

Kaosteori i otonevrologisk diagnostikk

FORFATTERE

TORBJØRN AASEN

Overingeniør,

STEIN HG NORDAHL

Overlege,

OTTO I MOLVÆR

Overlege, professor, dr med, sanitetsinspektør for Sjøforsvaret, verksam ved Nutec,

JAN OLOFSSON

Overlege, professor, dr med, klinikkssjef,

Øre-nese-halsavdelingen, Haukeland Universitetssykehus, N-5021 Bergen.

Nord Med 1997; 112: 352–5.

Eksisterende tolkning av signal fra balansesystemet hos pasienter med svimmelhet bygger på metoder utviklet før vi fikk dagens raske datamaskiner. Utforskning av signalbehandlingsmetoder basert på nye teorier, hvor datateknologien er en forutsetning, kan øke innsikten i de mekanismene som er involvert i reguleringen av det vestibulære system. Foreløpige resultater antyder at nye analysemetoder fra kaosteorien kan bidra til informasjon med klinisk relevans og kan betraktes som et lovende forskningsverktøy.

I den kliniske hverdag konfronteres det medisinske personalet stadig med dataserier som representerer fysiologiske prosesser. Som eksempel kan nevnes EKG- og EEG-signal. Konvensjonelt har man unngått "problemer" forbundet med urytmisitet i signalene ved å beregne middelværdier over en gitt tidsperiode, eller man har anvendt stokastiske metoder, dvs at urytmisitet i signalet er modellert som påvirkninger (her støy) fra ikke-relevante, bakenforliggende prosesser og som instrumentell støy. Som en følge av dette har informasjon knyttet til variasjon blitt filtrert bort.

Den senere tids utvikling innen datateknologien har gitt oss nye analysemetoder. Et av de nye forskningsområdene som har bidratt til dette er teorien om deterministisk-kaotiske systemer. Sentralt her er analyse av geometriske strukturer eller underliggende mønstre i dataserier. Diskusjonen om hvorvidt disse metodene kan bidra til å øke forståelsen for de mekanismene som er involvert i reguleringen av fysiologiske, dynamiske systemer er allerede i gang i Skandinavia:

"Kaosteori ses av en del forskere som den största vetenskapsteoretiska systemändringen sedan relativitetsteori och har konsekvenser för fenomen från partikelnivå till astronomi ... har visat sig vara tillämplig inom de flesta vetenskapliga fält, inte minst inom elektrofysiologi" (1).

"Det er muligt, at vi her står over for et egentlig paradigmeskifte, der betyder et brud med mere end 100 års biologisk tænkning. Det er muligt, at vi kommer til at se nytten af modeller, der bygger på systemteori, informationsteori og måske kaos-teorien ..." (2).

"Levende systemer er karakteriseret ved en kompleksitet i struktur og funktion, som langt overgår, hvad fysikken og matematikken hidtil har kunnet beskrive ... det siste årtis kaos- og fraktalforskning kan kaste et nyt lys over disse forhold ..." (3).

"Ved å ta i bruk kunnskaper og ideer fra feltet "ikke-lineære dynamiske systemer" kan vi i noen tilfeller oppnå en mer realistisk beskrivelse av biologiske fenomener" (4).

Sitatene ovenfor er hentet fra artikler publisert i Skandinaviske legetidsskrifter. De to sist refererte artiklene gir en innføring i kaosteori og fraktalgeometri med særlig henblikk på medisinske forhold. Spørsmålet som stilles er om disse nye ideene er av interesse for medisinske fag.

Denne artikkelen presenterer hvordan analyseteknikker fra dette nye forskningsområdet prøves ut ved otonevrologisk laboratorium, øre-nese-halsavdelingen, Haukeland sykehus. Ved dette laboratoriet utredes bl a pasienter med vertigo. Sentralt i diagnostiseringsarbeidet er en analyse av tidsserier (signaler) fra forskjellige fysiologiske prosesser. Målsettingen er å klarlegge om vi med disse nye signalanalysemetodene kan supplere de eksisterende tolkningsmetodene med klinisk relevant informasjon.

Det vestibulære system

Balansesystemet er svært komplisert og omfatter tilbakekoblingsløyper fra flere sensoriske kvaliteter: Overfladisk og dyp taktil sans, proprioceptive impulser fra ledd, sener og muskler, synet og det vestibulære system. Signaler fra de forskjellige delene må samordnes og involverer store deler av sentralnervesystemet. På bakgrunn av informasjonsflyten må systemet kunne "velge" dynamiske regimer for å fungere optimalt og svare adekvat på ytre påvirkninger.

