Nelineární neurodynamika

Předpoklady aplikace v neurovědách

- **biologická neuronová síť** splňuje všechny podmínky pro samoorganizaci: mozek je otevřený systém tvořený dostatečným množstvím vzájemně zpětnovazebně propojených neuronů extrémně citlivých na fluktuace hodnoty signálu, který vykazuje intencionální chování v situacích, kdy je mozková aktivita výrazně nerovnovážná
- předpoklad **kontinuálnosti kognitivních aparátů živočichů** (evoluční perspektiva), nelineárně dynamické jevy zkoumány především v mozcích živočichů
- **limitace složitostí neuronové sítě**, nelineárně dynamické jevy prokázány v jednoduchých strukturách lidských mozků (s nízkou úrovní konektivity)
- předpoklad platnosti nelineární dynamiky ve složitějších sítích, **není k dispozici odpovídající matematika**

Přehled vývoje

- 1929 – Rafael Lorente de Nó
  předpoklad neuronové zpětné vazby
- 1936 – Alan M. Turing
  „On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem“
- 1949 – Donald Hebb, Warren McCulloch
  „Organization of Behavior“ – neuronové sítě, pravidla
- 1958 – John von Neumann – digitální počítač
- 1963 – Edward Lorenz – první reflexe projevů nelineární dynamiky – meteorologie
- 1968 – Ilya Prigogine – disipativní struktury
- 1975 – Benoit Mandelbrot
  „Fraktální geometrie přírody“
- 1982 – John Hopfield – neuronové sítě
- 1985 – Glass, Rapp – kardiologie, buněčný metabolismus
- 1985 – Rapp, Babloyantz – aktivita neuronů, EEG analýza
- 1987 – Skarda, Freeman
  „How Brains Make Chaos in Order to Make Sense of the World“
- 1988 – Huberman, Gregson – psychofyziologie, pohyby oka
- 1990 – založena Freemanova neurofyziologická laboratoř při Univerzitě v Berkeley
- 90. léta – vrchol „freemanovské neurodynamiky“ – syntetické období – vznik stěžejních prací *„How Brains Make up their Minds“*, *„Neurodynamics“*
- 20./21. stol. – přesun těžiště neurodynamiky do Japonska – Tsuda, Chang, Shimoide, aj.

Neurodynamika v akci (I)

- **fraktální komprimace** instrukcí pro výstavbu biologických struktur
- neuronová síť, typy propojení neuronů – i v nejjednodušším typu – **chaotický oscilátor**
- popis chování chaotického oscilátoru podává **logistická rovnice** (Hodgkinova)

  $x_{n+1}=rx_n(1-x_n)$
- hodnota parametru *r* závisí na „vahách propojení“ neuronů

