

# Zpracování informace neurony ve sluchové dráze

**Petr Maršálek**

Ústav patologické fyziologie

1. LF UK

Podlesí, září 2013



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Osnova

1. princip funkce kochleárního implantátu
2. rozdíl mezi akustickou a elektrickou stimulací hlemýždě
3. kódování zvuku ve sluchové dráze
4. mechanismy prostorového slyšení
5. časový rozptyl akčních potenciálů
6. experimenty s oboustranně zavedenými implantáty
7. kódování zvuku a vliv na porozumění řeči
8. řízené nastavení časového rozptylu elektrické stimulace

# Úvod

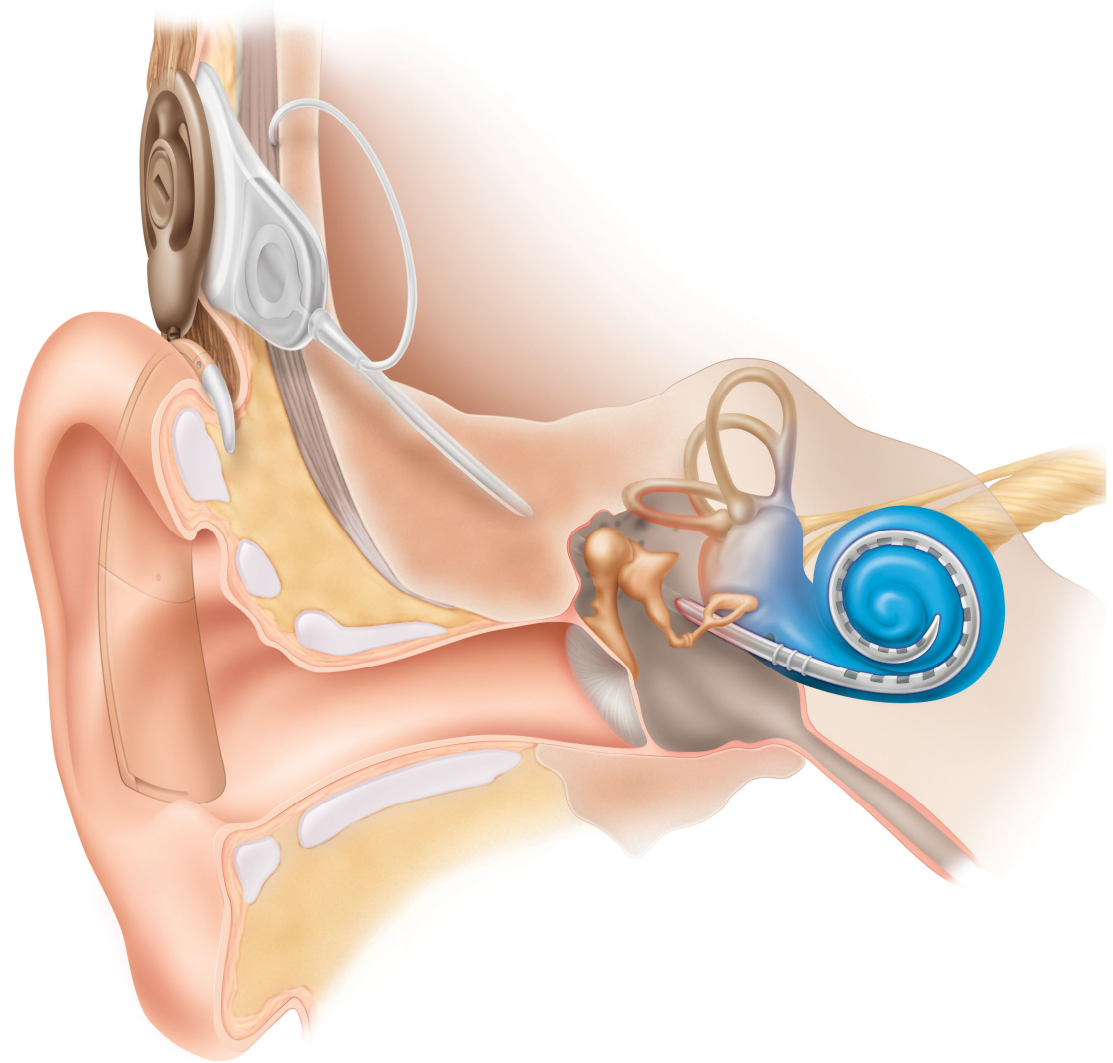
Na celém světě se rodí 1 až 2 děti z 1000 s úplnou ztrátou sluchu. Účinnou léčbu představuje v tomto případě kochleární implantát. V roce 2013 úspěšně užívá kochleární implantát již kolem 250 000 lidí, z toho asi třetina je v USA, třetina v Evropě a třetina ve zbytku světa. Česká republika se svými něco přes 500 uživateli zůstává pod evropským průměrem.

Oboustrannou implantaci má na světě přes 3000 osob, většina z nich je v Evropě, ale ne v Čechách.

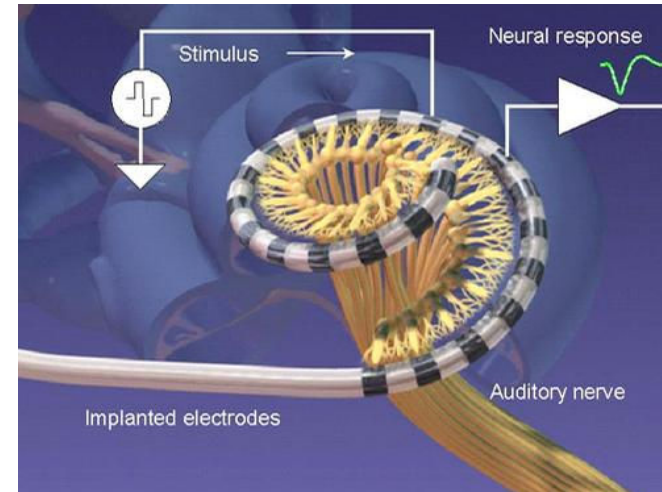
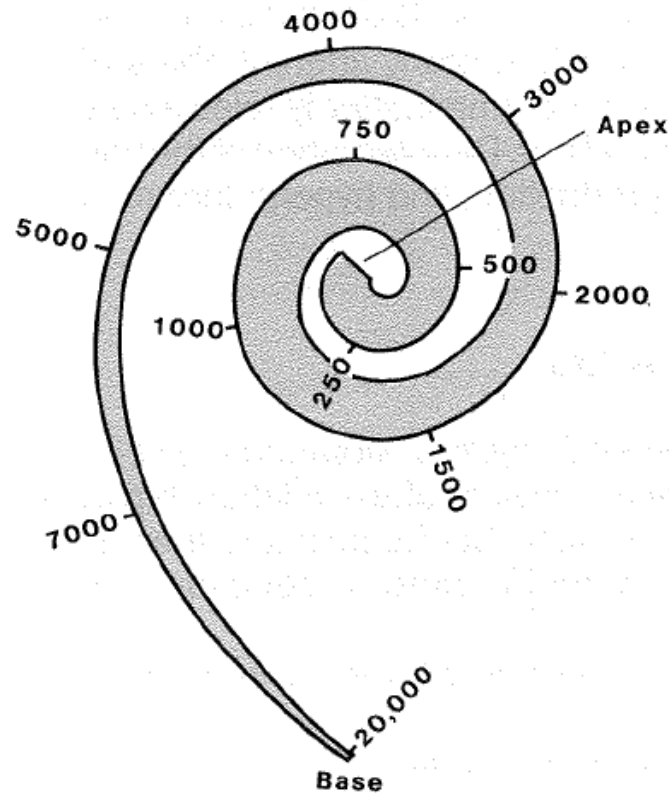
# Kochleární implantát



Kochleární implantát elektricky stimuluje pahýl sluchového nervu (svazek periferních vláken). Vnější část implantátu komunikuje s implantovanou pomocí elektro magnetického indukčního přenosu.

