

# Elektromagnetisme og livet

av Robert O. Becker, Erie Canal Road, Star Route, Lowville, New York

(Kap. 1 *Electromagnetism and Life*, i *Modern Bioelectricity*, Edited by Andrew A. Marino, Marcel Decker, Inc., New York, 1988, oversatt av Einar Flydal, juli 2021)

Ordet «bioelektrisitet» virker nok som en selvmotsigelse, ettersom uttrykket innebærer at det skulle finnes en forbindelse mellom biologi og elektrisitet. De etablerte lærebøkene i biologi synes jo å se helt bort fra elektrisitet, mens lærebøker om elektrisitet på samme vis synes å ikke være oppmerksomme på at det fins noe slikt som biologi. For å bidra til ytterligere forvirring fins det nå en rekke konkurrerende fagord i bruk for å beskrive dette fagfeltet: biomagnetikk, elektrobiologi, bioelektromagnetikk, magnetobiologi, bioelektrokjemi, og så videre. Dette viser klart at det skjer noe nytt og spennende i grenseflaten mellom livsvitenskapene og elektromagnetismen – noe som blir oversett i etablerte vitenskapelige kretser. Situasjonen er typisk for det som Kuhn omtalte som *en omveltning av de vitenskapelige forestillinger* (1), og det er min tro at det er nettopp dette som foregår. Hensikten med dette kapitlet er å presentere kort dette nye vitenskapelige paradigmat ved å sette det inn i et historisk perspektiv. Plassbegrensninger gjør at jeg bare så vidt kan streife innom det jeg oppfatter som de viktige leddene i den kjeden av hendelser som har ført fram til utviklingen av denne nye vitenskapelige disiplinen.

Vidt definert handler bioelektrisitet om studiet av de elektromagnetiske krefter som skapes av levende organismer, og om virkningene av ytre elektromagnetiske krefter og felt på levende organismer. Dette nye faguttrykket er satt sammen av to greske røtter, og det passer godt at *bios* kommer før *elektron*, siden de fleste av de store vendepunktene i faghistorien kan knyttes til forskere innen biologi og at de ble motivert til videre forskning fordi de måtte innse at det fantes store hvite flekker i deres forståelse av livet. Bioelektrisitetsfagets historie kan deles opp i tre epoker: Skillet mellom den første og den andre epoken går ved det store bidraget fra Galvani. Den andre og den tredje epoken er skilt fra hverandre av den vitenskapelige eksplosjonen som fulgte med den verdensomspennende konflikten vi kaller den 2. verdenskrig, og som førte til vår moderne teknologiske verden.

Enhver historisk gjennomgang om fagene elektrisitet og magnetisme må begynne med offentliggjøringen i 1600 av *De Magnete* av William Gilbert, dronning Elisabeths livlege. For første gang ble disse to kreftene flyttet ut fra mysteriets område og tydelig atskilt fra hverandre og underkastet systematisk eksperimentering. Statisk elektrisitet var den eneste formen som var kjent, og i det påfølgende århundret så man utviklingen av metoder for å skape, måle og lagre denne energien. Samtidig oppsto den muligvis den mest storslåtte opphopningen av vitenskapelige hjerner som noen gang har levd i samme århundre – Bacon, Harvey, Descartes og Newton. Likefullt satt biologi- og medisinfagene fortsatt fast i den mest langvarige vitenskapelige disputten man kjenner til: spørsmålet om *vitalisme* versus *mekanisme*. I denne kontroversen, som hadde pågått siden de tidlige greske filosofer, sto vitalistene i den ene skyttergraven. De holdt på at alt levende hadde «anima», eller livsånder [animus, -a: latin for «pust», «vind» og «sjel»], og at slikt var utilgjengelig for fysisk analyse. Mot dem sto mekanistene som mente at dette var rent nonsens og at levende enheter bare var mer sammensatte – mer komplekse – enn ikke-levende ting. Elektrisitet ble den fremste kandidaten for disse «anima», og da Galvani utga sine funn i 1791, trodde han at han hadde identifisert denne vitale ånden som «animalsk elektrisitet» [altså selve essensen ved de levende vesener]. Det Galvani faktisk hadde oppdaget, var en annen og langt mer verdifull form for elektrisitet, *likestrøm*, som kunne skapes som en kontinuerlig strøm når to ulike metaller ble plassert mot hverandre i en strømledende væske. Voltas angrep på Galvani, som kom to år seinere, viste

