

DETEKCE POLOHY MOTORICKÝCH EVOKOVANÝCH POTENCIÁLŮ V MATLABU

V. Čejka^{1,2}, A. Fečková², O. Klempíř¹, R. Krupička¹

¹Fakulta biomedicínského inženýrství, České vysoké učení technické v Praze

²Neurologická klinika a Centrum klinických neurověd, 1.LF UK a VFN, Karlova univerzita

Abstrakt

Zpracování biologických dat je oblastí, kde MATLAB nachází široké uplatnění. Lze ho použít i pro zpracování motorických evokovaných potenciálů (MEP). Analýza MEP se využívá při studiu patofyziologie neurologických a psychiatrických onemocnění. Poloha tohoto potenciálu je vedle amplitudy nejčastěji měřeným parametrem sledované odpovědi. Lze ji určit s využitím aparátu vlnkové transformace. Získané parametry lze následně využít pro popis a rozlišení skupin pacientů a kontrolních subjektů.

1 Úvod

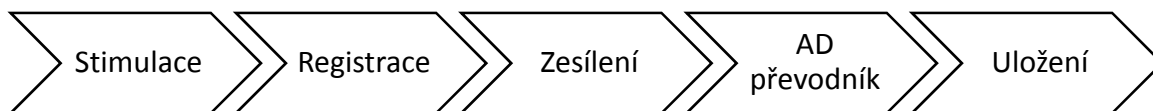
Motorické evokované potenciály jsou získávány pomocí transkraniální magnetické stimulace (TMS). Jedná se o neinvazivní metodu sloužící k funkčnímu vyšetření centrálního a periferního nervového systému. Stále více je využívána nejenom k rutinním vyšetřením, ale také v oblasti výzkumu funkce jednotlivých mozkových a míšních struktur. Mezi nejčastěji hodnocené parametry MEP patří latence, amplituda, plocha, počet fází a trvání potenciálu [1, 2]. Pro určení latence a trvání potenciálu současně lze v prostředí programovacího jazyka MATLAB použít vlnkovou transformaci.

Objev vlnkové transformace (VT) je spojován se jménem francouzského geofyzika Jeana Morleta, který ji vymyslel na začátku 80.let minulého století jako nástroj pro analýzu seismických signálů. Od té doby našla řadu aplikací v různých oborech, přičemž ani zpracování biologických signálů není výjimkou. Nachází uplatnění při analýze EKG a EEG signálů a svoje místo našla VT i v oblasti zpracování evokovaných potenciálů, kde se využívá k filtraci signálu a k lokalizaci vln v časové oblasti [3-5].

2 Metody

Transkraniální magnetická stimulace

Pro vyvolání MEP se používá přístroj zvaný transkraniální magnetický stimulátor. Skládá se ze základní jednotky obsahující zdroj vysokého napětí a řídicí elektroniku a stimulační cívku. Tato cívka je přikládána k hlavě pacienta (stimulace), kde dochází v důsledku indukce elektrického proudu k podráždění neuronů motorického kortexu a tím k vyvolání odpovědi v podobě svalového záškubu protilehlé horní končetiny [6].



Obrázek 1: postup při měření MEP

Nad aktivovaným svalem jsou nalepeny elektrody (aktivní a referenční), které snímají vzniklou odpověď – MEP (registrace). Elektrody jsou dále připojeny k zesilovači biologických potenciálů (zesílení), jehož výstup pokračuje do analogově-digitálního převodníku (AD převodník). Data jsou dále ukládána ve formě křivek pro pozdější off-line analýzu (uložení).

Export dat

Data mohou být ukládána a dále zpracována různými způsoby. Pro navazující analýzu v MATLABu je výhodné použít takové vybavení, které podporuje převod do MATLABem akceptovatelného formátu (.csv, .xls, .mat,...). Zde byl pro ukládání naměřených dat použit program Signal (CED, Velká Británie), který disponuje svým vlastním programovacím jazykem. V rámci něho lze data exportovat ve formě struktury (tabulka 1) do maticových souborů (MAT-file) a ty dále zpracovávat v MATLABu.

