



CEITEC

Central European Institute of Technology  
BRNO | CZECH REPUBLIC

## Artefakty a šum ve fMRI, zdroje variability dat, variabilita a modelování HRF

Bartoň M.

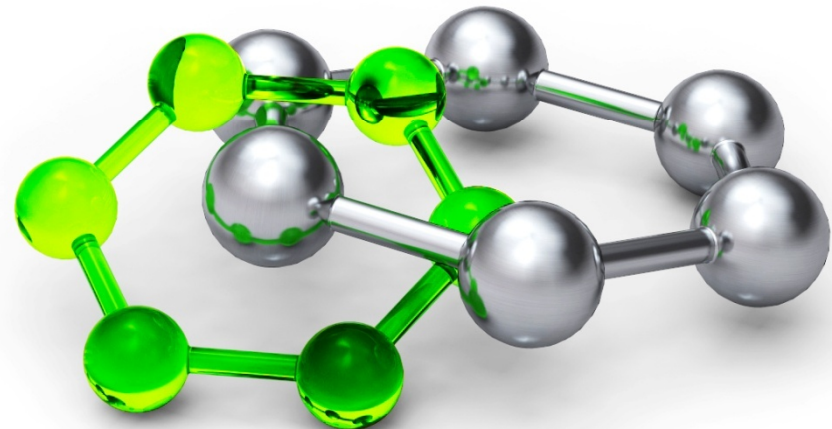
CEITEC MU, Masarykova univerzita



EUROPEAN UNION  
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND  
INVESTING IN YOUR FUTURE



2007-13  
OP Research and  
Development for Innovation



# Obsah prezentace



- Arteficiální variabilita
  - nežádoucí efekty při GE EPI akvizici obrazů
  - projevy artefaktů v časových řadách fMRI
- BOLD efekt
  - korelace HRF s mozkovou činností
  - modelování, vlastnosti HRF
  - pokročilé modelování BOLD signálů

# Základní dělení příčin arteficiální modulace MRI signálu při EPI snímání



- Multiplikativní:
  - fluktuace počtu rezonujících jader a jejich T1 saturace (počáteční amplituda FID signálu)  $S_0(t)$
  - fluktuace míry transversální relaxace  $R2^*(t)$
- Aditivní:
  - termální šum  $n(t)$

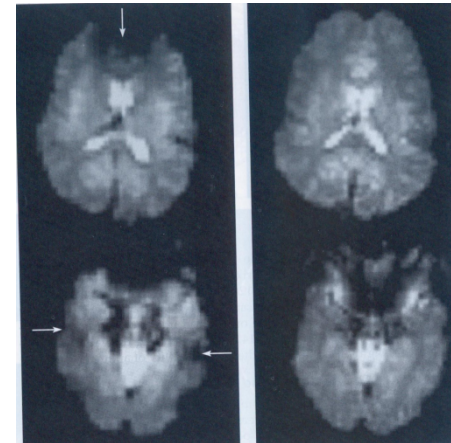
$$S(t) = S_0(t) \cdot \exp(-TE \cdot R2^*(t)) + n(t)$$

Wu G, Li SJ (2005) Theoretical noise model for oxygenation-sensitive magnetic resonance imaging. Magn Reson Med 53:1046-1054.

# Nežádoucí efekty při GE EPI akvizici

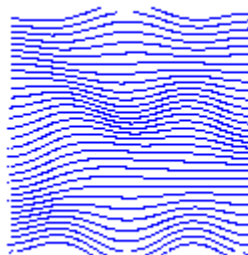


- Susceptibilní artefakty
  - zejména na rozhraní oblastí tkáň-vzduch
  - shimming

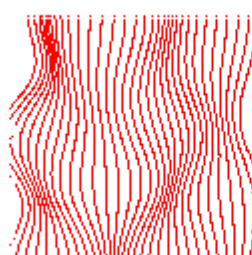


- Pohybové-susceptibilní artefakty
  - změna homogenity B0
  - „unwarp“ při předzpracování

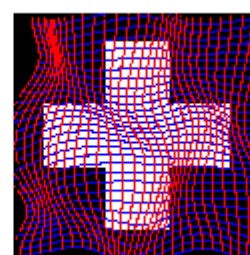
Deformation Field in Y



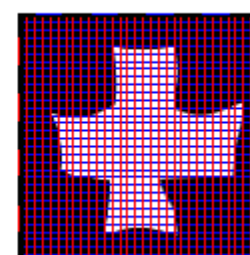
Deformation Field in X



Field Applied To Image



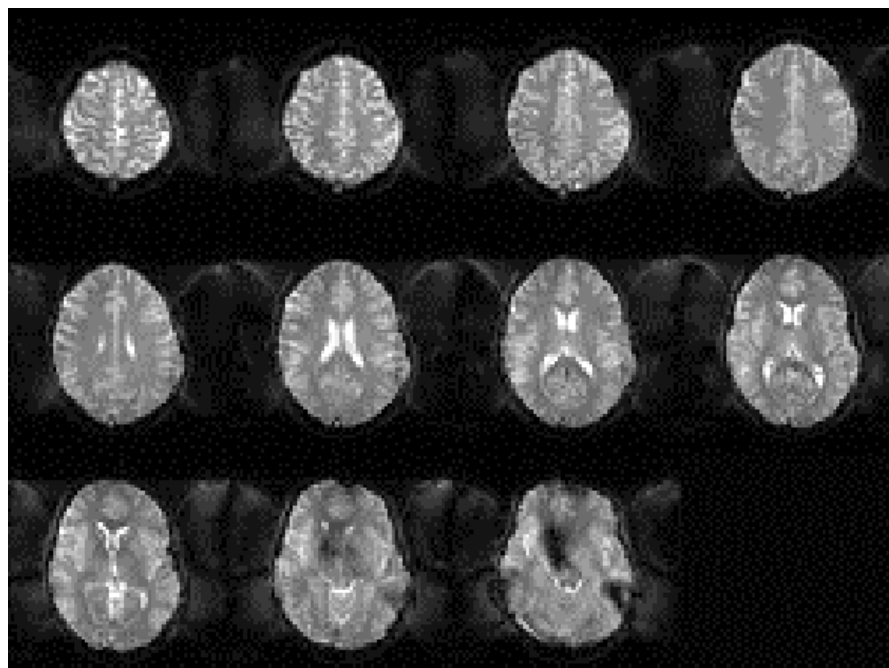
Deformed Image



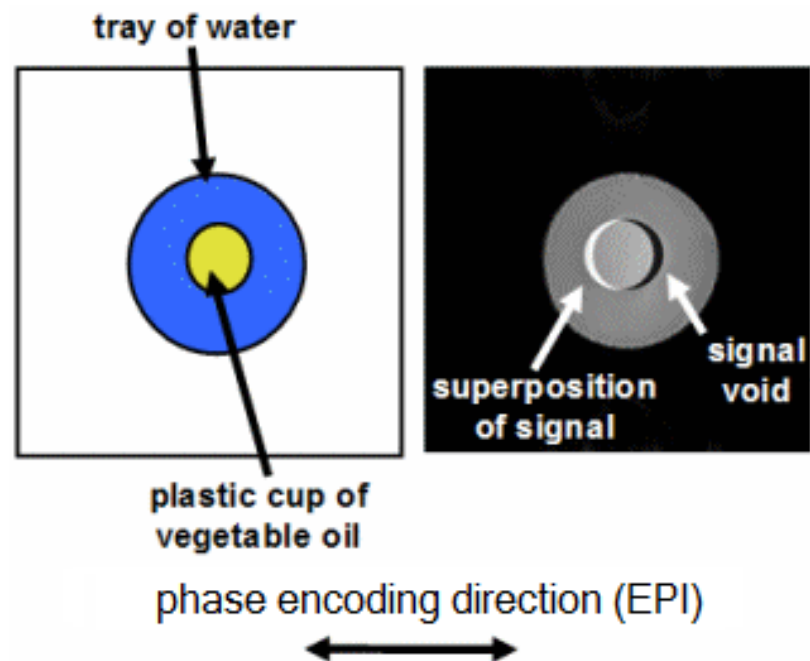


## ○ Ghosting

- rychlé přepínání gradientů → vířivé proudy → zkreslování fáze rezonujících jader → „duch“ posunutý o  $\frac{1}{2}$  obrazu
- „aktivní stínění“ vířivých proudů