dette med all tydelighet og lot til å stenge døra for godt for tanken om at elektrisitet kunne bli produsert av levende vev. Galvanis svar (som seinere ble publisert anonymt), viste at under bestemte betingelser kunne levende vev skape elektrisitet – selv uten metaller i kontakt med hverandre. Men dette ble stort sett oversett i begeistring over Voltas elektriske batteri, som skapte en jevn forsyning av elektrisk strøm. Tretti år seinere demonstrerte Matteucci at det Galvani faktisk hadde påvist i sine seinere arbeider, var at det ble skapt strøm rundt sår i vev, såkalte *sårstrømmer*. I mellomtida hadde Ørsted påvist at likestrøm som strømmer gjennom en metalltråd, skaper et magnetisk felt som strekker seg ut i rommet fra metalltråden, og Davy hadde påvist at elektrisiteten som ble laget av Voltaiske batterier, var resultatet av kjemiske prosesser i de to metallene og den ledende oppløsningen. Som en oppfølging av Matteuccis observasjoner, påviste du Bois-Raymond at stimulering av en nerve frambrakte en impuls som fór langs den samme nerven fra stimuleringspunktet, og at den kunne måles elektrisk. Matteucci sluttet av dette at han hadde bekreftet at «nerveprinsippet» [altså nervens funksjonsmåte] var basert på «elektrisitet». Dette ble imidlertid på avgjørende vis motbevist av von Helmholtz i 1850, da han målte hastigheten på nerveimpulsen til omtrent 30 meter per sekund. En slik hastighet var langt lavere enn det Cavendish og andre alt tidligere hadde funnet ved å lade ut en Leyden-krukke til en metalltråd som var mer enn 12 000 fot lang. Så selv om nerveimpulsen kunne måles elektrisk, kunne den derfor ikke være elektrisk av natur. Hva var den da?

Julius Bernstein, en av du Bois-Raymonds studenter, skaffet svaret. Bernstein offentliggjorde sin hypotese i 1868. Han framsatte den hypotesen at nervemembranen måtte være *polarisert*, med en innside som har en annen elektrisk polaritet [altså positiv eller negativ ladning] enn utsiden, og at dette skyldtes en eller annen mekanisme som gjorde membranen i stand til å bare slippe gjennom ioner av ett grunnstoff om gangen – etter eget valg. Videre antok han så at nerveimpulsen måtte komme av at denne polariteten brøt sammen helt lokalt, og at denne «avpolariseringen» spredte seg langs nervefiberne. Så selv om nerveimpulsen kunne måles med elektriske instrumenter, var det så avgjort ikke noen elektrisk strøm bortetter nervefibrene. Denne «Bernstein-hypotesen» om cellemembranens polarisering er blitt selve hjørnesteinen i moderne elektrofysiologi og trekkes inn for å forklare alle slags elektrisk målbare fenomener i levende organismer, også sårstrømmene.

I 1864 antok Maxwell på matematisk grunnlag at det måtte finnes et kontinuerlig spektrum av elektromagnetiske felt som var ordnet langs en skala med økende frekvens, og samtidig avtakende bølgelengde. Omtrent 20 år seinere påviste Hertz at slike felt virkelig fantes, og at de kunne overføre signaler gjennom rommet uten ledninger. Mindre enn 10 år seinere oppdaget Röntgen «X-strålene» [røntgenstråler] mens han eksperimenterte med elektriske utladninger i delvis lufttomme rør.

Ved overgangen til det neste århundret ble Hertz sin oppdagelse brukt til å overføre meldinger over Atlanterhavet, og Röntgens oppdagelse ble brukt i medisinfaget til å diagnostisere og lege beinbrudd hos mennesker. I løpet av den samme tidsperioden var vitalistenes stilling langsomt forvitret etter hvert som elektrisiteten ble stengt ute fra stadig flere fysiologiske funksjoner, inntil begynnelsen av det tjuende århundret. Det eneste som da sto igjen, var overføringen av nerveimpulsen over *det synaptiske gapet* [mellomrommet mellom nervetrådene (aksonene)]. I 1920 ble selv dette siste halmstrået plukket vekk da Otto Loewi påviste at det kjemiske stoffet *acetylcholin* dannes når impulsen kommer fram til nervetrådenes ender. Det fantes dermed ingen «vital ånd» her heller, og ingen plass var igjen for elektrisiteten som sådan i levende organismer. Organismer var ganske enkelt å betrakte som komplekse kjemiske maskiner, og ikke noe mer enn det.

Denne *mekanistisk-reduksjonistiske* filosofien om at hele organismen bare var summen av sine deler, og at man kunne isolere og studere hver enkelt del og så gjennom de funn man gjorde, kunne forstå hele organismen, tok solid kontroll over all tenkning innen biologifaget. Og denne tilnærmingsmåten

har ført til så store framskritt innen alle sider av biologi og medisin, at den vant status som et uomtvistelig dogme.