Tabulka 1: struktura dat importovaných do MATLABu

TMS data							
<i>xlabel</i>	<i>xunits</i>	<i>interval</i>	<i>points</i>	<i>chans</i>	<i>frames</i>	<i>chaninfo</i>	<i>values</i>
popisek osy x	jednotka osy x	perioda vzorkování	počet uložených vzorků	počet kanálů	počet snímků	jména kanálů a jednotky	vektory hodnot

Vyšetřené subjekty

V rámci měření bylo pomocí TMS vyšetřeno celkem 22 pacientů (13 žen, 9 mužů, průměrný věk 51 ± 17 let) trpících různými formami dystonického syndromu v protokolu elektrofyziologického vyšetření. K těmto pacientům bylo následně naměřeno 22 věkem a pohlavím párovaných kontrolních subjektů.

Vlnková transformace

Vlnková transformace oproti Fourierově transformaci (FT) poskytuje informaci o časové lokalizaci spektrálních složek signálu. FT není vhodná pro analýzu nestacionárních signálů, jakým motorický evokovaný potenciál bezpochyby je. Každá vlnková funkce osciluje pouze v okolí bodu své lokalizace, což nám přináší informaci o pozici v časové (prostorové) oblasti. Cílem VT je rozložit signál do řady koeficientů, čehož je dosaženo filtrováním signálu párem ortogonálních filtrů (trend signálu, jemné detaily) [7].

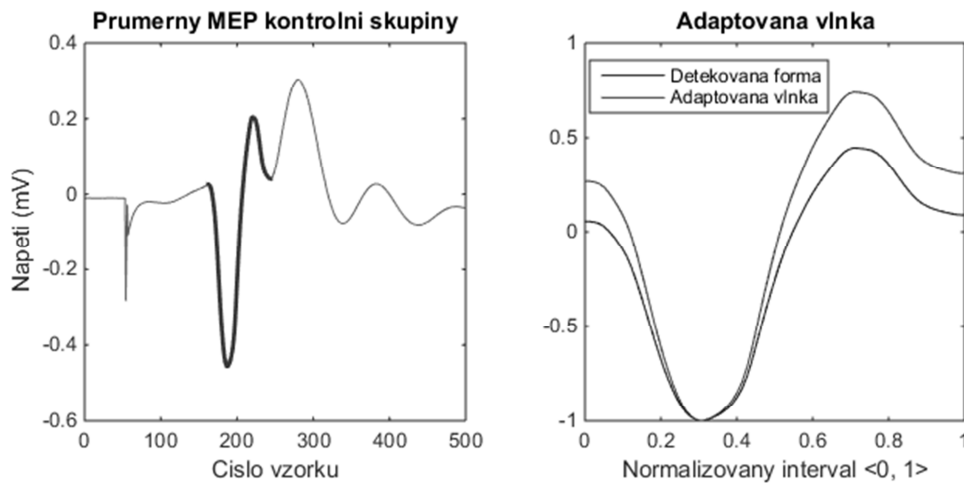
Vlnková transformace je okenní operace, přičemž její jádro je vždy získáno posunutím (translací) a roztažením (dilatací) vybrané báze funkce. Vlnky jsou speciální funkce $\Psi(t)$, které mají nulovou střední hodnotu (oscilují) [7] a musí mít konečnou energii:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad a \quad \int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(t)|^2 dt \leq \infty \quad (1)$$

