

# Elektromyografie a evokované potenciály – kapitoly pro mediky, laboranty a lékaře

MUDr. Eduard Minks, Ph.D.<sup>1,2,3</sup>; MUDr. Tomáš Gescheidt, Ph.D.<sup>1</sup>

- 1) I. neurologická klinika  
Lékařské fakulty Masarykovy univerzity a Fakultní nemocnice u svaté Anny v Brně  
Pekařská 53  
65691 Brno
- 2) Neurologie  
TERAneuro s.r.o.  
Poliklinika Židlochovice  
náměstí Míru 149  
667 01 Židlochovice
- 3) Neurologie a rehabilitace Skopalíkova  
Skopalíkova 6  
Brno – Židenice  
615 00 Brno

Publikováno na webech: [neurologiezidlochovice.cz](http://neurologiezidlochovice.cz)  
[neurologierehabilitace.cz](http://neurologierehabilitace.cz)

Publikováno dne: 20.12.2020

## Předmluva

V roce 2016 jsem byl požádán o sepsání kapitol o elektromyografii a evokovaných potenciálech do skript pro studenty medicíny na 1. neurologické klinice LF MU a FN u sv. Anny v Brně. Úkol byl splněn, ale skripta pro mediky nebyla nakonec vydána. V roce 2020 byla tato snaha obnovena, ale po přečtení mého příspěvku vznikl nový požadavek, abych svůj text zásadně zestručnil. Vzhledem k tomu, že jsem nad původním textem strávil řadu hodin, je mi líto tento text jen tak vyhodit. Přihlížím také k tomu, že mi řada kolegů svým dílem pomohla. Proto jsem se rozhodl text publikovat na soukromých webech ([neurologiezidlochovice.cz](http://neurologiezidlochovice.cz) a [neurologierehabilitace.cz](http://neurologierehabilitace.cz)). Věřím, že si ho zvědavý čtenář najde a třeba mu bude k užitku. Můj text lze volně používat – ale vždy prosím udávejte jméno autorů a web na kterém je text publikován.

V Brně 19.12.2020

MUDr. Eduard Minks, Ph.D.

## Obsah

Předmluva	str. 1	Eduard Minks
Elektromyografie	str. 3	Eduard Minks
Úvod do EMG	str. 3	
Kondukční studie	str. 4	
Jehlová EMG	str. 14	
Indikace EMG	str. 19	
Evokované potenciály	str. 23	Eduard Minks
Úvod od EP	str. 23	
VEP	str. 23	
MEP	str. 28	
SSEP	str. 30	
BAEP	str. 37	
P300 a MMN	str. 39	
TMS	str. 42	
Indikace EP	str. 43	
Peroperační monitorace – EP	str. 46	Tomáš Gescheidt
Úvod do problematiky	str. 46	
Jednotlivé modality	str. 47	
Obrazová dokumentace	str. 49	

## Elektromyografie

MUDr. Eduard Minks, Ph.D.

### 1. Úvod

Základní funkcí neuronu je přenos nervového vzruchu (přenos informace), který se děje pomocí akčního potenciálu, šířícího se po membráně neuronu. Základní funkcí svalové buňky je kontrakce, ke které dá pokyn (na začátku složité kaskády dějů) akční potenciál, šířící se po membráně svalové buňky.

Na tvorbě a šíření akčního potenciálu se zásadně podílí plasmatická membrána, která obaluje tělo a výběžky nervové buňky a tělo svalové buňky.

Membrána pracuje s kladně nabitými částicemi – kationty a se záporně nabitými částicemi - anionty tak, aby udržovala rozdíl elektrických potenciálů mezi prostorem uvnitř buňky (navnitř od membrány) a prostorem mimo buňku (vně od membrány). Tohoto stavu docílí pomocí aktivního transportu iontů přes membránu, využívá její polopropustnosti (některé částice membránou projdou, jiné ne) a nerovnováhy mezi chemickými a elektrickými silami částic. Tak je vytvořen tzv. klidový potenciál a tento stav buňka aktivně udržuje.