- Artefakt v důsledku chemického posuvu
  - lokální ovlivnění rezonanční frekvence v důsledku chemických vlastností látky -> vzájemně posunuté zobrazení různých „látek“ (tuk X voda) náležící stejnému objemu;
  - saturace tuku



# Projevy artefaktů v časových řadách fMRI

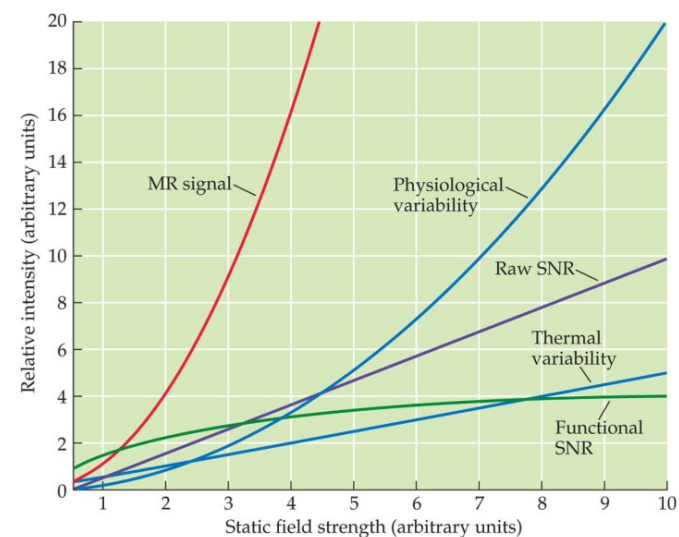


- Termální šum (aditivní)
  - tepelný pohyb částic hmoty; příspěvky jak ze snímané scény, tak z elektroniky skeneru
  - „bílé“ spektrum; výskyt v celém snímaném objemu (i pozadí)
- Nestabilita skeneru (multiplikativní)
  - nestejný výběr vrstvy, fluktuace zisku RF zesilovačů, nestejná trajektorie plnění k-prostoru napříč jednotlivými akvizicemi, kolísání shimmingu, RF rušení, „spiky“
  - komplikovaná časoprostorová struktura
- Pohyb hlavy (multiplikativní)
  - i v důsledku pohybů jiných částí těla (přenášení pohybu)
  - relaxace svalů zad (drift)
  - projevy zejména v okolí rozhraní oblastí s různou úrovní T2\*-relaxace (okolí komor, okraje mozku)

# Projevy artefaktů v časových řadách fMRI



- Fyziologický šum (multiplikativní)
  - projevy činnosti srdce, projevy dýchání, projevy spontánních fluktuací aktivity neuronálních populací
  - komplikovaná časoprostorová struktura, lokalizovaná zejména do oblastí CSF a velkých cév (tep, dýchání) a do oblastí resting-state sítí (fluktuace neuronální aktivity)
- Vliv velikosti B0 na jednotlivé šumové příspěvky
  - MRI signál roste kvadraticky
  - termální šum roste lineárně
  - fyziologický šum roste kvadraticky

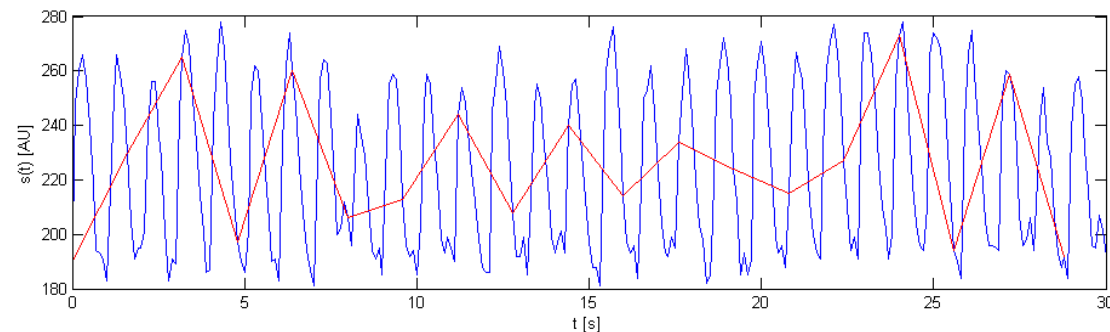




# Fyziologické artefakty - pulzace

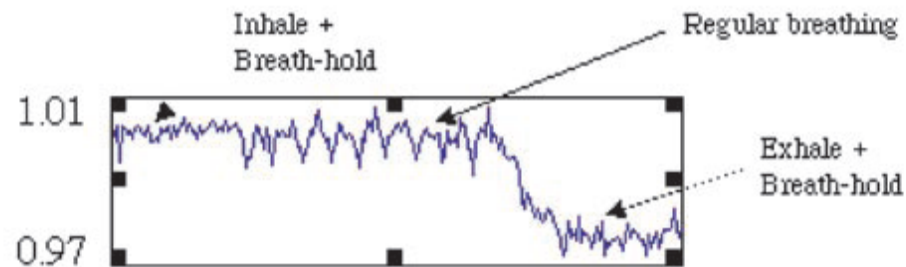
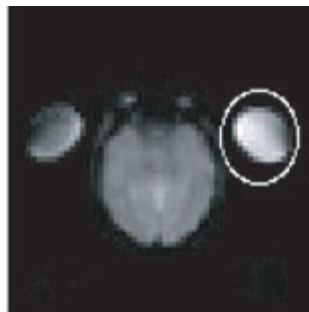


- Fixní objem lebeční dutiny
- V průběhu systoly:
  - přitéká arteriální krev
  - odtéká část likvoru ze subarachnoidálního prostoru uvnitř lebky do míšního kanálu
  - odtok likvoru ze IV komory, odtok žilní krve
  - odtok likvoru z lat. komor do III a IV komory
- V průběhu diastoly - opačný pohyb likvoru oproti systole
- Příklad ( $TR=0.1$  s;  $TR=1.6$  s):



## ○ Dýchání

- změny polohy, stlačování snímaných struktur
- změny homogenity B0 v rytmu pohybu a změn objemu hrudního koše

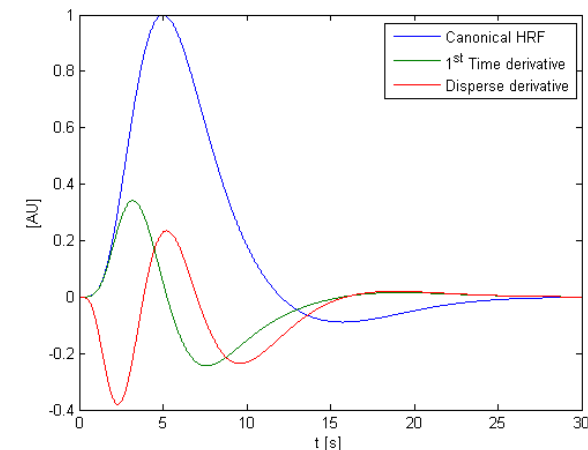


Raj D et al. (2001) Respiratory effects in human functional magnetic resonance imaging due to bulk susceptibility changes. *Physics in Medicine and Biology* 46:3331.