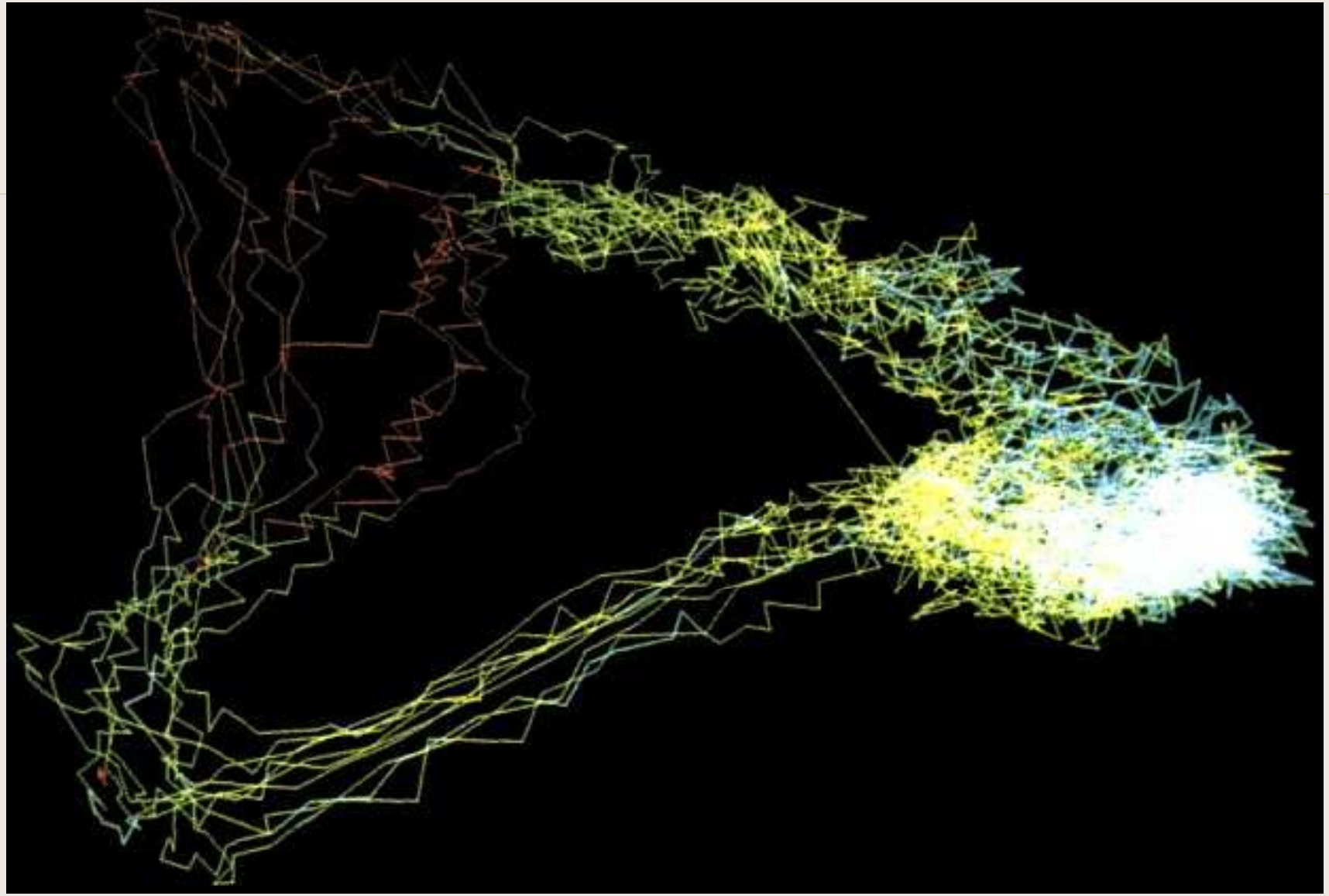
Logistická rovnice chaotického oscilátoru