Vlnková funkce f je definována jako

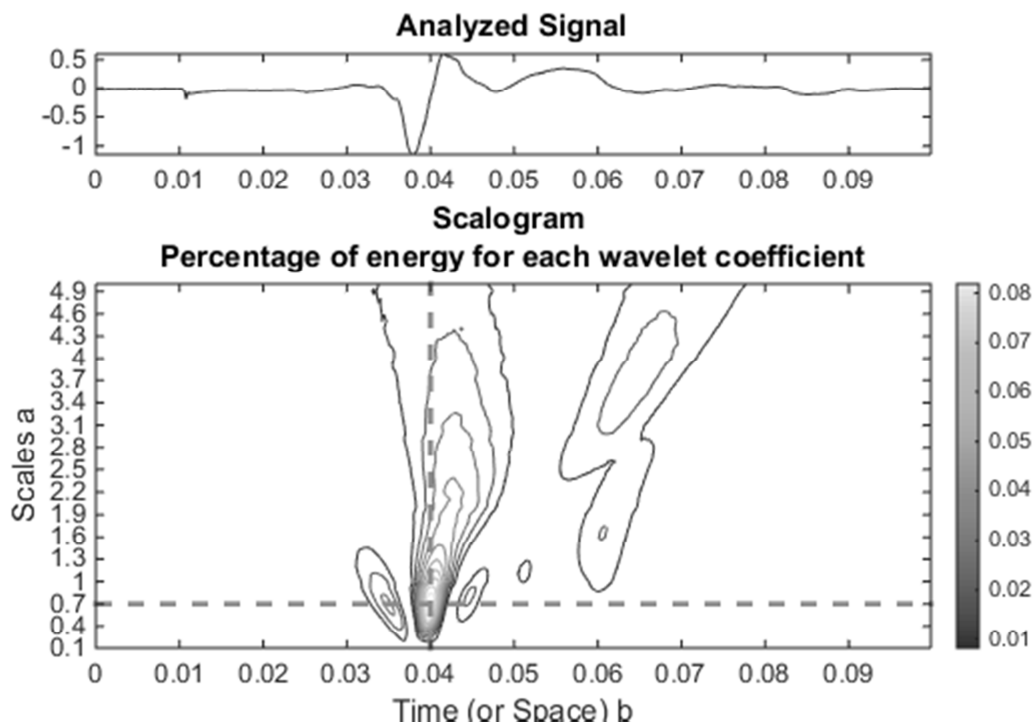
$$VT(\alpha, \beta) = \int_{\mathbb{R}} f(t) \frac{1}{\sqrt{|\alpha|}} \overline{\psi\left(\frac{(t-\beta)}{\alpha}\right)} dt \quad \alpha, \beta \in \mathbb{R}, \quad \alpha \neq 0 \quad (2)$$

kde je α **dilatační parametr** a β **translační parametr**. Existují různé typy již vytvořených vlnek, které jsou definovány svými předpisy (Haarova, Meyerova, Morletova, Daubechies, Mexican Hat) nebo lze vytvořit **adaptovanou vlnku**, která splňuje předchozí podmínku, ale není definovaná přesným matematickým zápisem [8].



Obrázek 2: průměrný potenciál skupiny kontrolních subjektů (vlevo), adaptovaná vlnka (vpravo)

VT TMS dat byla realizována pomocí skriptu v prostředí MATLAB R2014b. Po konverzi z prostředí programu Signal byla ve formě struktury patientská data importována a uložena pro následující zpracování. VT byla použita pro detekci motorického evokovaného potenciálu ve smyslu nalezení jeho středu. Následně pak byl dopočítán začátek a konec potenciálu, čímž bylo vedle latence možné určit i dobu trvání potenciálu.