Testing av balansesystemet

Klinisk testing av vestibulærapparatet utføres ved elektronystagmografi (ENG) med kalorisk stimulering, Figur 1, ved stimulering i rotasjonsstol og ved såkalt hoderystingstest. Testing av andre deler av balansesystemet kan utføres ved bl a optokinetisk test, stabilometritest, okulær følgetest, sakkadetest og test av otolittfunksjonen (5). Analyse av tidsserier med måledata som representerer fysiologiske prosesser inngår således som en sentral del av arbeidet med å stille en diagnose.

Konvensjonell analyse av ENG-signal har vært å karakterisere dette statisk ved bestemte parametre: Hastighet, varighet, amplitude og

frekvens. Som uttrykk for informasjonsinnholdet i signalet har dette sine klare begrensninger. Disse parametrene sier for eksempel ikke noe om variasjonene i signalet. Forandringer i tempo og amplitude kan være et uttrykk for en bakenforliggende kontinuerlig aktivt kommuniserende og regulerende prosess. Denne tolkningen åpner for muligheten for at viktig informasjon om det bakenforliggende fysiologiske reguleringsystemet kan være knyttet nettopp til variasjoner (dynamikken) i signalet. Konvensjonelle biologiske modeller og analysemetoder kan derfor vise seg å komme til kort når det gjelder å forstå og beskrive de komplekse reguleringsmekanismene som er involvert i det vestibulære systemet. Det er derfor behov for nye modeller som er bedre i stand til å beskrive den dynamiske virkelighet.

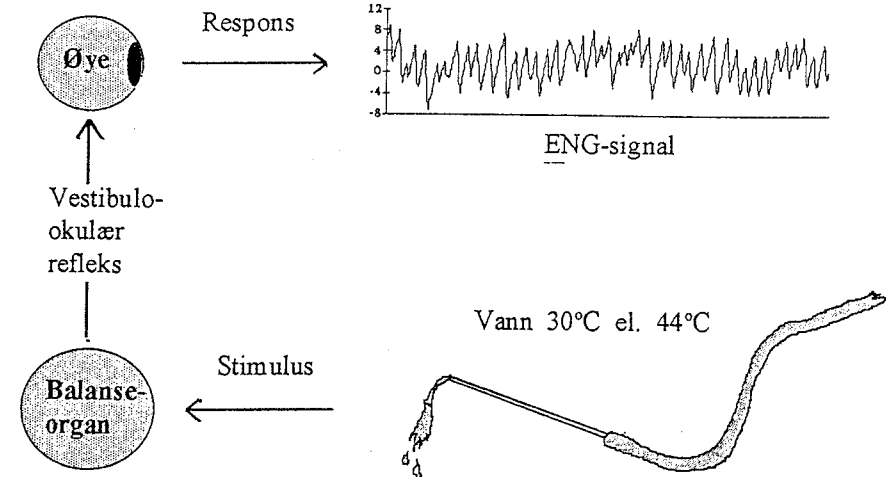
Ulineær dynamikk og kaosteori

Innen området dynamisk systemteori har det de senere år utviklet seg en ny matematisk forståelse av de mekanismene som er involvert i reguleringen av ulineære dynamiske systemer med en kompleks oppførsel. Disse tankene går under betegnelsen kaosteori (6, 7). Uttrykket "kaos" brukes her med et klart definert matematisk innhold. Kort kan man si at et kaotisk system er et system som under visse betingelser oppfører seg så komplekst at det vanskelig lar seg skille fra støy, men hvor det er en underliggende determinisme. "Under visse betingelser" viser til at et deterministisk kaotisk system er et system som kan "velge" å befinne seg i forskjellige dynamiske tilstander: Det kan oppføre seg enkelt og regulært, eller komplekst og kaotisk.

En viktig egenskap ved et kaotisk system er at det er ytterst sensitivt for startbetingelsene (systemets tilstand i et gitt tidspunkt kan betraktes som startbetingelser for systemets videre utvikling), dvs at systemet balanserer på grensen mellom utallige muligheter. Selv den minste påvirkning kan styre systemets videre utvikling.