$$x_{n+1} = r x_n (1 - x_n)$$

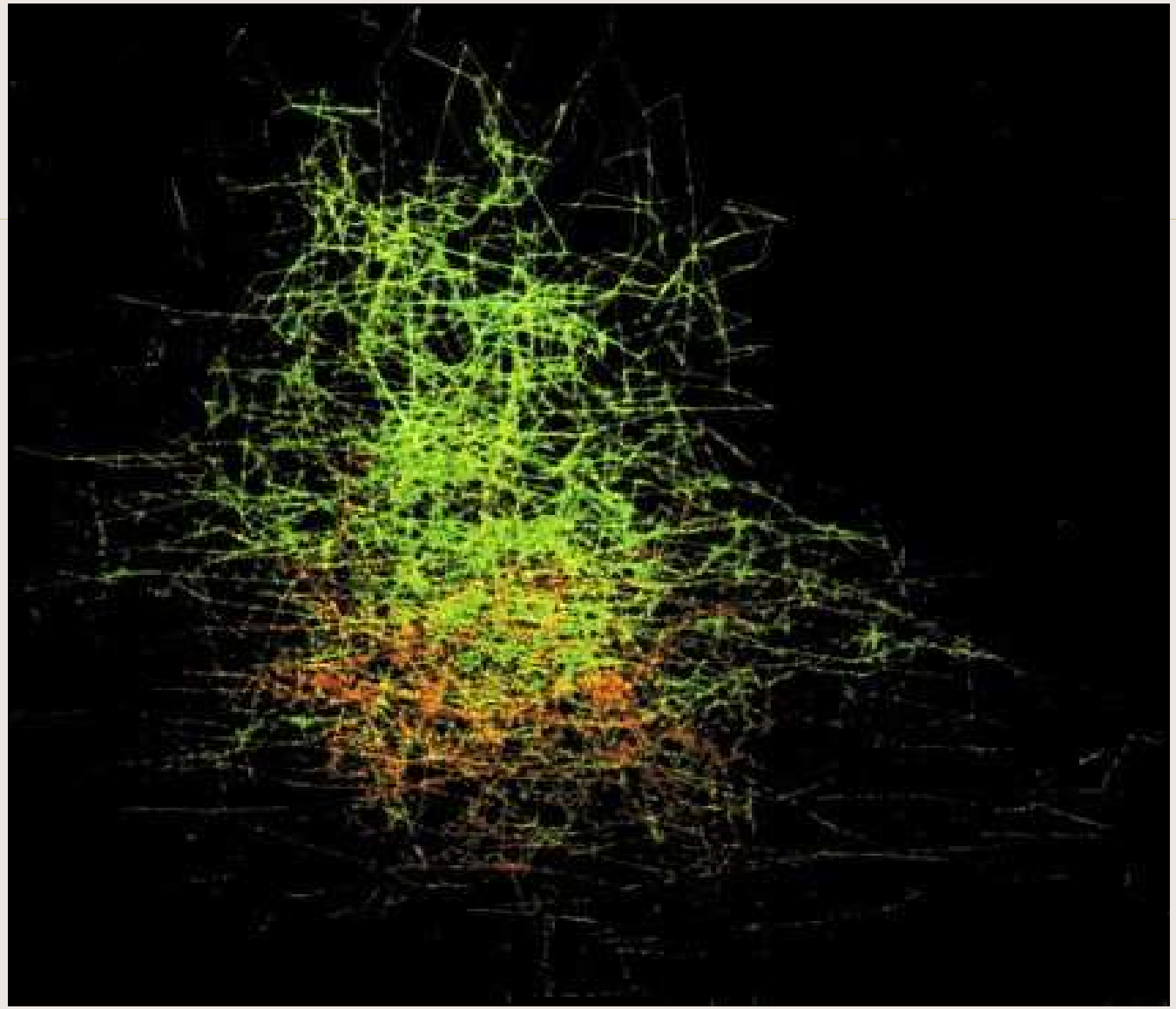
- x_n je **frekvence pálení na vstupu**,
- x_{n+1} je **frekvence pálení na výstupu**,
- r je **řídící parametr** – „váhy propojení“

Neurodynamika v akci (II)

- pro **různé hodnoty *r*** vznikají **různé vzorce aktivity neuronových sítí**, jimž odpovídají příslušné **atraktory** – typické je **střídání periodické** (různé formy limitního cyklu) a **aperiodické** (podivný atraktor) – deterministicky chaotické **aktivity**
- prokázáno v EEG (plži, krysy, králíci, lidé) testováno v jednoduchých strukturách mozku (čichový, zrakový, sluchový systém aj.)