*(Terminologická poznámka.: V neurofyzilogii je často užíván pojem „potenciál“ i v situaci, kde se z fyzikálního hlediska jedná o „napětí“ – tedy o rozdíl dvou elektrických potenciálů, v tomto případě klidový membránový „potenciál“ je z fyzikálního hlediska „napětí“ – rozdíl potenciálu uvnitř a vně membrány.)* Je-li membrána podrážděna (např. elektricky, mechanicky, chemicky), dojde k rychlé změně její propustnosti pro některé ionty a pohybu iontů přes membránu (v závislosti na jejich koncentraci a elektrickém náboji na obou stranách membrány), na membráně dojde k depolarizaci a k repolarizaci – polarita membránového potenciálu se změní a nakonec se opět obnoví. Tento děj probíhá na jednom malém úseku membrány (např. na začátku axonu neuronu). Jakmile se ale membrána v jednom místě depolarizuje (mění svůj potenciál), dochází tímto dějem k ovlivnění i vedlejší části membrány, kde napětíově řízené kanály spustí kaskádu změn a dojde zde ke stejnému procesu – k depolarizaci, repolarizaci a k obnovení klidového potenciálu. Elektrické změny na membráně tímto způsobem rychle postupují a potenciál se tak rychle šíří podél axonu neuronu. Tento děj označujeme pojmem akční membránový potenciál, neboli akční potenciál. Akční potenciál (AP) vzniká principem vše, nebo nic, šíří se bez dekrementu – se vzrůstající vzdáleností od místa vzniku se jeho vlastnosti nemění, přenáší se bez zeslabení signálu.

Při elektrické stimulaci nervu (arteficiální vyvolání akčního potenciálu), nebo při našem volním pohybu však neprobíhá akční potenciál pouze na jediné buňce (axonu, dendritu, svalovém vlákně), ale na membránách mnoha buněk současně. Umístíme-li nad membrány buněk (nad nerv či sval) elektrodu a sledujeme napětí mezi tímto místem a odlišným místem, kde je umístěna referenční elektroda – registrujeme tzv. sumační akční potenciál.

V elektromyografii tento sumační akční potenciál nazýváme podle toho, zda ho měříme nad svalem (sumační svalový akční potenciál, tzv. CMAP = compound muscle action potential), nebo nad kůží, kde probíhají senzitivní nervy (sumační akční potenciál senzitivního nervu,

tzv. SNAP = sensory nerve action potential), nebo například přímo ve svalu jehlovou elektrodou (akční potenciál motorické jednotky, tzv. MUP = motor unit action potential). U evokovaných potenciálů jde také o sumaci neuronální aktivity - akčních potenciálů, často vzniklých na velkém počtu membrán, v rozsáhlých sítích neuronů. Místo vzniku nazýváme generátor evokovaného potenciálu.

**Elektromyografie** je elektrofyziologické vyšetření periferního nervstva, nervosvalového přenosu a kosterního svalstva. Elektromyografie (= EMG, = klinická elektromyografie) zahrnuje dvě skupiny metod a to kondukční studie (= neurografie) a jehlovou EMG (=jehlová elektromyografie = myografie). EMG studuje funkční integritu nervového a svalového aparátu a nervosvalového přenosu. V případě abnormního nálezu elektromyografista (lékař provádějící EMG) specifikuje – topizuje abnormitu (například nález polyneuropatie) a uvádí další charakteristiky nálezu, které pomohou ošetřujícímu lékaři. Dle kondukčních studií lze určit, zda jsou postižena senzitivní nebo motorická nervová vlákna, zda jde o demyelinizační či axonální postižení nervů. Dle jehlové EMG lze říci, zda jsou svaly postiženy akutně či chronicky, zda jde o axonopatii či myopatii. Dle repetitivní stimulace a single fibre EMG lze detekovat postižení nervosvalového přenosu.