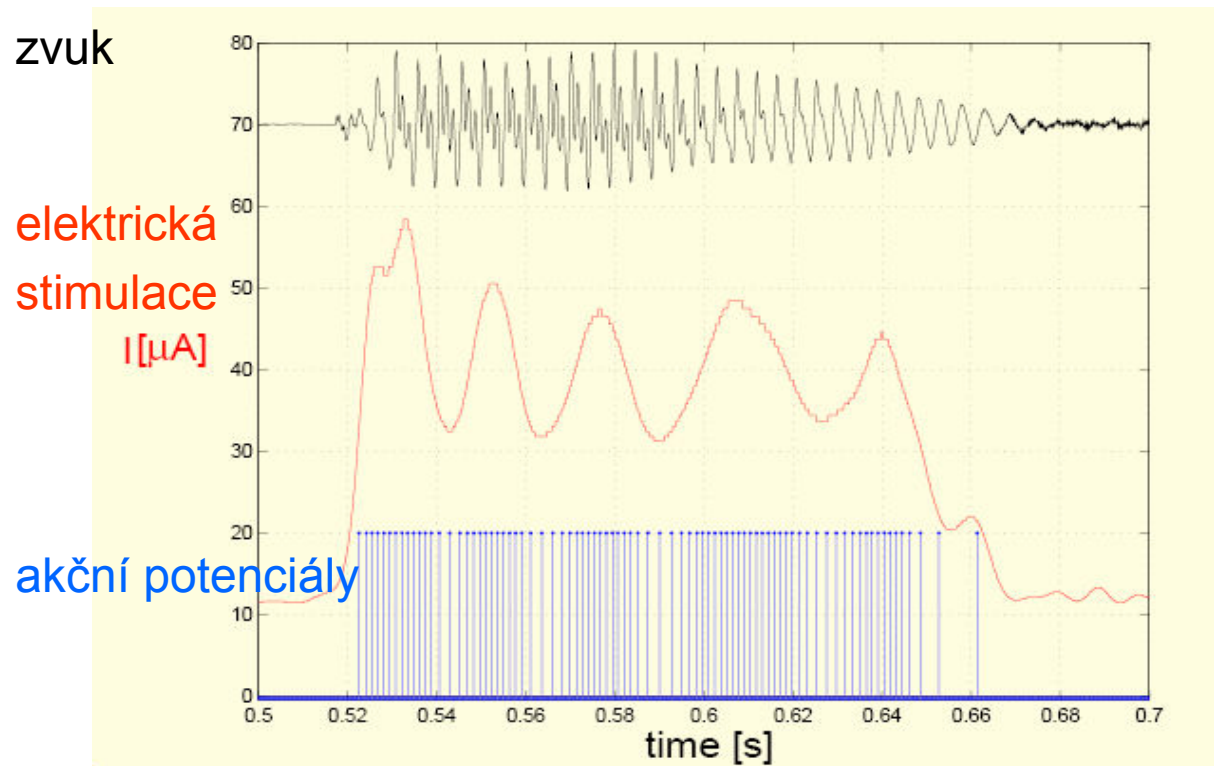


# Jak je zakódován zvuk ve sluchovém nervu a jak toto napodobuje implantát?



Jednotlivé frekvence zvuku dráždí různé části hlemýždě na základě jeho tónové (tzv. tonotopické) organizace. Elektrody kochleárního implantátu (v různém počtu, typicky 22) se zakončují v různých částech hlemýždě a využívají tento tónový princip.

# Příklad zpracování zvuku emulátorem kochleárního implantátu



energie české samohlásky vyslovené rodilým mluvčím

ekvivalentní úroveň stimulačního proudu v kochleárním implantátu

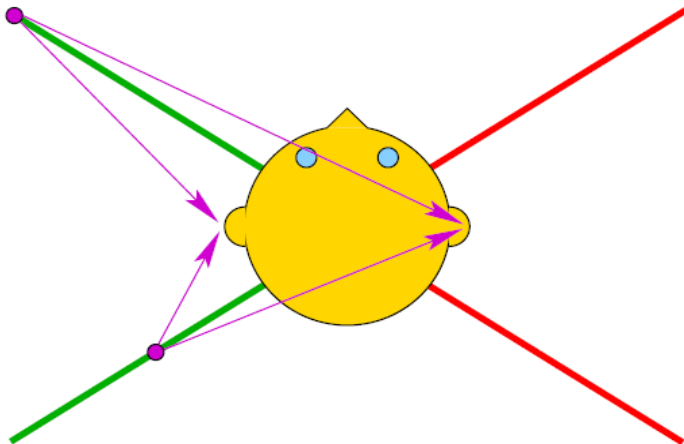
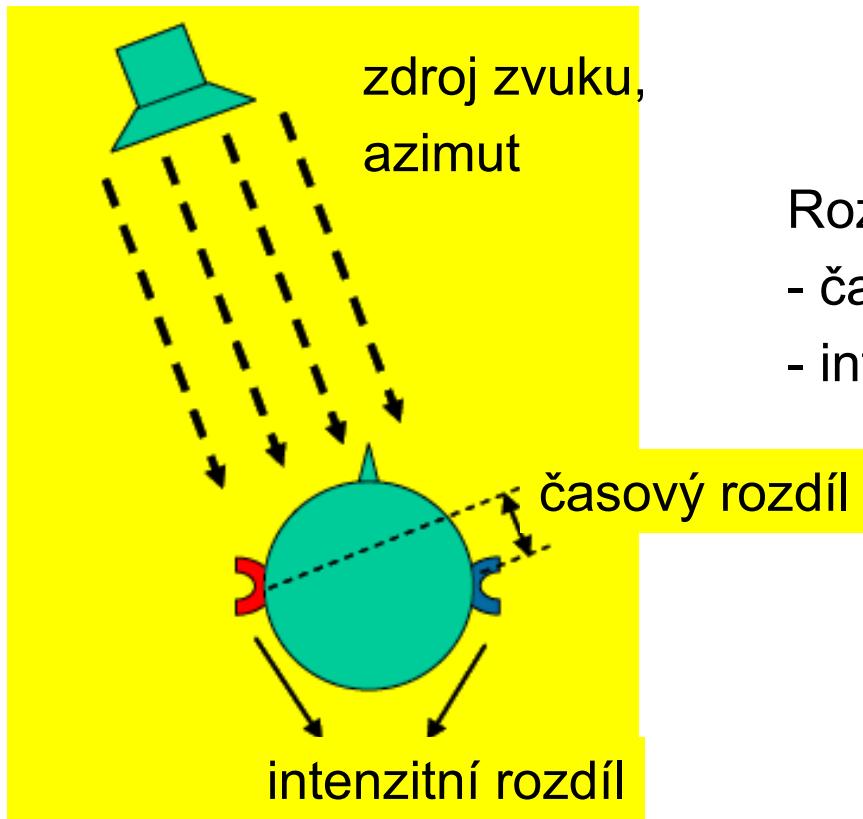
akční potenciály sluchového nervu

Graf je z článku: Drapal, Marsalek, Chinese J Physiol, 2010

# Prostorové slyšení

Rozdíly dané vzdáleností mezi ušima:

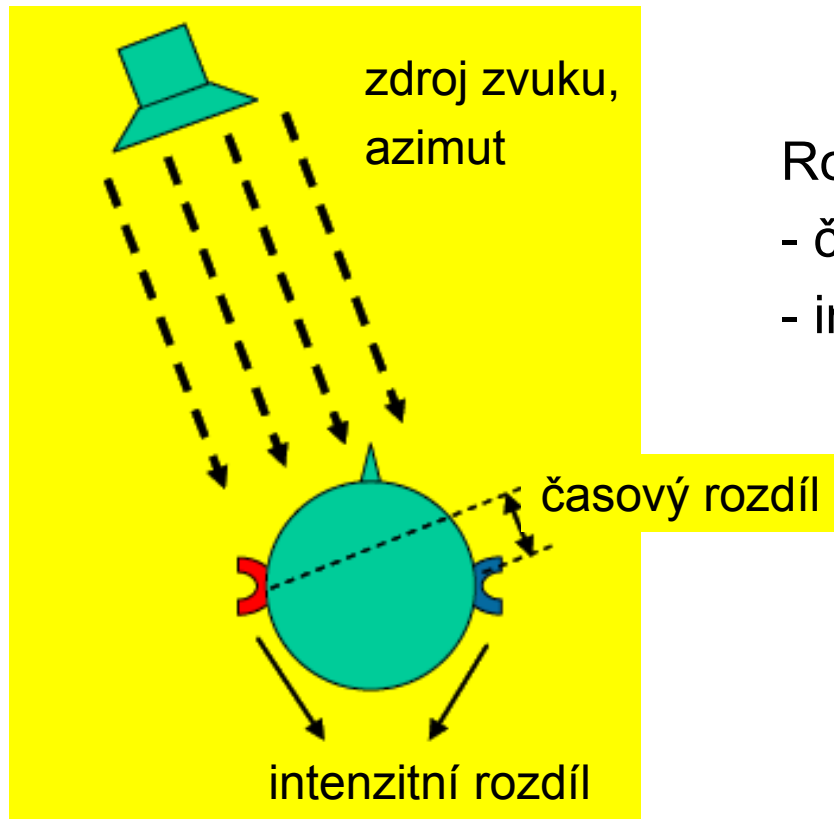
- časový rozdíl
- intenzitní rozdíl.