Aktivita sítě neuronů v čichovém systému mozku krysy – fáze epileptického záchvatu



Aktivita sítě neuronů v čichovém systému mozku krysy – fáze klidu

Neurodynamika v akci (III)

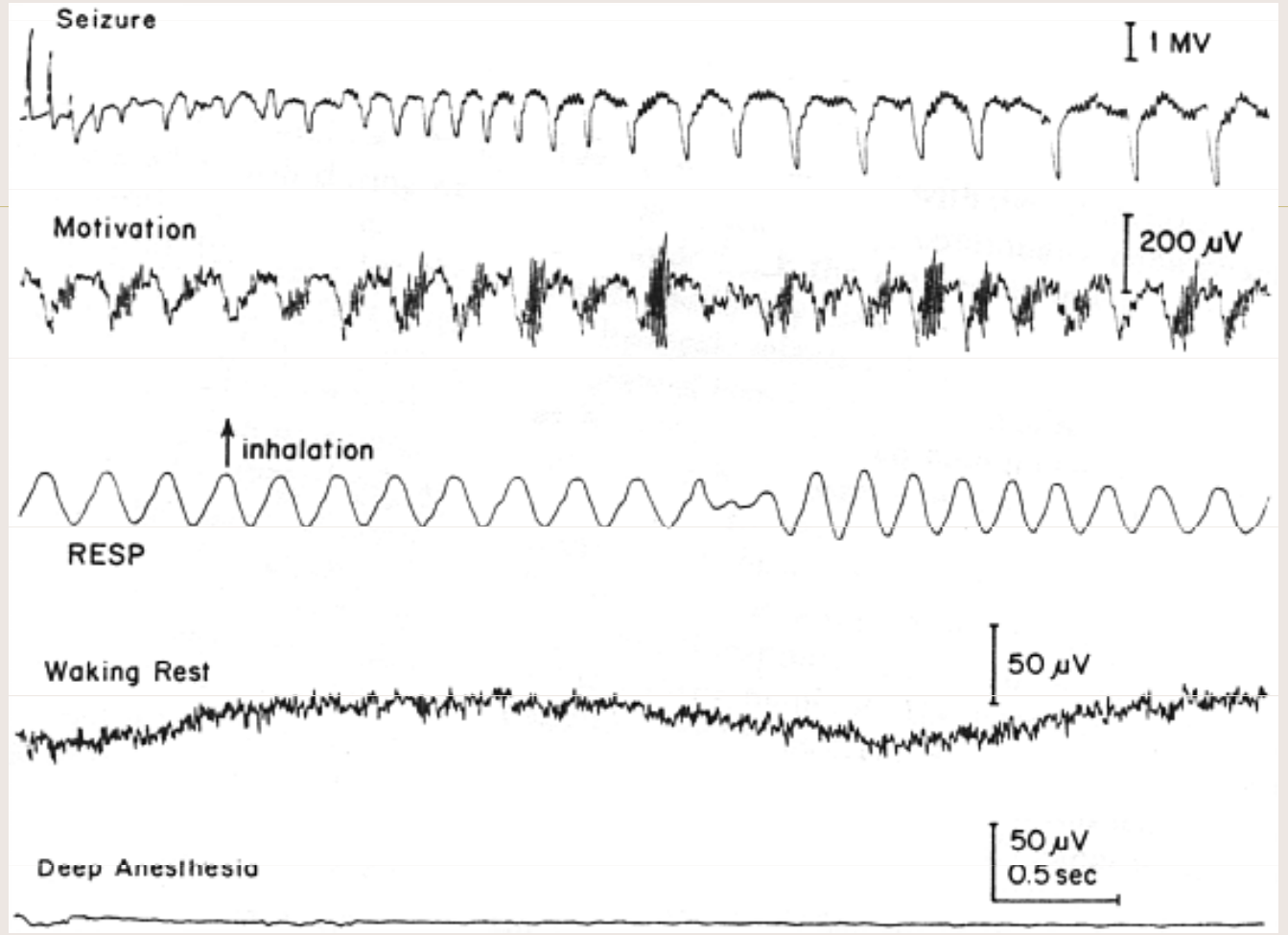
Např.: pohyby očí, spánek (a sny)

