

Elektrofyzilogické metody a studium chování a paměti

Eduard Kelemen

Národní ústav duševního zdraví, Klecany



Elektrofyzilogické metody studia chování a paměti

EEG a Potenciál blízkého pole

- LFP a EEG u zvířat
- EEG u lidí,
- spánkové EEG (příští přednáška)

Nahrávání jednotkové aktivity

- tetrody
- silikonové próby
- vápníkové zobrazování aktivity
- terčíkový zámeček

Metody vyhodnocování

- LFP/EEG - Fourierova transformace
- jednotky - autokorelace, vzájemné korelace, korelační matice,

Elektroencefalogram a potenciály blízkého pole

Zaznamenává se součet většinou synchronizované synaptické aktivity velkého množství neuronů.

EEG – elektroencefalogram

LFP – local field potentials – potenciály blízkého pole

Théta rytmus

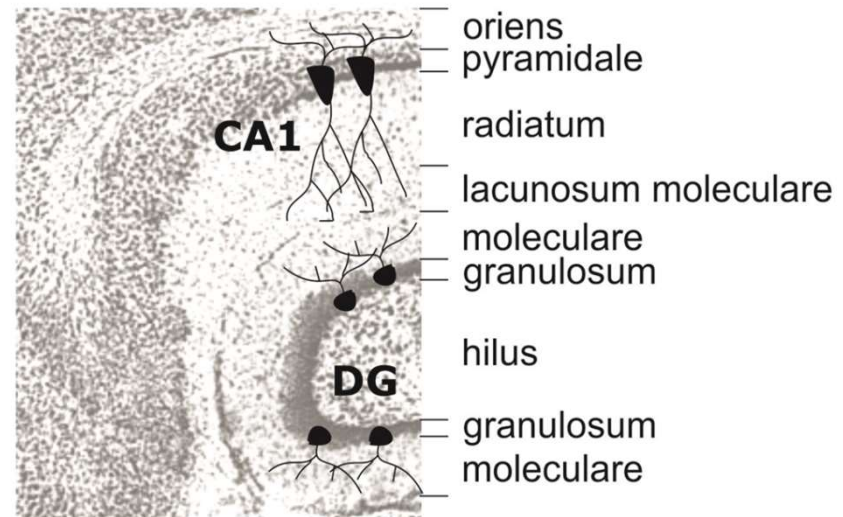
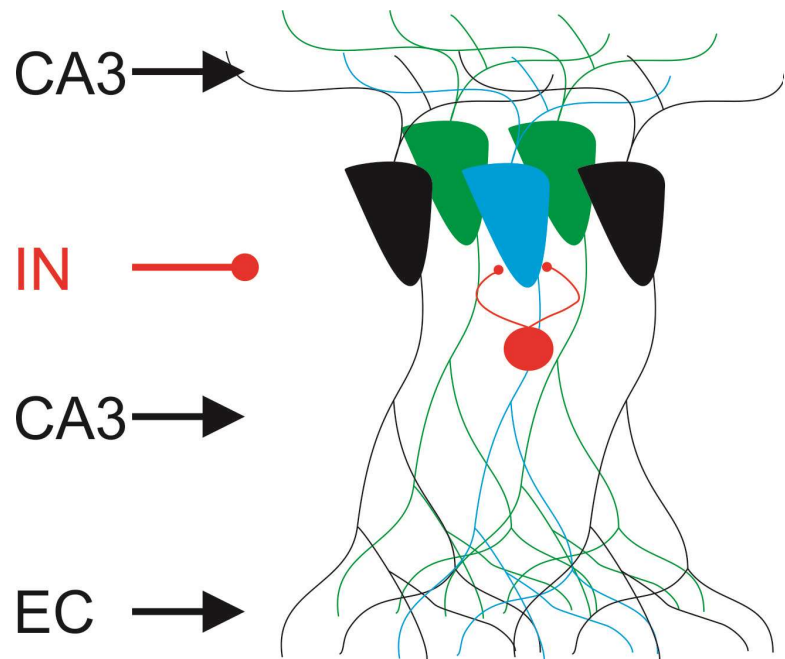
Gamma rytmus

Sharp waves – ripples

Pomalé oscilace

Spánková vřetena

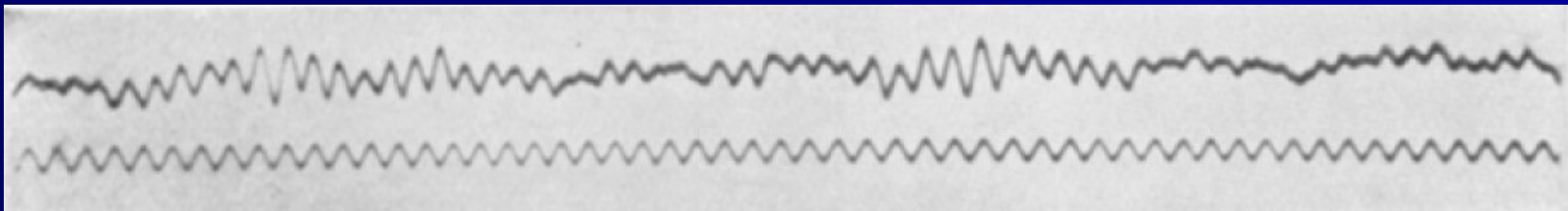
Elektroencefalogram a potenciály blízkeho pole



Hans Berger

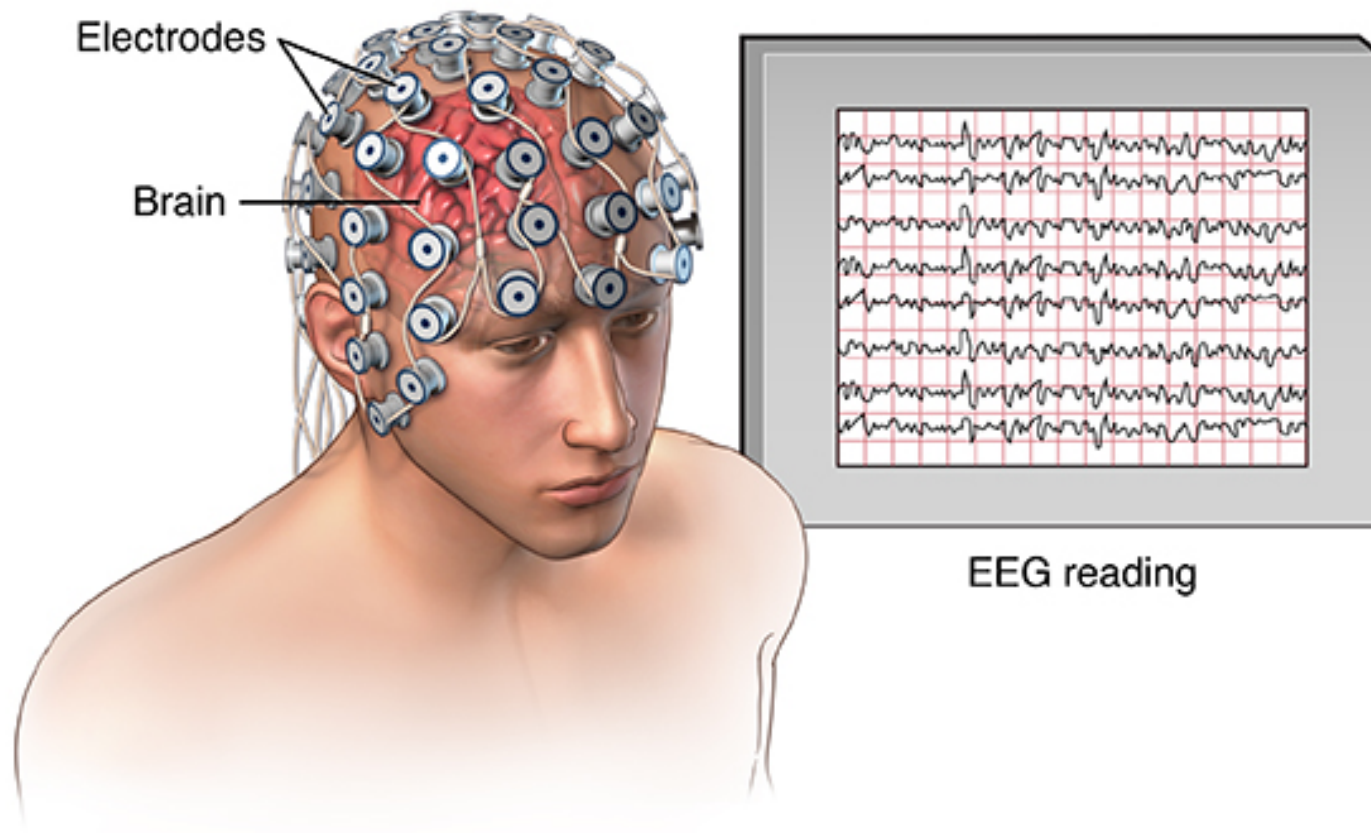
První nahrávání EEG u lidí
(1924)

Objevil alfa vlny

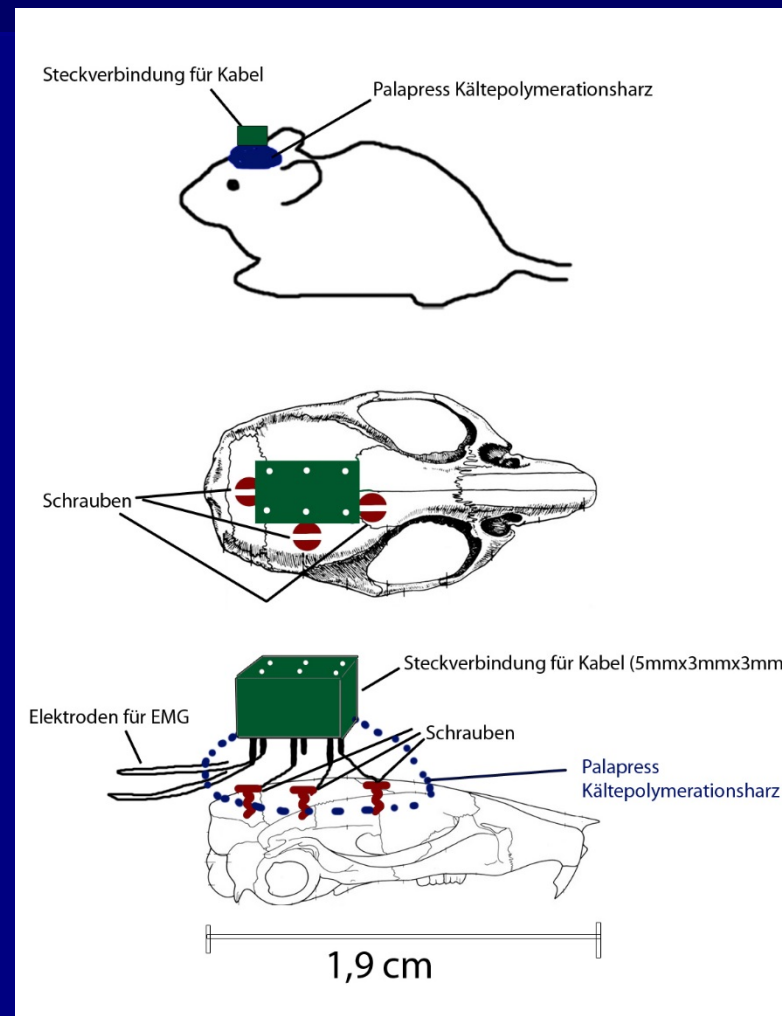
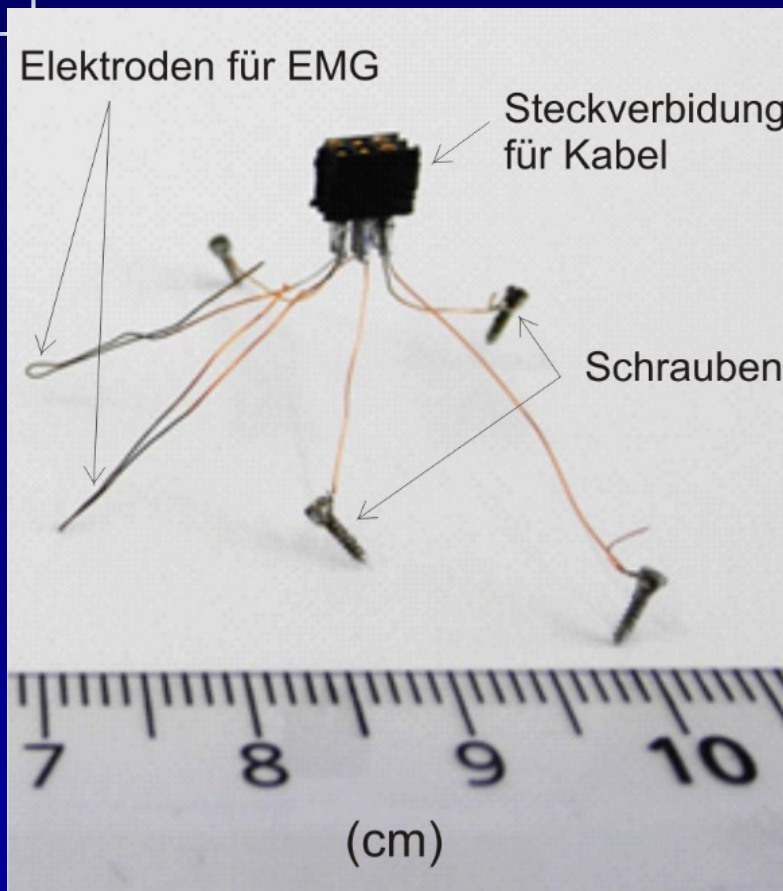


Elektroencefalogram

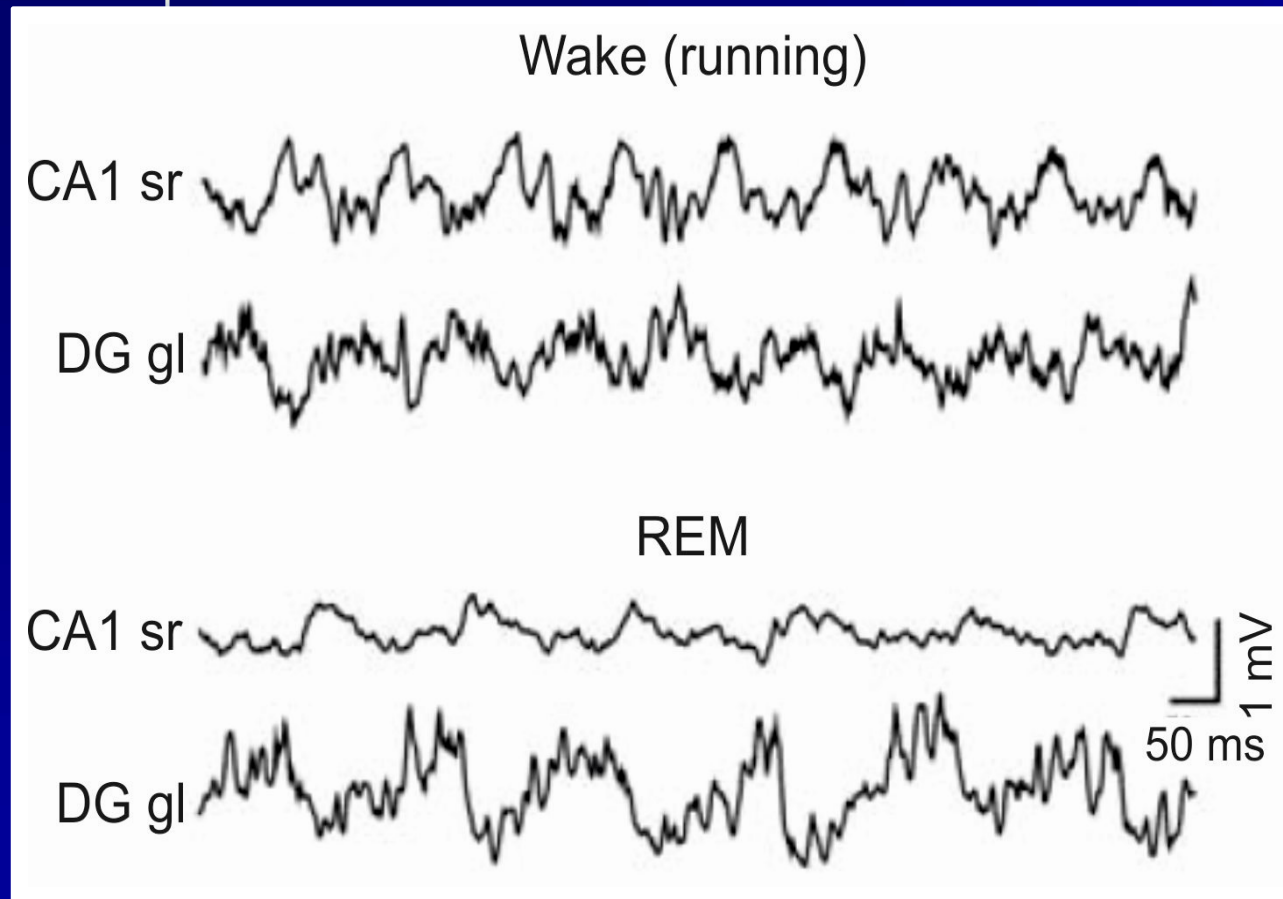
Electroencephalogram (EEG)



Elektroencefalogram u hlodavců



Théta rytmus



4-12 Hz

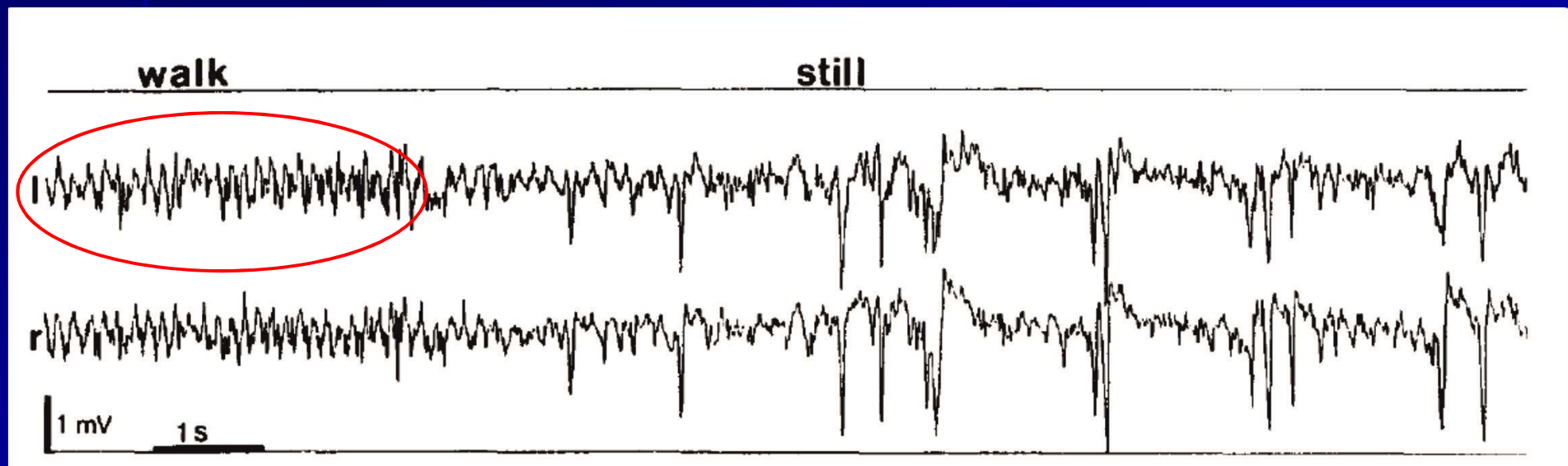
doprovází aktivní pohyb

vyskytuje se během REM spánku

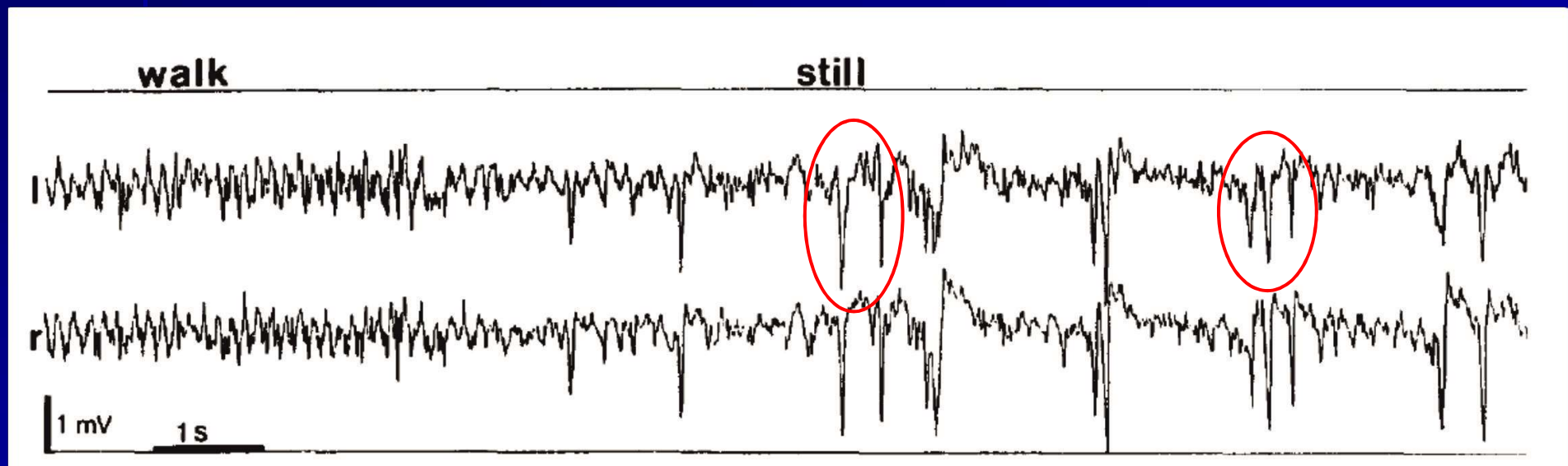
Organizuje aktivitu hipokampálních neuronů