Ett resultat av denne triumfen til det mekanistiske tankesettet var at *elektromedisinen* ble kastet fullstendig på båten. Denne terapeutiske metoden hadde vokst fram ikke lenge etter Galvanis observasjoner, og hadde utviklet seg utfra et fullstendig erfaringsbasert grunnlag fram til den på slutten av 1800-tallet var i vanlig bruk for behandling av et bredt spekter helseplager. Tatt i betraktning av datidas mangel på grunnleggende kunnskap, både innen biologi og fysikk, var det ikke overraskende at mye av behandlingstilbudet var rent sprøyt, så det var til medisinfagets beste at det kassert. Men vi vet nå at i minst ett tilfelle ble også en verdifull behandlingsmetode diskreditert: Metoden som ble brukt den gangen for å behandle beinbrudd hos mennesker med elektriske strømmer, var bemerkelsesverdig lik den som benyttes og er akseptert i dag.

Det så ut som om det siste ord var blitt sagt med Loewis påvisning i 1920 av den kjemiske signalsubstansen bak nerveimpulsene, men det var faktisk ikke tilfelle: I 1929 beskrev Berger det menneskelige elektroencefalogram (EEG), med sitt karakteristiske frekvensområde og frekvensmønster. Det var den gang, og er fortsatt, umulig å knytte dette elektriske fenomenet helt og fullt bare til nerveimpulser. Andre nevrofysiologer, særlig Gerard og Libet, var overbeviste om at den enkle forestillingen om at nerveimpulsen var den eneste mekanismen i nervene, ikke var nok til å forklare hjernens komplekse funksjoner. I løpet av 1930- og 40-årene rapporterte de at de hadde funnet belegg for at det faktisk fløt elektriske strømmer utenfor selve nervecellene i hjernen. De påviste at slike strømmer påvirket måten nevronene opererer på. Arbeidet deres vakte imidlertid liten interesse, ikke bare fordi det gikk til frontalangrep på etablerte dogmer, men også fordi å måle likestrømmer som var så svake, var ekstremt vanskelig. Bare et fåtall nevrofysiologer var interessert i å utforske slikt som lot til å befinne seg i en lite fruktbar bakevje. I løpet av samme tidsperiode hadde en rekke biologer som også var overbeviste om at helheten var større enn summen av delene, først og fremst Burr og Lund, fortsatt å lete etter belegg for at elektriske krefter spiller en rolle i de overordnede handlingene og prosessene som foregår i den levende organismen som en helhet. Deres observasjoner besto i hovedsak av at de målte de elektriske likestrømspotensialene [spenningsforskjellene] på en lang rekke ganske ulike levende organismer, og sammenholdt endringer i dem med endringer i organismenes funksjoner. De tolket sine observasjoner som at de tydet på at det fantes et helhetlig «bioelektrisk felt» rundt organismens kropp, en enkelt dipol [altså to poler, en positiv og en negativ] som er orientert langs kroppens hode-hale-akse. Selv om de begge publiserte sine data, tente ikke deres rapporter noen interesse hos det store flertallet av forskere. I stedet ble deres arbeider kritisert for å ha utilfredsstillende instrumentering, noe som nok i stor grad var rett. Måleinstrumentene som de hadde tilgang til, førte på grunn av sin lave følsomhet til at det blandet seg inn vesentlige målefeil i alle slags data som de registrerte.

Samtidig som den reduksjonistiske biologien befestet seg stadig og gjorde stadig større oppdagelser, ble oppdagelsene innen elektrisitet og elektromagnetisme tatt i bruk med entusiasme og i økende grad. Elektrisk kraft ble gjort tilgjengelig i stadig større mengder og i kjølvannet fulgte en stadig mer omfattende utvikling i bruken av informasjonsoverføring gjennom radiosignaler. Framskrittene innen biologi og medisin forsterket denne utviklingen: Den sørget både for forsikringer om at den elektriske energien ikke hadde noe som helst med levende organismer å gjøre, og den leverte bevis på nytteverdien av oppdagelsene innen medisin og elektromagnetisme, blant annet i form av høyfrekvens-basert oppvarming til klinisk bruk (diatermi) og bruken av røntgen til behandling av en rekke tilstander som spente fra kviser til kreft. Det var ikke før godt inn i den andre fjerdedelen av den tjuende århundret at man for alvor så at denne utviklingen ga enkelte uønskede bivirkninger i form av å føre til ulike slags kreft, særlig hos de legene som hadde gjort utstrakt bruk av

røntgenstråling. Men skylden for dette la man raskt på stråling som har høyere frekvenser enn lys: slik stråling har den egenskapen at den [«på direkten»] kan skape ionisering i vev og i celledstrukturer. Siden stråling med frekvenser lavere enn lys mangler denne egenskapen, trakk man den slutning at den ikke hadde noen biologiske virkninger.