Attraktor

Et sentralt begrep innen kaosteorien er attraktor. En attraktor er en "dynamisk metastruktur" — en matematisk geometrisk abstraksjon. Hvor vi ellers betrakter den dynamiske utviklingen til et system som en historie, re-

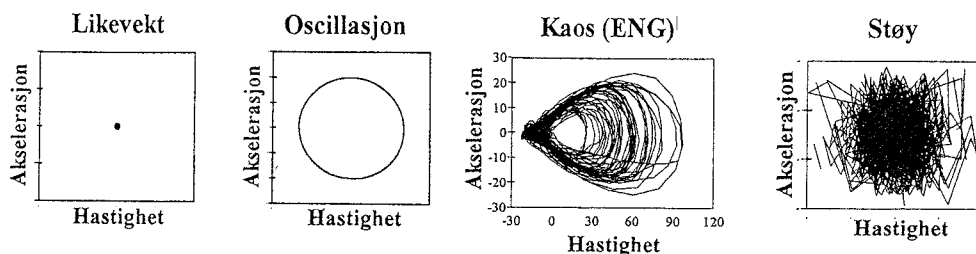


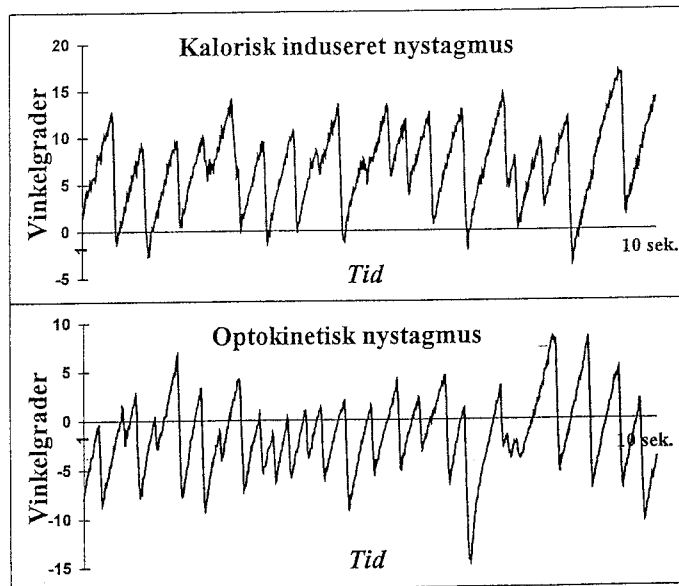
FIGUR 1. Elektronystagmografi (ENG). Skjematisk fremstilling av prosedyre for testing av den vestibulo-okulære refleks (VOR). (Modifisert fra ref 10.)

konstrueres det dynamiske forløpet her til en geometrisk struktur hvor tiden foldes inn i avbildningen. En attraktor konstrueres ved at en avleser de aktive globale variablene som determinerer dynamikken i systemet. Et ortogonalt koordinatsystem hvor aksene representerer de enkelte variablene konstrueres. Systemets tilstand i et gitt tidspunkt (avlesning av variablene) avtegnes som et punkt i koordinatsystemet. Etter en kort tid registreres tilstanden til systemet på nytt og angis som et nytt punkt. Ved å gjenta denne prosedyren gang på gang og forbinde de påfølgende punktene med hverandre, kan systemets dynamiske utvikling avbildes som en kurve lukket inne i et avgrenset rom hvor kurvebanens buktning i rommet gjenspeiler samspillet mellom de aktive globale komponentene i systemet. Det multidimensjonale rommet som attraktoren befinner seg i kalles ofte tilstandsrommet. Attraktoren er settet med punkter i tilstandsrommet som banen til systemets tidshistorie grenser mot når transienter dør ut. Den geometriske strukturen som tegner seg i tilstandsrommet kan betraktes som en manifestasjon av systemets dynamikk, som systemets dynamiske "fingeravtrykk". Det eksisterer også teknikker for å rekonstruere et systems aktive variable fra registrering av kun en enkel variabel (se nedenfor).

Figur 2 viser attraktoren for fire ulike dynamiske tilstander: Likevekt (jæmvikt), oscillasjon, kaotisk dynamikk (representert ved ENG-signal) og tilfeldig støy.