1. **bdění:**

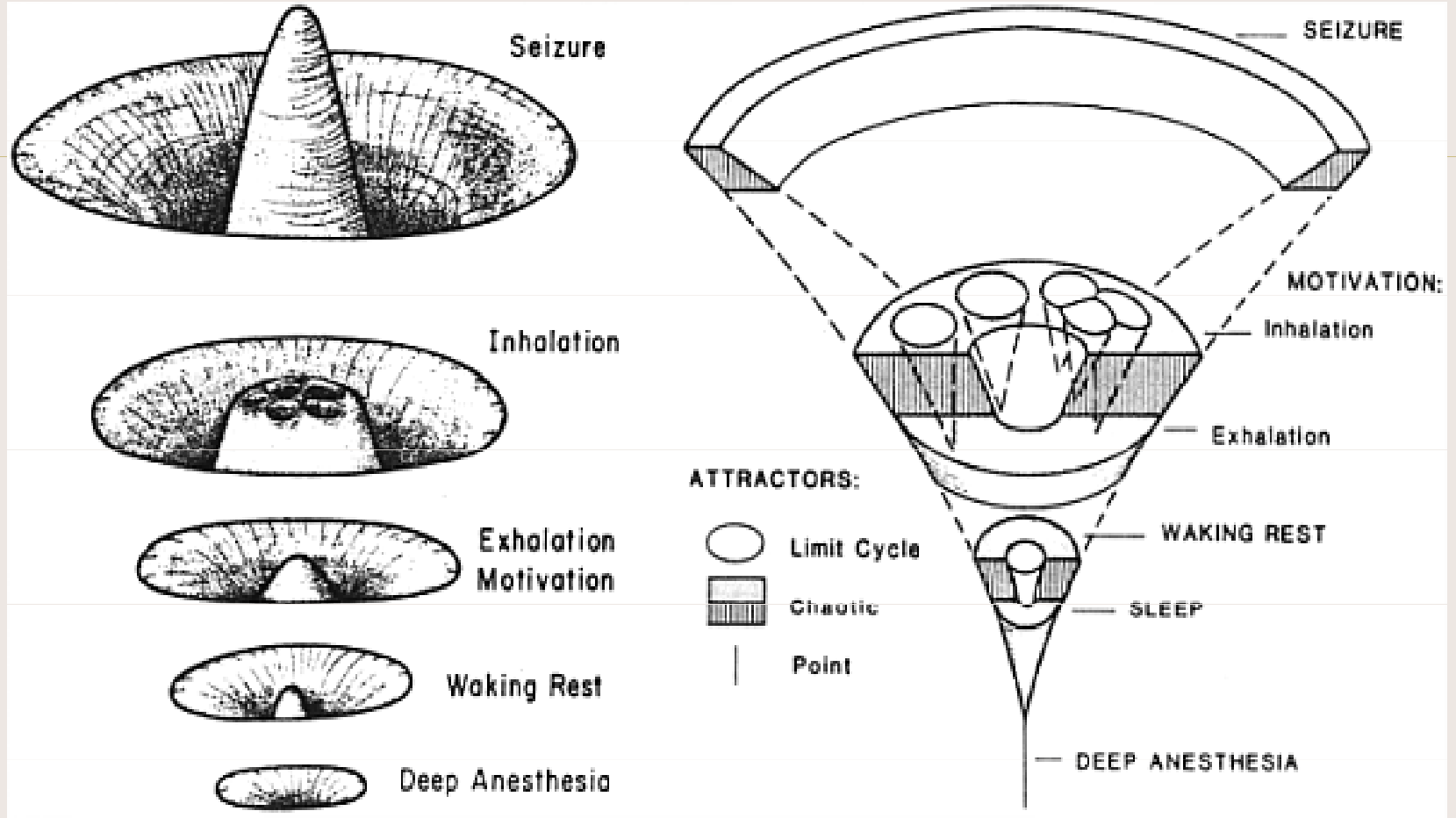
- otevřené oči – aperiodická aktivita
- zavřené oči – periodická aktivita

2. **spánek**

- nREM – periodická aktivita
- REM – aperiodická aktivita



Čtyři typy stavů identifikovaných při EEG analýze v čichovém systému mozku krysy a při EEG analýze mozku při přechodu ze spánku do bdělého stavu. Nápadné střídání periodické a aperiodické aktivity. Zdola: (1) *hluboká anestézie* – bodový atraktor, (2) *probouzení* – aperiodická aktivita, (3) *vdechování* – limitní cyklus a *motivace* – podivný atraktor, (4) *záchvat (epileptický)* – limitní cyklus.