# BOLD efekt, HRF



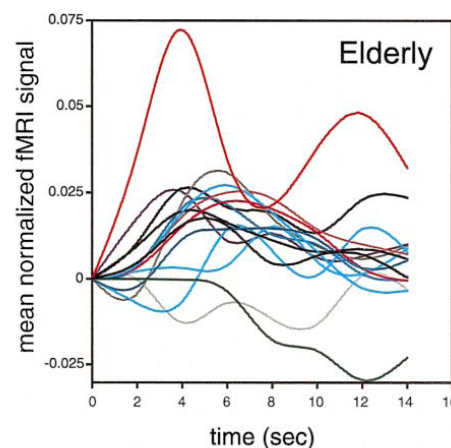
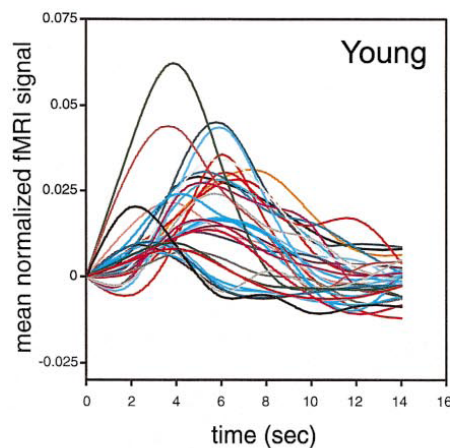
- BOLD = Blood Oxygen Level Dependent
  - paramagnetický deoxyhemoglobin – lokální nehomogenity B0 (snížení úrovně signálu)
  - diamagnetický oxyhemoglobin – nemá vliv na B0
  - lokální kolísání okysličení mozkové tkáně v rytmu kolísání neuronální aktivity
  - kombinace více faktorů (průtok, objem, **okysličení** krve v dané oblasti)
- Logothetis 2001, současné měření fMRI a záznamu z mikroelektrod v oblasti V1 u opic; vizuální stimulace
  - zjištění, že BOLD signály korelují více s neuronálními vstupy (LFP), než s akčními potenciály
  - prokázána lineární závislost úrovně neuronální aktivity a korespondujícího BOLD signálu
- HRF = Hemodynamic Response Function
  - model impulzní odezvy
  - běžně uvažována „kanonická“ HRF
  - rozšíření – set kanonická + TD + DD



# Variabilita HRF

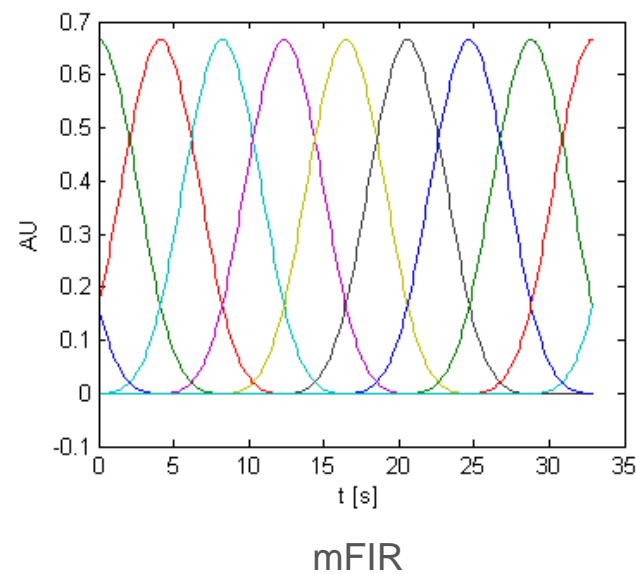
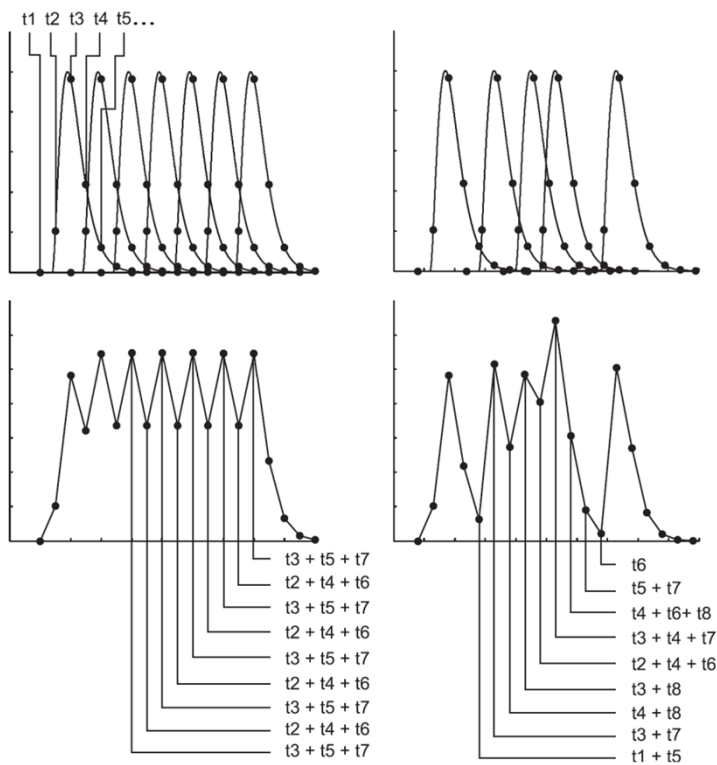


- Tvar HRF může být ovlivněn mnoha faktory
  - léky/drogy ovlivňující dilataci cév
  - onemocnění ovlivňující
    - dynamiku neuronální aktivity
    - cévní dynamiku
  - určitá přirozená variabilita mezi jednotlivými oblastmi mozku, i mezi jednotlivými osobami (vyšší variabilita mezi staršími osobami)
- D'Esposito et al. 1999
  - 32 osob ve věku 18 až 32 let, 20 osob 61 až 82 let
  - motorická úloha vedená vizuální stimulací, zprůměrované odezvy z motorického kortexu



# Odhad HRF

- Selektivní průměrování
  - řešení soustavy lineárních rovnic
  - v přítomnosti šumu vhodné použít set bází, které zachovávají „hladkost“ odhadnutých HRFs

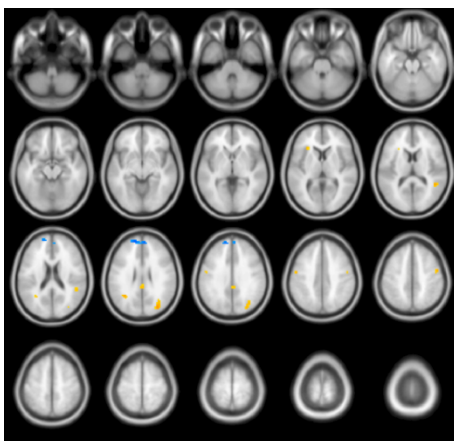


# Ukázka výsledků analýz při různém modelování BOLD průběhu

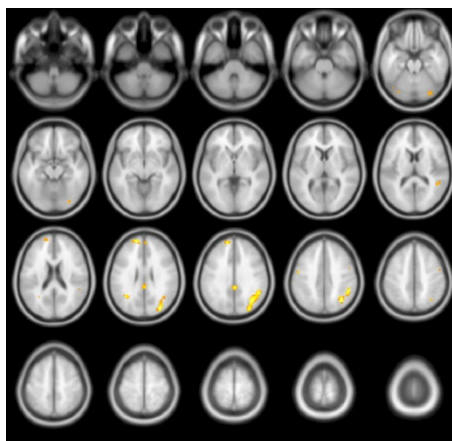


- Vizuální oddball
  - 1 osoba, 22 let
  - 4 sessions, celkem 64 terčových podnětů