Hraje roli v utváření paměti (LTP)

Théta rytmus – během aktivního pohybu

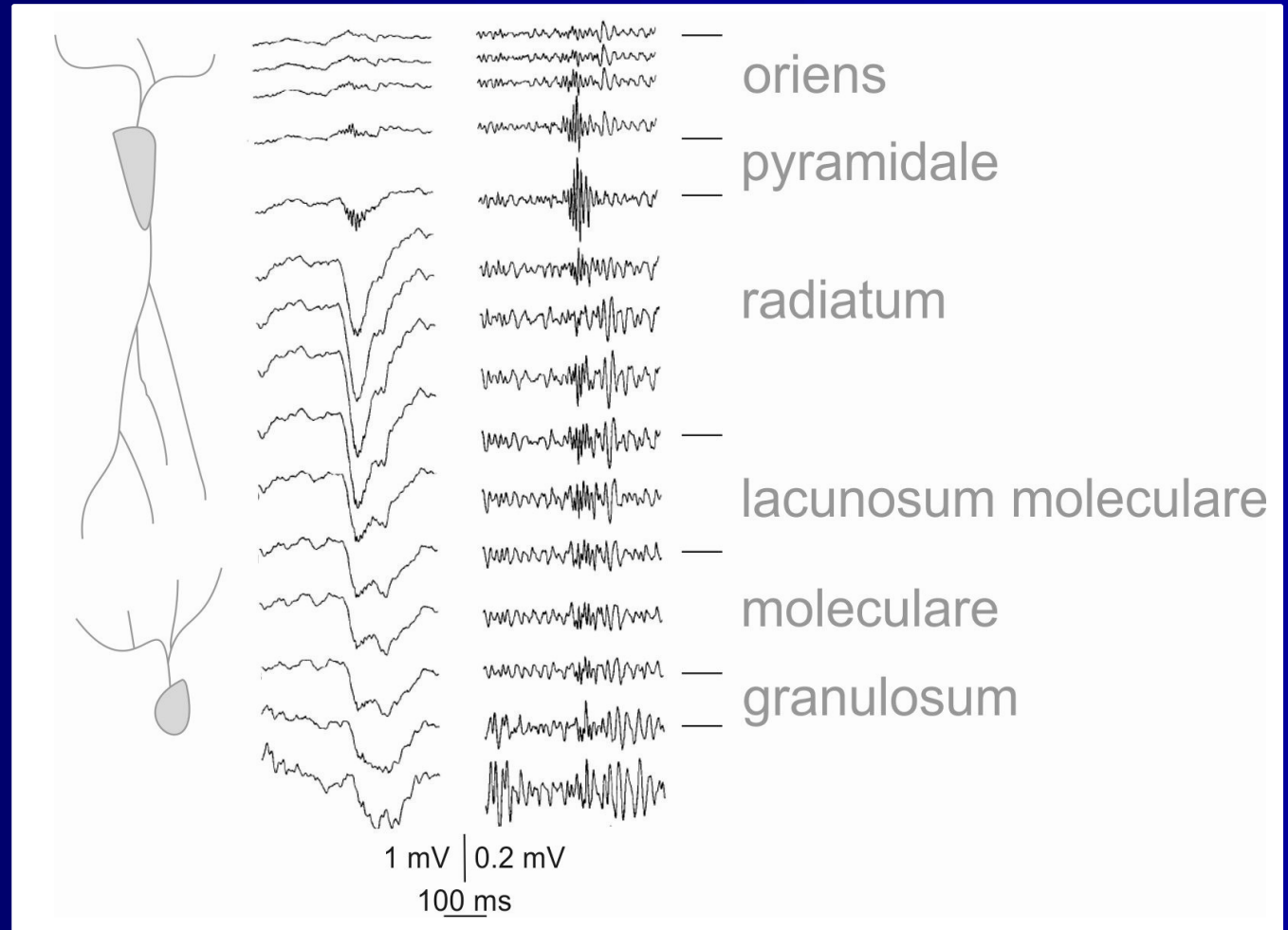
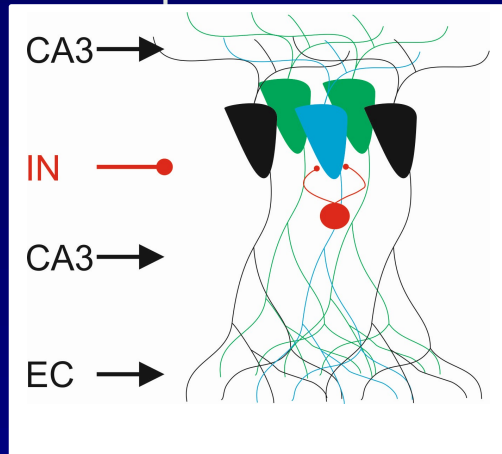


Sharp waves and ripples



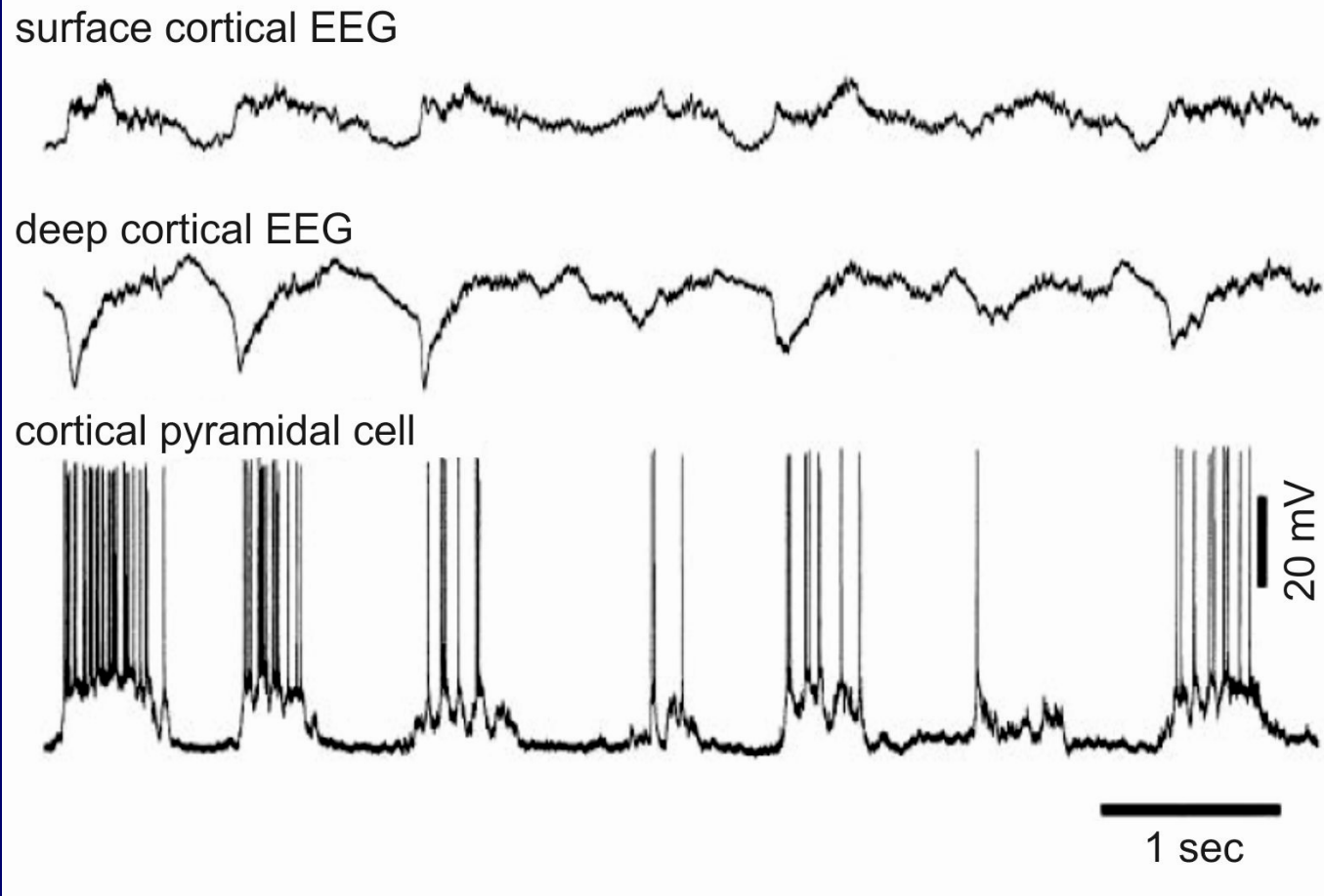
Buzsaki, 1989

Ostré vlny (Sharp waves and ripples)



Ylinen et al 1995

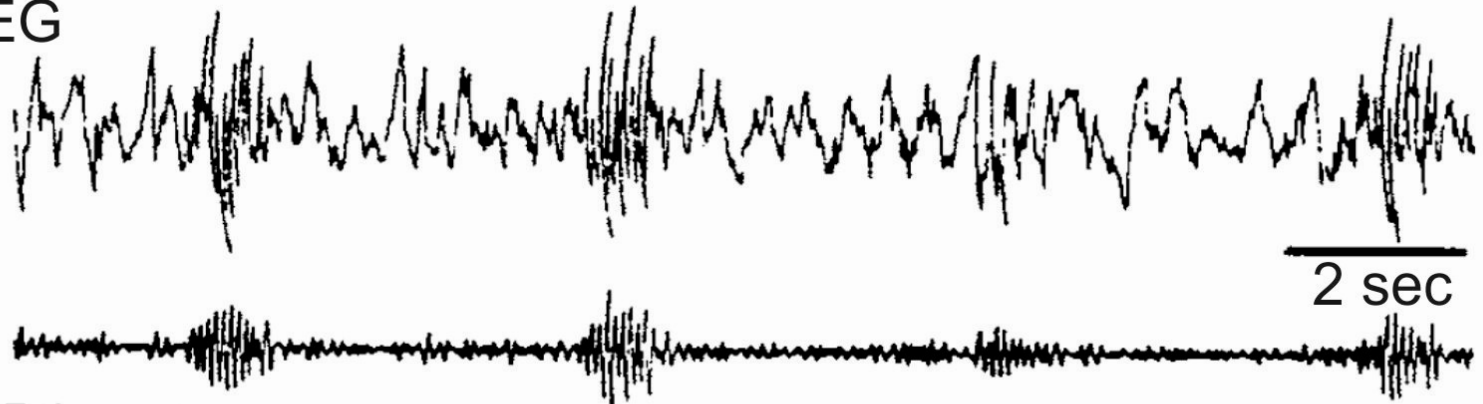
Pomalé spánkové vlny



Contreras and Steriade, 1995

Spánková vřetena

EEG

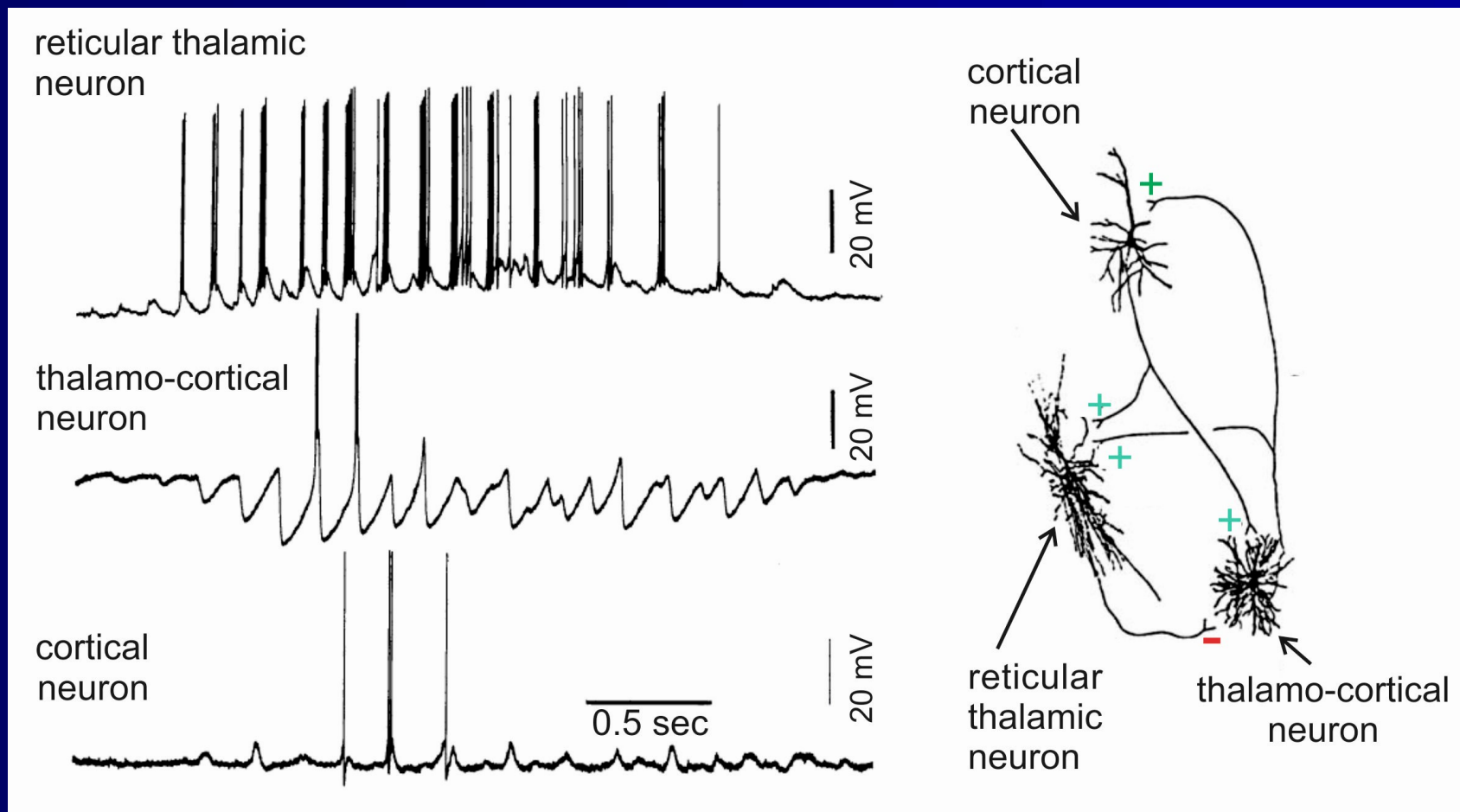


2 sec

spindles filtered (7-14Hz)

Amzica and Steriade, 2000

Vznik spánkových vřeten



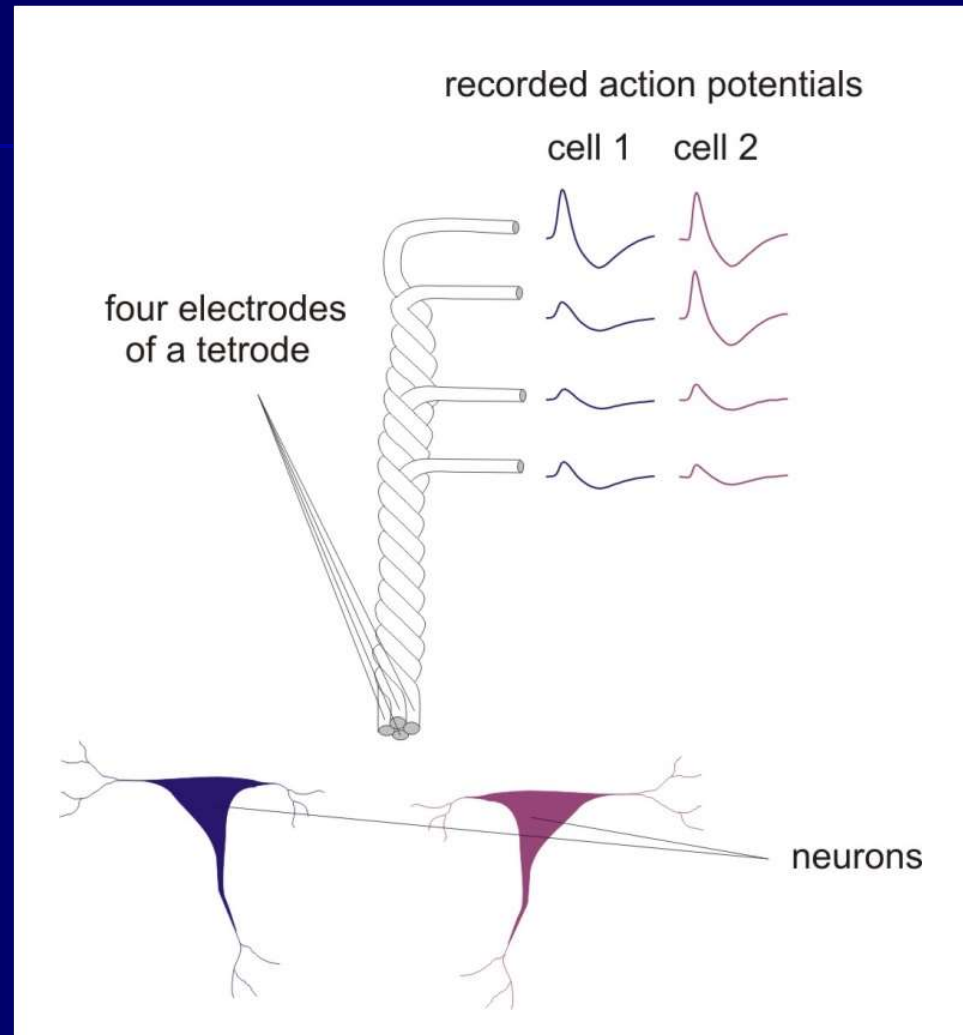
Amzica and Steriade, 2000

Nahrávání jednotkové aktivity

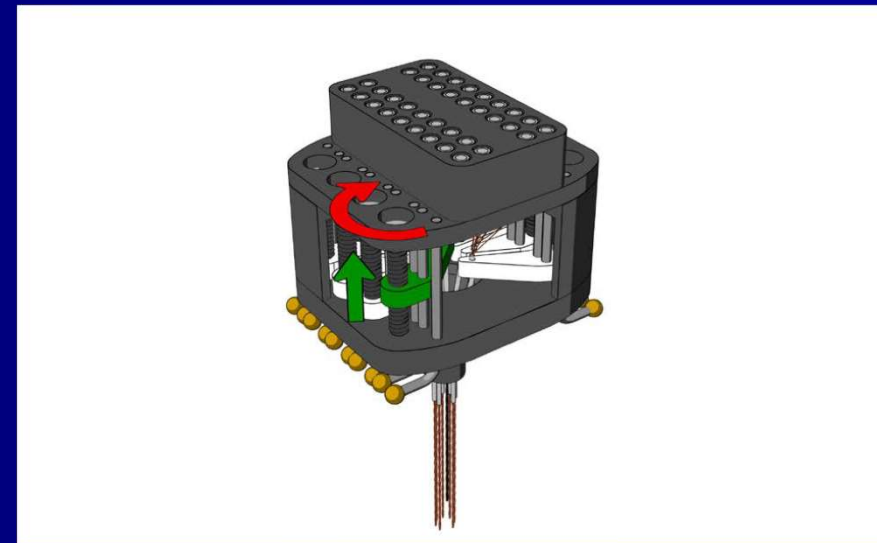
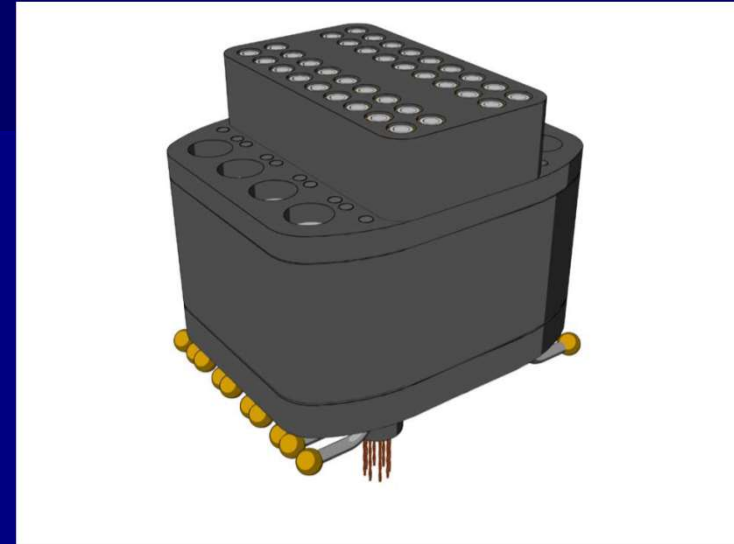
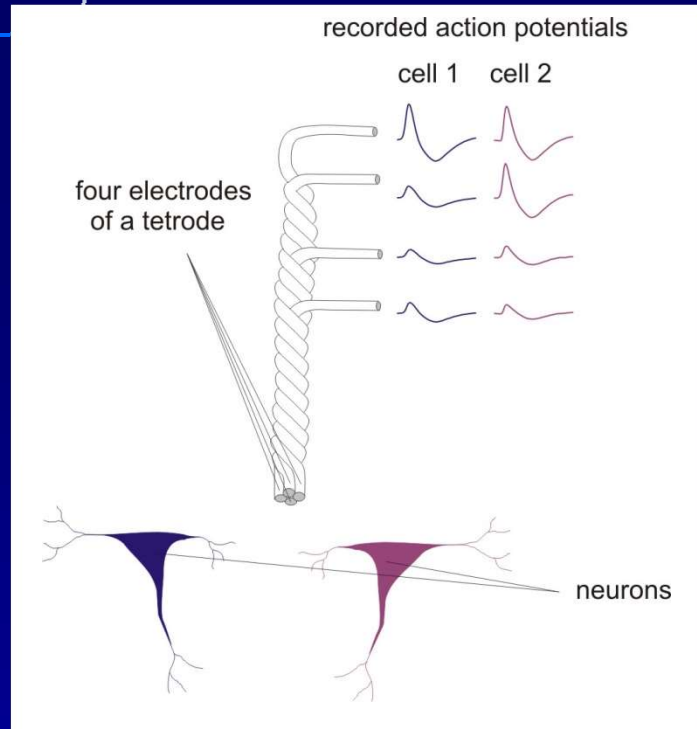
Zaznamenávání aktivity jednotlivých neuronů