FIGUR 2. Attraktor (rekonstruert ved derivering) for henholdsvis likevekt (jæmvikt), oscillasjon, kaos og støy. Ingen dynamikk gjenspeiles i faseplanet for likevekt. En repeterende sirkelbevegelse i faseplanet for oscillasjon forteller oss at systemet er forutsigbart. Faseplanet for støysignalet er uniformt okkupert, dvs ingen underliggende strukturerende komponent. Kurvebanene for kaotisk dynamikk (her representert ved ENG-signal) avtegner en globalt stabil struktur. Vi ser også "strekkingen" (kurvebanene spres ut i en vifteliknende struktur) og "foldingen" (kurvebanene vender tilbake til et lokalt område i faseplanet) som er så typisk for kaotiske attraktorer. Det er denne prosessen, med gjentagende "strekking" og "folding", som gjør systemets langtidshistorie umulig å forutsi. (Modifisert fra ref 10.)





FIGUR 3. Eksempler på kalorisk og optokinetisk nystagmussignal.

Fraktal geometri

Den underliggende strukturen til en kaotisk tidsserie avbildet i tilstandsrommet er fraktal. Uttrykket fraktal ble innført av Mandelbrot (8). I den euklidske geometriens terminologi opereres det med heltallige dimensjoner: Rommet har tre dimensjoner, flaten er todimensjonal og linjen har en dimensjon. Fraktal geometri kjennetegnes derimot ved ikke-heltallig dimensjon. En kystlinje vil eksempelvis ha en dimensjon på mellom en og to: Høyere dimensjon enn en rett linje og lavere dimensjon enn en plan flate.

Et annet karakteristisk kjennetegn ved fraktal geometri er at den geometriske strukturen er selvlik over flere størrelsesskalaer. Virkelige fraktaler er ikke identisk i detalj, men strukturelt og med de samme statistiske egenskaper. Hvis vi forstørker opp grenverket til eksempelvis et tre eller rotsystemet til en plante, synliggjøres nye forgreninger, som ved enda nærmere ettersyn avslører enda finere forgreninger. Fysisk støter vi på en nedre grense for denne forgreningstrukturen. Idealiserte, dvs matematiske fraktaler har imidlertid uendelig fine strukturer. Anatomiske fraktalstrukturer finner vi eksempelvis i bronkialtreet, i blodårenettverket, i tarmveggen struktur og i det nevralt nettverk (9).

Korrelasjonsdimensjonsanalyse

For å undersøke om et system har en oppførsel som er karakteristisk for lavdimensjonal kaotisk dynamikk, kan en benytte seg av korrelasjonsdimensjonsanalyse. Metoden har tre hoveddel:

1. Registrere en tidsserie (variabel) som gjenspeiler den underliggende dynamikken i systemet
2. Rekonstruere signalet som et geometrisk objekt (attraktor) i tilstandsrommet
3. Teste om det geometriske objektet samsvarer med den matematiske modellen til en fraktal struktur predikert fra teorien om kaotiske systemer.

Vi har anvendt korrelasjonsdimensjonsanalyse på kalorisk induisert nystagmus og optokinetisk nystagmus (OKN). Den kaloriske testen ble utført ved å provosere vestibularapparatet med vann i øregangen temperert til 30 og 44°C, Figur 1. Den optokinetiske testen ble utført ved at pasienten så på mørke og lyse striper som projiseres på innsiden av en halvkuleformet kuppel. Som en reaksjon på den kaloriske og den optokinetiske stimuleringen beveger øynene seg rytmisk frem og tilbake (nystagmus), Figur 3. Øyebevegelsene ble registrert ved hjelp av elektroder og lest inn i en datamaskin for signalanalyse.

ENG-signalens attraktor ble rekonstruert ved å definere tilstandsrommet ved hjelp av signalet og tidsforskyvde utgaver av signalet (10, 11). Aksene i tilstandsrommet angir således den samme variabelen ved forskjellige tidspunkter. Tanken er at forandringer i én variabel vil bli fanget opp av de andre variablene/komponentene i systemet. "Svarene" deres vil igjen reflekteres tilbake osv. Denne dialogen, eller samspillet, mellom de enkelte komponentene vil gjenspeile systemets dynamikk (12). Dimensjonen til det rekonstruerte tilstandsrommet er bestemt av antall aktive variable i systemet. OKN-signalens attraktor ble rekonstruert ved bruk av singular systemanalyse (Singular System Analysis, SSA). SSA anvendt innen dynamisk systemteori gjør bruk av ovenfor nevnte prosedyre med "tidsforskyvde variable" og singular verdidekomposisjon (Singular Value Decomposition, SVD) (13).