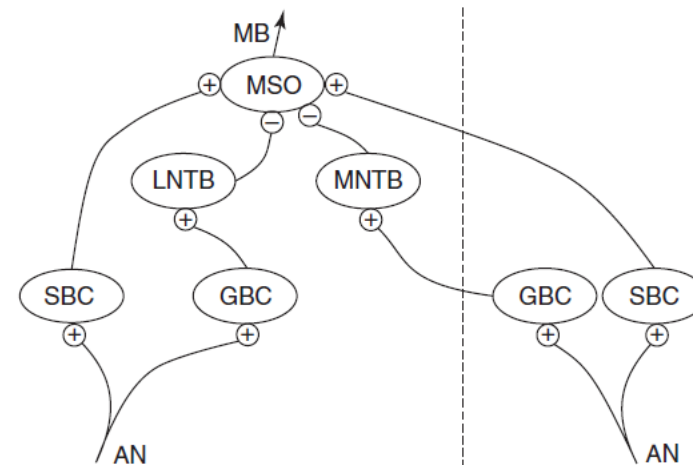
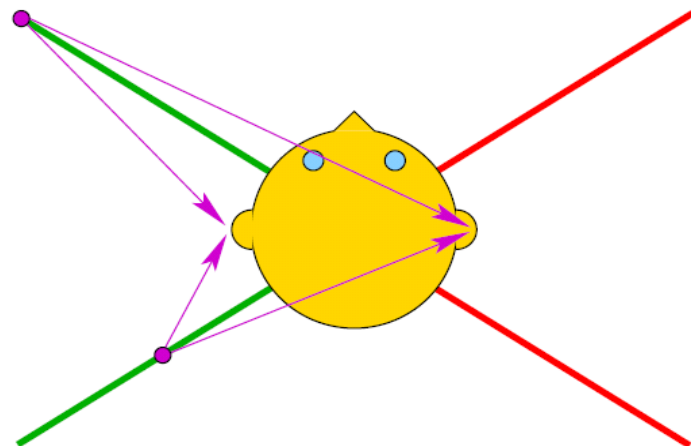
# Prostorové slyšení

Rozdíly dané vzdáleností mezi ušima:

- časový rozdíl
- intenzitní rozdíl



Nervové „centrum“: oliva superior  
Intenzitní rozdíl zpracovává  
LSO – laterální oliva superior  
časový rozdíl zpracovává  
**MSO – mediální oliva superior**  
v mozkovém kmeni.