- tetrody
- silikonové próby
- vápníkové zobrazování aktivity
- terčíkový zámek

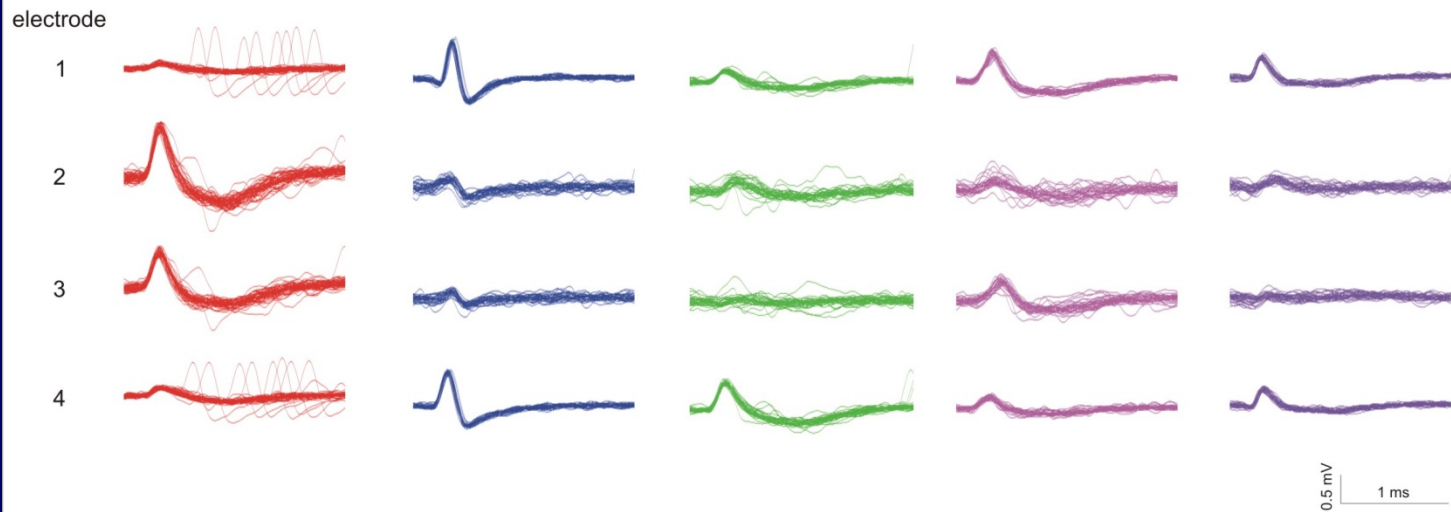
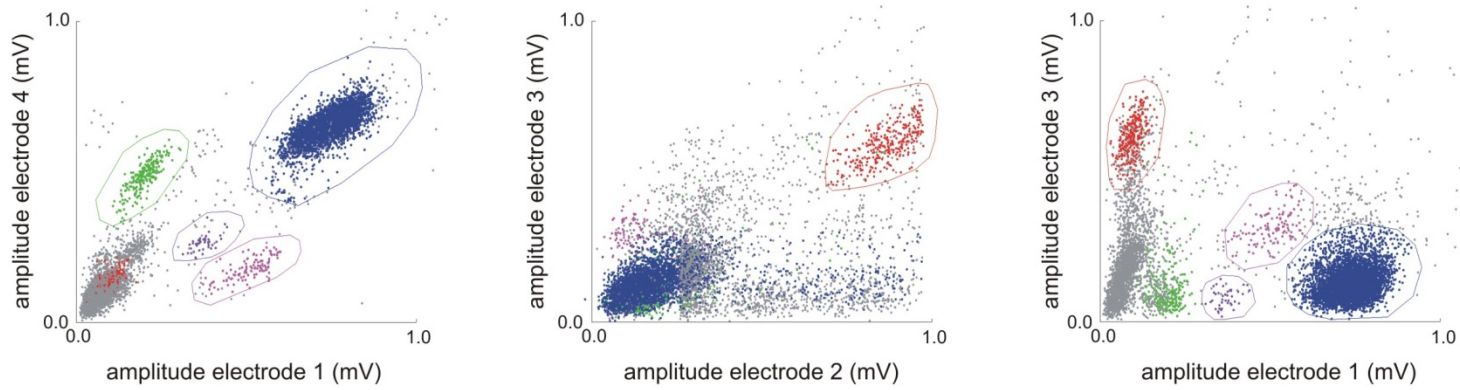
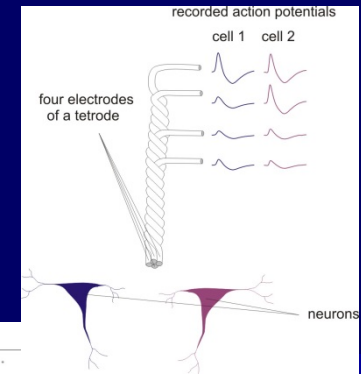
Tetrodové nahrávání



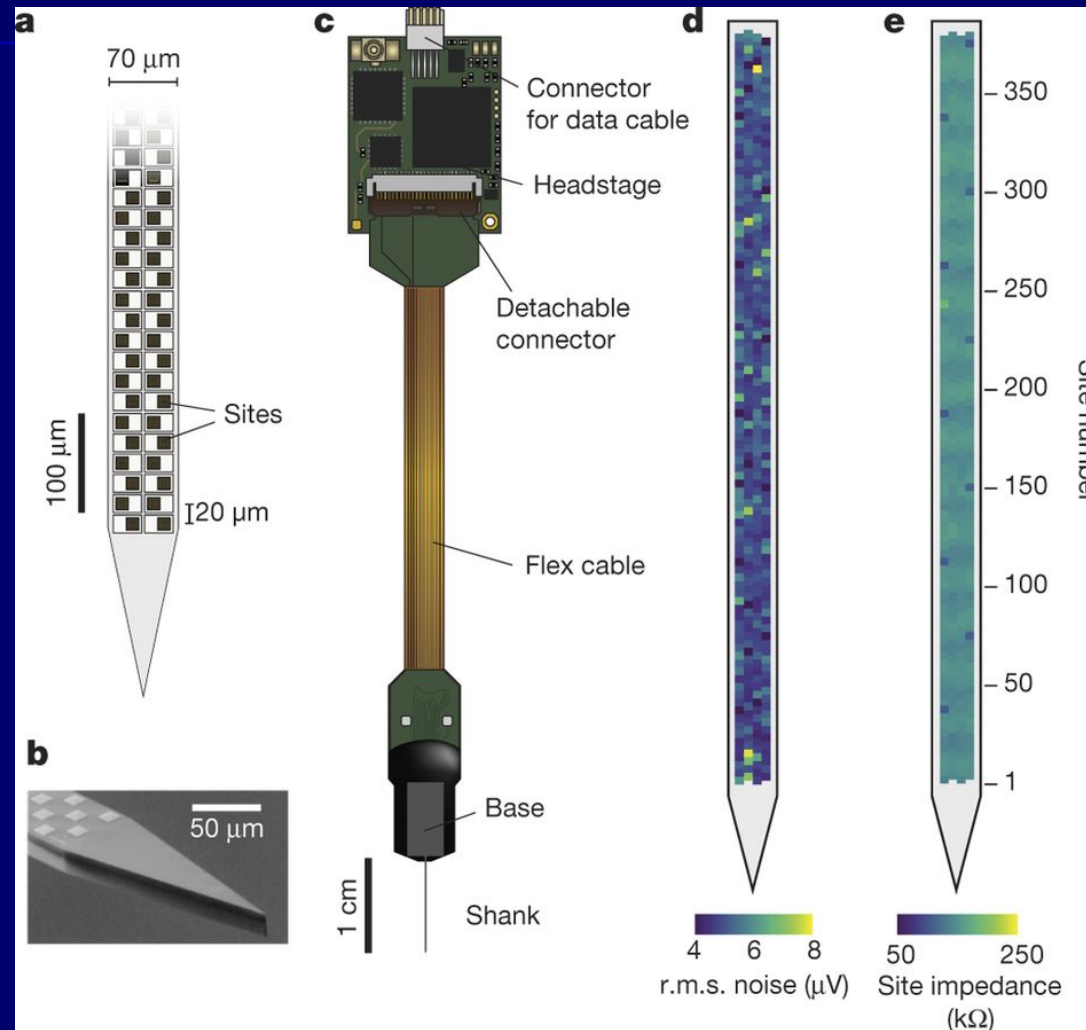
Tetrodové nahrávání



Tetrodové nahrávání

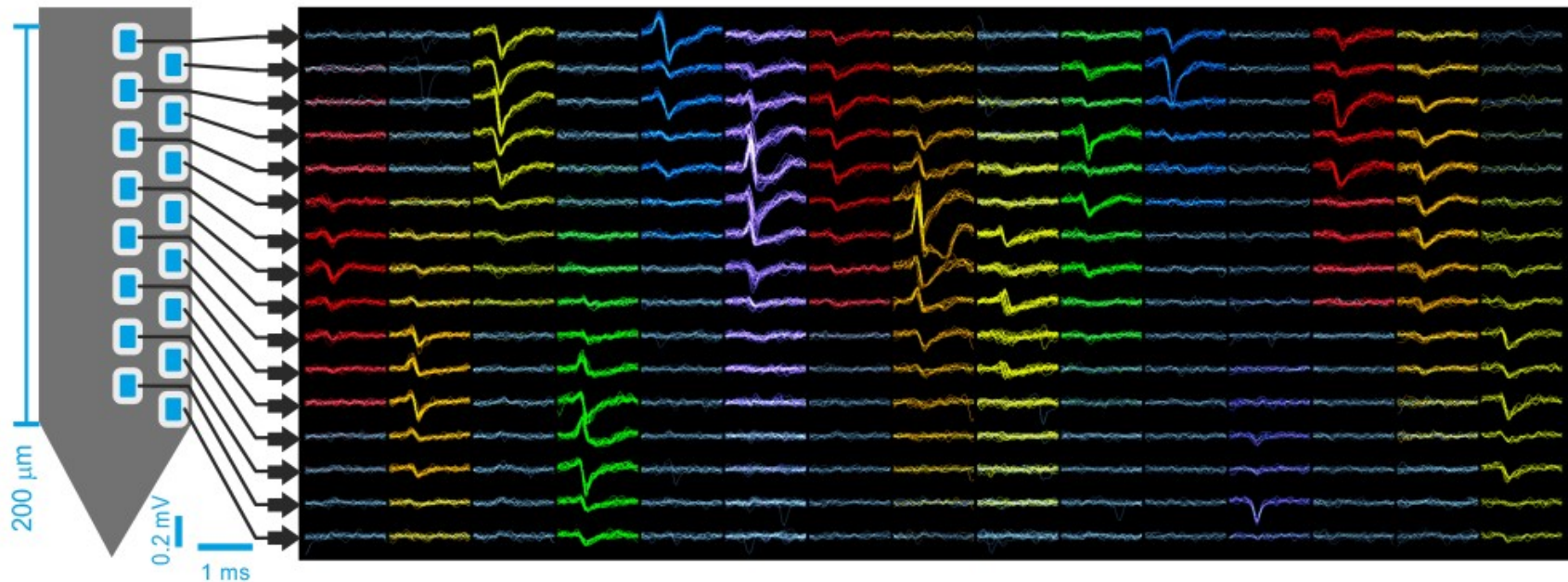


Silikonové próby



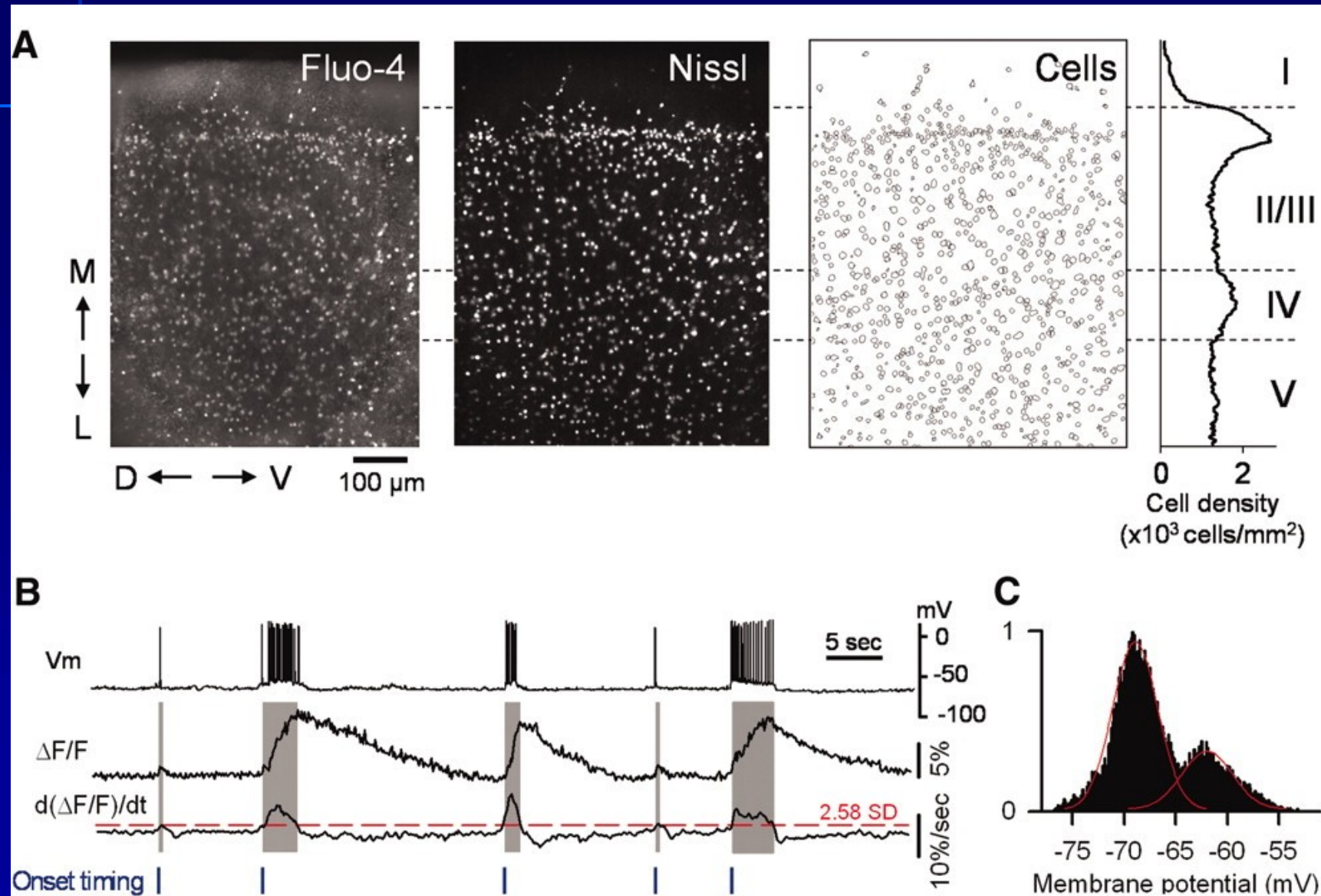
Jun et al.,
2017

Silikonové próby

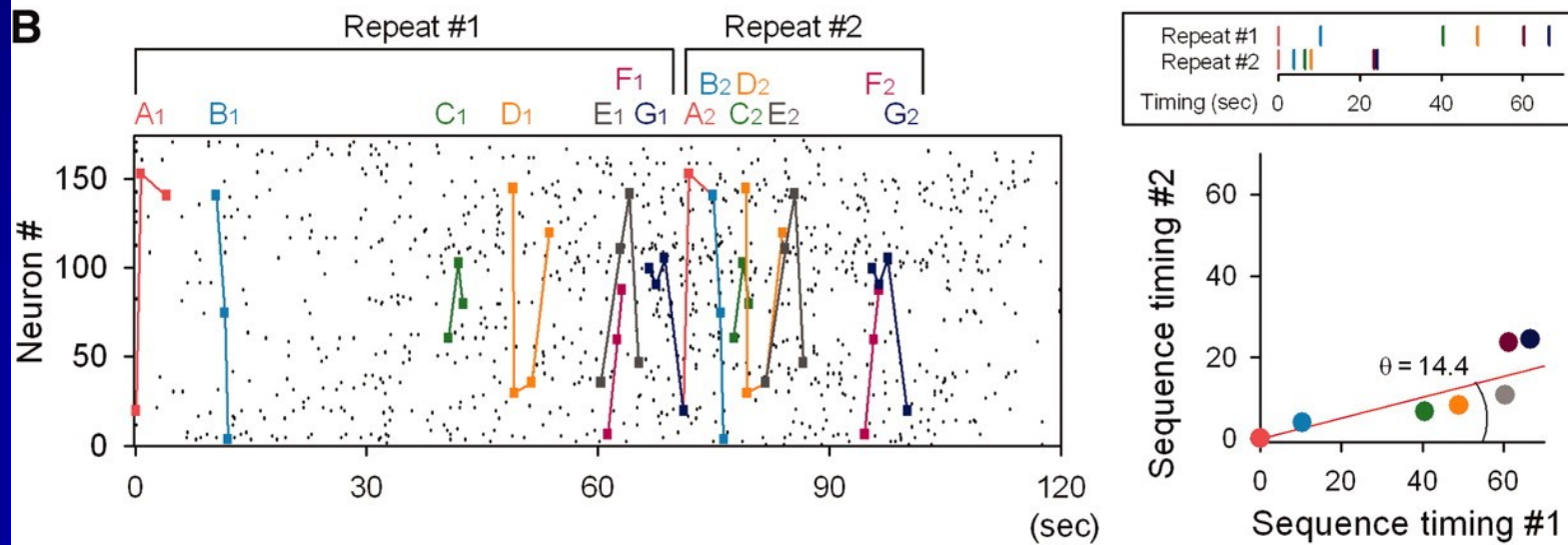
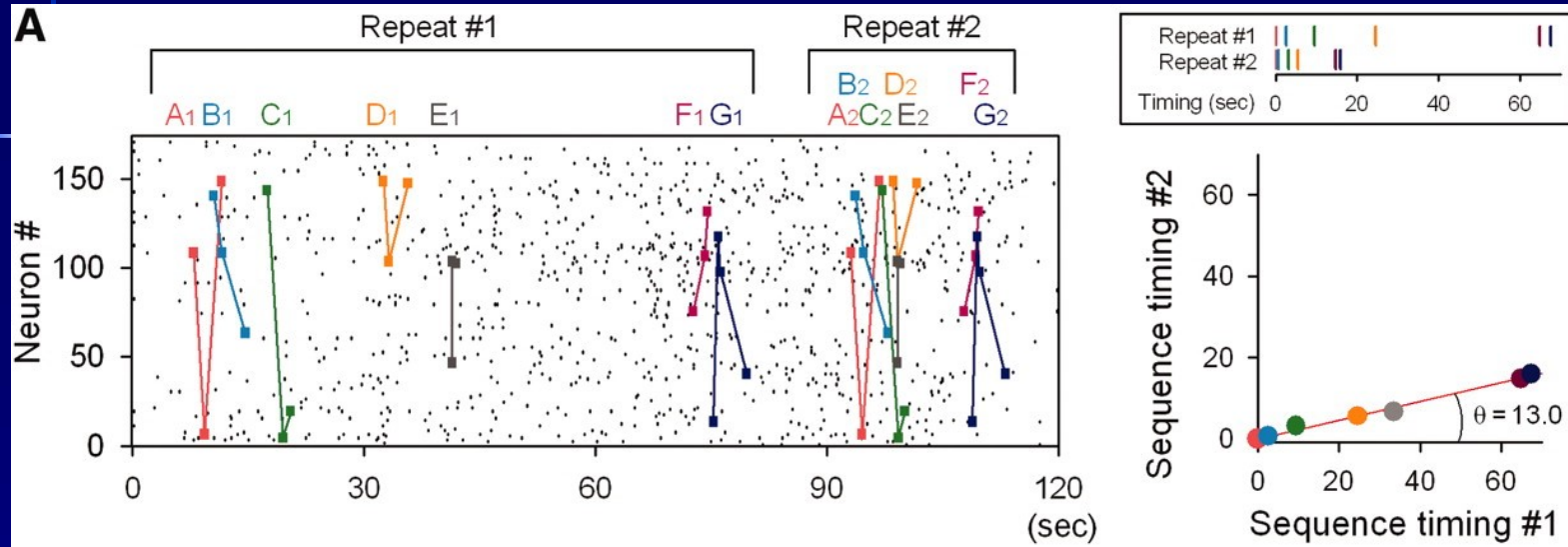


Spike-sorted single unit data from freely behaving rat medial prefrontal cortex - recorded 60 days post-implant and after 30 days in the same location. Each colour-coded column shows spikes from a discrete single unit. [Data courtesy Tahl Holtzman, Nick Donnelly, Jeff Dalley – University of Cambridge, UK.]