### **Elektromyografický přístroj (přístroj pro elektromyografii a evokované potenciály)**

Elektromyografický přístroj slouží k provedení EMG a skládá se z/ze:

- stimulátoru, který generuje elektrické impulzy, stimulace probíhá pomocí stimulační elektrody a to mezi dvěma póly - mezi katodou a anodou. Používají se impulzy s proudem do 100 mA s trváním do 1 ms, většinou nižší a kratší. V naprosté většině se používá povrchová stimulační elektroda – elektroda, která se přikládá na povrch těla.
- předzesilovače, který snímá elektrické napětí v  $\mu\text{V}$ , nebo mV mezi aktivní a referenční elektrodou a signál se zde upravuje. Aktivní a referenční elektroda má podobu povrchové kovové elektrody, nebo podobu jehlové elektrody. U jehlové elektrody je aktivní elektroda vyvedena na špičce jehly a referenční elektrodou je plášť jehly. Jehlovou elektrodou se vyšetřuje intramuskulárně (vpich jehly do svalu).
- reproduktoru a obrazovky. Lékař sleduje elektrický signál jak na obrazovce, tak pomocí sluchu v případě jehlové EMG.
- počítače

## **2. Kondukční studie**

Kondukční studie představují elektrickou stimulaci periferního nervu se snímáním potenciálů z kosterního svalu, nebo z periferního nervu. Pomocí stimulační elektrody stimulujeme nerv a pomocí aktivní a referenční elektrody snímáme změny elektrického napětí nad oblastí svalu nebo nervu. Aktivní elektroda je umístěna tam, kde očekáváme největší změnu potenciálu, referenční elektroda je umístěna v místě, kde změnu neočekáváme; přístroj zaznamenává změny napětí mezi aktivní a referenční elektrodou v čase. Při snímání ze svalu je aktivní

elektroda umístěna nad bříškem svalu a referenční elektroda je umístěna nad šlachou. Při snímání z nervů jsou elektrody umístěny v linii průběhu nervu/nervů - jedna z elektrod je blíže stimulaci a druhá dále od stimulační elektrody. Akční potenciál se šíří po nervových vláknech synchronizovaně a rychlost šíření ovlivňuje myelin. Čím více je nervové vlákno (axon, dendrit) myelinizované, tím rychleji vlákno vede. Pokud dojde k **demyelinizaci** – dojde ke zpomalení vedení a k desynchronizaci vedení mezi vlákny (zvýrazní se rozdíl v rychlosti vedení mezi jednotlivými vlákny) nebo dojde k bloku vedení. Při parciálním bloku vedení některá vlákna přes určitý úsek nepřevedou dále svůj akční potenciál, při absolutním bloku nepřevedou žádná vlákna svůj akční potenciál. V kondukční studii se blok vedení projeví výrazným poklesem amplitudy sumačního akčního potenciálu při proximální oproti distální stimulaci (demyelinizace je mezi těmito dvěma místy). Pokud dojde k **axonopatii**, zmenšuje se počet axonů a výsledný sumační akční potenciál se zmenšuje. Lehce snížená amplituda tohoto potenciálu je stejná jak při distální, tak proximální stimulaci. Vzhledem k tomu, že došlo k úbytku i nejrychleji vedoucích vláken, lehce se snižuje rychlost vedení nervem.

#### **Známky demyelinizace v kondukčních studiích**

- výrazně snížená rychlost vedení nervem
- prodloužení distální motorické latence
- blok vedení (parciální, nebo absolutní)

#### **Známky axonopatie v kondukčních studiích**

- lehce snížená rychlost vedení nervem
- snížená amplituda sumačního akčního potenciálu jak při distální, tak proximální stimulaci

Kondukční studie rozdělujeme na:

**Motorické studie** – stimulujeme motorická vlákna nervu a snímáme nad svalem sumační svalový akční potenciál tzv. CMAP (compound muscle action potential).