Alle kontroverser hadde tatt slutt da 2. verdenskrig brøt ut. Oppfatningen var at det fantes ingen biologiske virkninger fra elektriske strømmer ved nivåer svakere enn dem som frambrakte sjokk, og levende organismer gjorde ikke bruk av elektriske strømmer i sine fysiologiske funksjoner. Alt organismene gjør, kunne best forklares med utgangspunkt i kjemiske og molekylære reaksjoner og polariserte cellemembraner. Elektromagnetiske felt hadde ingen biologiske virkninger, og forestillingen om at det var slik, så ut som om den var understøttet av vår praktiske erfaring. Vi hadde jo brukt disse feltene ved frekvenser fra 60 Hz-frekvensene i strømnettet [50 Hz i Europa] til kortbølgeradio uten at noen åpenbare (eller i det hele tatt påviselige) virkninger hadde forekommet, verken i de mest eksponerte personene eller i befolkningen generelt. Muligheten for at magnetiske felt kunne ha noen biologisk virkning, så man på som en forestilling som tilhørte sjarlatanene eller det som verre var. Fysikkens klassiske begreper tillot ganske enkelt ikke at det kunne være noen slags meningsfull sammenheng mellom noen som helst form for ikke-ioniserende elektromagnetisk stråling og levende organismer. For bølgelengdene til de frekvensene som den gang var tilgjengelige, var altfor lange til å skape resonans i biologiske strukturer, og energien som de la igjen i de levende systemene, var langt under kT [1000 Tesla, et svært lavt nivå]. De reduksjonistiske og fysiokjemiske begrepsapparatene om biologien var fulle av selvsikkerhet. De så seg selv som utpekt til leverte svarene på all spørsmålene om livet, og til å forsyne oss med effektive redskaper for å få kontroll over alt som kan ramme vår helse.

Likevel sto det noen problemer tilbake som forstyrret dette bildet: I røsjet etter å omfavne de nye forståelsesformene som hadde gått av med seieren i sin store kamp mot vitalismen, ble enhver biologisk egenskap eller funksjon som ikke passet inn med det etablerte paradigmet, enten bortforklart eller oversett. Ved nærmere undersøkelser lot det til at vi visste en masse om de funksjonene som kunne forstås godt ved hjelp av kjemiens og molekylærfysikkens begreper, men vi hadde ganske enkelt ikke en anelse om slike grunnleggende spørsmål som hva livet er for noe, og i enda mindre grad forsto man hva som styrer vekst, struktur og fosterets utvikling, hjerneaktivitetens egenart, eller mekanismene som inngår i biologiens sykliske mønstre. I 1941 dukket en talsmann for dette perspektivet opp: Albert Szent Gyorgyi. Han hadde fått Nobelprisen i medisin i 1937 for sitt arbeid om biologisk oksidasjon og vitamin C, og holdt sin nå berømte Koranyi-forelesning. Der framsatte han den radikale tanke at energioverføring i levende celler kunne skje i form av *eksiterte elektroner* [elektroner som midlertidig har fått høyere energi] og som beveger seg innenfor matriser med halvlederegenskaper (2) [som betyr at det går strømmer utenfor de kjemiske prosessene]. Szent Gyorgyi kommenterte den reduksjonistiske filosofiens manglende evne til å forklare de grunnleggende problemene slik: «Det synes fortsatt å mangle noen grunnleggende fakta om livet, og uten disse er det umulig å få noen som helst reell forståelse av det.» Szent Gyorgyi fulgte opp med å publisere et stort antall andre artikler og bøker om samme tema etter krigen. Av disse er *An Introduction to Submolecular Biology*, som utkom i 1960, blitt en klassiker. Likevel kan hans største prestasjon vise seg å være den ene forelesningen som han holdt i 1941. Sett fra bioelektrisitetens synsvinkel kan den ses som et vendepunkt av det klassiske slaget – av like stor betydning som Galvanis oppdagelser 150 år tidligere.

Røttene til de moderne forestillingene om bioelektrisitet kan spores tilbake til perioden som fulgte etter 2. verdenskrig: Da utviklet realvitenskapene seg kraftig, basert på de teknologiske framskrittene som ble drevet fram av konflikten. Dette hadde vært den første større krigen der elektriske og

elektromagnetiske krefter spilte en stor, ja kanskje avgjørende, rolle for utfallet. Det ble gjort store framskritt innen kommunikasjonsteknologi, og de ble raskt tatt i bruk. Man ble i stand til å skape stadig høyere frekvenser, og utviklingen av *hulromsmagnetronen* gjorde det mulig å ta i bruk radar på effektivt vis for første gang. For allmennheten framsto dette som en ny og løfterik form for energi, og etter som teknologien utviklet seg, ble kraften som ble skapt i en radarstråle langt større enn den som var blitt skapt av noen annen type utstyr for å skape elektromagnetiske felt. Dette faktum, samtidig som det kom enkelte rapporter om helseskader blant folk som arbeidet med radarer, satte i gang en debatt fra slutten av 1950-årene om de mulige biologiske virkningene fra denne nye formen som elektromagnetismen kunne anta. Tidlig på 1960-tallet slo man på ny fast den klassiske forestillingen at varmekrefter var de eneste mulige, og man vedtok en standard for mikrobølge-eksponering av mennesker basert på termiske virkninger, og trodde at debatten var over. At dette så absolutt ikke er tilfelle, er klart redegjort for i Stenecks nyeste bok, *The Microwave Debate* (3).