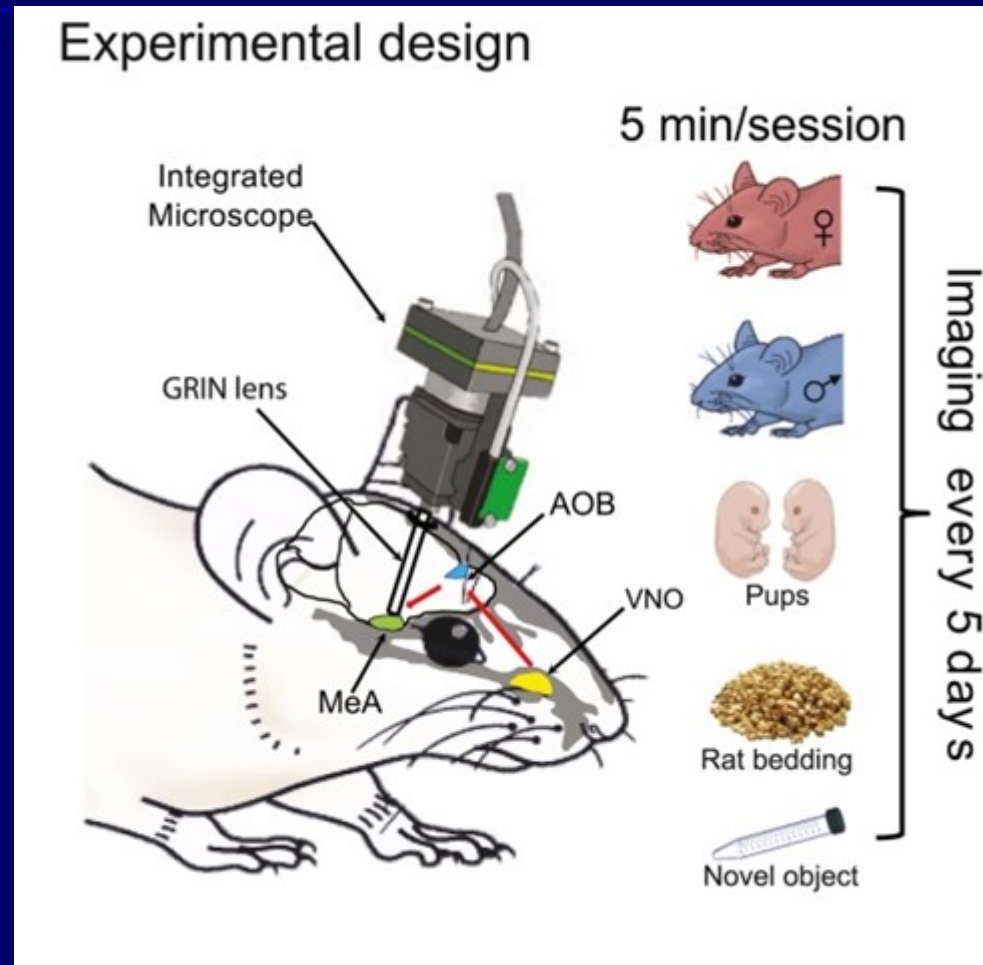
Vápníkové zobrazování aktivity



Vápníkové zobrazování aktivity



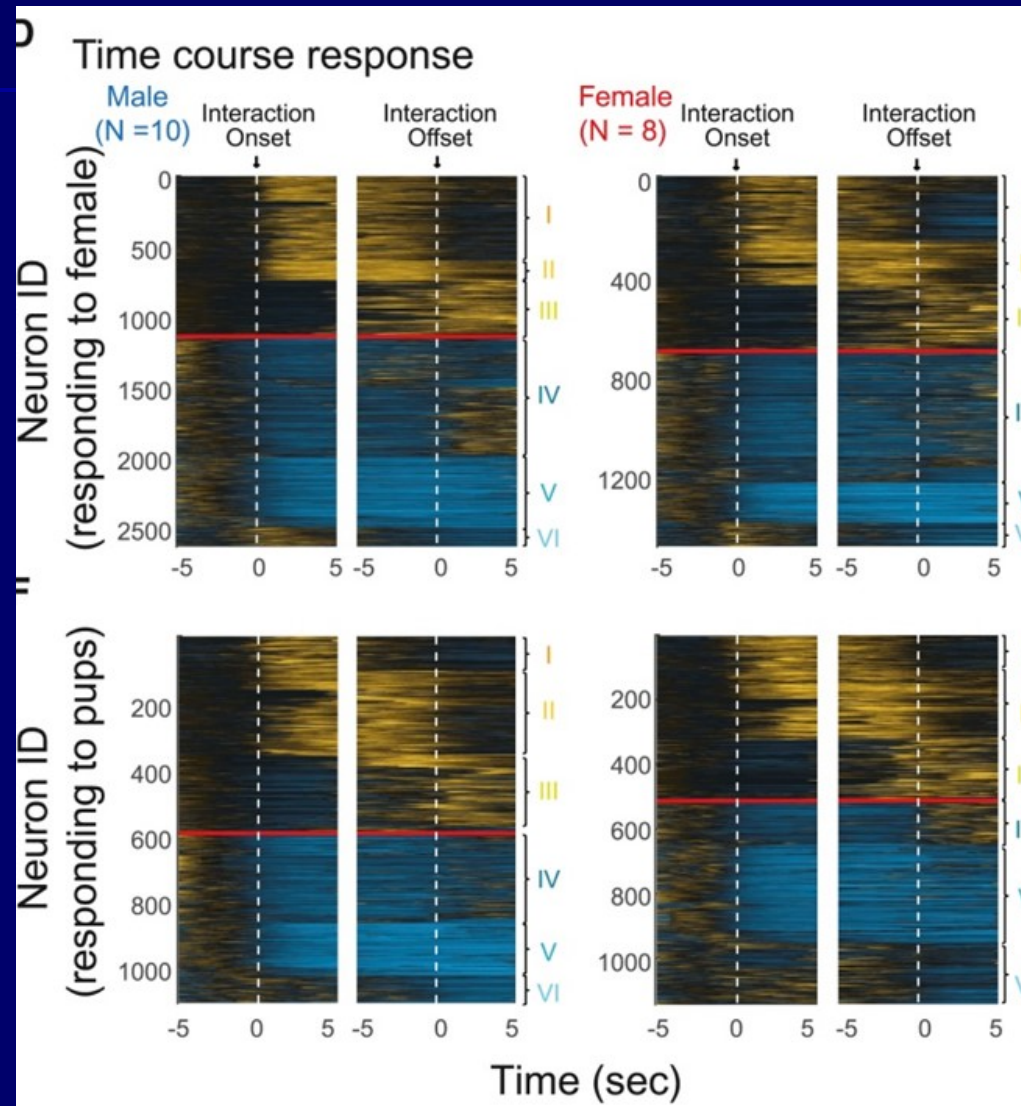
Vápníkové zobrazování aktivity u volně se pohybujících zvířat



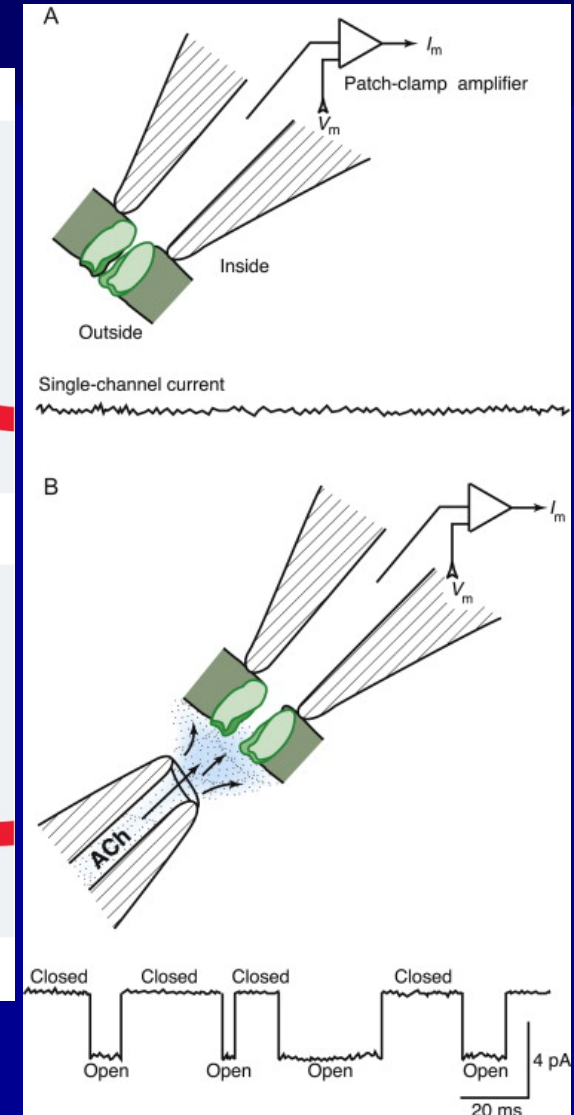
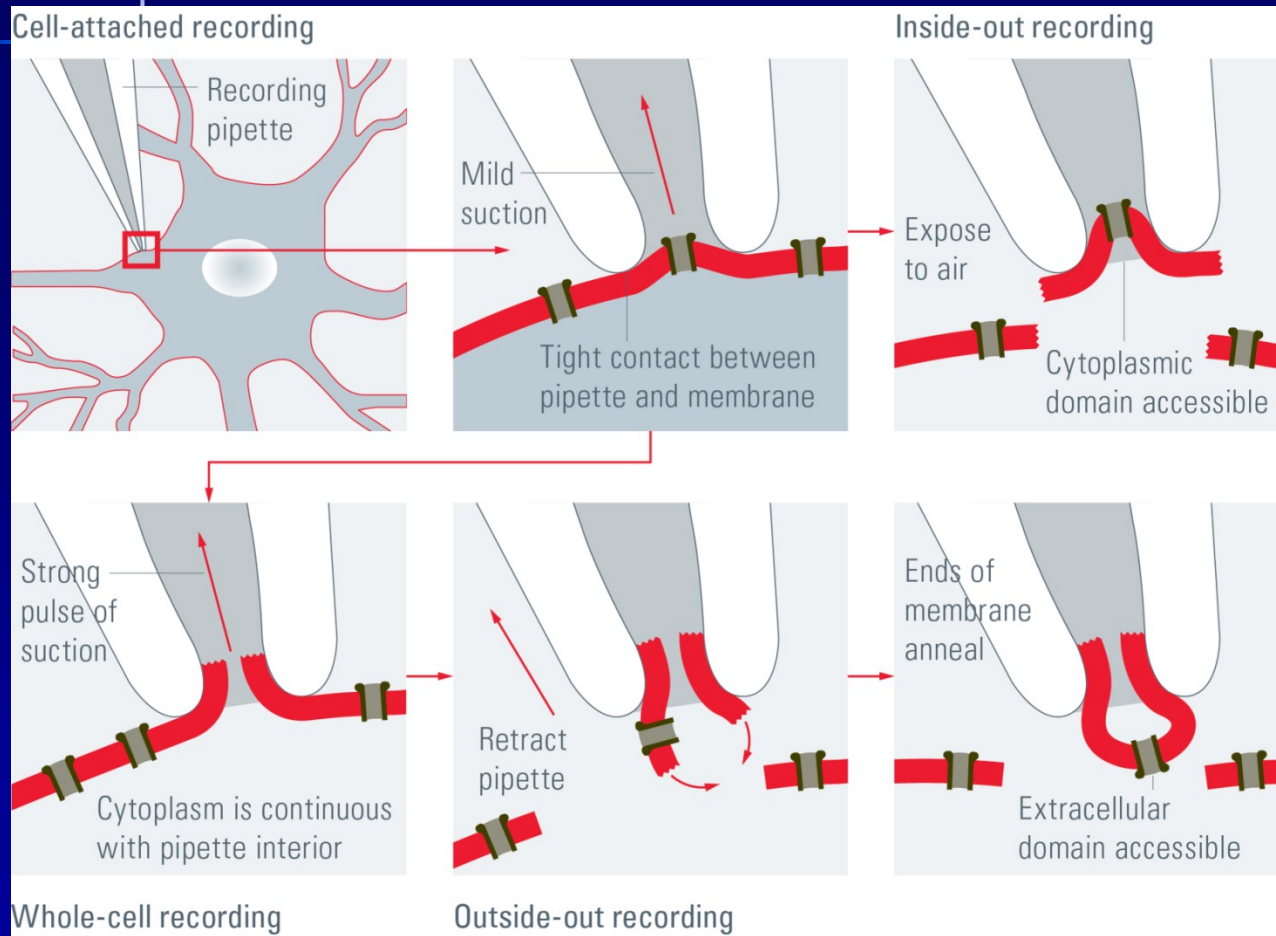
Vápníkové zobrazování aktivity u volně se pohybujících zvířat

<https://www.inscopix.com/research-areas/neural-coding>

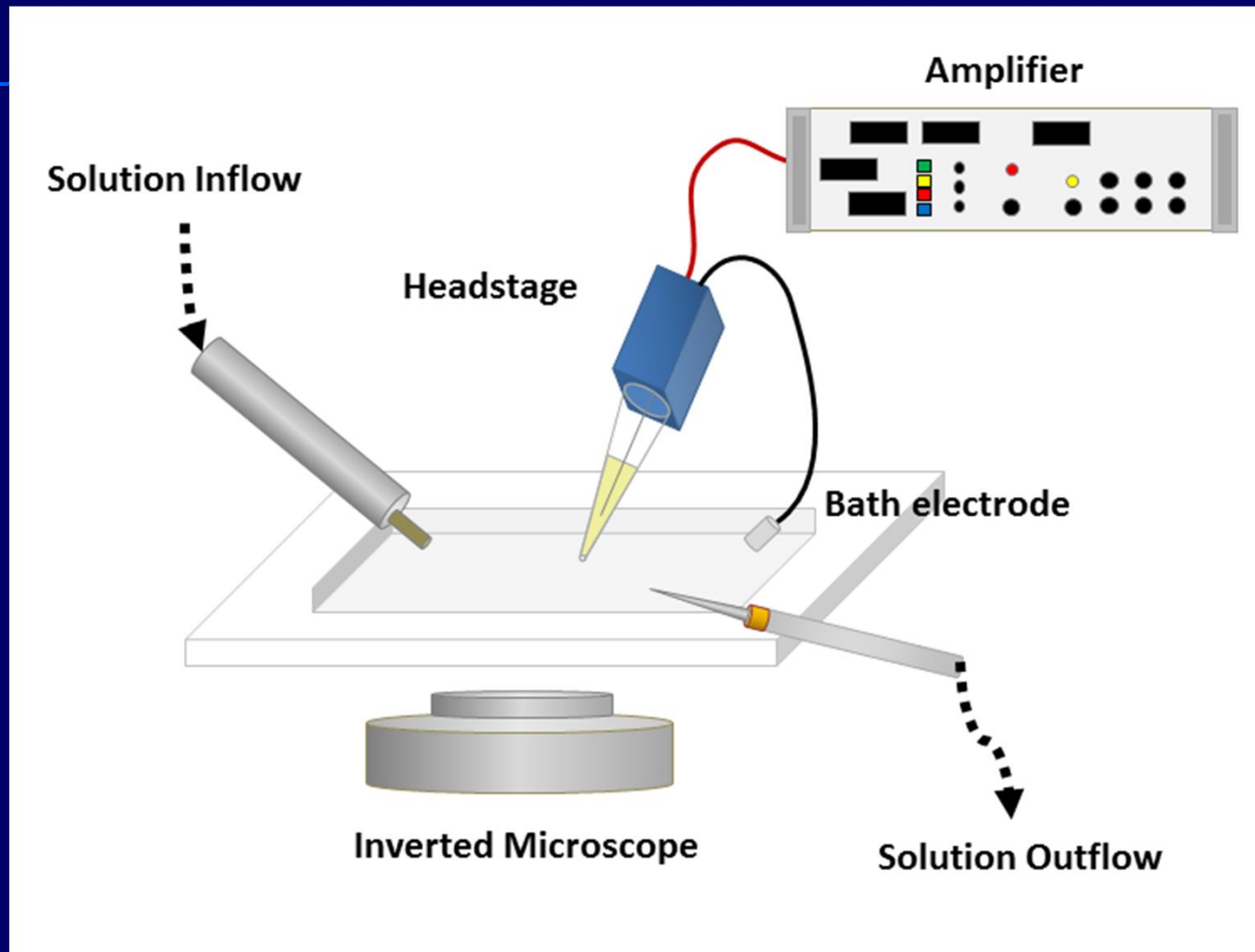
Vápníkové zobrazování aktivity u volně se pohybujících zvířat