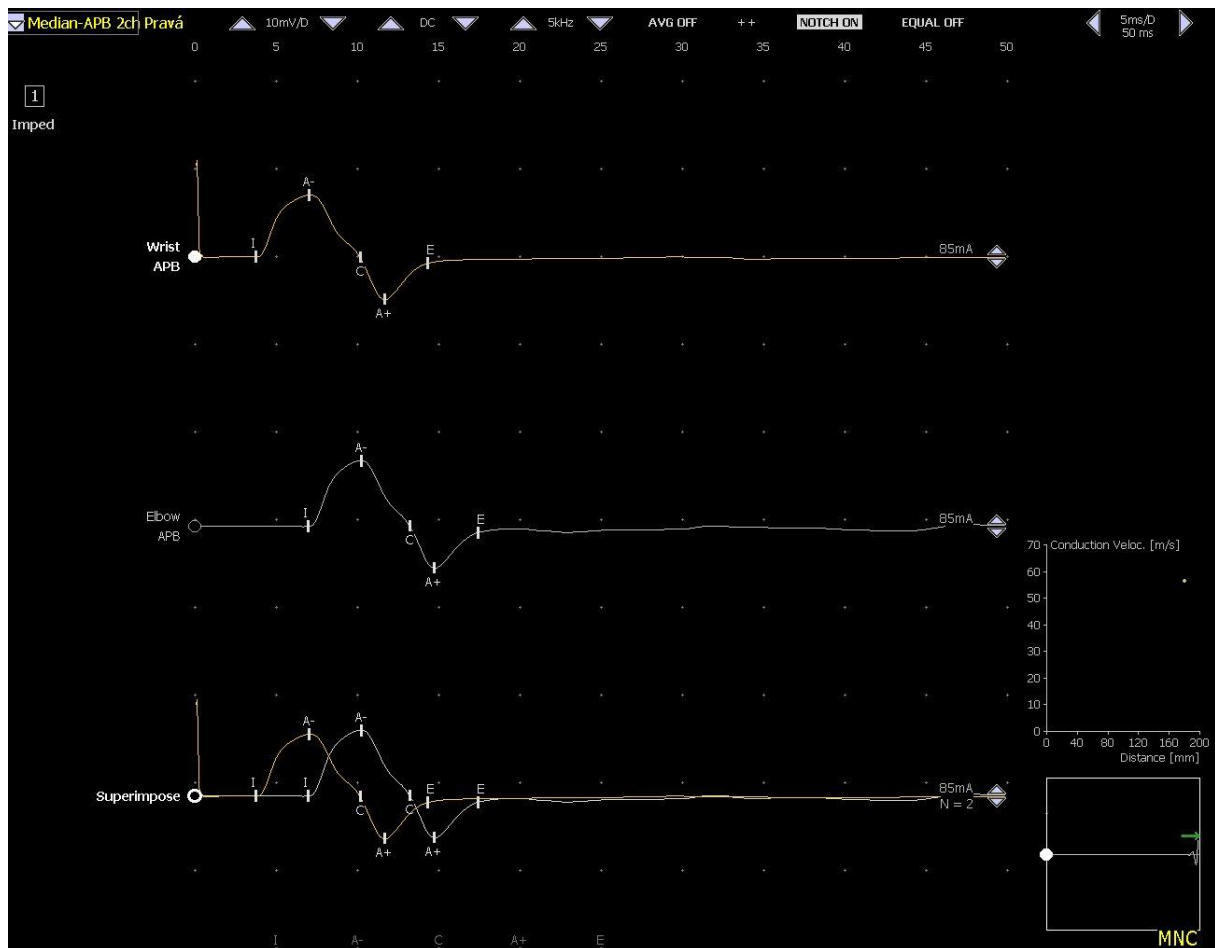
U motorických studií nás zajímá:

Distální motorická latence (DML): čas který uplyne od stimulace k objevení se CMAP a to při stimulaci distálně na končetině.

Rychlost motorického vedení: protože stimulujeme jednou distálně a jednou proximálně identický nerv a registrujeme odpověď ze stejného místa ze stejného svalu, lze vypočítat rychlost vedení motorickými vlákny mezi oběma místy stimulace.