I tida etter krigen kunne man i de fysiske vitenskapene dessuten bekrefte Szent Gyorgyis forutanelser om elektronstrømmer [i levende organismer]. Det skjedde som resultat av utviklingen av transistorer og andre teknologier basert på faste materialer: Stadig mer sofistikert elektronisk instrumentering krevde mer følsomme og stabile metoder for å måle og registrere elektriske strømmer og potensialer. Det var tilgangen på slikt utstyr som var mye mer følsomt og langt mindre offer for feilregistreringer enn dem som ble brukt av Hurr og Lund, som virkelig gjenåpnet uenigheten om elektrisitetens rolle i livssystemene og førte til den moderne tids studier av bioelektrisitet.

Den første anvendelsen av denne slags instrumentering skjedde i 1960 med revurderingen av Hurr og Lunds beskrivelser av *det bioelektriske felt*. Et virveldyr med fuktig hud, salamanderen, ble brukt. I stedet for bare å finne det dipol-feltet som de hadde beskrevet tidligere, fant man et komplekst spenningsfelt som samsvarte i rommet med sentralnervesystemets kompleksitet (4). Videre belegg som tydet på at nervesystemet hadde en rolle i å skape disse likestrømspotensialene, fant man da man observerte at styrken i de enkelte likestrømsvektorene i feltet varierte direkte med graden av bevissthet i forsøksdyret. De samme teknikkene ble seinere brukt på måling av sårstrømmer i dyr som er i stand til å gjenskape lemmer, og ble sammenliknet med nære arter som ikke har noen slik evne. Resultatene var av stor betydning av to grunner (5). For det første: Potensialenes polaritet der man hadde amputert lemmer hos et dyr som kan gjenskape lemmer, ble kraftig negativ mens den opprinnelig var positiv, og polariteten holdt seg slik den tida det tok for lemmer å vokse ut igjen. Polariteten på tilsvarende sted hos et dyr som ikke kan gjenskape lemmer, var opprinnelig positiv og holdt seg slik under hele arrdannelsesprosessen. Denne observasjonen var utvetydig, og viste et klart samsvar mellom det elektriske fenomenet og den type heling som skjedde.

Den andre observasjonen var av like stor betydning: Tydelig målbare potensialer fantes i begge artene under hele helingsperioden, som var på 3-4 uker. Den forklaringen på sårstrømmen som baserte seg på Bernsteins hypotese, var at skadede cellemembraner blir lekk, og at de derfor produserer den strømmen som kunne måles utenfor dem, hva nå mekanismen enn måtte være som skaper polariseringen. Det var åpenbart ikke rimelig å trekke den slutningen at en slik mekanisme kunne være virksom over et så langt tidsrom. [Forklaringen lot altså til å være en annen.] Den samme måleteknikken ble deretter brukt på benvev, og man fant at det var i stand til å skape elektriske spenninger når det ble satt under mekanisk belastning (6). Denne evnen til å lage elektriske potensialer antok man så rent teoretisk hadde sammenheng med at bein vokser som respons på slikt stress. Antakelsen om at nervene har å gjøre med likestrømspotensialene, ble ytterligere styrket av observasjonen av at det kunne måles en Hall-effekt [som viser at det går en strøm] ut fra de perifere nervene (7) når man tok i bruk et sterkt magnetfelt. Seinere observerte man at liknede felt kunne skape større endringer i elektroencefaliogrammetts mønstre (8). I dette sistnevnte eksperimentet la

man videre merke til at endringen i mønsteret var lik den man hadde observert under dyp anestesi, og at dyr som ble eksponert for slike felt, framviste samme type atferdsendringer.

Mens alle disse observasjonene tydet på at det i levende organismer fantes organiserte likerettede strømmer som var av betydning for deres [biologiske] funksjoner, materialiserte disse antakelsene seg konkret som eksperimentelle bevis: Smith observerte at om man skapte den samme negative polaritet i sårstrømmen på dyr som normalt ikke er i stand til å gjenskape lemmer, fikk man likefullt gjenskaft en betydelig del av veksten (9). Denne banebrytende rapporten stimulerte til Friedenbergs arbeider, som ble rapportert i 1970. I denne rapporten påviste han at det skjedde healing av et beinbrudd [uten forbindelse mellom flatene] hos et menneske ved at man tilførte negativ polarisert likestrøm til bruddstedet (10). Friedenbergs teknikk, som var bemerkelsesverdig lik den som ble brukt på 1880-tallet og seinere forkastet som kvakksalveri, har siden utviklet seg med mindre endringer til den metoden som er klinisk godkjent og i vidstrakt bruk i dag. Betydningen av denne utviklingen blir hyppig oversett: Dette var første gang siden medisinenes opprinnelse at en metode for å *stimulere* vekst basert på verifiserbar [natur]vitenskapelig forståelse ble gjort tilgjengelig for leger. Den kjensgjerning at metoden ble utledet fra grunnleggende eksperimentering innen bioelektrisitet, gjorde mye for å fremme troverdigheten bak den tanke at elektriske krefter faktisk spiller en rolle i livets prosesser.