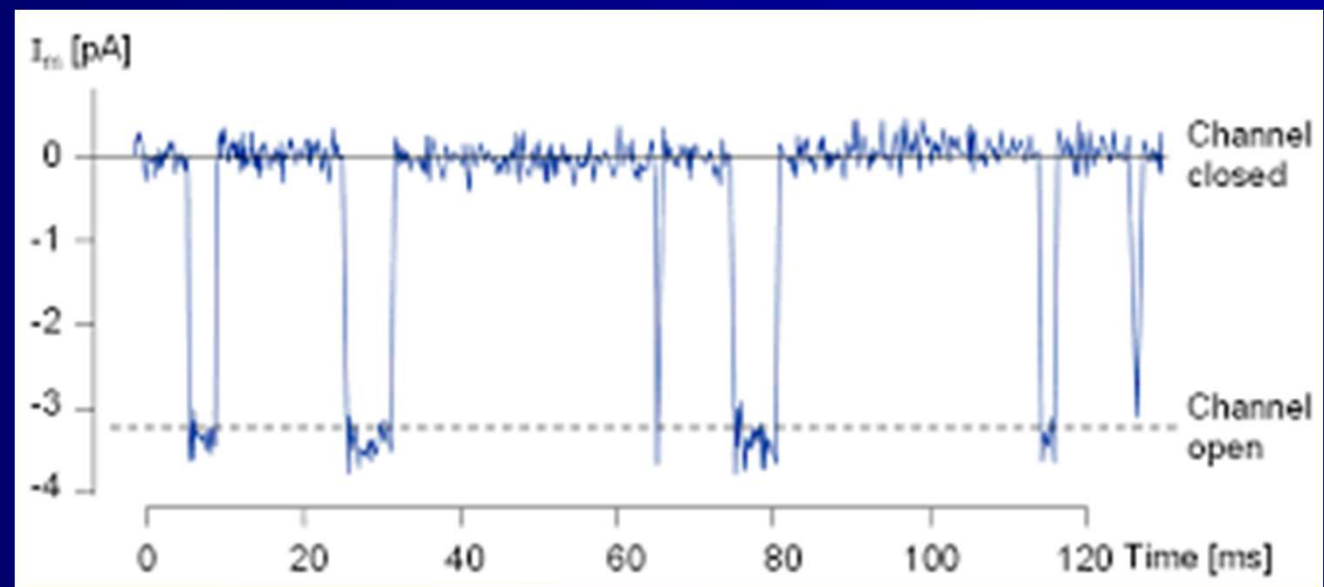
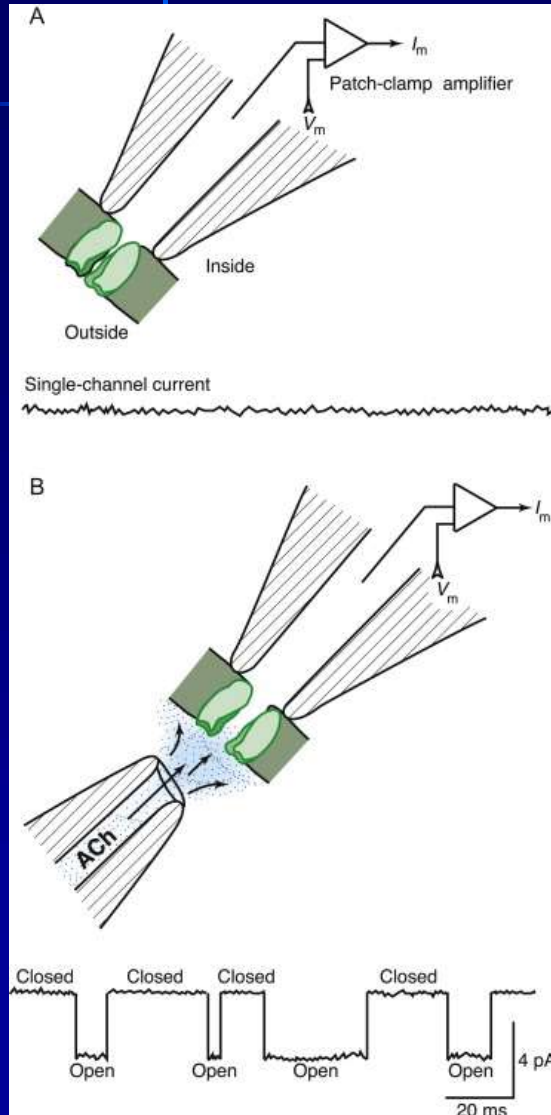
Terčíkový zámeček (patch clamp)



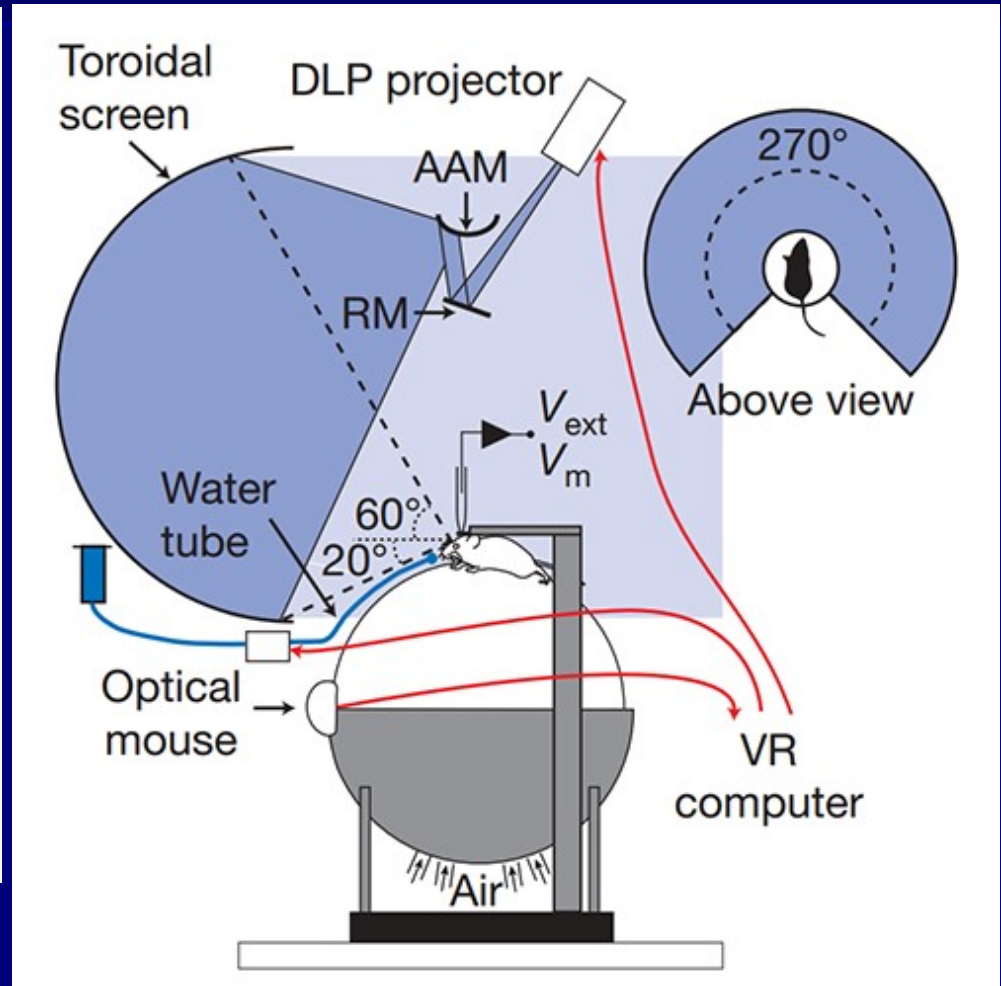
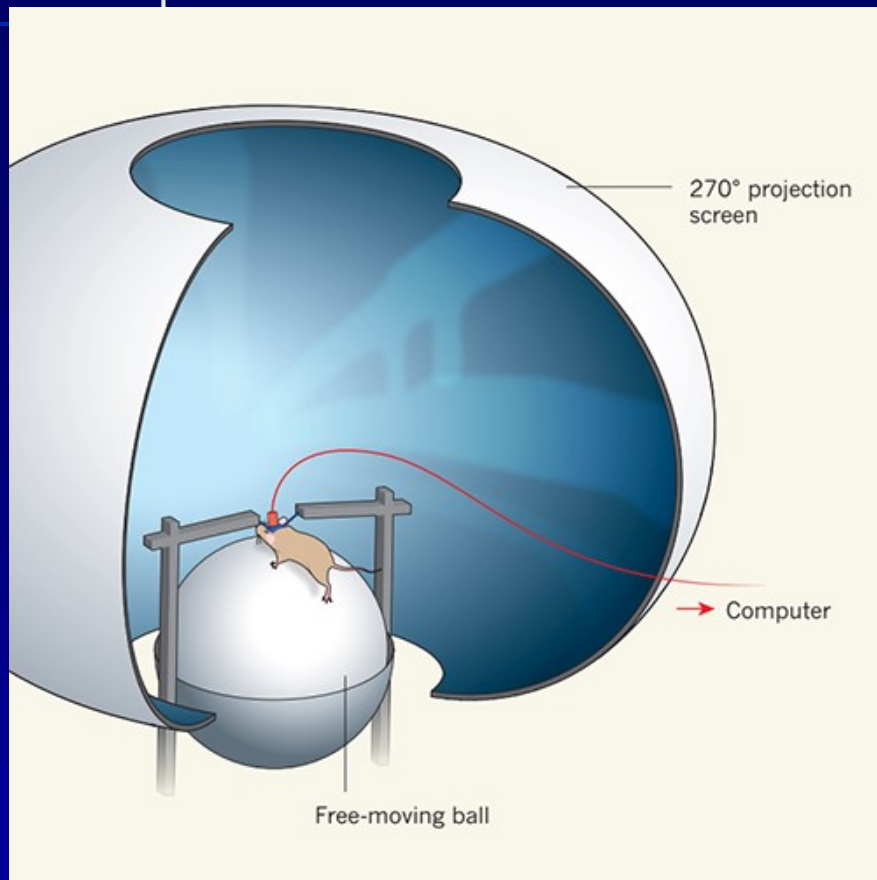
Terčkový zámeček (patch clamp)



Terčkový zámeček (patch clamp)



Terčíkový zámeček (patch clamp)



Metody analýzy neuronálního signálu

Potenciál blízkého pole (local field potential), EEG

Fourierova transformace
current source density analysis

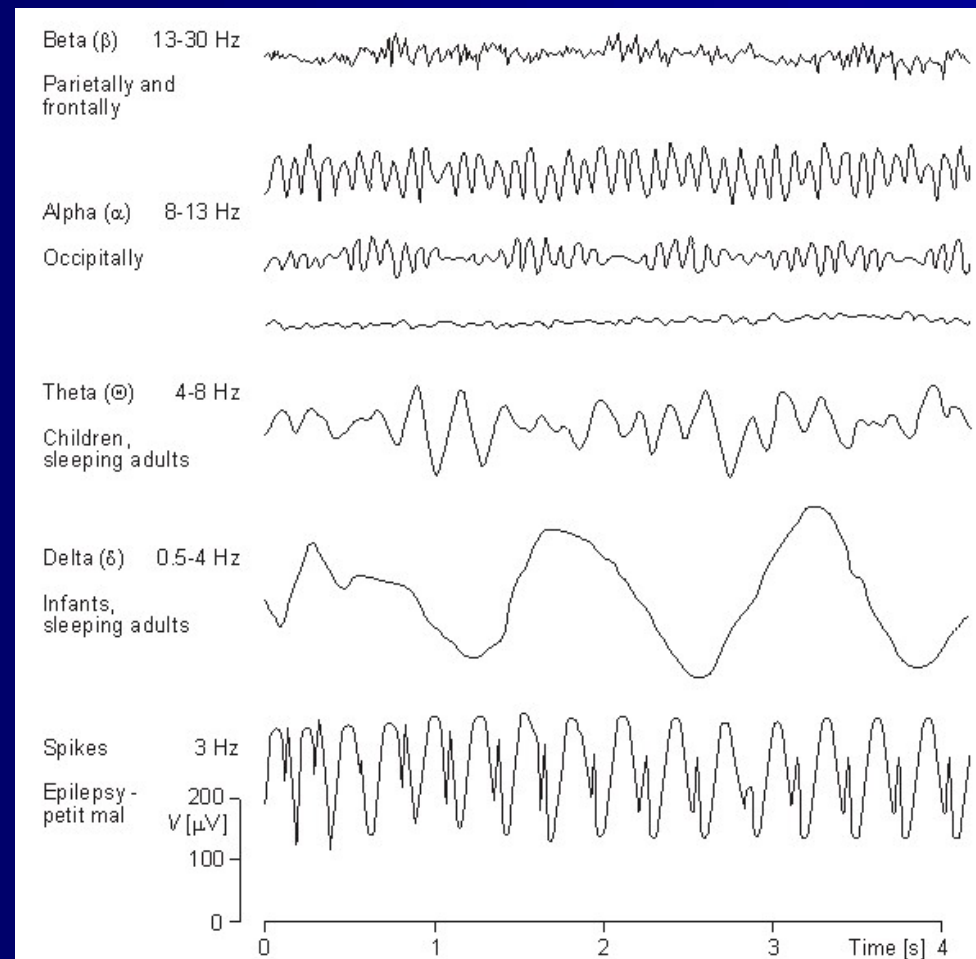
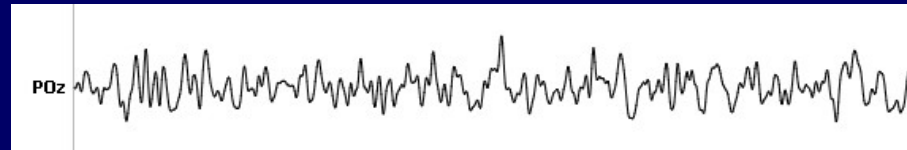
Neuronální aktivita

autokorelace
vzájemná korelace (cross-correlation)
analýza hlavních komponent

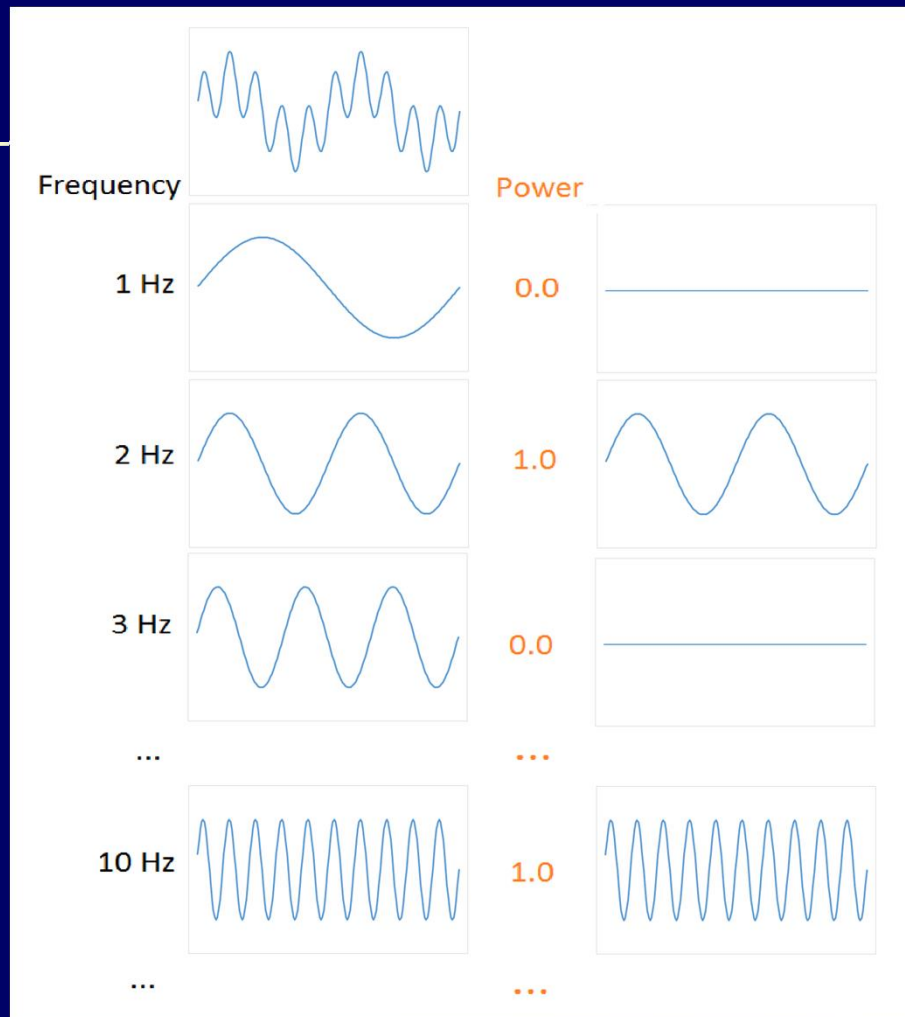
Smyslové a behaviorální koreláty neuronální aktivity

stimulus-response function (funkce
podnětu a odpovědi)
dekódování pozice

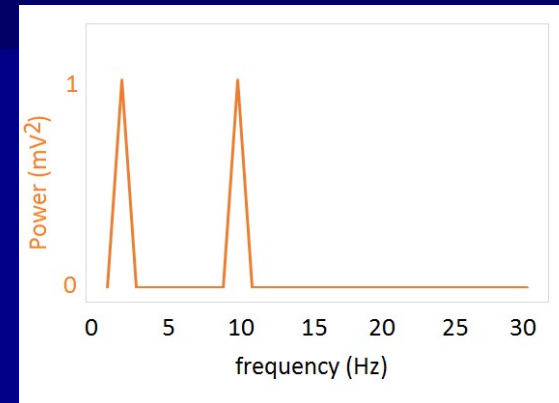
Fourierova transformace



Fourierova transformace

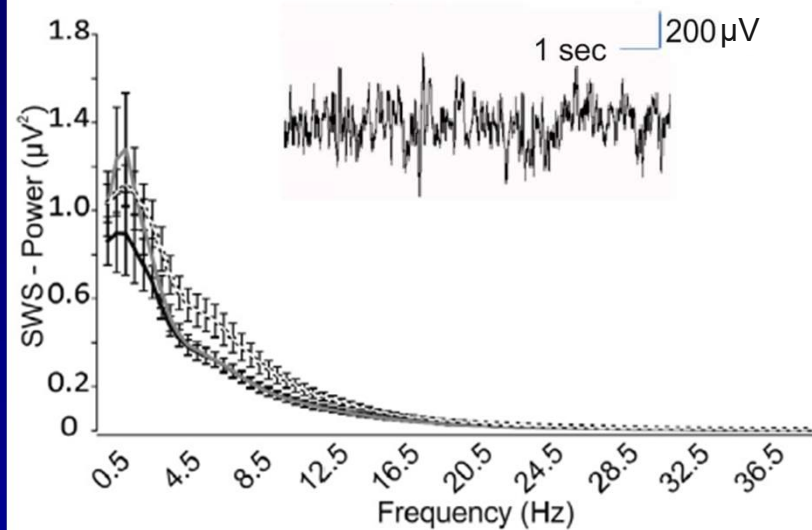


Power spectrum

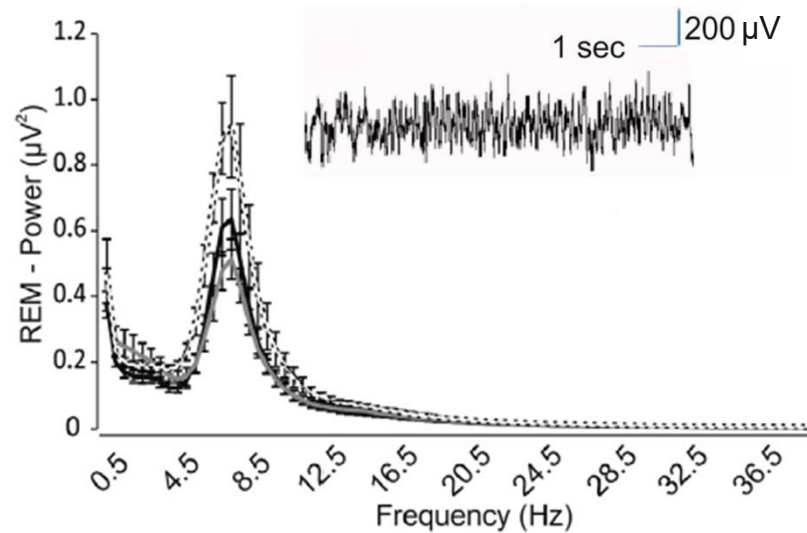


Fourierova transformace

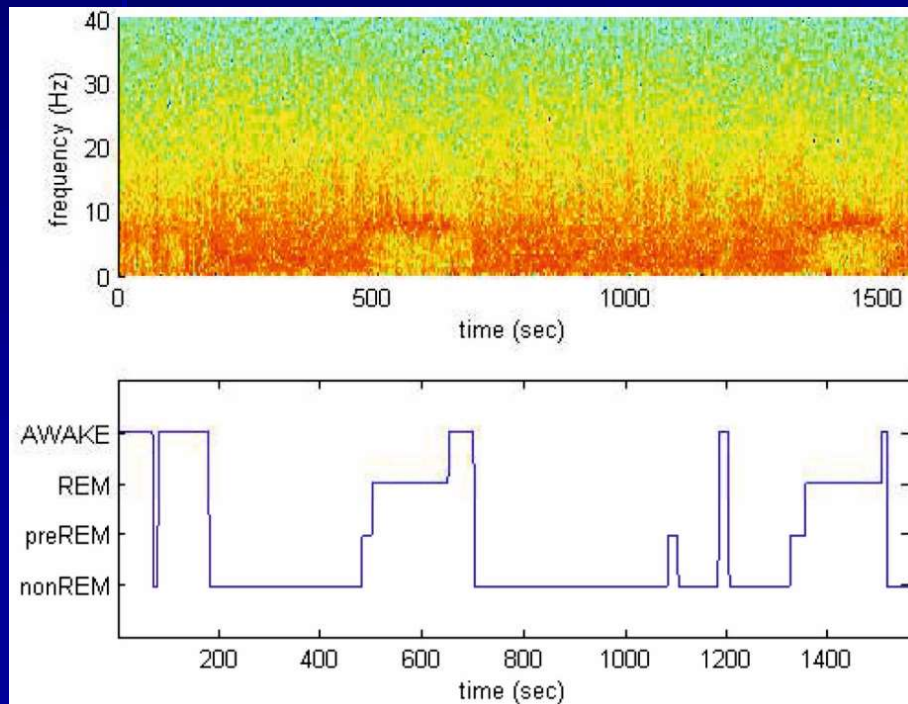
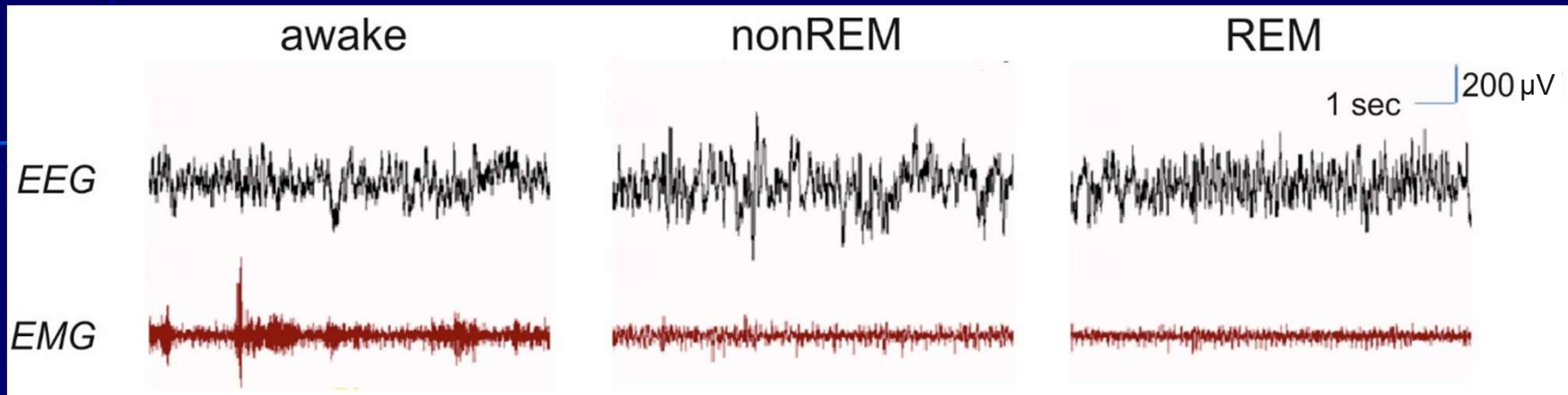
nonREM spánek