Strukturen til det rekonstruerte signalet ble kvantifisert ved Grassberger og Procaccia's prosedyre for estimering av korrelasjonsdimensjonen, som ofte angis med det greske tegnet ν (14). Denne parameteren er nært forbundet med fraktaldimensjonen. Beregning av korrelasjonsdimensjonen fra en enkelt tidsserie innebærer å undersøke fordelingen av punkter i tilstandsrommet.

KORRELASJONSDIMENSJONS-ESTIMERING AV KALORISK NYSTAGMUSSIGNAL

For friske personer har vi tidligere funnet en korrelasjonsdimensjon på ENG-signalen i overkant av 5 (10). I en annen studie (11) benyttet vi korrelasjonsdimensjonsanalyse på ENG-signal registrert fra 20 pasienter fortløpende henvist vår poliklinikk til vertigo utredning. Fjorten av disse pasientene fikk påvist årsak til sine vertigo plager. Fem pasienter hadde Mb Menière, fire hadde vestibularisnevrit, tre hadde acusticusnevrit og to hadde CNS-sykdom. Hele denne gruppen på fjorten, med diagnostisert vertigo årsak, hadde ν -verdier som var sammenliknbare med den nevnte friske gruppen ($\nu=4,83$). Seks av totalgruppen på tyve pasienter med vertigo plager fikk ingen sikker diagnose, da vi ikke klarte å påvise patologiske avlesningsresultater med konvensjonelle teknikker. Denne vertigo-

LITTERATUR

1. Hagerman I, Jacek N, Sylvén C. Varians-EKG. *Läkartidningen* 1993; 90: 1357-64.
2. Wulff HR. Kliniske beslutninger i et filosofisk perspektiv. *Tidsskr Nor Lægeforen* 1993; 113: 2816-8.

→

gruppen hadde imidlertid en gjennomsnittlig ν -verdi på bare halvparten av de øvrige pasientene ($\nu=2,5$). Standard tosidig ikke-paret t-test gav 0,003 prosent ($p=0,00003$) sannsynlighet for at forskjellen kan forklares med normal variasjon.

KORRELASJONSDIMENSJONS-ESTIMERING AV OPTOKINETISK NYSTAGMUS-SIGNAL

Korrelasjonsdimensjons-estimering av optokinetisk nystagmussignal ble utført på ti vertigopasienter og ti friske personer. Fire registreringer ble utført: Optokinetisk stimulering mot venstre og høyre med hastighet på 30 og 60%/s. Dette tilsvarer 40 målinger for hver av gruppene. Vi fant en signifikant lavere gjennomsnittsverdi for korrelasjonsdimensjonen i gruppen med vertigopasienter ($4,35 \pm 0,96$) sammenliknet med gruppen av friske ($4,88 \pm 0,71$) ($p=0,018$) (15).

Diskusjon

Det er til nå ikke utviklet sikre metoder for å påvise patologi i balansesystemet på bakgrunn av variasjoner/urytmisitet i ENG-signalet. Vanskeligheten med å forstå og utvikle metoder for å karakterisere urytmisiteten i ENG-signalet henger fundamentalt sammen med grunnleggende betraktningmåter av dynamikken i det bakenforliggende fysiologiske reguleringsystem. Variasjoner i ENG-signalet kan være der med "hensikt", og ikke som et tegn på manglende kontroll. Det kan være slik at urytmisiteten i ENG-signalet reflekterer indre dynamiske særtrekk ved balansesystemet, altså iboende dynamiske trekk som systemet bruker til å regulere ned kraftige ytre stimuli. Noe i likhet med det som kommer til uttrykk på et skilt ved en gammel bro over Akerselva: "Hundre mann kan jeg bære, men svikter under taktfast marsj". Dette er tidligere blitt påpekt av Fluor (16): "... efferent inhibition ... modulates the nystagmus as a kind of defence mechanism against too intensive stimuli ..."; "... the nystagmus becomes irregular when the inhibition increases but, on the other hand, becomes more regular when the inhibition disappears".

Korrelasjonsdimensjonen til en tidsserie er relatert til antall frihetsgrader, som bl a innebærer at ν kan betraktes som en kompleksitetsparameter. Dette gir en mulig klinisk anvendbarhet. ν -estimatet gis en rolle analogt med å måle kroppstemperaturen. Systemets normale dynamiske oppførsel kvantifiseres med parameteren ν . En reduksjon eller økning av ν utover et normalnivå vil indikere en patologisk tilstand. Referanseområdet må kartlegges ved testing av egnet normalmateriale.