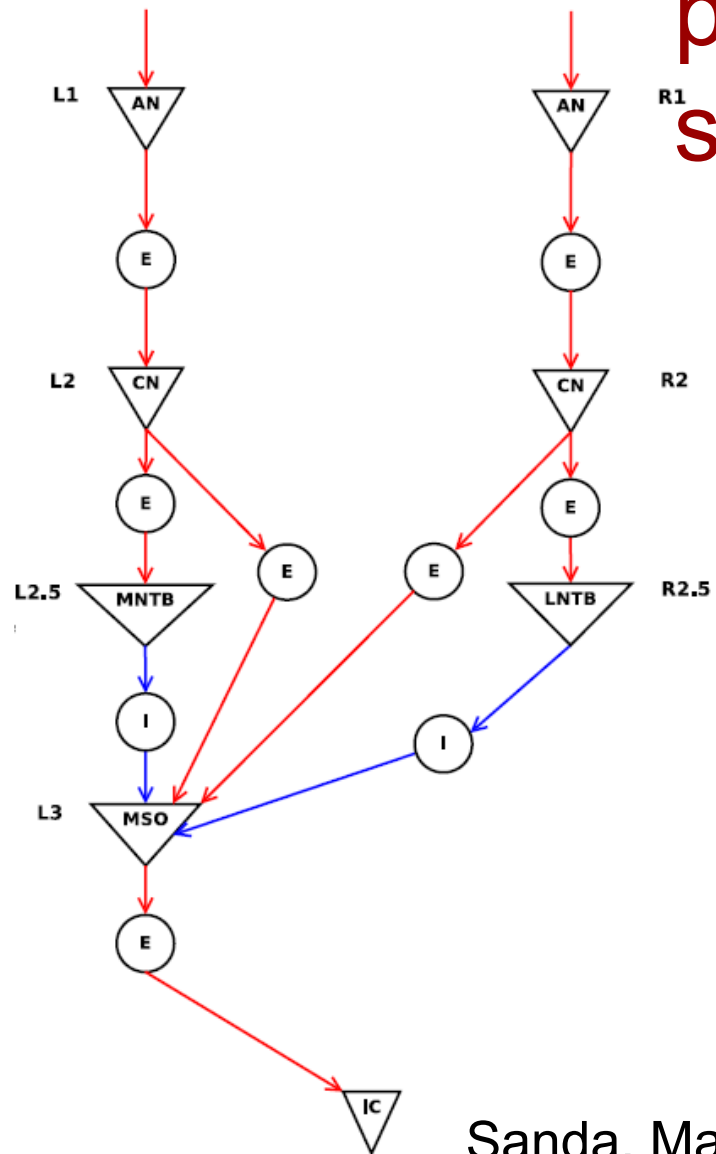


Drapal a Marsalek, Chinese J Physiol, 2010



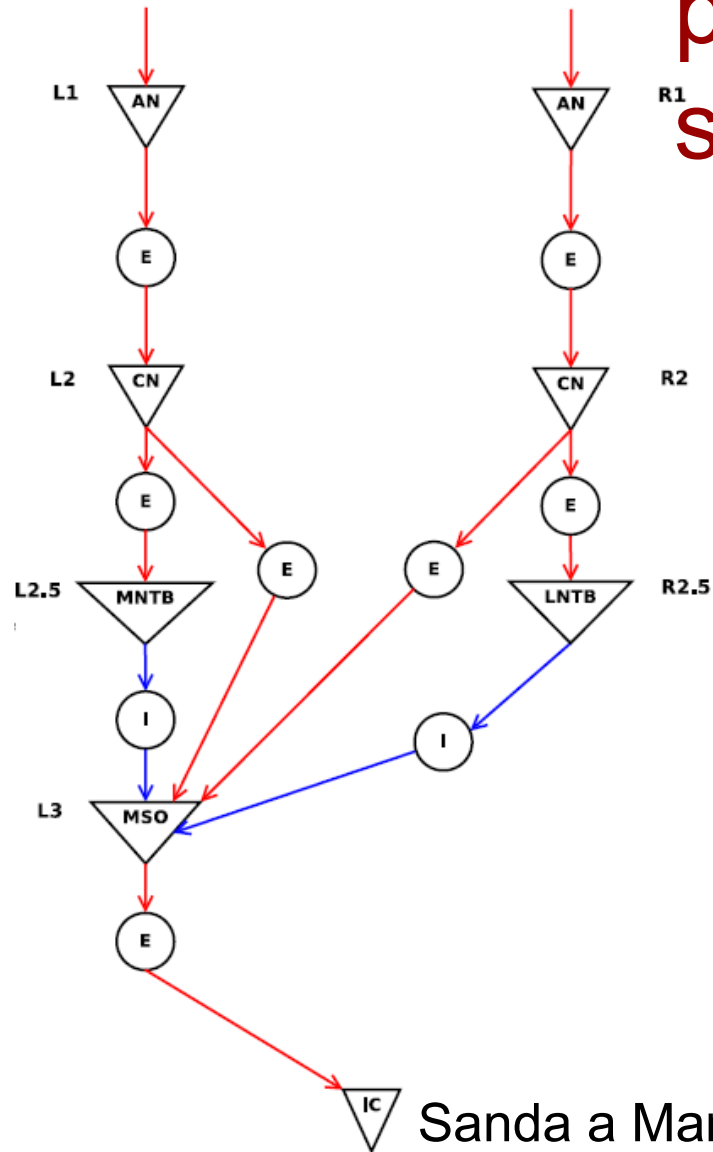
Anatomické schéma

# Neuronový obvod pro prostorové slyšení



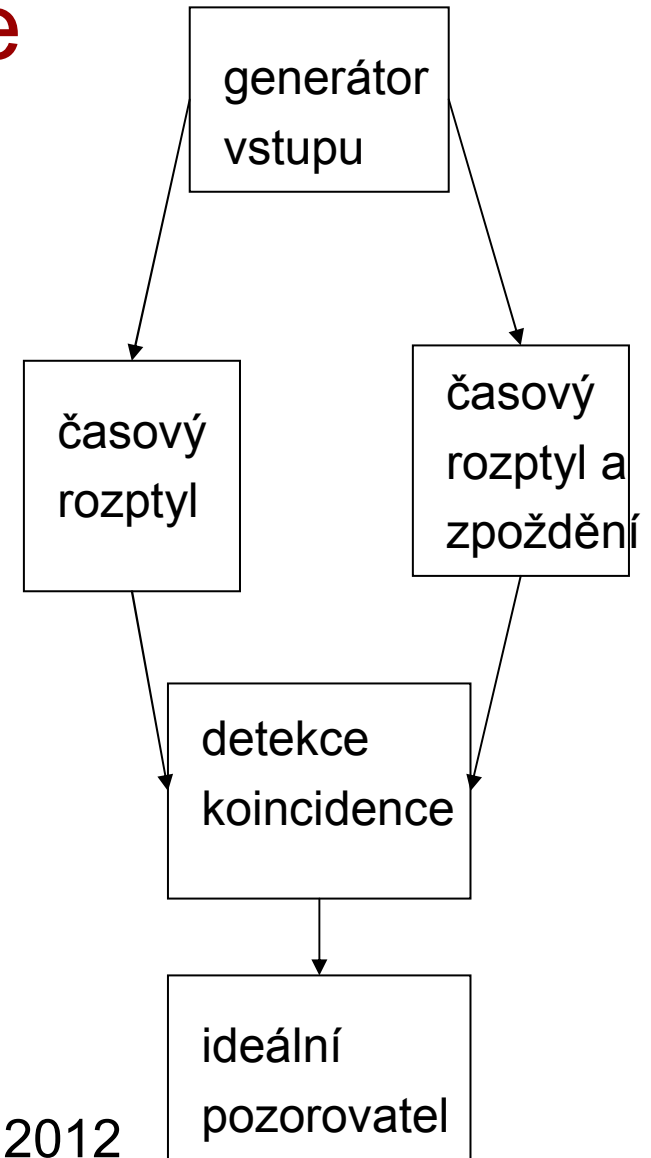
Sanda, Marsalek, Brain Research, 2012

# Anatomické schéma



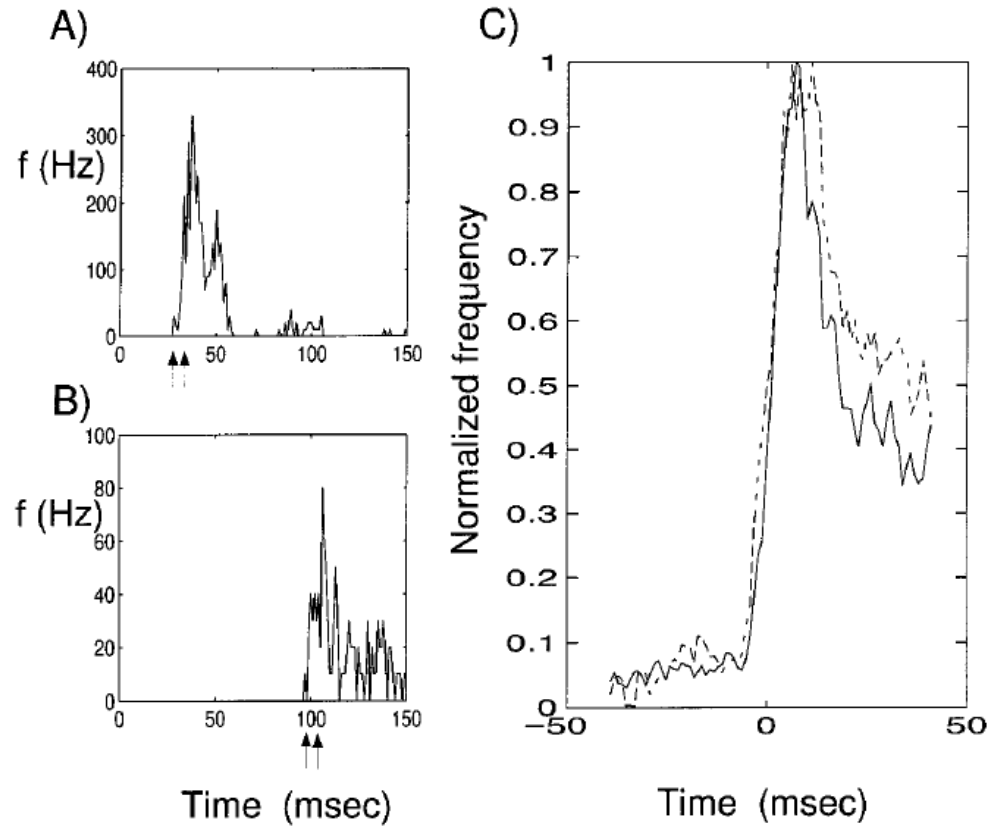
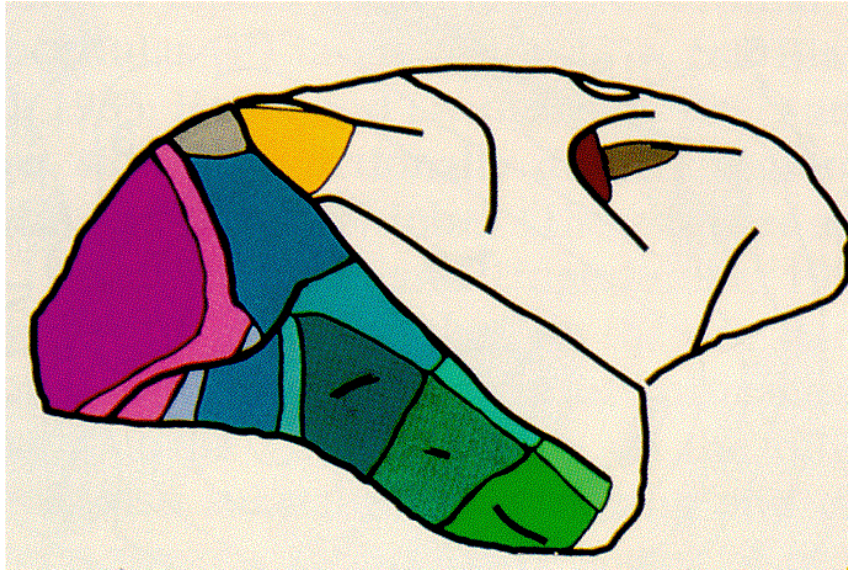
# Neuronový obvod pro prostorové slyšení

# Schéma modelu



Sanda a Marsalek, Brain Research, 2012

# Časový rozptyl akčních potenciálů



Velmi nízký rozptyl se udrží v celé smyslové dráze.

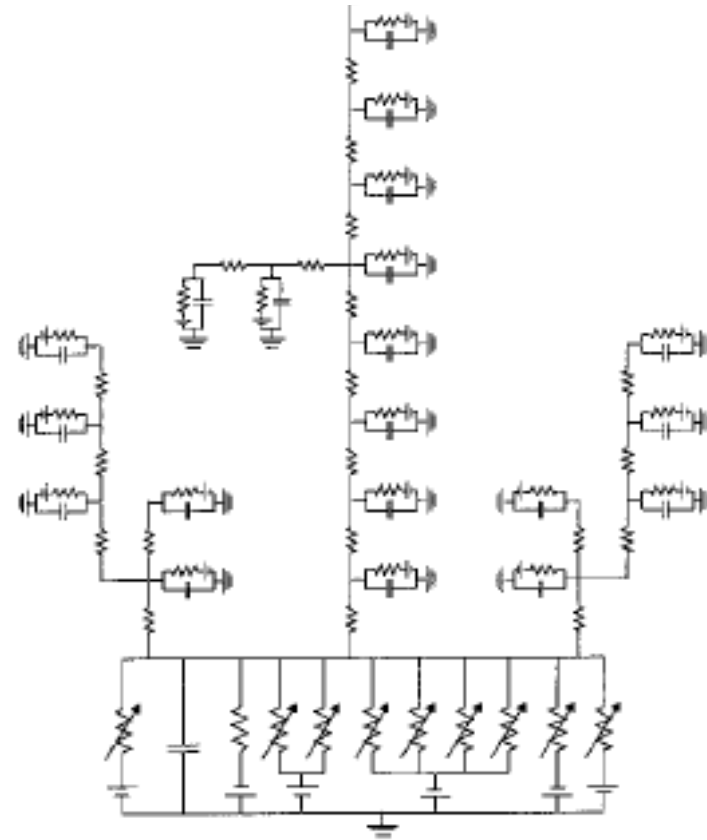
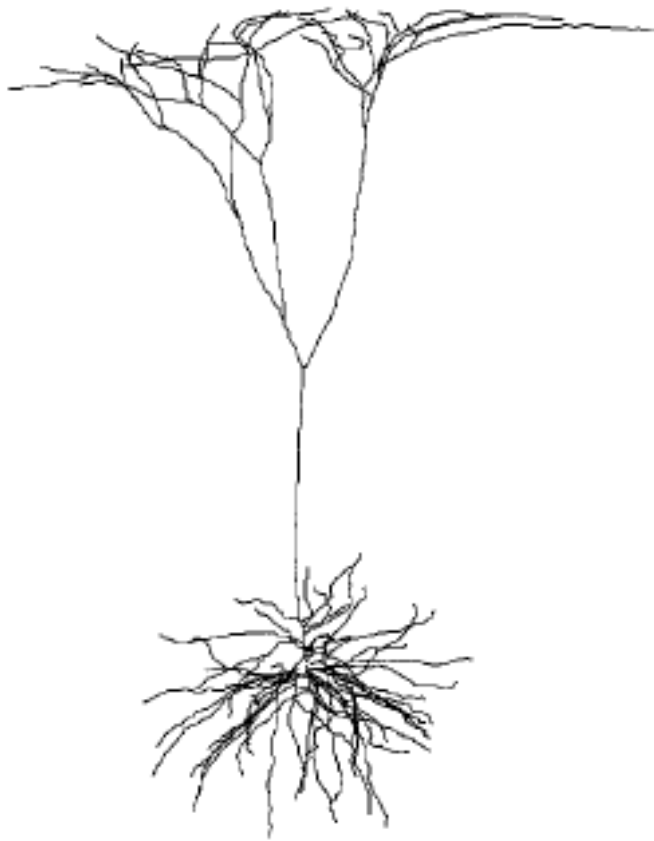
Vlevo: zrakové korové asociační oblasti u makaka,