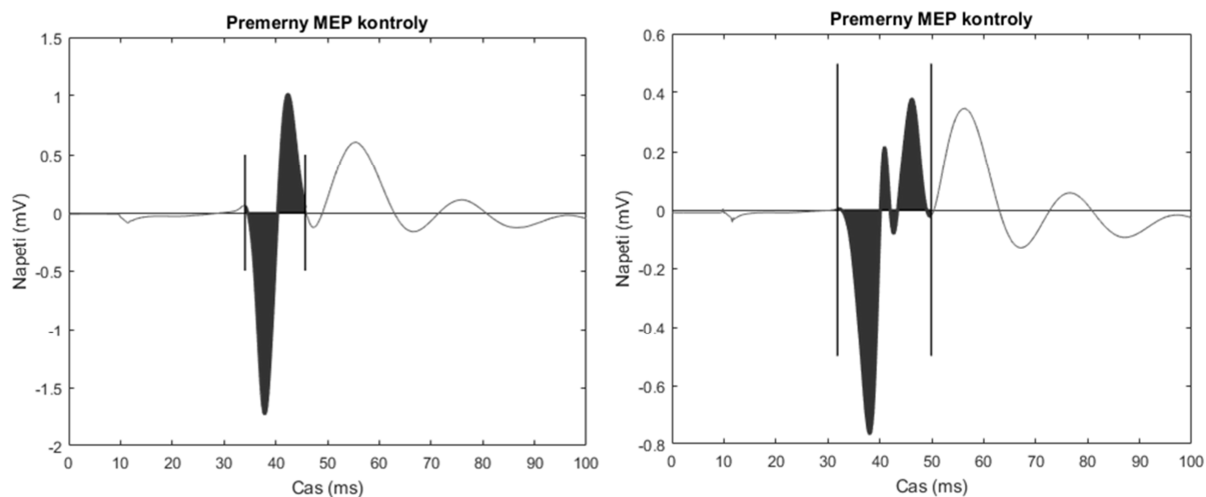


Obrázek 3: detekce polohy MEP

Nejprve byl sestroměn průměrný MEP (Obrázek 2, vlevo) skupiny kontrolních subjektů. Na této křivce byla manuálně vybrána oblast, kde leží MEP a ta byla použita pro konstrukci vlastní adaptované vlnky. Naměřená data všech pacientů pak byla zpracovávána v cyklu a postupně byla provedena VT všech MEPů s využitím této adaptované vlnky. Výsledkem každé dílčí transformace byla matice koeficientů, která měla počet sloupců shodný s délkou signálu a počet řádků daný počtem použitých měřítek mateřské vlnky (od 0,1 po 0,1 do 5). Pozice MEPu v časové oblasti a jeho trvání (frekvence) pak byla určena pomocí detekce pozice maximální hodnoty koeficientu (v absolutní hodnotě) uvnitř transformační matice (Obrázek 3).

3 Výsledky

Latence MEP měřená na průměrné křivce sestrojené z dat 1 pacienta zjištěná pomocí vlnkové transformace vychází 34,2 ms a u kontrolního subjektu vychází 32,0 ms. Počátek MEP i jeho konec jsou na Obrázku 4 znázorněny svislou čarou. Tato data jsou vstupním parametrem do následných statistických analýz.



Obrázek 4: průměrný MEP dystonika a kontrolního subjektu

4 Diskuze

Vlnková transformace neurčuje přímo latenci potenciálu, ale díky detekci pozice největšího koeficientu (v absolutní hodnotě) VT určujeme pozici středu potenciálu. Toto nám však při dalším zpracování dat nevadí, protože můžeme předpokládat, že pozice potenciálu je stejná hodnota jako jeho latence, jen posunutá o konstantu. Latenci a trvání potenciálu pak lze dopočítat ze znalosti velikosti použité mateřské vlnky. Využití vlnkové transformace při detekci potenciálu naráží na problém při výskytu polyfázického potenciálu, kdy nemusí dojít k identifikaci celého potenciálu, ale jen některých jeho fází. Tímto následně dochází ke zkreslení hodnoty (prodloužení) latence. Rovněž má tento detektor omezenou efektivnost při detekci potenciálů s nízkou amplitudou.

5 Závěr

Vlnková transformace je nástrojem, který lze použít pro kvantitativní popis motorických evokovaných potenciálů. S jejím využitím lze současně určovat jak latenci (polohu), tak i délku trvání potenciálu. Navíc lze dále zpracovávat i vzniklou transformační matici, na kterou může být nahlíženo jako na 2D biosignál.

Reference

- [1] Kallioniemi, E., et al., *Onset Latency of Motor Evoked Potentials in Motor Cortical Mapping with Neuronavigated Transcranial Magnetic Stimulation*. Open Neurol J, 2015. **9**: p. 62-9.
- [2] Kalupahana, N.S., et al., *Abnormal parameters of magnetically evoked motor-evoked potentials in patients with cervical spondylotic myelopathy*. Spine J, 2008. **8**(4): p. 645-9.
- [3] Mendez, M.O., et al., *Automatic screening of obstructive sleep apnea from the ECG based on empirical mode decomposition and wavelet analysis*. Physiol Meas, 2010. **31**(3): p. 273-89.
- [4] Battiston, J.J., et al., *Statistical mapping of scalp-recorded ictal EEG records using wavelet analysis*. Epilepsia, 2003. **44**(5): p. 664-72.

- [5] Hongxuan Zhang, Y.O., *Continuous quantitative motor evoked potentials for spinal cord injury detection*. 2005.
- [6] Klomjai, W., R. Katz, and A. Lackmy-Vallee, *Basic principles of transcranial magnetic stimulation (TMS) and repetitive TMS (rTMS)*. *Ann Phys Rehabil Med*, 2015. **58**(4): p. 208-13.
- [7] Bílkovský, P., *Waveletová transformace a její použití při zoracování signálů*. 2000.
- [8] Harris, A.R., K. Schwerdtfeger, and D.J. Strauss, *Adapted filter banks for feature extraction in transcranial magnetic stimulation evoked responses*. *Med Biol Eng Comput*, 2011. **49**(2): p. 221-31.

Václav Čejka

e-mail: vaclav.cejka@fbmi.cvut.cz

Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze, Nám. Sítná 3105, 27201 Kladno

Podpořeno grantem SGS17/114/OHK4/1T/17 Zpracování a analýza heterogenních neuroinformatických dat na KBI FBMI ČVUT v Praze.