-defibrillator (ICD).