vpravo: při postupu do dalších jader smyslové

dráhy se může tento rozptyl i zmenšovat. Marsalek, Koch, Maunsell,

Proc Natl Acad Sci USA, 1997<sup>11</sup>

# Pyramidová buňka mozkové kůry je modelována ekvivalentním elektrickým obvodem



Marsalek, Koch, Maunsell,  
Proc Natl Acad Sci USA, 1997 <sup>12</sup>

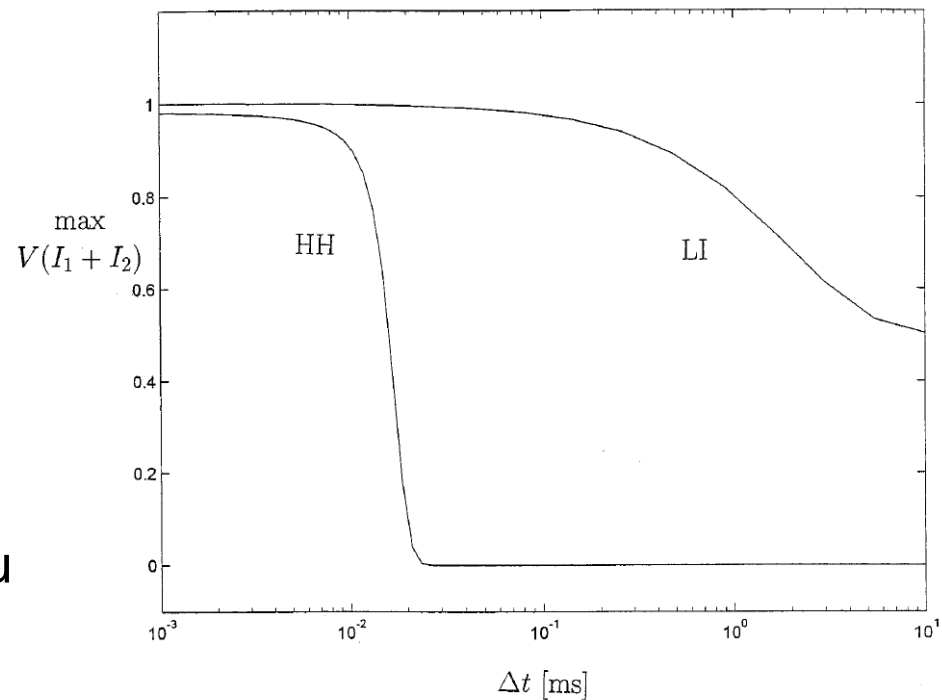
# Mechanismy časování akčních potenciálů na úrovni jednoho neuronu

$$C \frac{dV}{dt} = G_{\text{Na}} g_{\text{Na}}(V)(V_{\text{Na}} - V) + G_{\text{K}} g_{\text{K}}(V)(V_{\text{K}} - V) + G_{\text{L}} g_{\text{L}}(V)(V_{\text{L}} - V) + I$$

$$\tau_{j_{\text{ion}}} \frac{dj_{\text{ion}}}{dt} = j_{\text{ion}, \infty} - j_{\text{ion}}, j_{\text{ion}} \in \{m_{\text{Na}}, h_{\text{Na}}, m_{\text{K}}, h_{\text{K}}\}$$

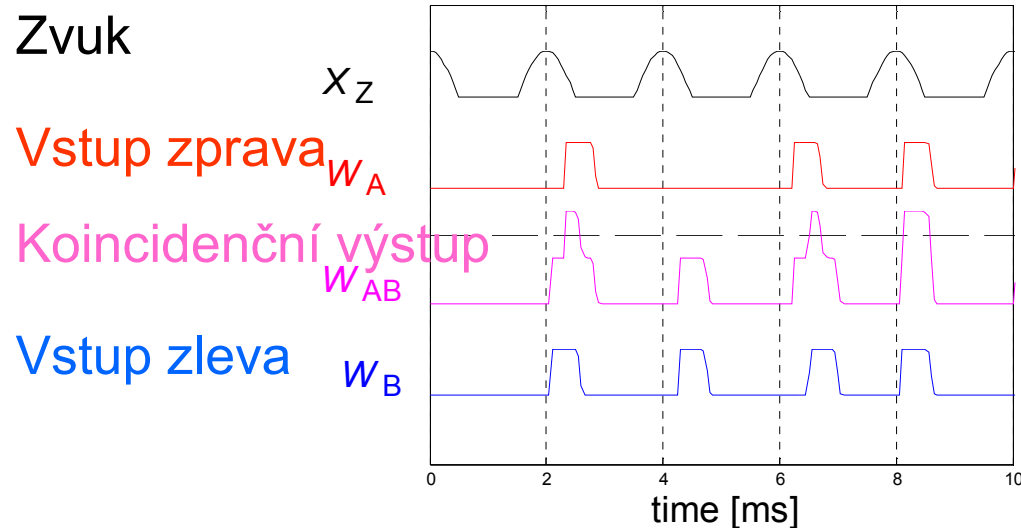
$$j_{\text{ion}} = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{V_{j_{\text{ion}}, 0.5} - V}{K_{j_{\text{ion}}}}\right)}$$

Ukázali jsme, že neuronový mechanismus realizovaný s použitím rovnic Hodgkina a Huxleyho umožňuje detekci koincidence v řádu desítek mikrosekund, na rozdíl od modelu s RC obvodem (= tzv. pasivní obvod, odpor + kondenzátor).



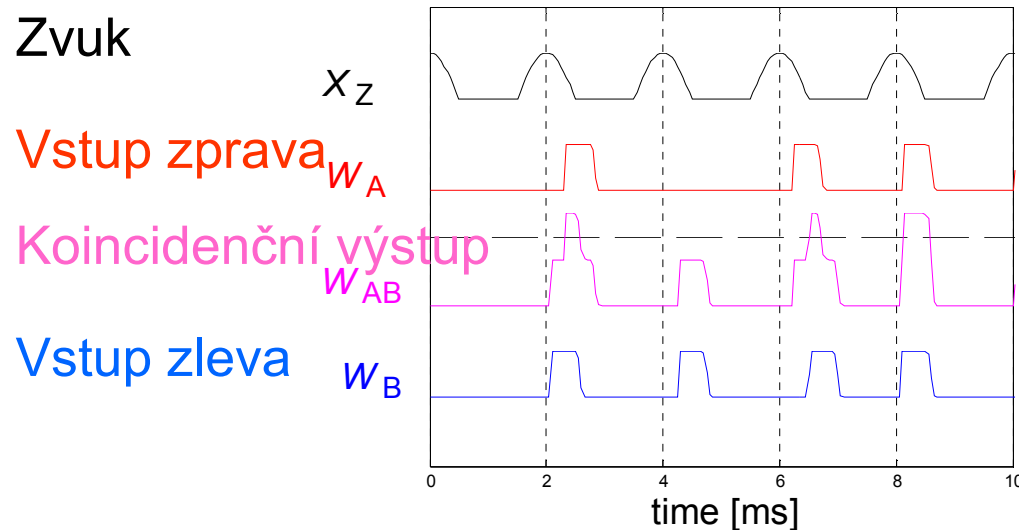
# Příklad zpracování informace neurony olivy superior, detekce koincidence akčních potenciálů