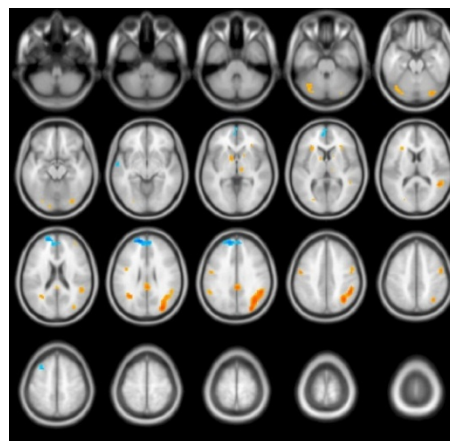
Kanonická HRF



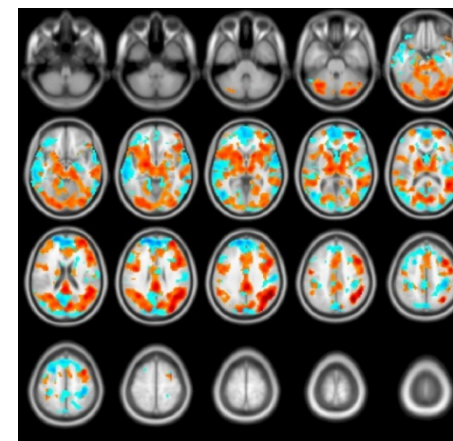
Kanonická HRF + TD + DD



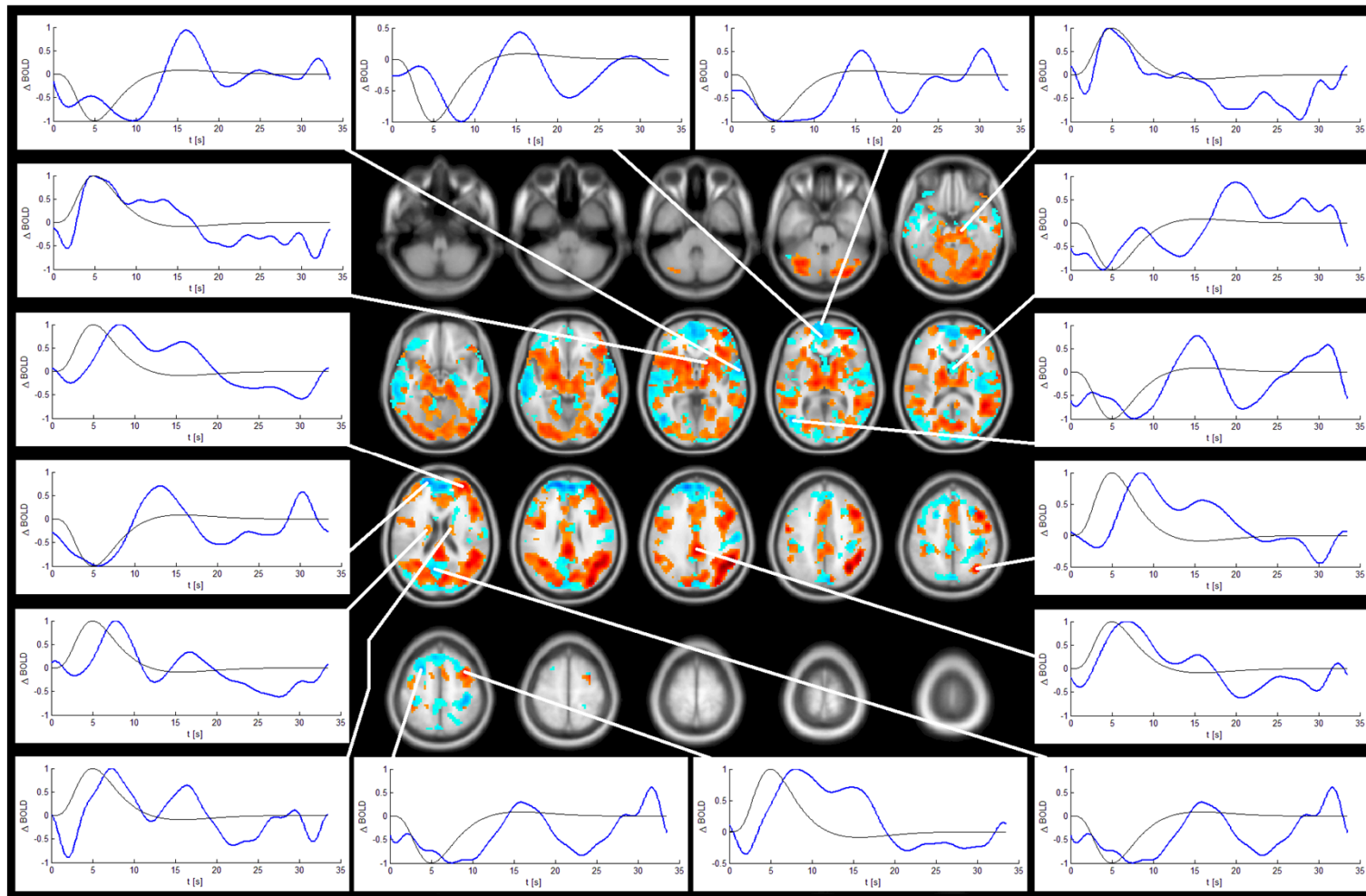
Odhadnuté HRF (K+TD+DD)



Odhadnuté HRF (mFIR)