Det er imidlertid en del problemer forbundet med beregning av ν . Valg av tidsforsinkelse i rekonstruksjonen av tidsserien påvirker bl a resultatet av beregningen; og antall datapunkter som er nødvendig for en pålitelig esti-

mering av ν er f eks avhengig av dimensjonen til tilstandsrommet (noe vi ikke alltid har forhåndskunnskap om) og av den detaljerte strukturen til attraktoren. Det finnes fremdeles ikke standardiserte metoder for å løse disse og liknende problemer i tilknytning til korrelasjonsdimensjonsberegning. Albano et al (17) uttrykker usikkerheten på følgende måte: "Calculating the correlation dimension ... Getting a dynamically meaningful number can be difficult, except in those instances where it is impossible".

Våre foreløpige resultater viser en lav ν -verdi ved kalorisk testing hos en gruppe vertigopasienter som vi ikke kunne finne patologiske verdier på ved konvensjonelle metoder. En forklaring kan være at årsaken(e) til problemene ikke skyldes en skade lokalt, men en svikt i integreringen av den totale informasjonsmengden i balansesystemet. Dette er også en naturlig tolkning av resultatene fra korrelasjonsdimensjons-estimering av optokinetiske signal, hvor vi fant en signifikant lavere gjennomsnittlig ν -verdi i gruppen med vertigopasienter enn hos kontrollgruppen. Det kan tenkes at en svikt på organiseringsplan kan gi seg uttrykk i en endret rytme og endret nystagmuspatter. Dette vil igjen endre nystagmusattraktoren og resultere i en endret ν -verdi.

Konklusjon

Nye betraktningmåter innen ulineær dynamikk kan vise seg å føre frem mot en helt ny og matematisk fundert forståelse av normale og patologiske fysiologiske rytmer. Disse betraktningmåtene tolker variasjon/urytmisitet i nystagmussignalet som en vital og påkrevet regulerende funksjon når det vestibulære systemet blir utsatt for kraftige stimuli.

Korrelasjonsdimensjonsparameteren angir den globale kompleksiteten i signalet, dvs variasjonen/geometrien i signalet over en tidsperiode, i motsetning til konvensjonelle metoder for nystagmusanalyse, som baseres på beregning av lokale/statiske komponenter i signalet. Våre resultater antyder en forskjell i dynamikken til kalorisk indusert nystagmus mellom forskjellige vertigogrupper. Vi har også funnet en signifikant forskjell i optokinetisk nystagmus mellom vertigopasienter og friske personer, målt med korrelasjonsdimensjonen. Denne forskjellen ble ikke fanget opp med konvensjonelle analyseteknikker.

Foreløpig betrakter vi kaotisk signalanalyse som et lovende forskningsverktøy. Å utvikle metoder for å skille mellom patologisk variasjon og normalvariasjon vil kunne øke forståelsen av nystagmusedynamikken, og kan kanskje bidra til å forbedre diagnostikken innen otonevrologien. □