I løpet av 1960-årene snek også magnetismen seg tilbake og inn i biologien igjen. Det skjedde med den første rapporten om at hjertets elektriske aktivitet lager et magnetfelt som faktisk er sporbart (11). Kort etter dette fulgte Cohens rapport i 1968 om et magnetfelt som skapes av hjerneaktiviteten (12). Disse rapportene hadde brukt klassiske Helmholtz-spoler som detektorer for å finne magnetfeltet, og dataene de fant var svært sparsomme inntil SQUID-magnetometeret ble utviklet i 1969. At slikt utstyr ble tilgjengelig, har ført til en eksplosiv vekst i funn, målinger og analyser av magnetfelt som skapes av hjerneaktivitet (magnetoencefalogrammer). Til tross for at denne teknologien forutsetter at det faktisk fins elektriske strømmer i hjernen, har Libet og Gerard ennå ikke fått noen anerkjennelse for sine pionerobservasjoner, og det har ennå ikke blitt gjort noen re-evaluering av det klassiske nevrofysiologiske begrepsapparatet i lys av dette.

I 1971 ble det holdt to viktige konferanser som begge bidro vesentlig til utviklingen av dette fagfeltet. Den første var en liten samling ved *The Lamont-Dougherty Geological Observatory*. Der ble det presentert belegg for en forbausende observasjon. Det hadde vært kjent en tid at Jordas magnetfelt fra tid til annen har vært utsatt for omveltninger av betydelig art, og at Jordas magnetiske poler er blitt byttet om under disse. De nye forskningsresultatene besto av at man hadde funnet samsvar mellom disse hendelsene og store endringer i Jordas samlede livsformer. Under hver slik omskiftning, som trenger 5 000 år for å skje, har de utviklingsmessig mest avanserte livsformene dødd ut, hadde man funnet ut. Datagrunnlaget var riktignok utilstrekkelig den gang, både innen det fysiske og biologiske området, men det syntes likefullt høyst usannsynlig at en reversering av retningen på likestrømsfeltet skulle ha noen større virkning på noen livsformer – kanskje med unntak for de livsformene som bruker magnetfeltet til å få nøkkelinformasjon å migrere etter. Dermed ble den antakelsen satt fram at kanskje endret frekvensene i magnetfeltets mikropulsering seg i slike omskiftingsperioder, og at organismer som mottar viktig informasjon fra slike frekvenser – hva den nå måtte være, ville bli utsatt for store fysiologiske og atferdsmessige endringer. Deler av dette temaet var i noen år blitt utforsket av Brown, som la fram betydelig belegg på at de faste bølgebevegelsene i Jordas felt kunne være tidsuret for de samtidige sykliske skiftningene i alle levende organismer, kjent som *cirkadiske rytmer* eller *biologiske sykluser* (13). Hans arbeid viser tydelig hvilken forvirring som hersket i den klassiske forskningen: Brown kunne gjennom omhyggelige eksperimenter demonstrere at meget små magnetfelt (ofte under 1 Gauss) uten tvil kunne endre den

sykliske atferden til ulike dyr. Men likevel, siden dogmet satt så godt fast og det ikke var noen kjent forbindelsesmekanisme mellom slike svake felt og levende organismer, ble hans observasjoner ganske enkelt ikke trodd. Ikke desto mindre gjorde Lamont-konferansen mye for å stimulere interessen for den mulige rollen som Jordas *normale* elektromagnetiske felt spiller i biologiske prosesser. Den andre konferansen var en større affære som ble holdt ved Princeton-universitetet under beskyttelse av *The Electrochemical Society*. Denne organiserte gruppen hadde først og fremst arbeidet innen området klassisk elektrokjemi, uten noen interesse for fagets mulige anvendelser på det biologiske området. Princeton-konferansen førte til etableringen av et underområde innen elektrokjemien, *bioelektrokjemi*, og sørget både for en mekanisme for å få dannet denne gruppen og for at mange av de folkene som arbeidet innen bioelektrisitet-området, fikk en anledning til å utveksle tanker. Den bioelektrokjemiske gruppen er ikke bare i live og ved godt hold, men ekspanderer på raskt og fruktbart vis. De nyeste observasjonene og teoriene vil bli beskrevet i detalj i bokas andre kapitler.