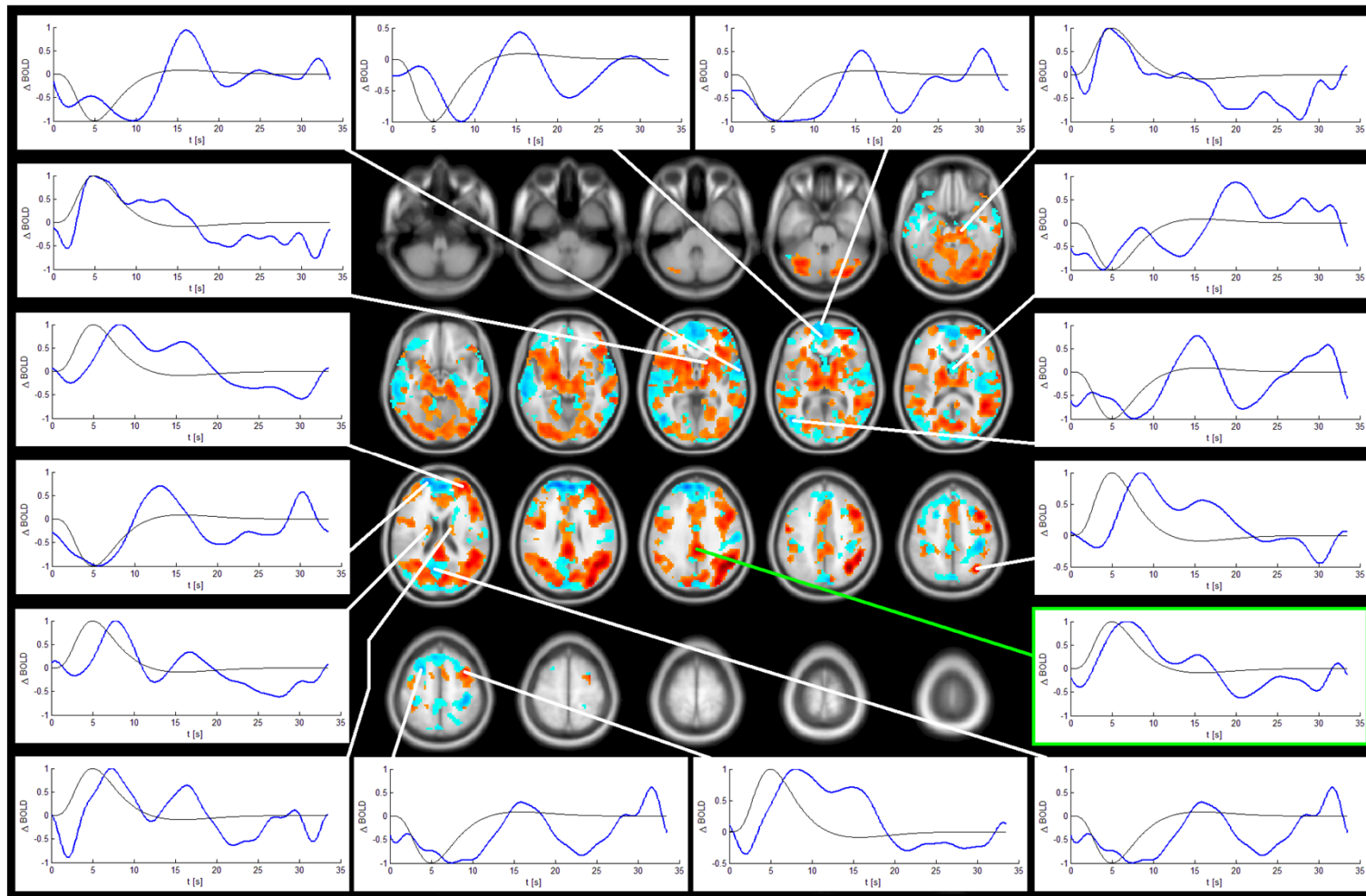


# Ukázka výsledků analýz při různém modelování BOLD průběhu



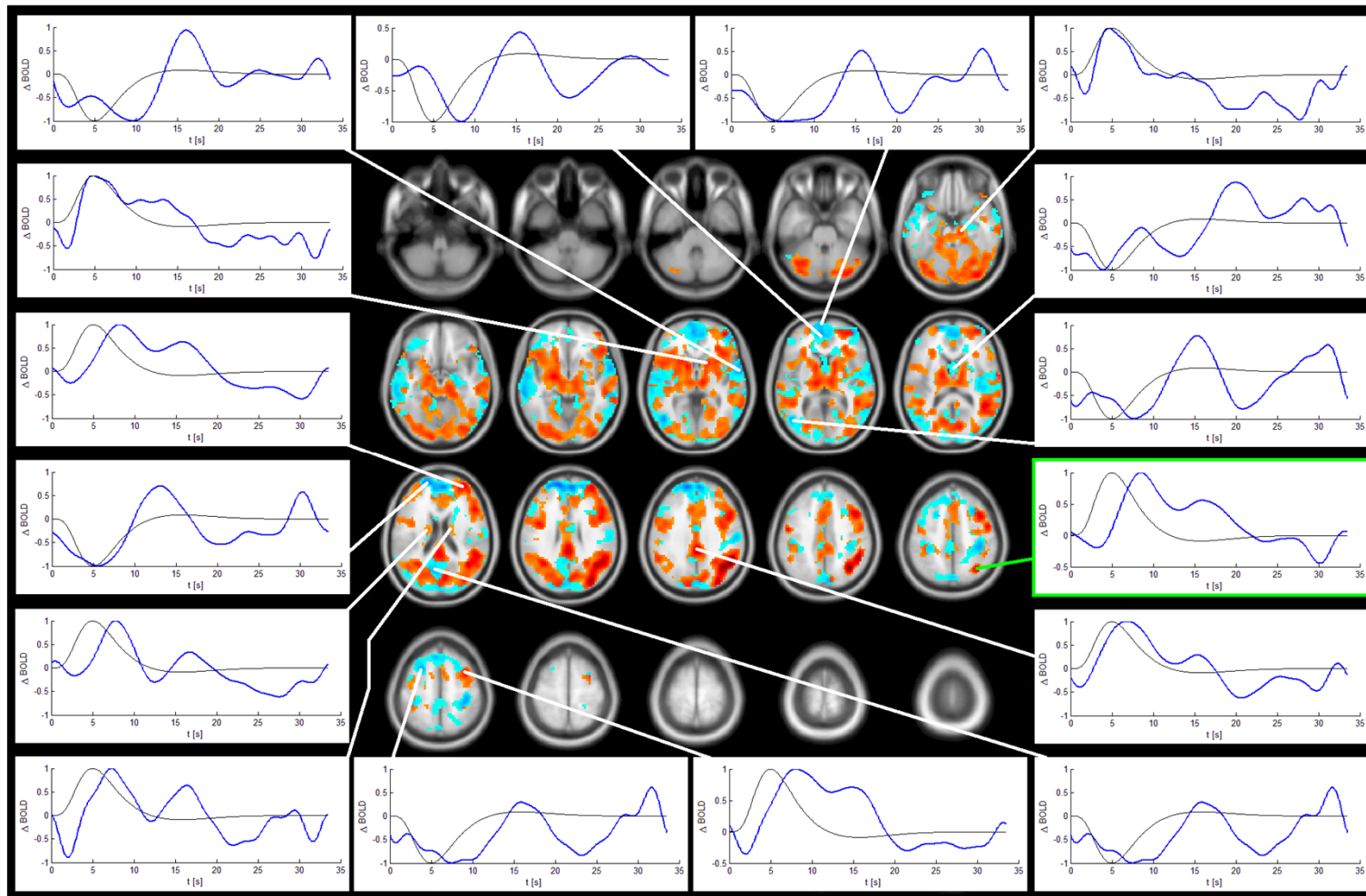


# Ukázka výsledků analýz při různém modelování BOLD průběhu

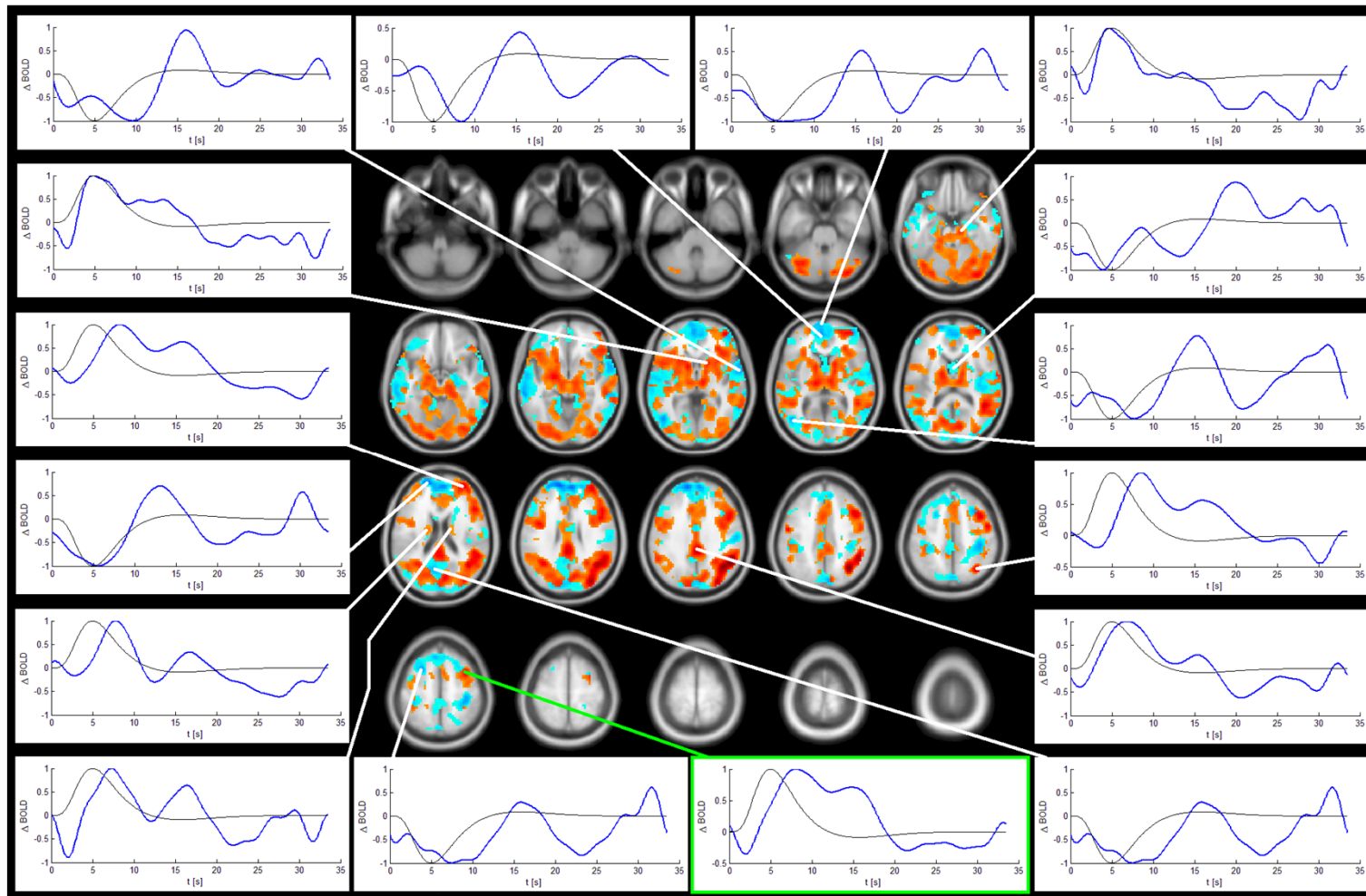