Model s excitací

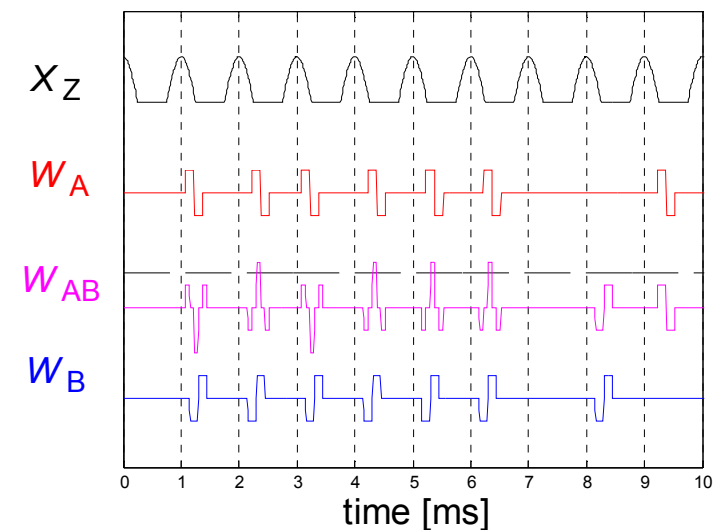


# Příklad zpracování informace neurony olivy superior, detekce koincidence akčních potenciálů

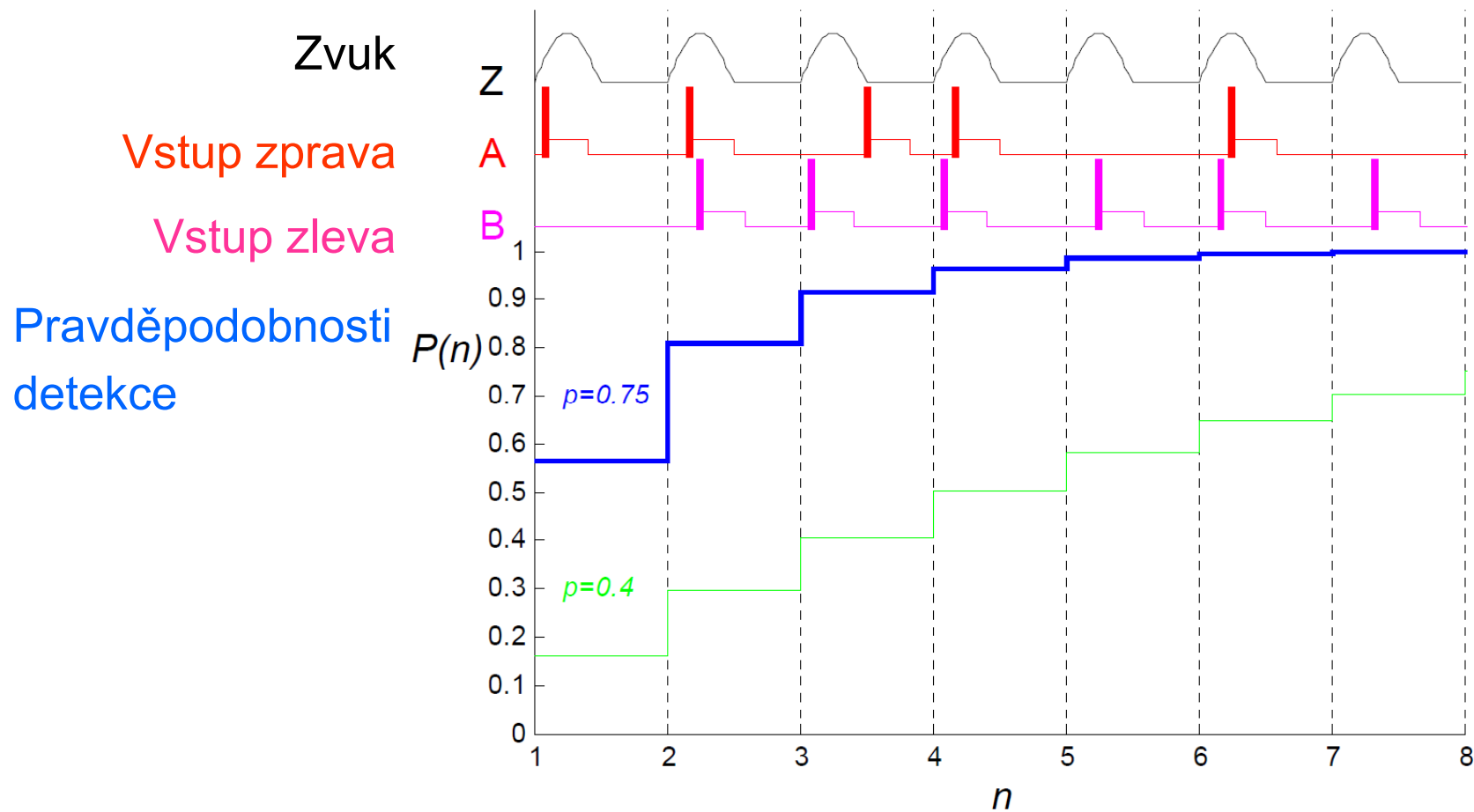
Model s excitací



Model s excitací a inhibicí



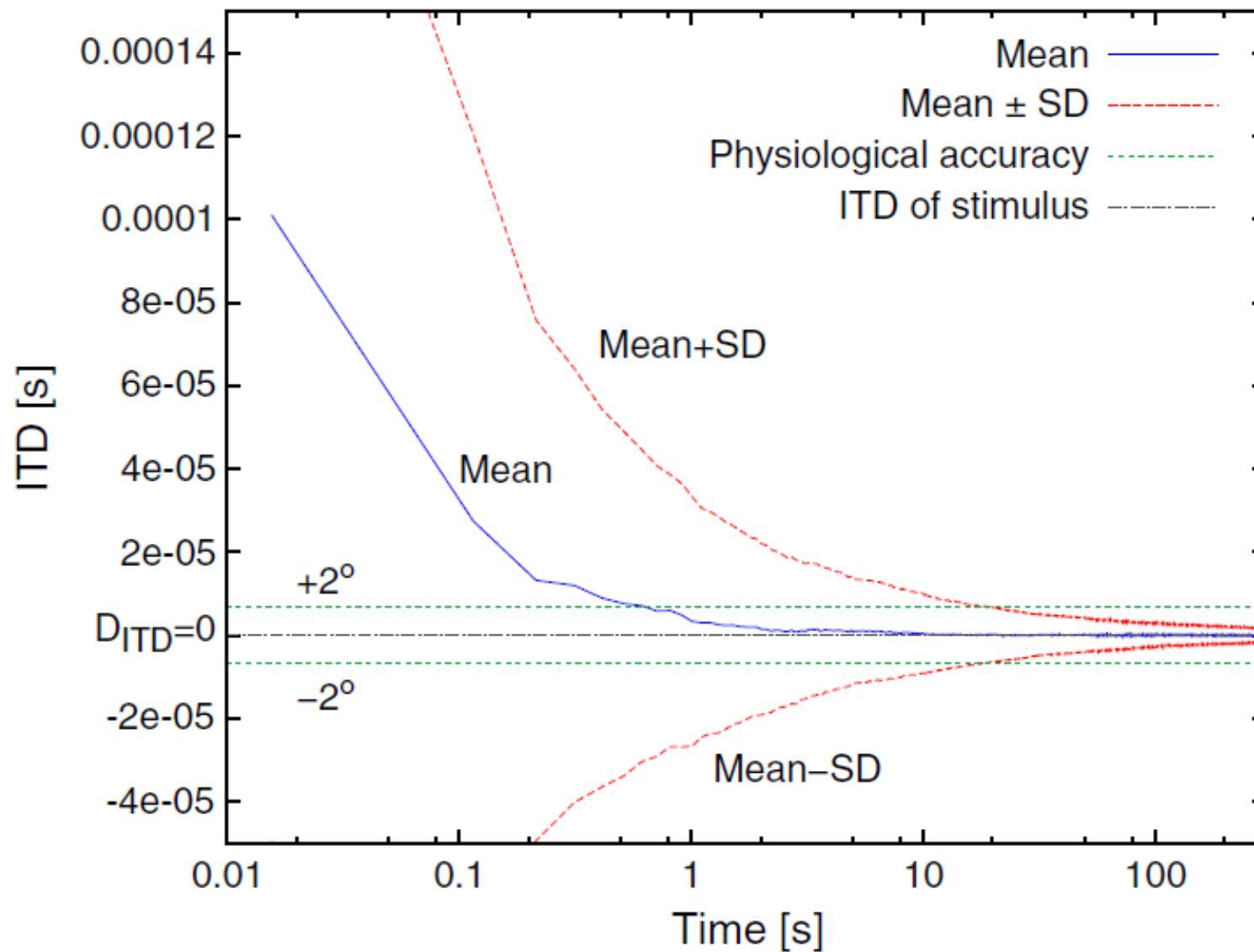
# S každým dalším akčním potenciálem se zvyšuje pravděpodobnost správného určení azimutu