3. Colding-Jørgensen M, Mosekilde E. Er den ny kaos- og fraktalforskning af betydning for lægevitenskapen. Ugeskr Læger 1993; 155: 2535-9.
4. Hauge A. Om kaos og fraktaler: Er dette av interesse for medisinske fag? Tidsskr Nor Legefor 1993; 113: 3678-86.
5. Jones DR, Collins WE, Nunneley SA, Parmet AJ, Day PC. Evaluation of Tests for Vestibular Function. Aviat Space & Environmental Med, 1992; 63 (suppl 2): A1-A34.
6. Glass L, Mackey MC. From Clocks to Chaos: The Rhythms of Life. Princeton: Princeton University Press, 1988.
7. Kugiumtzis D, Lillekjendli B, Christophersen N. Chaotic time series Part I: Estimation of some invariant properties in state space. Modeling, Identification and Control 1994; 15(4): 205-24.
8. Mandelbrot BB. The Fractal Geometry of Nature. New York: WH. Freeman, 1983.
9. Goldberger AL, Rigney DR, West BJ. Chaos and fractals in human physiology. Sci Am 1990; 262: 34-41.
10. Aasen T. Chaos theory applied to the caloric response of the vestibular system. Computers and Biomedical Research 1993; 26, 556-57.
11. Nordahl SHG, Aasen T, Molvær OI. Fractal analysis of ENG-signals. Correlation Dimension Analysis. Proceedings, Acta Otolaryngol. Under trykking 1997.
12. Packard NH, Crutchfield JP, Farmer JD, Shaw RS. Geometry from a time series. Phys Rev Lett 1980; 45: 712-6.
13. Broomhead DS, King GP. Extracting qualitative dynamics from experimental data. Physica 1986; 20D: 217-36.
14. Grassberger P, Procaccia I. Characterization of strange attractors. Phys Rev Lett 1983; 50: 346-9.
15. Aasen T, Kugiumtzis D, Nordahl SHGN. Procedure for estimating the correlation dimension of optokinetic nystagmus signals. Computers and Biomedical Research 1997; 30: 95-116.
16. Fluor E. Clinical investigation of the efferent inhibition of the vestibular function. Acta Otolaryngol 1982; 94: 495-505.
17. Albano AM, Mees AI, Guzman GC, Rapp PE. Data requirements for reliable estimation of correlation dimension. I: Degn H, Holden AV, Lloyd D, Olsen LF, eds. Chaos in biological systems. New York: Plenum Press, 1987: 207-20. (NATO ASI series. Series A, Life sciences; vol 138.)

hvor de basale ganglier er sæde for massiv degeneration. Patienter med denne tilstand kan ikke behandles med de medikamenter, som hjælper ved Parkinsons sygdom, og det forhold, at de basale ganglier er degenererende, kan man vise ved at måle dopaminreceptorerne i hjernen, dvs de steder hvortil dopamin bindes (og dermed virker), og som ikke er destruerede ved Parkinsons sygdom.

Dopaminreceptorerne i hjernen har en meget massiv koncentration i de basale ganglier. Men dopamin har også receptorer (og effekt) uden for de basale ganglier.

For nylig er der udviklet så følsomme metoder, at disse receptorer, altså i cortex, også kan kvantificere (Figur 5). Betydningen heraf er endnu helt uvis. Men det, som man først og fremmest søger at udforske, er disse kortikale dopaminreceptorers mængde ved skizofreni, en sygdom der som bekendt med et vist held behandles med symptomlindrende neuropsychofarmaka, som binder sig til dopaminreceptorerne. Måske er det afgørende i hvilken grad

disse stoffer bindes i cortex og ikke i de basale ganglier, som, selvom bindingen her er mange gange mere intens (Figur 5), måske er uden betydning for behandlingseffekten, men derimod for de parkinsonistiske bivirkninger.

Vi omtalte i dette afsnit det dopaminerge system. Men flere af de andre neurotransmittersystemer i hjernen kan undersøges med principielt samme teknik. Det kemiske muligheder er talrige. De bør til slut nævnes, at når det gælder neuroreceptorstudier *in vivo*, så er PET- og SPECT-metoder ikke blot anvendelige som eksemplificeret i dette afsnit, men de er helt klart de eneste metoder, som kan anvendes. Kun ved hjælp af radioaktive sporstoffer kan receptorerne ses ved anvendelse af de meget små mængder af kemisk stof, vi nævnte indledningsvis, som er nødvendige for at studere hjernen uden samtidig markant at ændre dennes funktion. □

SUMMARY

SPECT and PET in neurobiology

PET (positron emission tomography) and SPECT (single photon emission computed tomography) are isotopic methods in which the distribution is registered of radiolabelled tracers given in such small amounts that they are without effect on the organism or the organism's disposal of them. Thus, a series of important biological processes in the intact organism can be studied. The methods have

been used in many disciplines but in particular for neurobiological research on the brain – e.g., the brain's regional blood circulation and mapping of the brain's functional structure. The methods have also been used in the investigation of glucose and amino acid metabolism in the brain and receptor conditions. □

Forts från sid. 355

SUMMARY

Chaos theory applied to otoneurology

Current interpretation of signals obtained from ENG (electronystagmography) of patients suffering from vertigo is based on methods developed before computers became standard laboratory equipment. New signal processing methods, based on the use of fast computers, can increase our

knowledge of the mechanisms involved in the regulation of the vestibular system.

Preliminary results suggests that new analyzing tools from the field of chaos theory may yield information of clinical relevance. At present this would appear to be a promising approach to research in this field. □