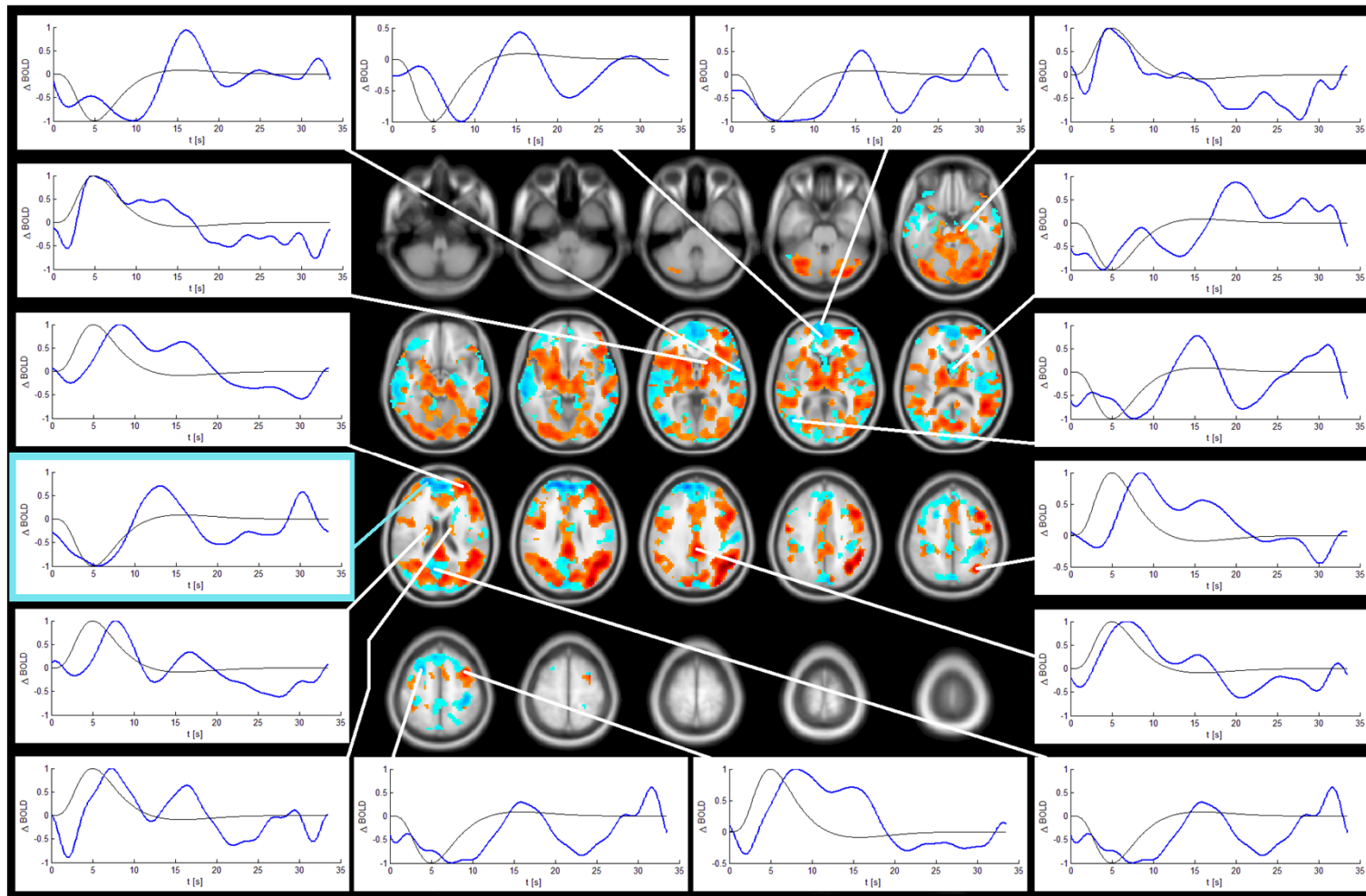
# Ukázka výsledků analýz při různém modelování BOLD průběhu



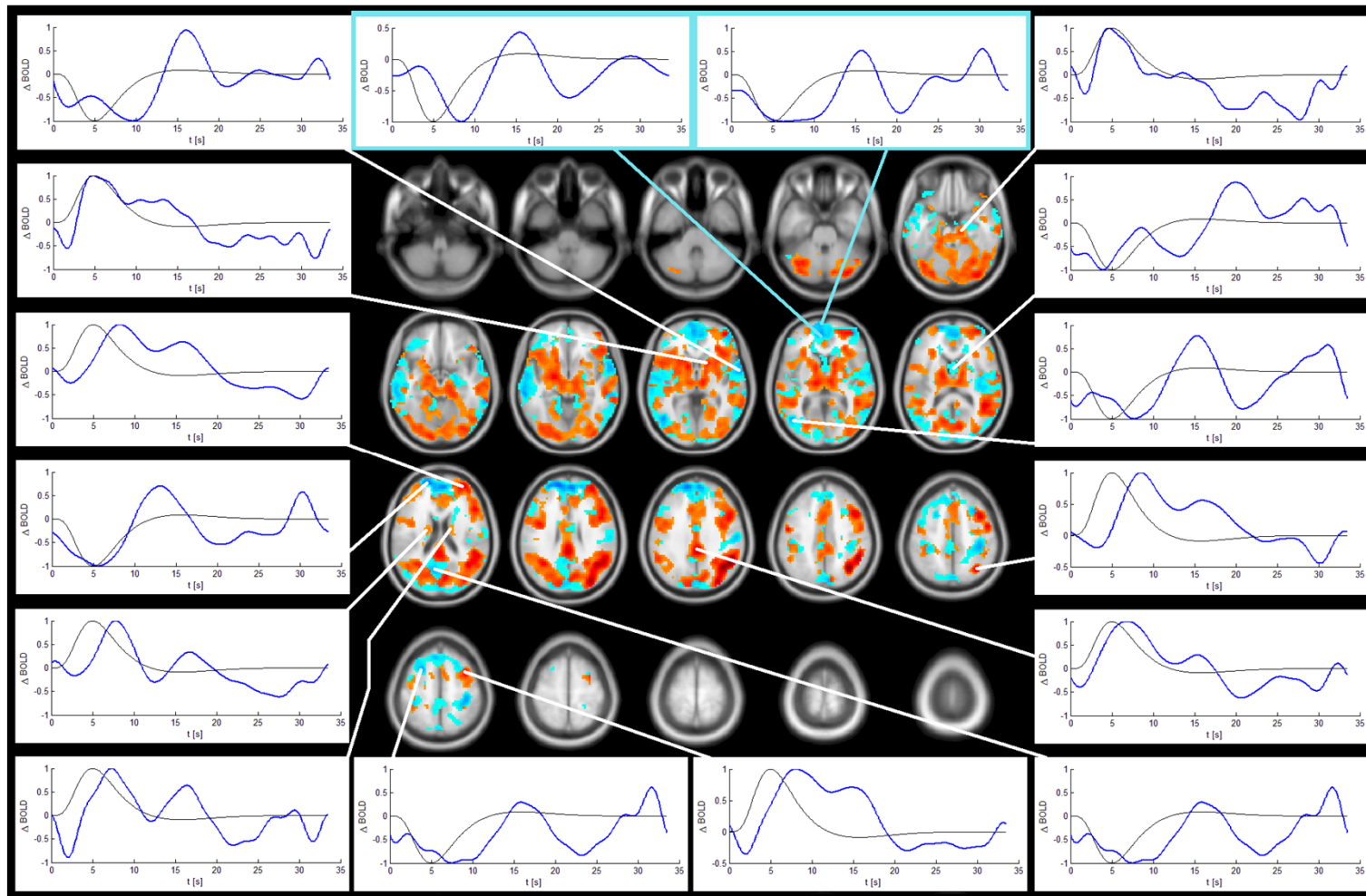
# Ukázka výsledků analýz při různém modelování BOLD průběhu