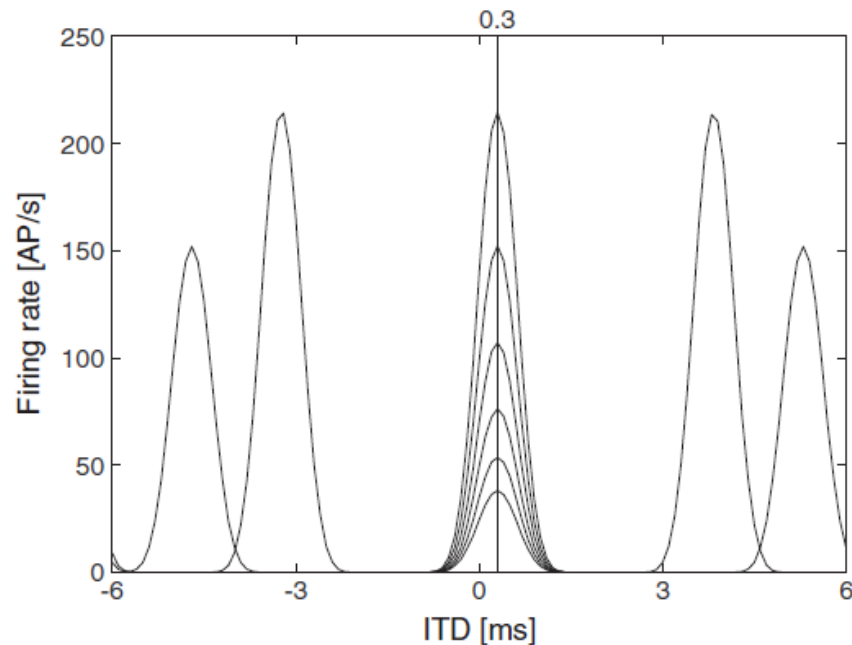


# Čas potřebný pro detekci azimutu

Ideální pozorovatel využívající jeden neuron dosáhne psychoakustické přesnosti (zelená) určení časového rozdílu mezi ušima s průměrnou aktivitou (modrá) v čase odečteném na ose x.

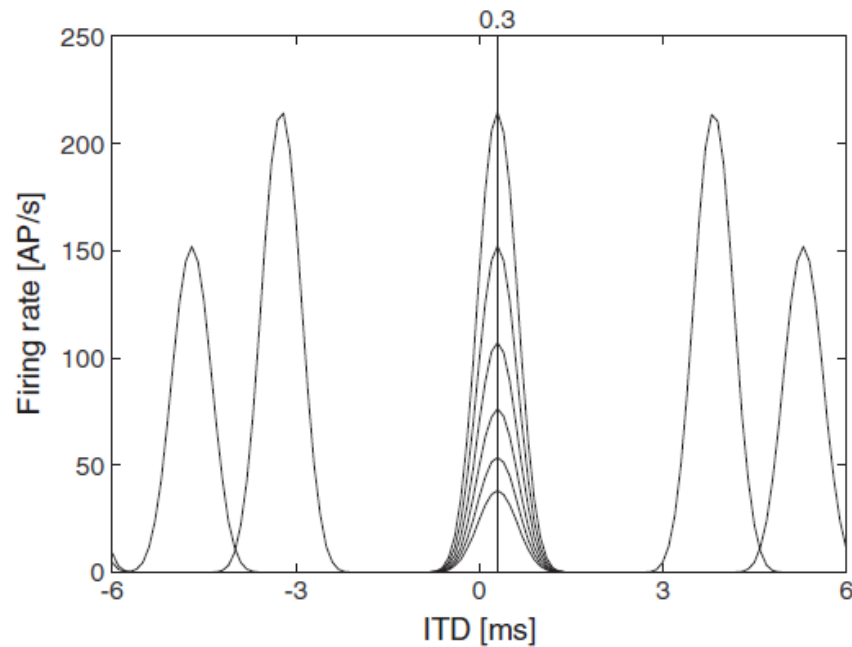


# Určení azimutu v mediální olivě superior v závislosti na frekvenci zvuku



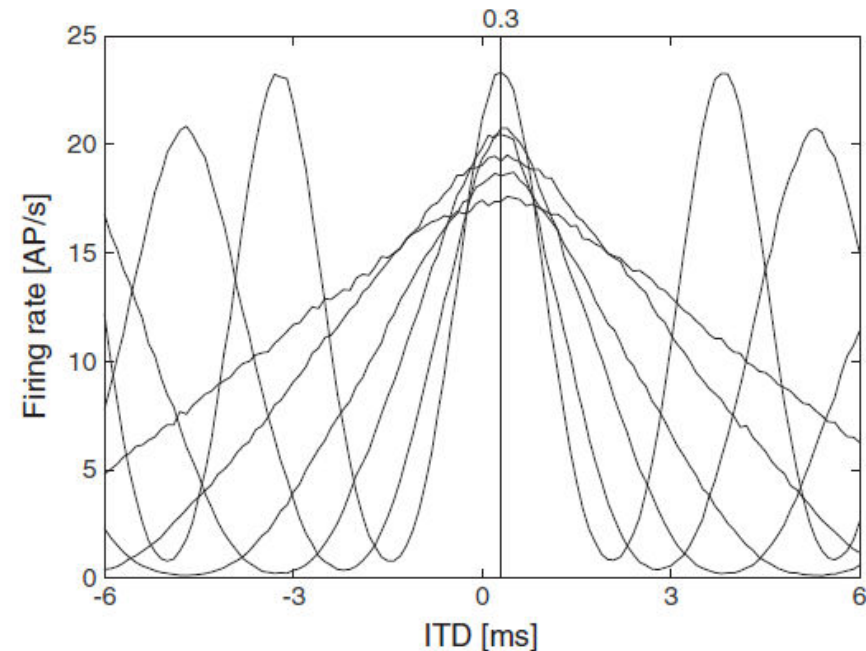
Náš model využívající  
zjednodušené generování akčních  
potenciálů jednotlivými neurony  
až po olivu superior

# Určení azimutu v mediální olivě superior v závislosti na frekvenci zvuku



Náš model využívající zjednodušené generování akčních potenciálů jednotlivými neurony až po olivu superior