REM spánek

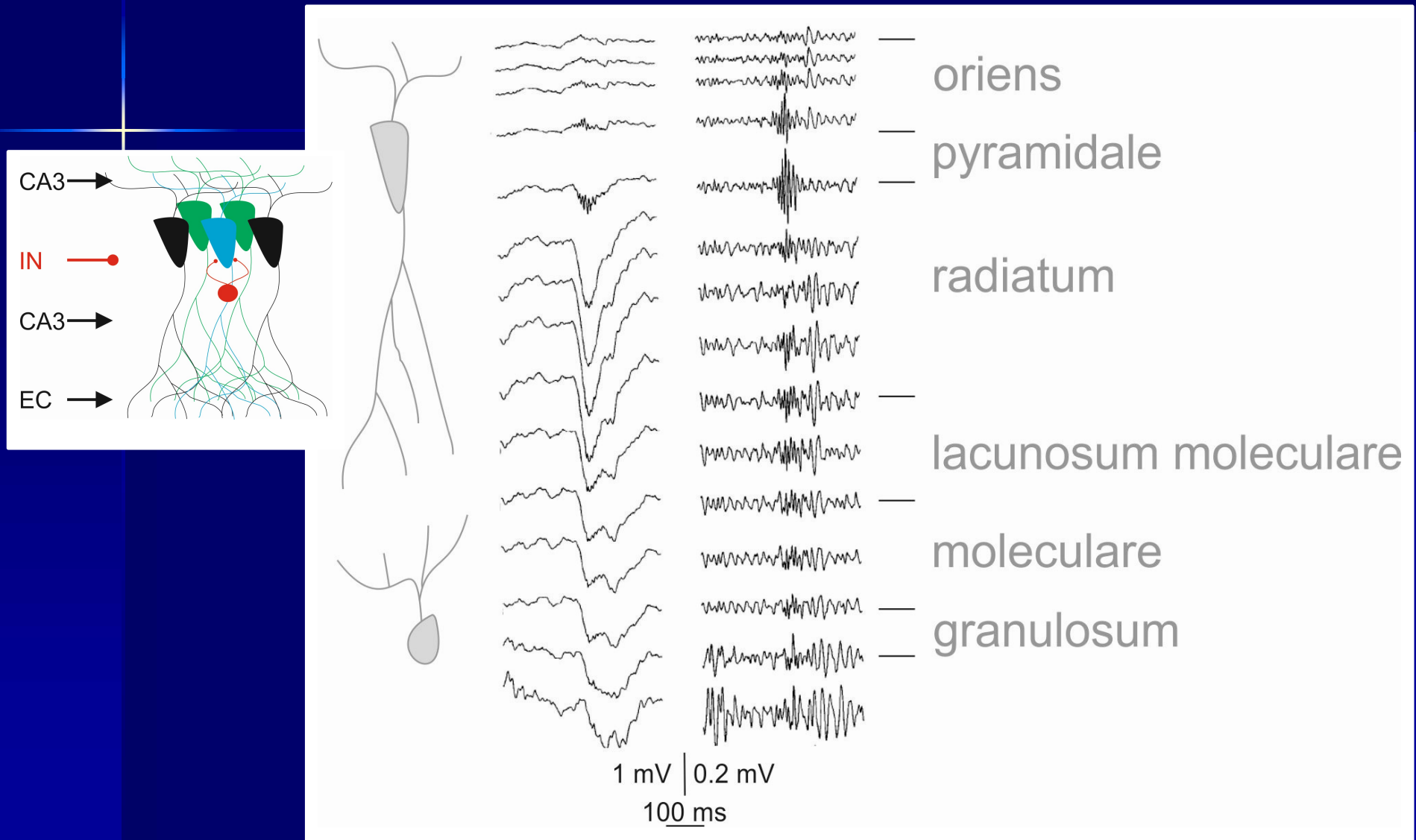


Fourierova transformace



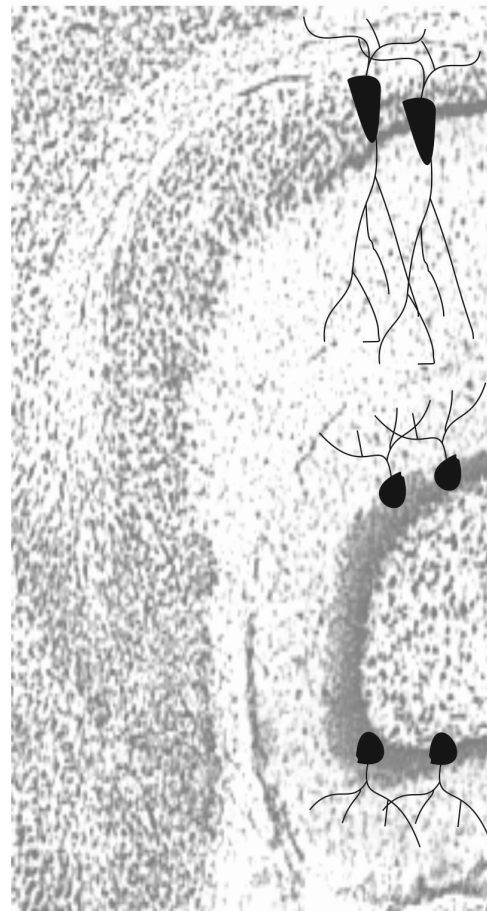
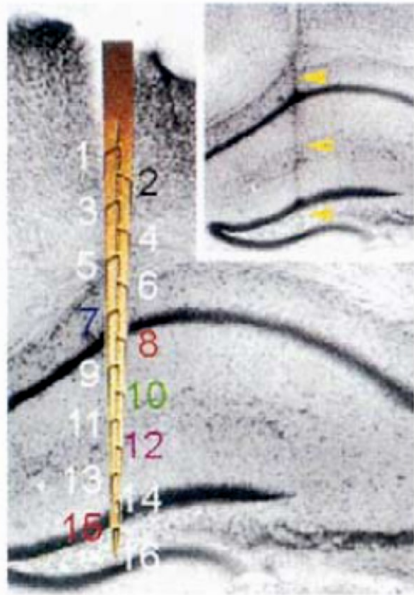
Fourierova transformace vyjadřuje rozložení a zastoupení různých frekvencí v analyzovaném signálu. To umožňuje identifikovat různé stavy v EEG aktivitě, které mohou odpovídat například různým spánkovým fázím.

Sharp waves and ripples

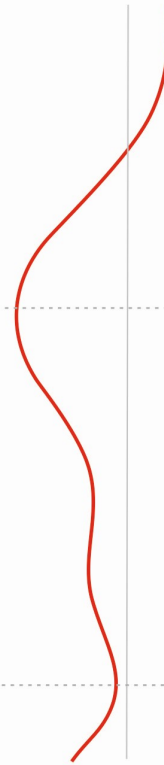


Current source density

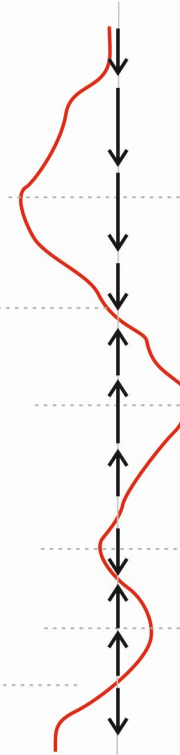
A



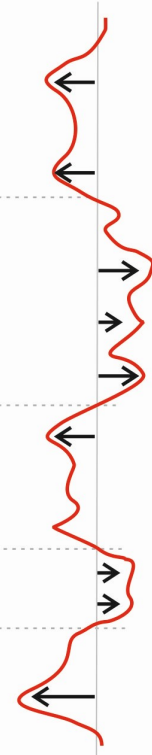
Voltage
mV



Current
mA/cm²

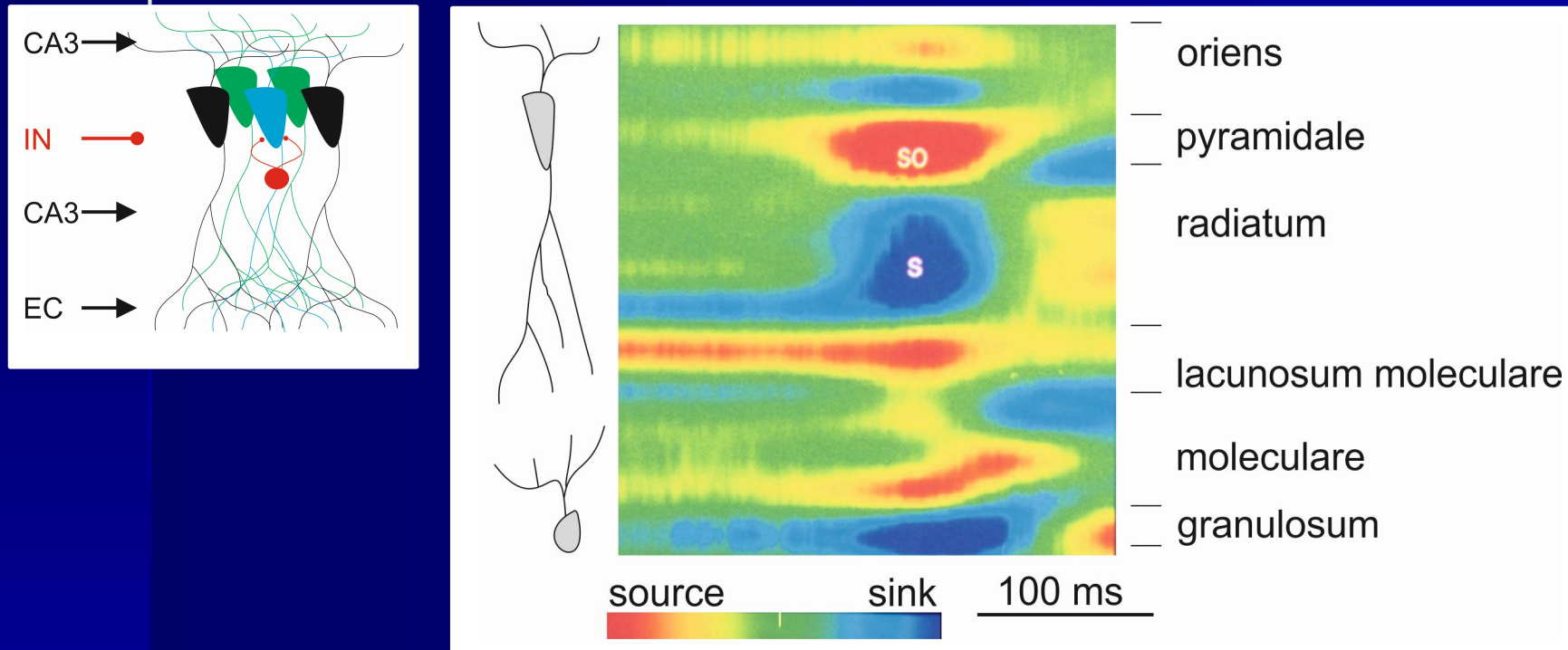


CSD
mA/cm³



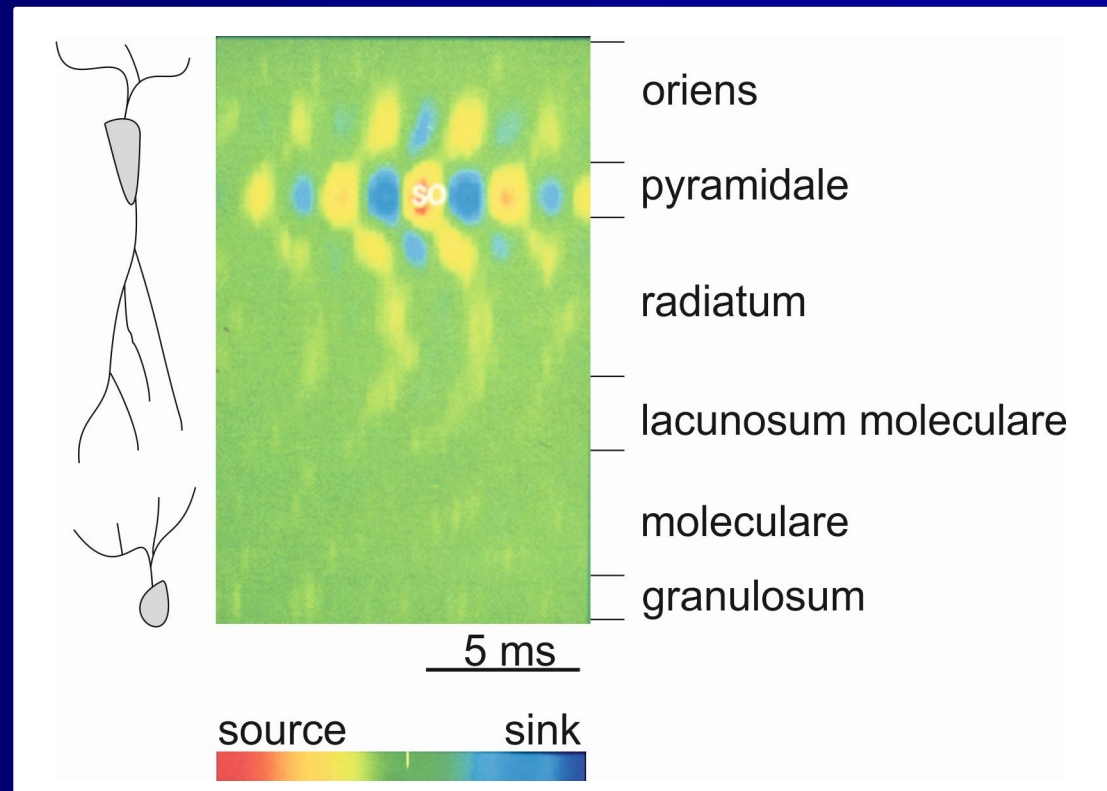
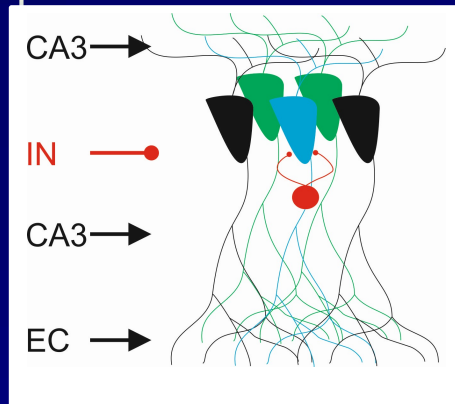
source sink