Znázornění stavů čichového systému mozku krysy a při EEG analýze mozku při přechodu ze spánku do bdělého stavu v bifurkačním diagramu. Nápadné střídání periodické a aperiodické aktivity.

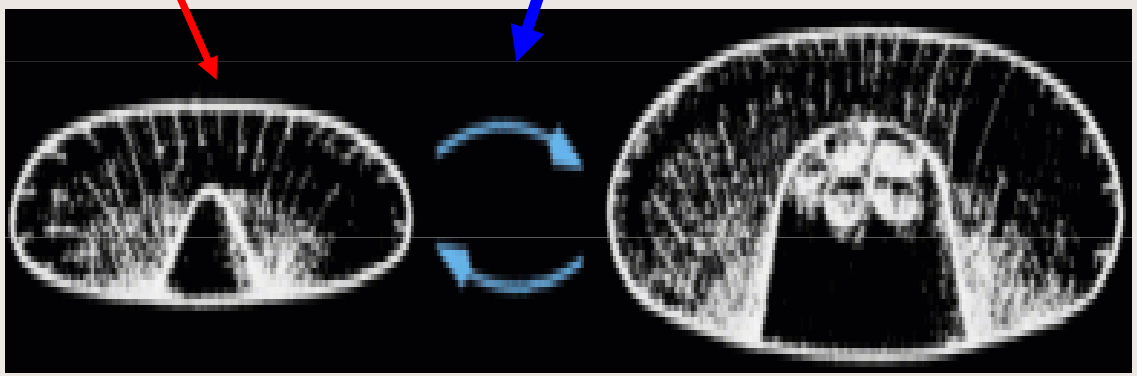
Neurodynamika v akci (IV)

Např.: **patologické projevy mozkové aktivity** souvisejí s **regulací parametru *r***

- pokud je **znemožňována přiměřená inhibice propojení neuronů**, nastává **fáze periodické aktivity** (limitní cyklus) typická pro epilepsii
- pokud je **znemožněna přiměřená aktivace propojení neuronů**, nastává **fáze stochasticky chaotické aktivity** (bodový atraktor), typická pro např. Parkinsonovu chorobu

Neurodynamika v akci (V)

- přechod z aperiodické do periodické aktivity je pro neuronovou síť klíčový – **hranice komplexity**
- **periodická aktivita** odpovídá *„odpočívání neuronů“*, zatímco **aperiodická aktivita** je spojena s intenzivním *„ukládáním informací“* při intencionálním chování a jednání.



Neurodynamika v akci (VI)

Role chaotické aktivity v neuronových sítích podle Chrise Kinga – *Fractal and Chaotic Dynamics in Nervous Systems* (1991):

- CAM (chaotic access memory) –rychlý přístup k paměti a vytváření paměťových stop
- „reprezentace“ symbolů prostřednictvím atraktorů
- vytváření samoorganizovaných stabilních struktur
- komprese dat uložených do neuronové sítě
- nepredikovatelnost jako báze pro vysvětlení vědomí a svobodné vůle

Walter J. Freeman (I)