I 1973 fant det sted en enda mer betydningsfull internasjonal konferanse. Den etablerte bioelektrisitet som en virkelig (real)vitenskapelig disiplin: *Elektrisk formidlede vekstmekanismer i levende systemer* (*Electrically Mediated Growth Mechanisms in Living Systems*) ble arrangert med New Yorks vitenskapsakademi, *The New York Academy of Sciences*, som vertskap og besto av framleggelse av 47 vitenskapelige artikler, en rekke paneldiskusjoner og en atmosfære av begeistring over de framskrittene som var gjort på dette feltet i løpet av det siste tiåret. Konferansen utgjorde nok et viktig ledd i den kjeden av hendelser som har ført fram til den status dette feltet har fått i dag.

Framskrittet innen bioelektrisitet-forskningen har gått enda raskere det siste tiåret. Det har vært kjennetegnet ved at flere vitenskapelige foreninger og utmerkede tidsskrifter er blitt etablert. Den ene indikatoren på at faget «er blitt voksent», antall vitenskapelige artikler per år, viser klart et nivå av modenhet som nærmest er overveldende. Innen kliniske anvendelser er framskrittet åpenbart, og forståelsen av omfanget på den miljørisiko som påføres av unormale elektromagnetiske felt, vokser raskt og synes å måtte bli dette tiårets store miljøtema. Det er umulig å oppsummere på noen tilfredsstillende måte i et innledningskapittel som dette, det framskrittet som har funnet sted over det siste tiåret. Den oppgaven går videre til de øvrige kapitlene i dette bindet. Men det skal nevnes at i løpet av den samme perioden også har blitt gjort store framskritt i grunnleggende biologisk forståelse som har hatt viktige følger for vitenskapen om bioelektrisitet som helhet. Det ser ut til at disse framskrittene kommer til å gi oss verktøyene som gjør at vi kan se at alle levende organismer til Jordas vanlige elektromagnetiske felt på en så viktig måte at det er avgjørende for livet. Disse framskrittene har også gitt oss et svar på spørsmålet om forbindelsesmekanismen. Mangelen av en slik har jo hindret enda raskere framskritt og aksept av bioelektrisitetens forståelsesverden i det samlede vitenskapelige samfunnet:

Som tidligere bemerket i dette kapitlet, kunne ikke den klassiske fysikken begrepsapparatet sørge for en mekanisme som gjorde det mulig å forstå at elektriske eller magnetiske felt med lav styrke kunne ha noen påvirkning på et levende system. Til tross for framskrittene som gjøres innen alle sider av dette feltet, og til tross for de opplagte empiriske bevisene for at svake felt faktisk har viktige biologiske virkninger, er dette i noen grad fortsatt situasjonen. De følgende nye biologiske oppdagelsene synes imidlertid å være i stand til å løse denne floken: I 1975 beskrev Blakemore, som den første, at det ble funnet avleiringer av mineralet *magnetitt* i visse magnetisme-følsomme bakterier (14), og han framsatte den antakelsen at magnetitten tjente til å finne det magnetiske nord. Ved hjelp av SQUID-teknologi har de videre framskrittene i studiet av disse avleiringene gått raskt. Det er nå kjent at representanter for de fleste ordenene i dyreriket, blant annet mennesket, har slike avleiringer, og at disse er organisert på slik måte at de har en «oppløsning på den