Sharp waves current source density analysis



Ylinen et al., 1995

Ripples current source density analysis

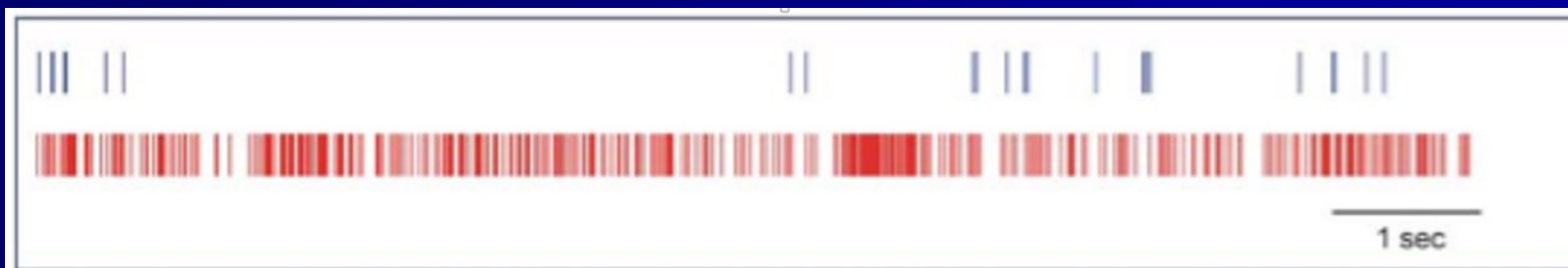


Ylinen et al 1995

Časová sekvence akčních potenciálů neuronu

buňka 1

buňka 2

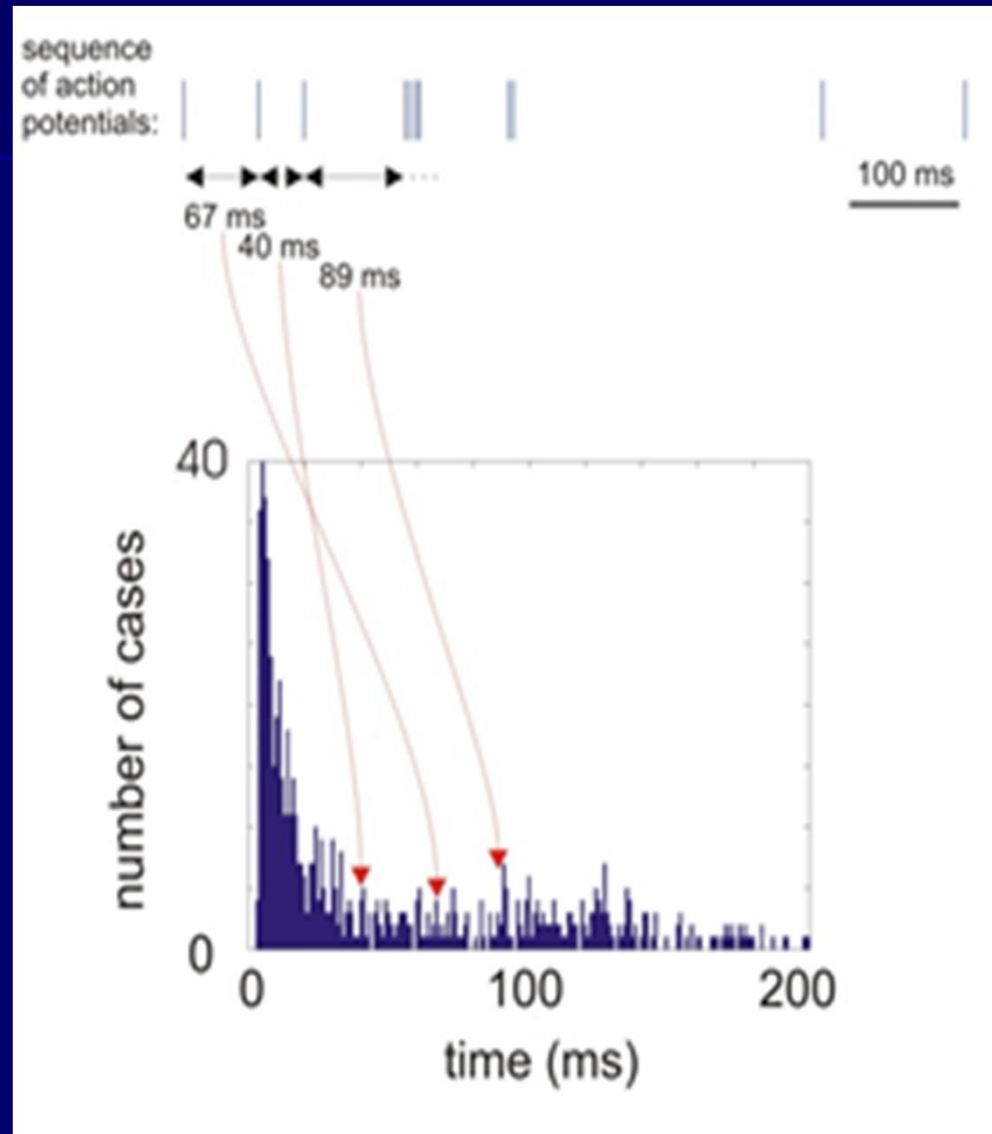


buňka 1

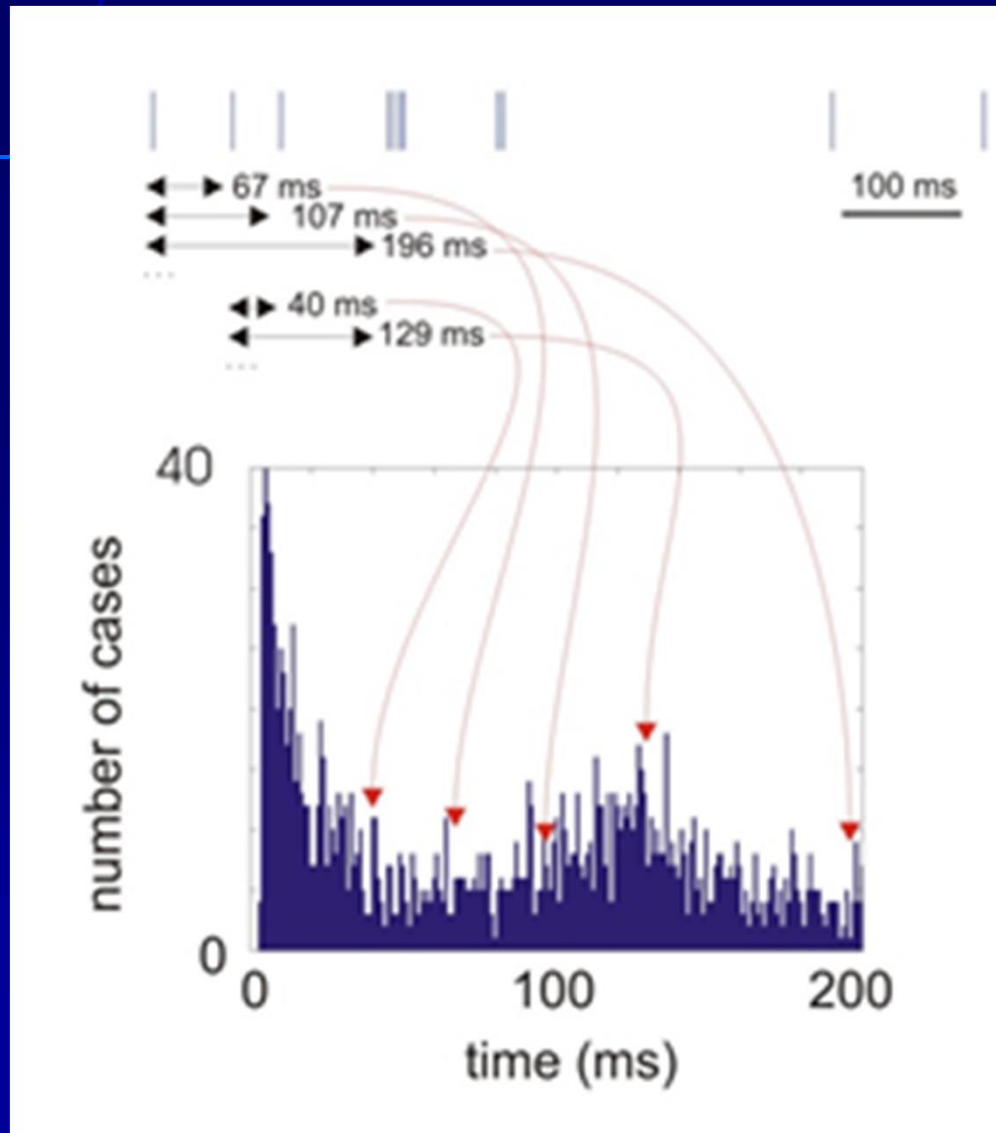
buňka 2



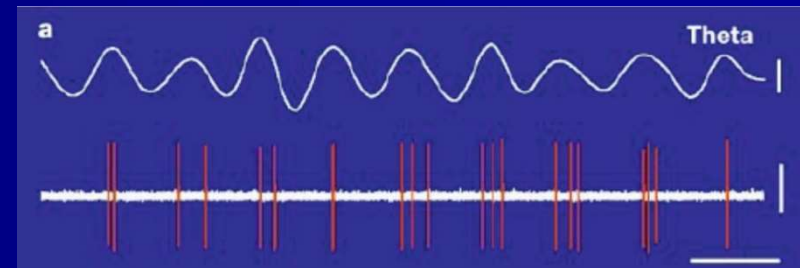
Histogram intervalů mezi akčními potenciály (inter-spike-interval histogram)



Autokorelace



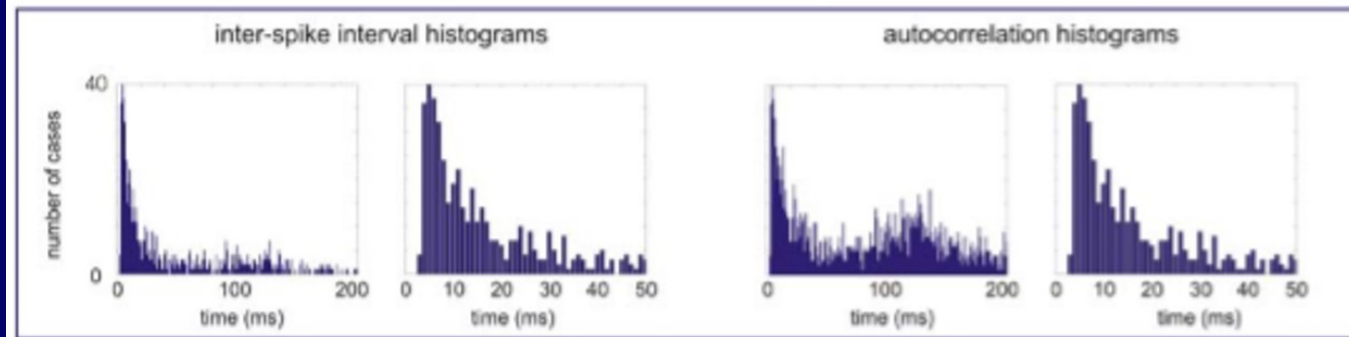
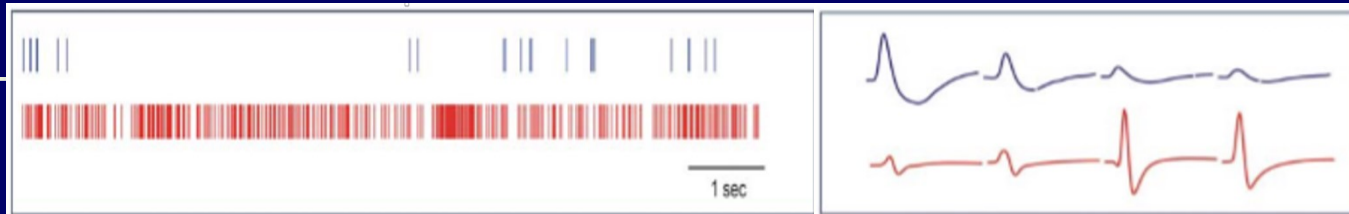
Metoda k určení pravděpodobnosti, že po akčním potenciálu bude neuron znovu aktivní v různých časových intervalech.



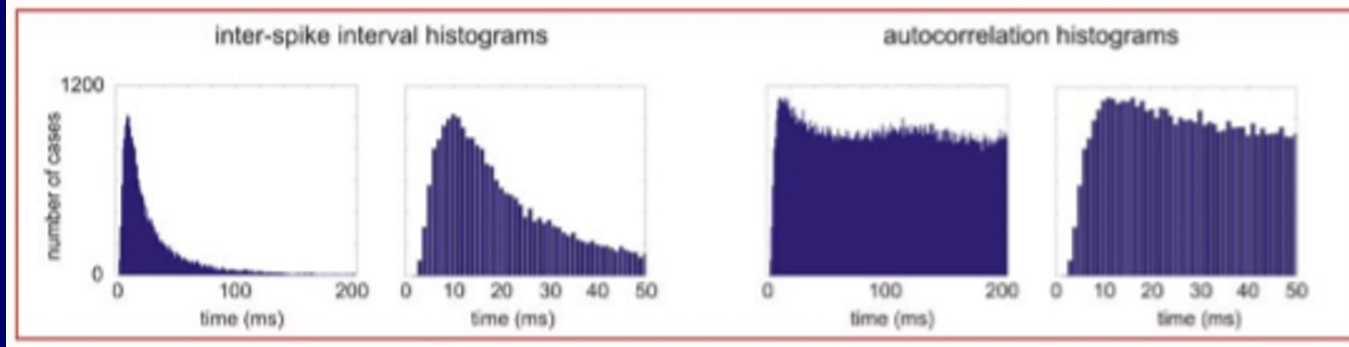
Klausberger et al., 2003

Histogram intervalů mezi akčními potenciály a autokorelace

Pyramidální
buňka

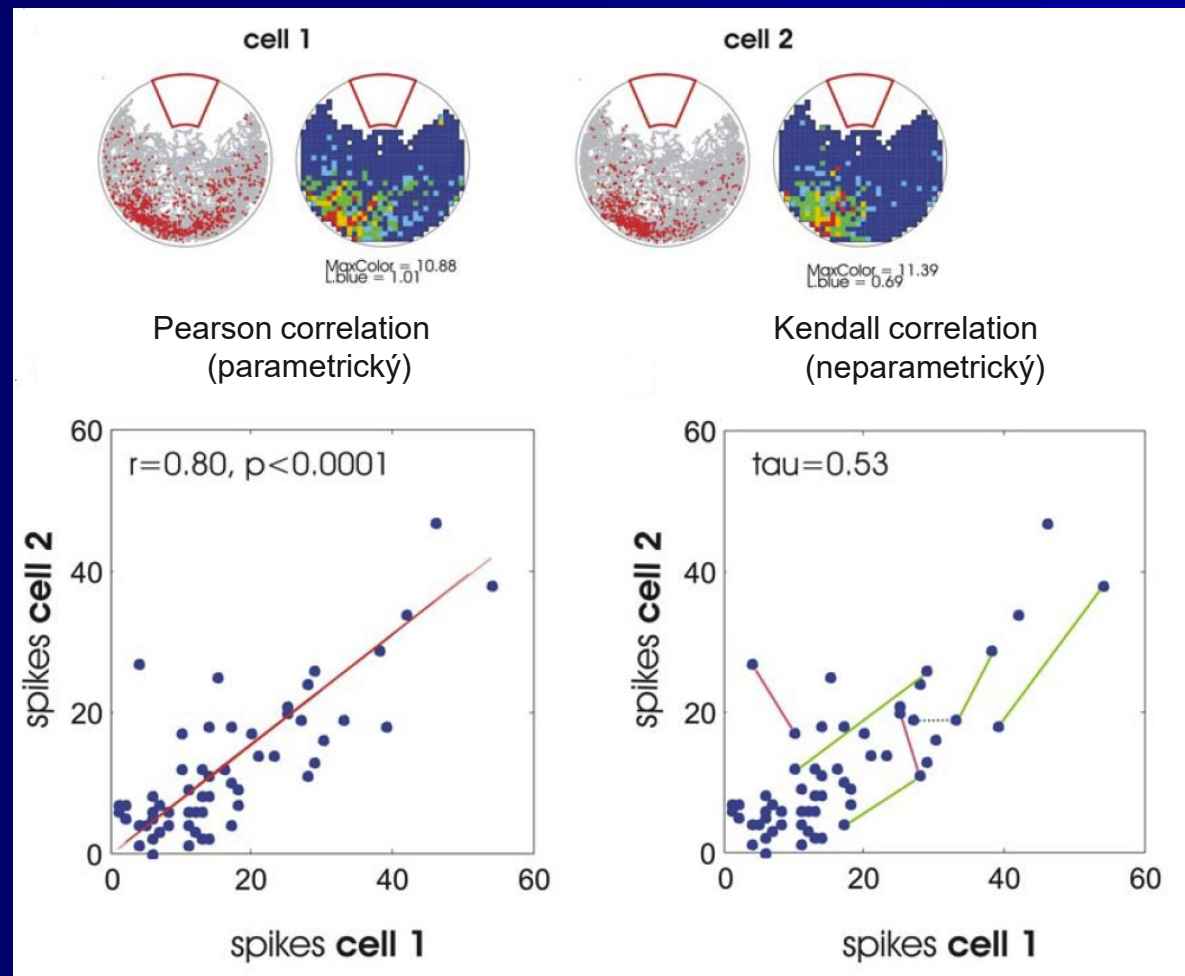
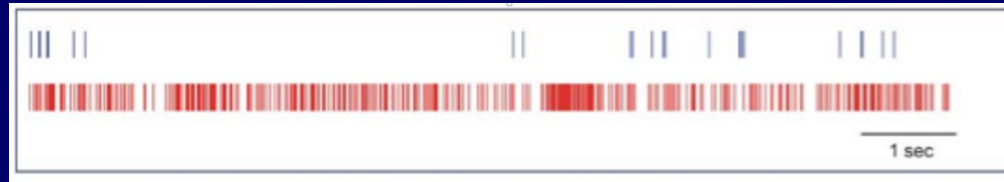


Interneuron

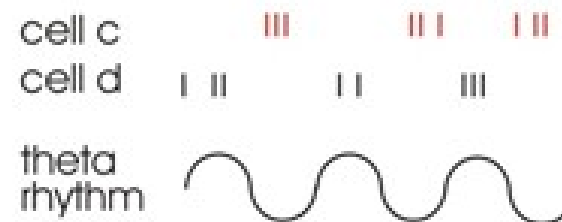
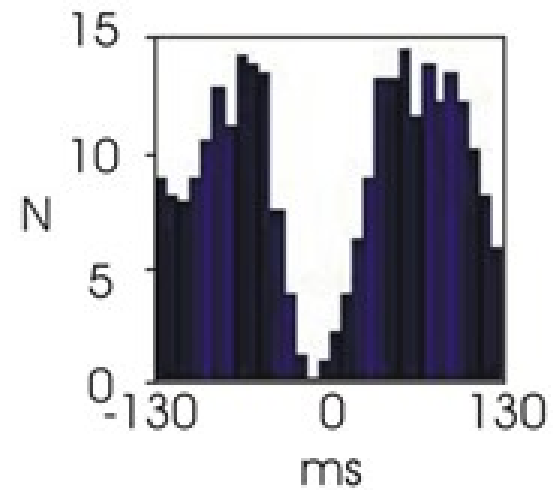
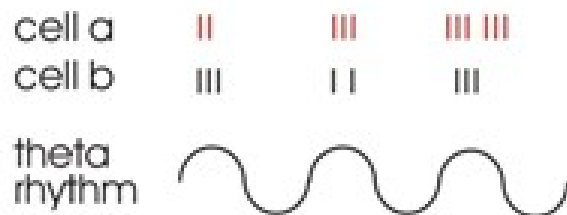
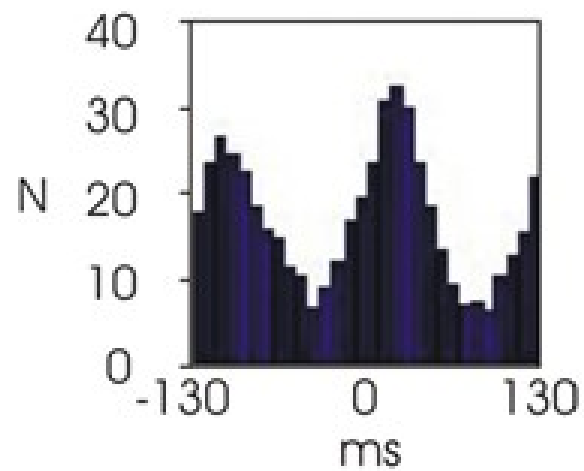


Pyramidální buňka (complex spike cell) charakteristicky vysílá krátké dávky akčních potenciálů s intervaly < 10 ms.

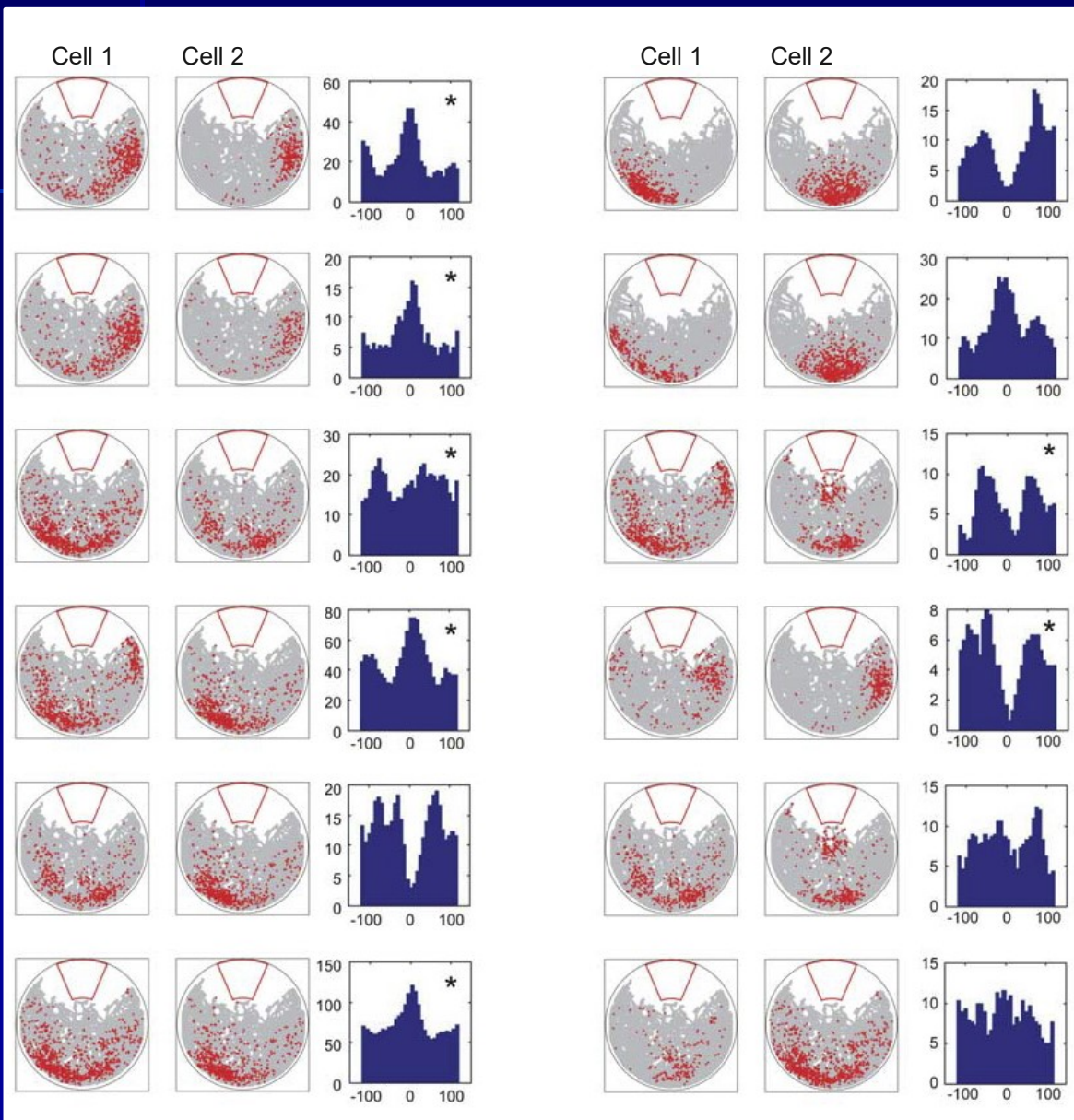
Vztah mezi aktivitou dvou neuronů



Vzájemná korelace (cross-correlation)