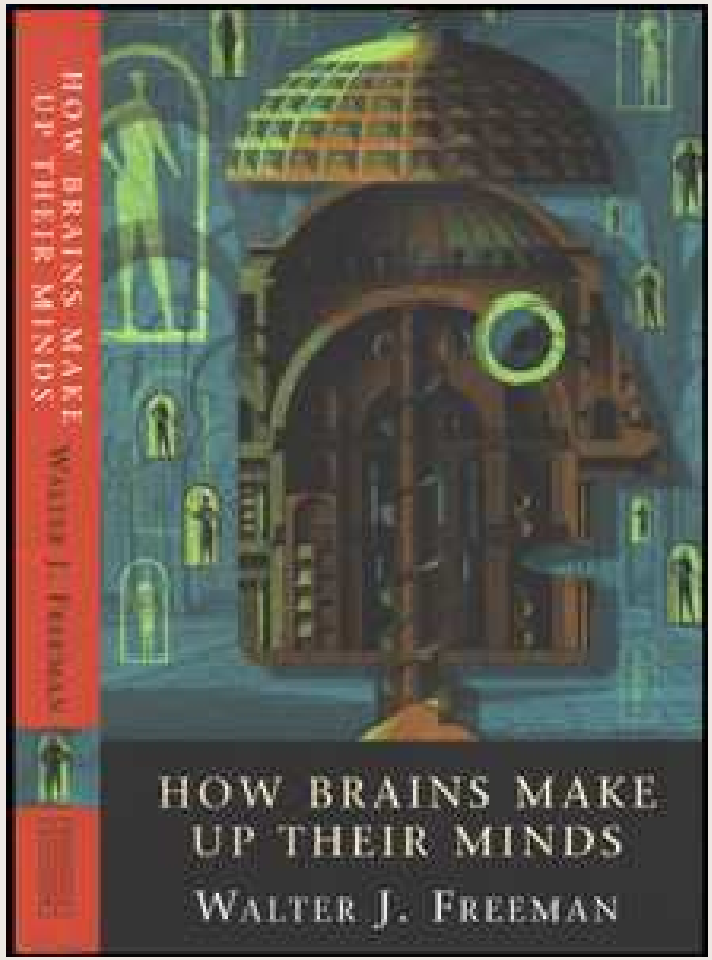
- (*1927) americký neurolog, matematik a filosof
- vystudoval elektrotechniku, matematiku a fyziku (MIT), filosofii (Chicago), medicínu (Yale), interní medicínu u Johna Hopkinse a neuropsychiatrii na UCLA
- v současné době je profesorem neurověd na Univerzitě v Berkeley, kde
- řídí neurofyziologickou laboratoř (spolupracovníky Kozma a Lenhart), zabývá se analýzou EEG senzorických systémů mozku a konstrukcí artificiálních smyslových orgánů (KV)

Walter J. Freeman (II)

- *Mass action in the nervous system* (1975)
- *Societies of brains* (1995)

- *How brains make up their minds* (1999)
- *Reclaiming cognition* (2000)
- *Neurodynamics*(2000)

http://sulcus.berkeley.edu/



Proč Freeman?

- nelineární neurodynamika je rozpracovávána i u jiných autorů (Edelman a Tononi), ale Freeman provádí její filosofickou reflexi
- zkoumá důsledky nelineární neurodynamiky pro chápání klíčových filosofických pojmů (kauzalita, intencionalita, ad.)
- své filosofické úvahy odvozuje především z tvarové psychologie, existencialismu a pragmatismu (W.James)
- všímá si vývoje pojmu mentální reprezentace a provádí rozbor všech zásadních metafor (především z oblasti přírodních věd), které byly použity pro popis mysli

Proč Freeman?

- domýšlí filosofické koncepty druhé poloviny 20. století (Putnam, Davidson
- lze jej považovat za **pokračovatele postanalytické filosofie** v linii Wittgenstein II. – Davidson – Freeman
- některé teoretické **předpoklady Davidsonova pojetí subjektivity nahrazuje empirickou evidencí**, přepracovává Davidsonovy koncepce filosofie mysli
- nabízí alternativní **řešení mind – body problému** (ani funkcionalismy, ani „dualismy“, ale aktivní role vědomí)
- **zvědečtění nereduktivního fyzikalismu** (např. anomální monismus)
- vytváří koncepci **neurosémiotiky**