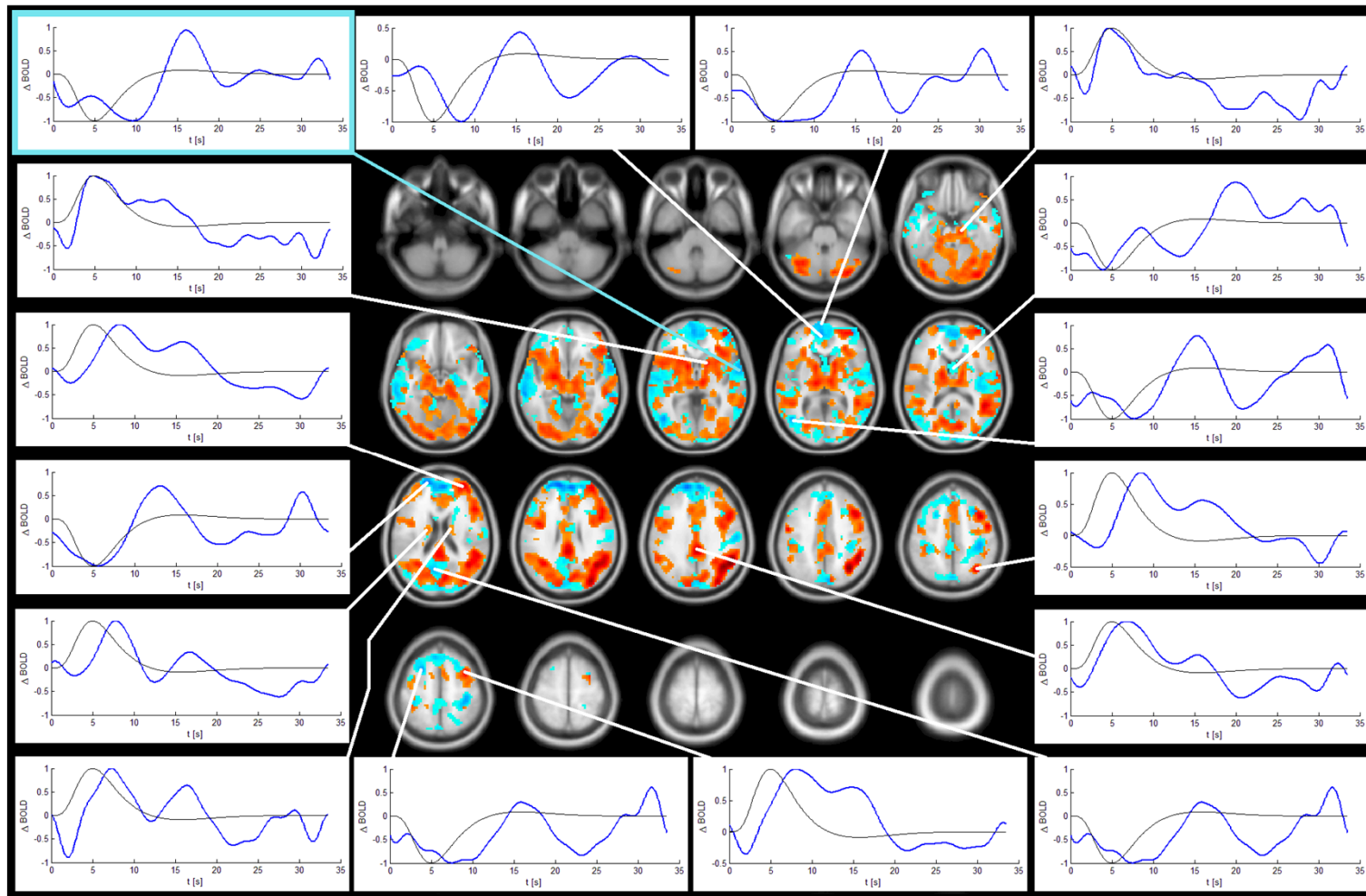
# Ukázka výsledků analýz při různém modelování BOLD průběhu



# Ukázka výsledků analýz při různém modelování BOLD průběhu



# Ukázka výsledků analýz při různém modelování BOLD průběhu

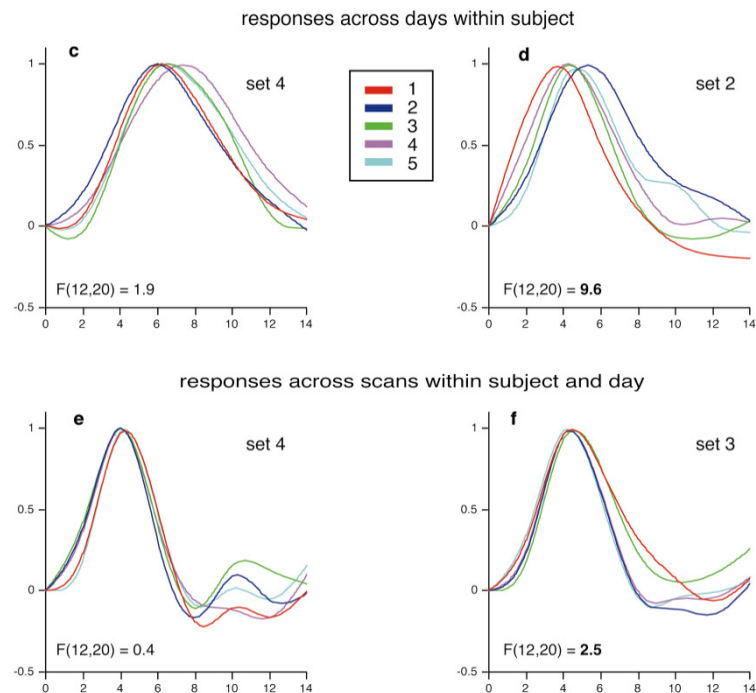




# Stabilita tvaru HRF v čase



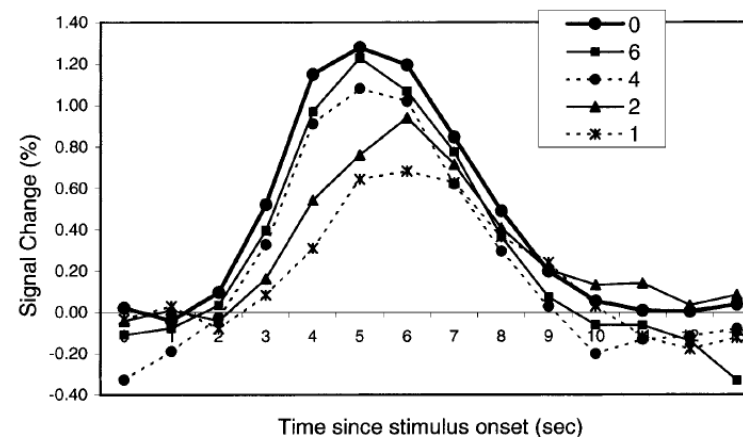
- Aguirre et al. 1998
  - 41 osob, 23 (+- 3) let
  - motorická úloha vedená vizuální stimulací