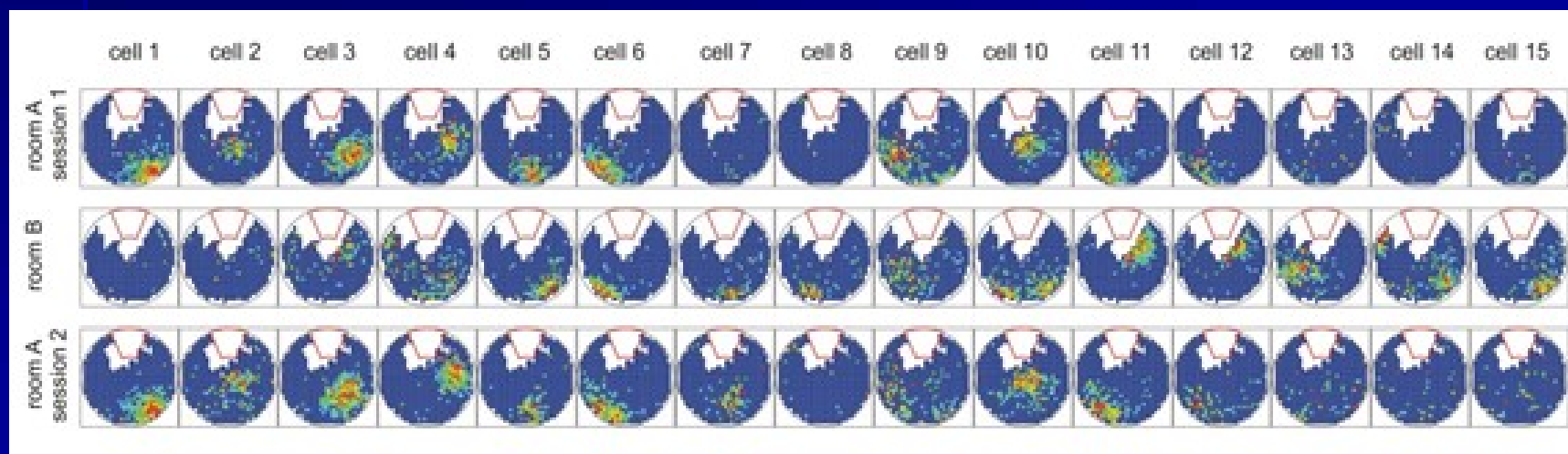
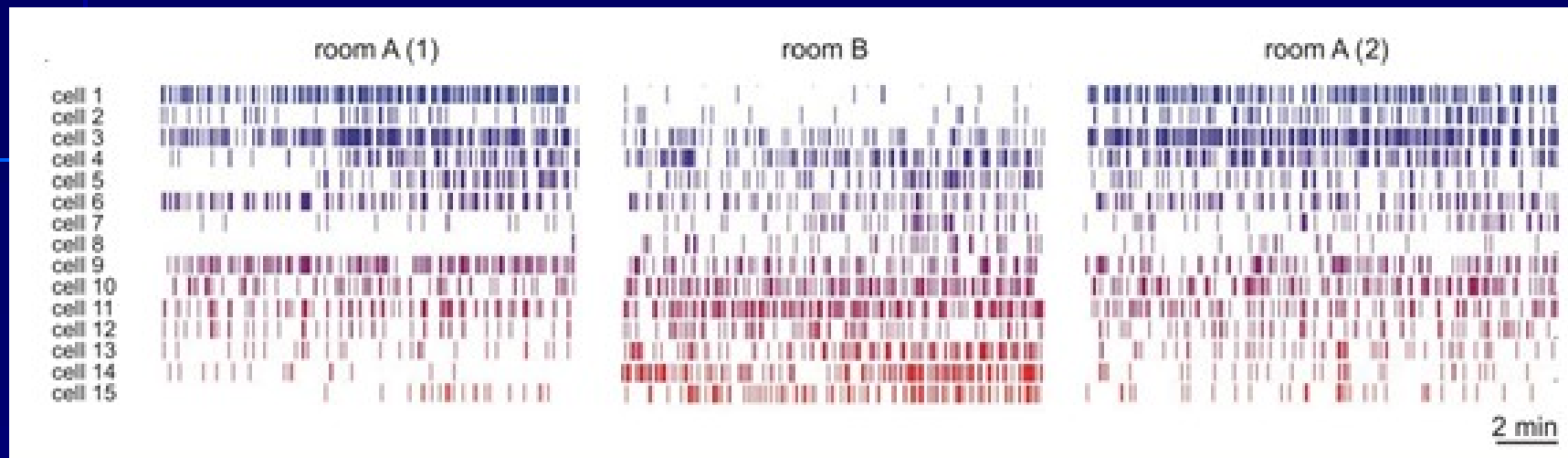


Vzájemná korelace



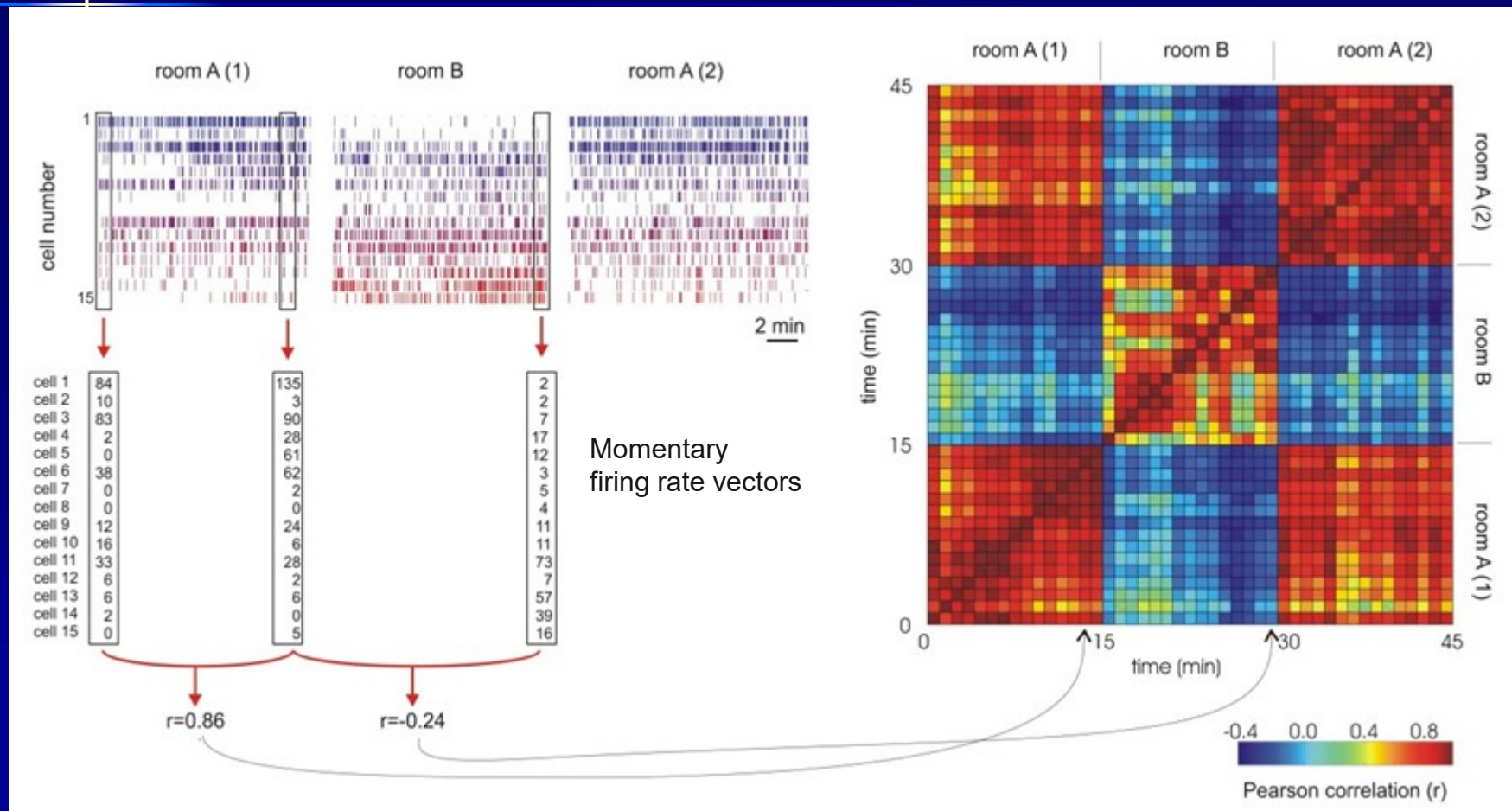
Příklady vzájemné korelace aktivity mezi páry hipokampálních neuronů místa. Některé páry neuronů se aktivují současně, jiné páry nepálí spolu, ale spíš s rozestupem ~ 50 ms.

Analýza aktivity neuronových ansámbliů

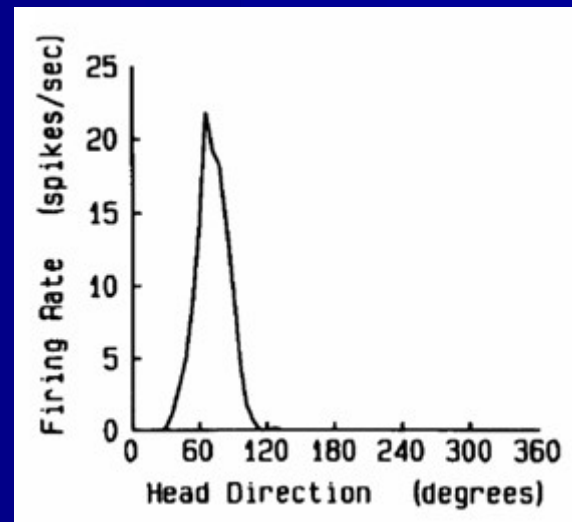
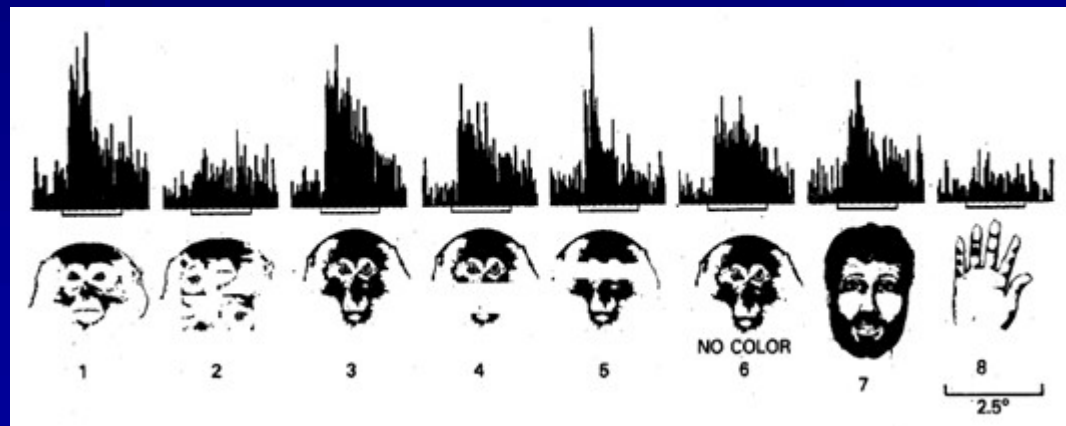
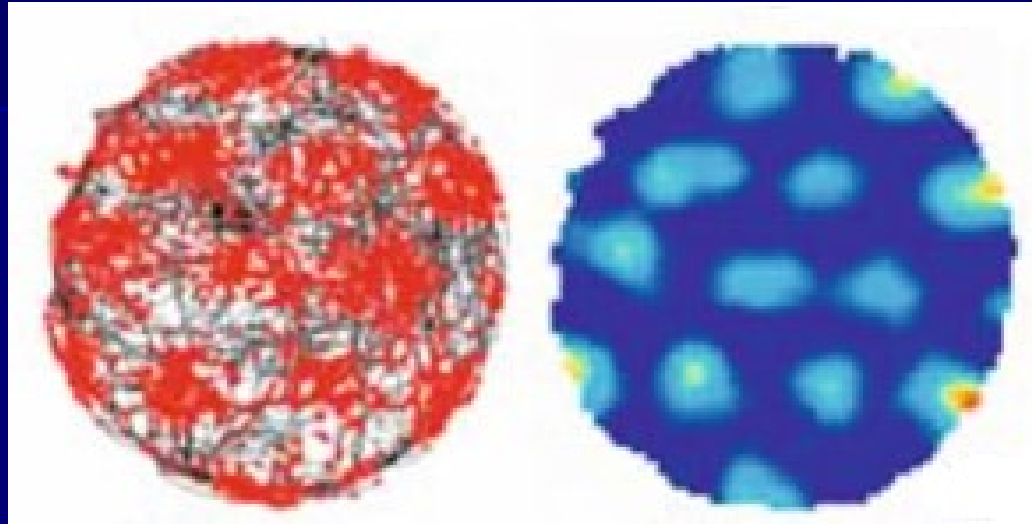
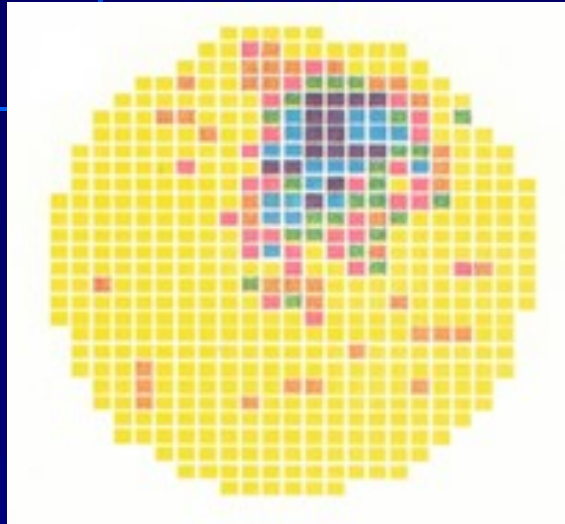


Příklad aktivity 15 současně nahraných hipokampálních neuronů ve dvou různých prostředích.

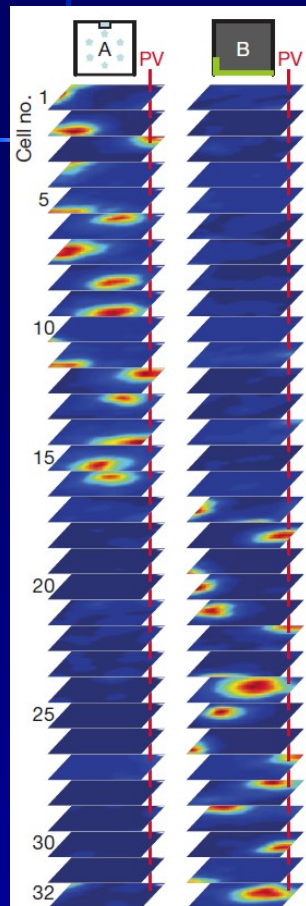
Korelace vektorů aktivity neuronálního ansámblu, korelační matice



Stimulus-response function (funkce podnětu a odpovědi)

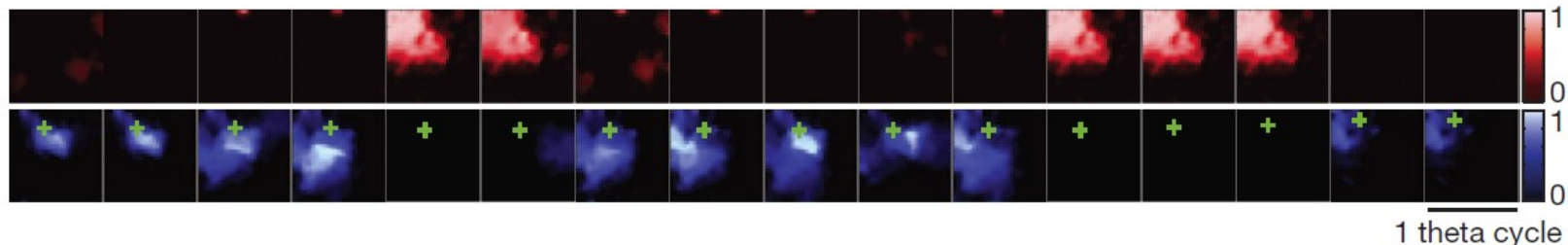


Určování polohy zvířete na základě aktivity hipokampálních neuronů místa.

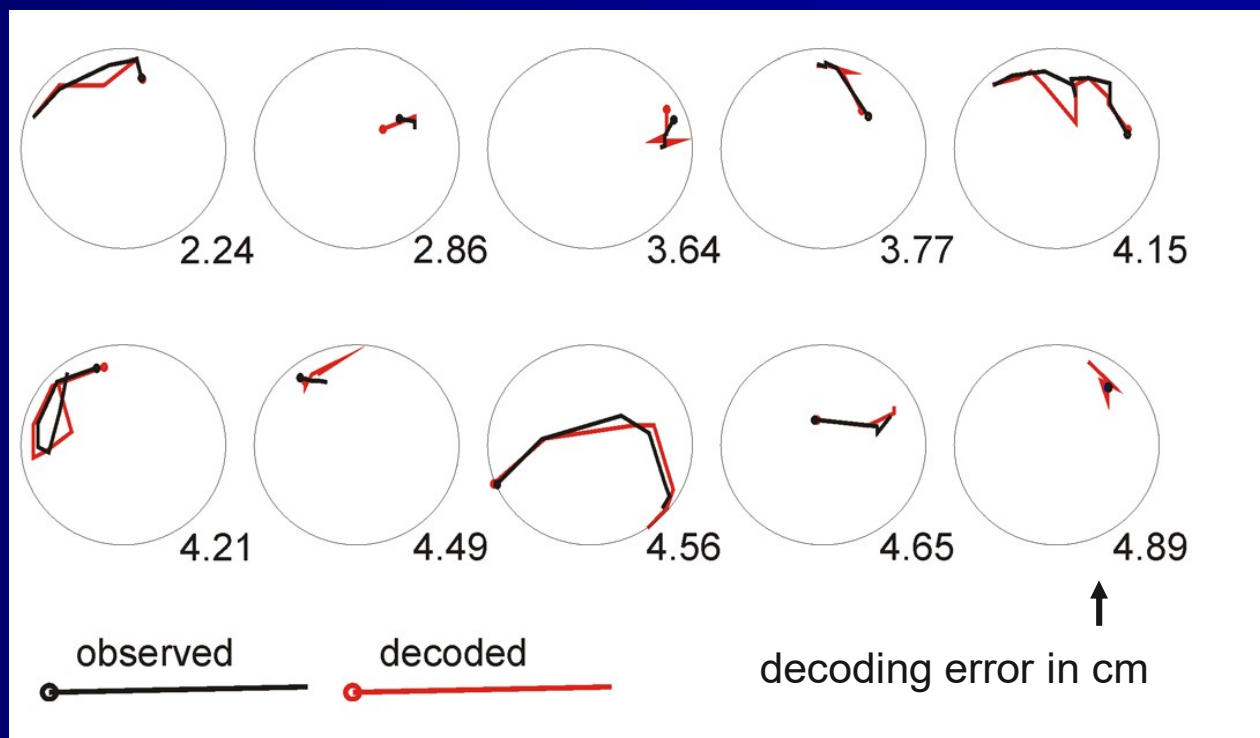
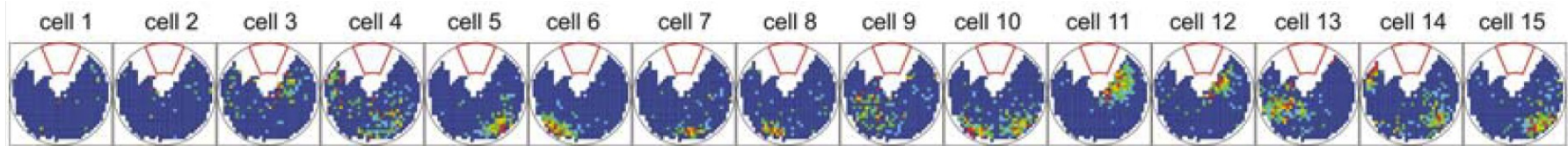


1. Pro každé místo v prostoru existuje charakteristický vektor aktivity ansámbly neuronů místa (referenční vektor pro dané místo).
2. Polohu potkana v prostředí v daný moment lze odhadnout na základě porovnání aktuální aktivity buněk v ansámbly s referenčními vektory aktivity. Referenční vektor, který nejlépe odpovídá momentální aktivitě, označuje místo s největší pravděpodobností výskytu potkana.

Jezek et al., 2011



Určování polohy zvířete na základě aktivity hipokampálních neuronů místa.



Kelemen & Fenton, 2013

Děkuji