magnetiske feltretningen innenfor noen få buesekunder, og [kan registrere] forskjeller i magnetisk feltintensitet på 1-100 nT» (15). Videre har man funnet at i alle høyere ordens dyr er avleiringene nær knyttet til det sentrale nervesystemet. At slike avleiringer forekommer så utstrakt i dyreriket, tyder på at de er bevart gjennom utviklingshistorien, og at de er til nytte for sine verter. Det som altså er påvist og beskrevet, er et ekte magnetisk organ. Organets formål synes å være å registrere styrken og retningen på Jordas felt. Også *konglekjertelen* [glandula pinealis, også kalt *epifysen* eller *pinealorganet*, en liten kjertel midt i hjernen] har i løpet av de siste få årene blitt identifisert som et magnetisk organ som er følsom for ørsmå endringer i Jordas normale felt (16). I tillegg har konglekjertelen blitt anerkjent som sannsynligvis kroppens mest sentrale styringsorgan blant kjertlene: Gjennom sine sekreter regulerer den aktivitetene til hypofysen, skjoldkjertelen og binyrene [som lager adrenalin] og kjønnsorganene. Konglekjertelens viktigste sekret, *melatonin*, er stoffet som regulerer de biologiske syklusene og er et kraftig nevrokjemisk virkestoff som påvirker hjernen (17). Den endelige bekreftelsen på Browns opprinnelige tese foreligger dermed: De sykliske endringene i Jordas normale magnetiske felt er et tidsur for de cirkadiske rytmene. Om dette svake feltets virkninger på celledystemene i disse to magnetiske organene kan forklares utfra klassisk fysikk, eller bruker andre mekanismer, gjenstår å finne ut av. Uansett burde det ikke forbause oss at det fins slike spesifikt utformede organer i levende systemer. For legg merke til at Jordas normale elektromagnetiske miljø (altså det som eksisterte forut for dagens unormale miljø som skyldes vår bruk av denne energien) har bestått av to tilnærmet statiske komponenter: *det likestrømmede magnetfeltet* med sitt tilknyttede *mikropulserende spektrum* (0-30 Hz) og *synlig lys*. Med de naturlig forekommende magnetiske reverseringene som de eneste forstyrrelsene, har dette miljøet vært der i hele perioden siden livets begynnelse og opp gjennom livets utvikling. I løpet av dette tidsrommet har levende organismer utviklet et ikke-klassisk organ [dvs. som ikke kunne forstås utfra klassisk fysikk], til å registrere lys for å skape seg bilder av miljøet. Man burde da ikke bli overrasket over å finne at andre spesialiserte organer ble utviklet for å registrere likestrøm og variasjoner i ekstra lavfrekvente magnetiske felt (ELF), variasjoner som kunne gi tidssignaler til å styre biologiske sykluser (18).

Bioelektrisitetsfaget forsyner oss altså med et fullstendig nytt vitenskapelig paradigme som vi kan bruke til å forstå de grunnleggende fysiologiske mekanismene som forekommer inne i levende organismer, så vel som de grunnleggende mekanismene som knytter alle levende organismer til Jordas naturlige elektromagnetiske felt. Videre utforskning av dette bioelektrisitetens komplekse detaljer vil uten tvil føre til større framskritt i medisinske vitenskaper og i forståelsen av den grunnleggende sammenhengen mellom alt levende og omgivelsenes elektromagnetiske krefter.

## REFERANSER

- (1) Kuhn, T.S.: The Structure of Scientific Revolutions, Univ. of Chicago Press, Chicago, 1970.
- (2) Szent-Gyorgyi, A.: The study of energy levels in biochemistry, Nature 148:159, 1941.
- (3) Steneck, N.H.: The Microwave Debate, The MIT Press, Cambridge, 1984.
- (4) Becker, R.O.: The bioelectric field pattern in the salamander: Simulation by an electronic analog, IRE Trans. Med. Elec. ME-7:202-208, 1960.
- (5) Becker, R.O.: The bioelectric factors in amphibian limb regeneration, J. Bone Joint Surg. 43-A:643-656, 1961.
- (6) Bassett, C.A.L. and Becker, R.O.: Generation of electric potentials by bone in response to mechanical stress, Science 137:1063-1064, 1962.



- (7) Becker, R.O.: Search for evidence of axial current flow in peripheral nerves of salamander, Science :101-102, 1961
- (8) Becker, R.O.: The neural semiconduction control system and its interaction with applied electrical current and magnetic fields, in Proc. XI Int'l. Cong. Radiol. #105, 1753-1759, Excerpta Medica, 1966.
- (9) Smith, S.D.: Induction of partial limb regeneration in Rana pipiens by galvanic stimulation, Anat. Rec. 158:89-98, 1967.
- (10) Friedenbergl, Z.B., Harlow, M.C. and Brighton, C.T.: Healing of non-union of the medial malleolus by means of direct current: A case report, J. Trauma 11:883-885, 1971.
- (11) Baule, B.M., Gerhard, M.S. and McFee, R.: Detection of the magnetic field of the heart, Am. Heart J. 66:95-96, 1963.
- (12) Cohen, D.: Magnetoencephalography: Evidence of magnetic fields produced by alpha-rhythm currents, Science 161:784-786, 1968.
- (13) Brown, F.A.: The «clocks» timing biological rhythms, Am. Scientist 60:756-766, 1972.
- (14) Blakemore, R.: Magnetotactic bacteria, Science 190:377-379, 1975.
- (15) Walker, M.M., Kirschvink, J.L. and Dzon, A.E.,: A candidate magnetic sense organ in the yellowfin tuna, Thunnus albacares, Science 224:751-753, 1984.
- (16) Semm, P., Schnieder, T. and Vollrath, L.: Effects of an earth-strength magnetic field on electrical activity of pineal cells, Nature 288:607-608, 1980.
- (17) Preslock, J.P.: The pineal gland: Basic implications and clinical correlations, Endocrine Rev. 5:282, 1984.
- (18) Becker, R.: Theory of the interaction between DC and ELF electromagnetic fields and living organisms, J. Bioelectricity 4:133-140, 1985.