# Nelinearita HRF

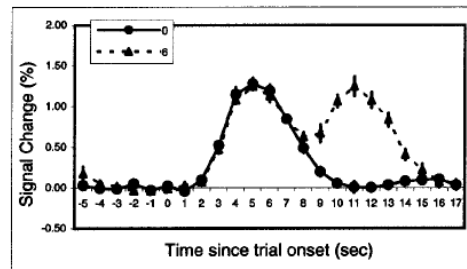
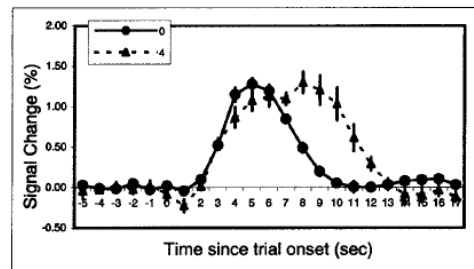
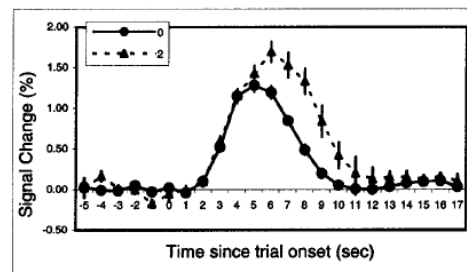
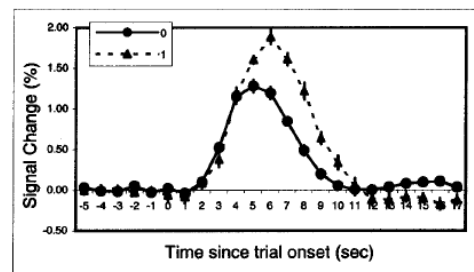
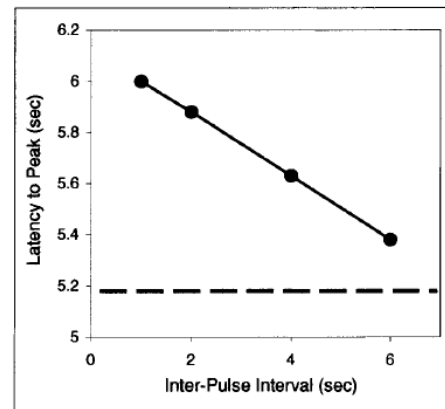
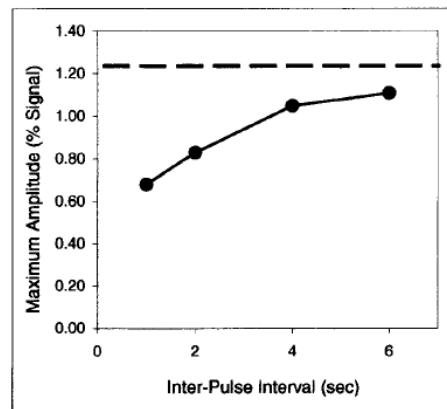


- Hemodynamický systém mozku většinou považujeme za lineární
- Nelinearity zejména:
  - v případě adaptace na pravidelně se opakující stimuly
  - bezprostředně po sobě jdoucí stimuly
- Huettel et al. 2000
  - 19 osob (19 až 41 let), vizuální stimulace
  - testování odezvy na různě vzájemně zpožděné stimuly



# Nelinearita HRF

- Huettel et al. 2000, pokračování





# Pokročilé hemodynamické modelování



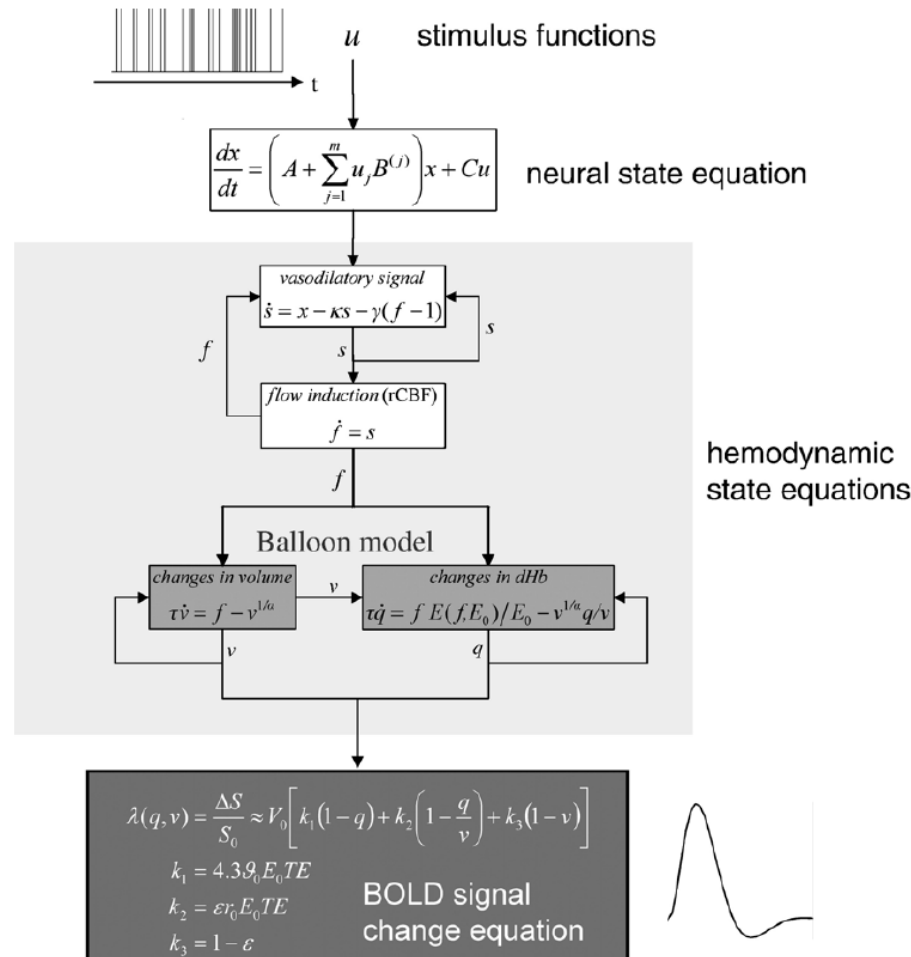
- V pokročilých typech analýz může být nezbytně nutné znát přesné zpoždění neuronálních aktivací jednotlivých mozkových center
- Nelineární modely BOLD signálu:
  - volterrovy řady
  - hemodynamický model
    - vstupně-výstupní biofyzikální model
      - vstup - neuronální aktivita
      - výstup – BOLD signál
    - modelování vnitřních stavů
      - přítok, odtok krve
      - objem krve
      - extrakce kyslíku
      - obsah deoxyhemoglobinu

# Pokročilé hemodynamické modelování



## ○ Hemodynamický model

*K.E. Stephan et al. / NeuroImage 38 (2007) 387–401*



- Data fMRI jsou tvořena nejen signály, které odrážejí změny v úrovni neuronální aktivity, ale také arteficiálními signály různého původu.
- K lokalizaci změn neuronální aktivity se často využívá přístup modelování předpokládaného průběhu BOLD signálu, úroveň složitosti a preciznosti závisí na požadové aplikaci. Při využití komplikovanějších přístupů je třeba brát v potaz výpočetní náročnost a komplexnější interpretaci výsledků



Děkuji za pozornost.