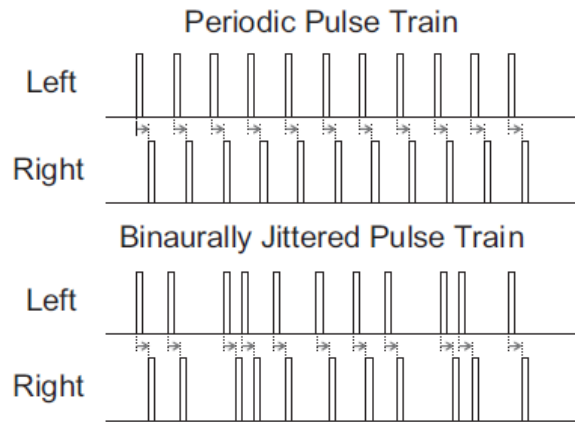
Sanda, Marsalek, Brain Research, 2012



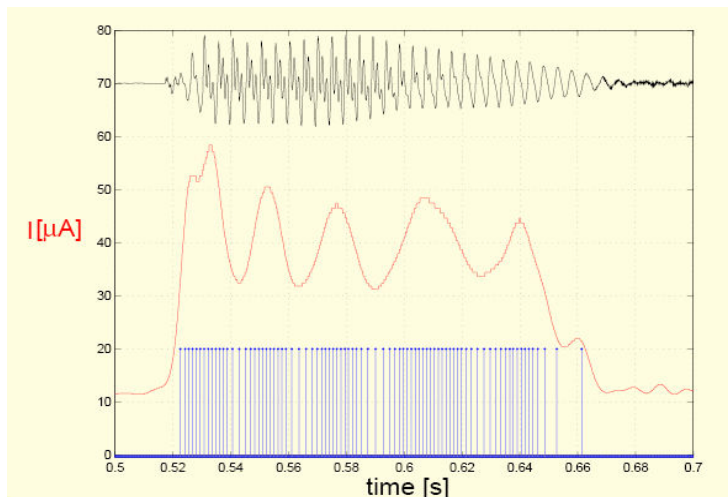
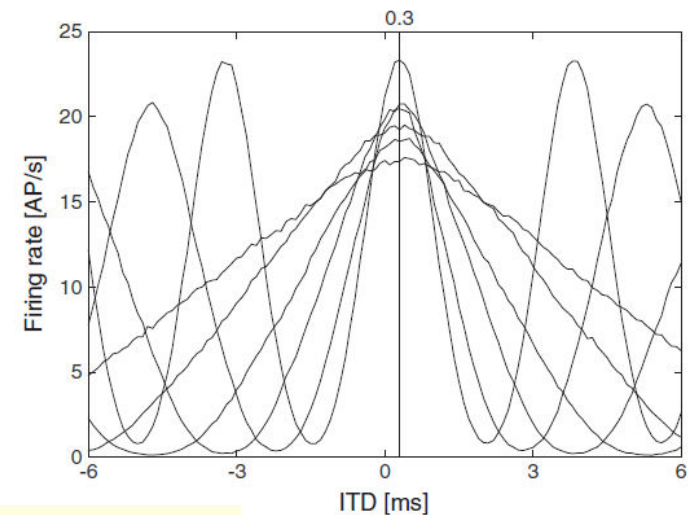
Náš model propojený se vstupem od modelu sluchové periferie od vláskové buňky až po neuron ganglion spirale, podle Raye Meddise

(v jeho člancích z let 2000-2010),

# Příklad stimulace u oboustranně implantovaných subjektů



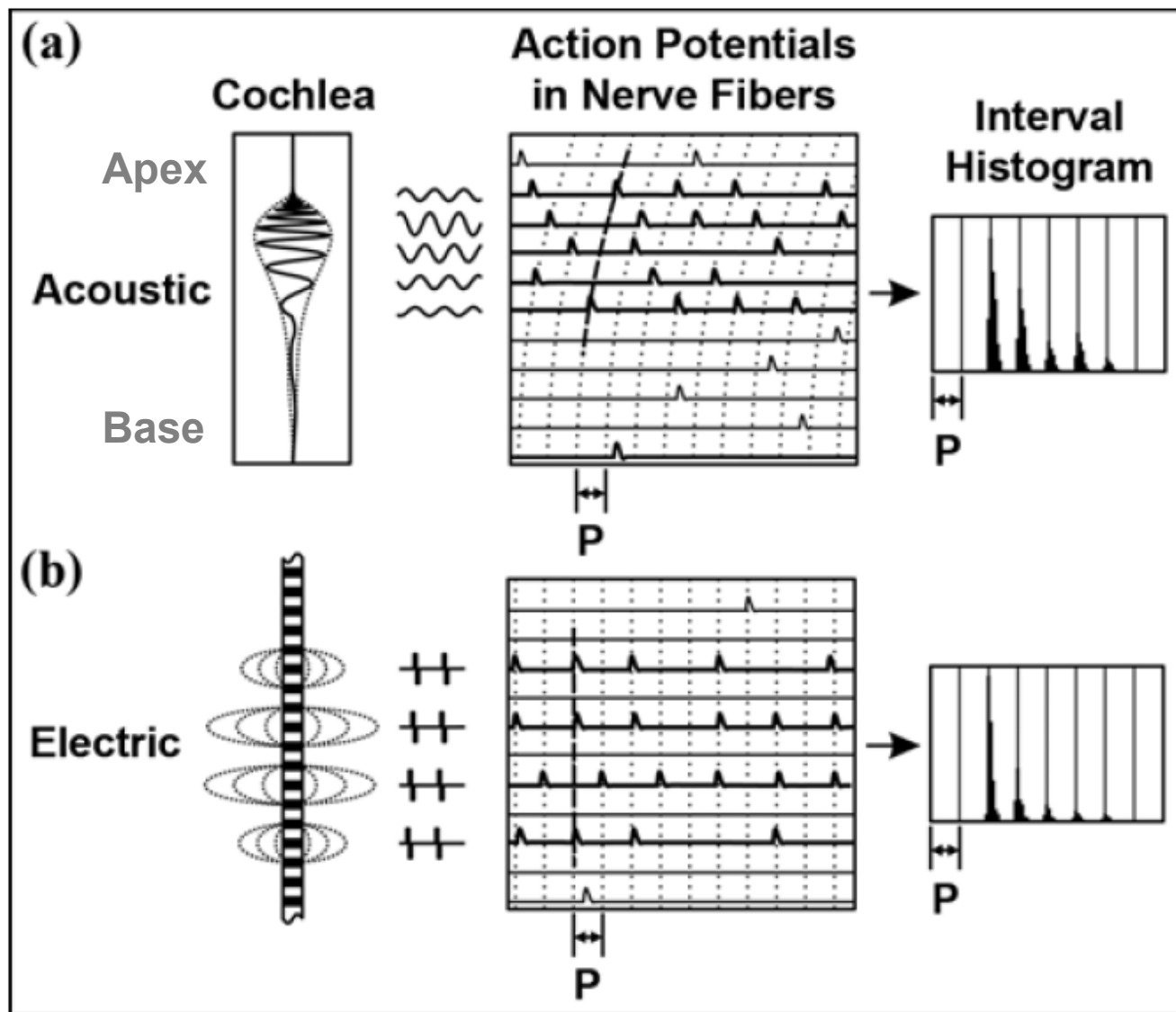
Laback, Majdak, Proc Natl Acad Sci USA, 2007  
Programová kaskáda emulátoru kochleárního implantátu a binaurální sluchové dráhy vysvětluje psychoakustické jevy pozorované při experimentální stimulaci oboustranně implantovaných pacientů.



# Souhrn

1. V kódování informace o fyzikálních podnětech se ve smyslových drahách významným způsobem uplatňuje časový rozptyl akčních potenciálů.
2. Během šíření vyvolané aktivace ve smyslové dráze má tento rozptyl danou hodnotu, která se nezvětšuje, jak jsme prokázali ve zrakovém systému.
3. Naše další práce se týkají A: kódování zvuku ve sluchové dráze, B: její části s prostorovým slyšením a C: slyšení pomocí kochleárního implantátu.
4. Nastavení časového rozptylu u kochleárního implantátu umožní zdůraznění žádoucích modalit sluchového stimulu při poslechu řeči.
5. Různé modality, jakými jsou například barva hlasu, melodie hlasu, azimut směru hlasu (zaměřeného mezi více hlasy), a mnoho dalších modalit. Jsou zakódovány u normálního sluchu i u kochleárních implantátů pomocí definovaných (a zčásti známých) parametrů (rozptyl, synchronizace) posloupnosti akčních potenciálů.
6. Psycho-fyzikální experimenty u dobrovolníků s oboustranně zavedenými implantáty podporují naši představu o úloze časového rozptylu při detekci prostorových parametrů zvuku.

# Časový rozptyl v hlemýždi



Rozdíl mezi fyziologickou (akustickou) stimulací hlemýždě a (elektrickou) stimulací kochleárním implantátem

# Literatura – prameny k jednotlivým obrázkům

- MARSALEK P., KOCH C., MAUNSELL J. On the relationship between synaptic input and spike output jitter in individual neurons, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 94, 735–740, 1997.
- MARSALEK P. Coincidence detection in the Hodgkin-Huxley equations, *Biosystems*, 58, 83-91, 2000.
- MARSALEK P., KOFRANEK J. Spike encoding mechanisms in the sound localization pathway, *Biosystems*, 79(1-3), 191-198, 2005.
- MARSALEK P., LANSKY P. Proposed mechanisms for coincidence detection in the auditory brainstem, *Biol Cybern*, 92(6), 445-451, 2005.
- MARSALEK P, DRAPAL M, Mechanisms for coincidence detection in the auditory brainstem: Examples. In: *Mathematical modeling of Biological Systems, Vol. 2*, Eds.: A. Deutsch, P. Lansky, and others. Birkhauser, Boston, 255-264, 2008.
- DRAPAL M., MARSALEK P. Stochastic model shows how cochlear implants process azimuth in real auditory space, *Chinese J Physiol*, 53(6), 439-446, 2010.
- DRAPAL M, MARSALEK P, Stochastic model explains role of excitation and inhibition in binaural sound localization in mammals, *Physiol Res*, 60(3), 573-583, 2011.
- SANDA P., MARSALEK P., Stochastic interpolation model of the medial superior olive neural circuit, *Brain Res*, 1434, 257-265, 2012.

**Děkuji za pozornost**