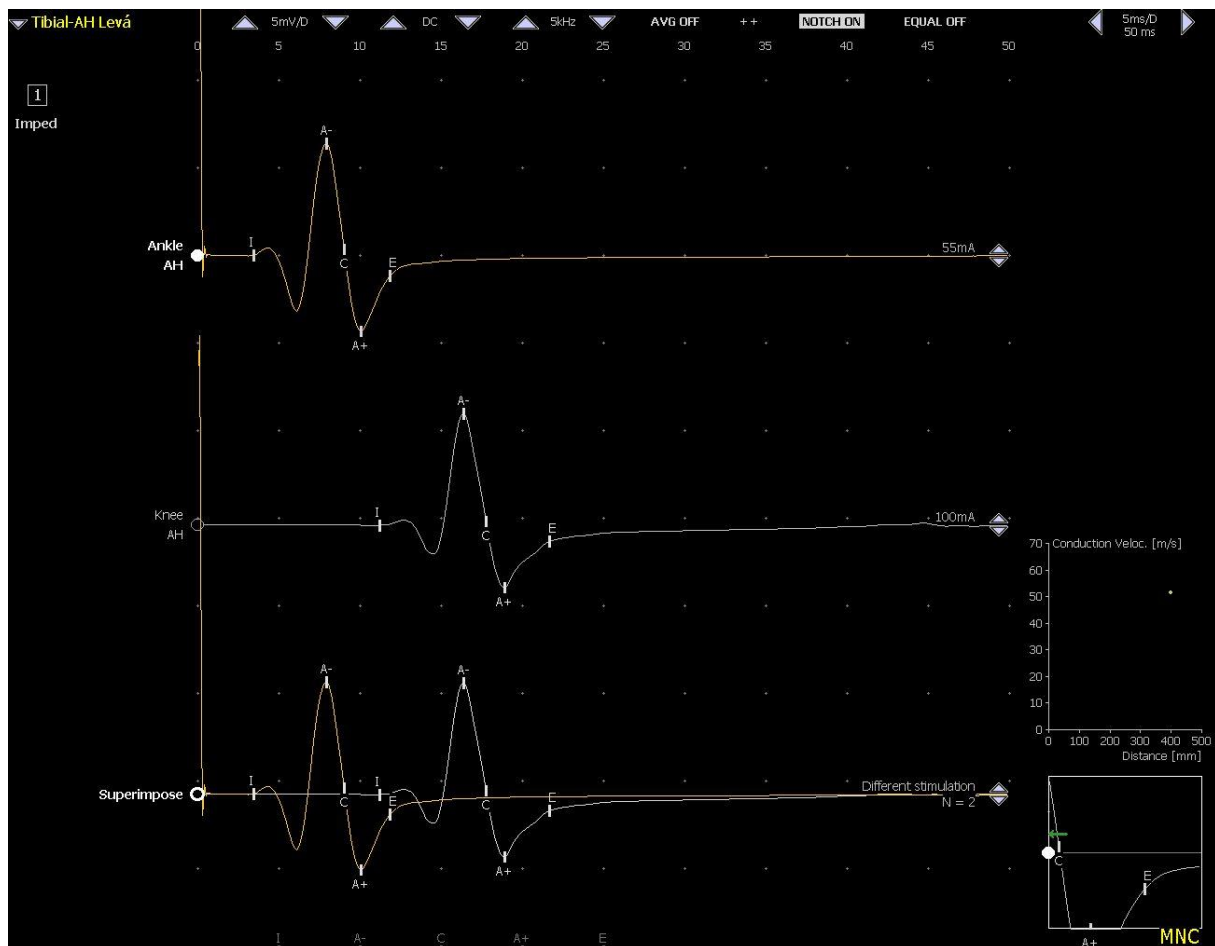
Amplituda CMAP: vyplývá z počtu funkčních svalových vláken, vypovídá o počtu funkčních axonů, pokud je vedení akčních potenciálů synchronizováno.

## Motorické studie viz obrázek EMG-1 a EMG-2



### obrázek EMG-1 Motorické studie nervus medianus

Motorické studie nervus medianus. Na horním přeběhu vidíme CMAP při stimulaci nervus medianus v oblasti zápěstí a při jeho registraci z musculus abductor pollicis brevis. Na druhém přeběhu proběhla stimulace v oblasti lokte ke stejnému místu registrace a na třetím přeběhu jsou tyto dvě studie přeloženy přes sebe. Normální nález, distální motorická latence 3,8 ms, amplituda CMAP 7,5 mV, rychlost vedení na předloktí 56 m/s.



### obrázek EMG-2 Motorické studie nervus tibialis

Motorické studie nervus tibialis. Na horním přeběhu vidíme CMAP při stimulaci nervus tibialis v oblasti kotníku a při jeho registraci z musculus abductor hallucis, na druhém přeběhu proběhla stimulace v oblasti fossa poplitea ke stejnému místu registrace a na třetím přeběhu jsou tyto dvě studie přeloženy přes sebe. Normální nález, distální motorická latence 3,5 ms, amplituda CMAP 6,4 mV, rychlost vedení na bérce 52 m/s.

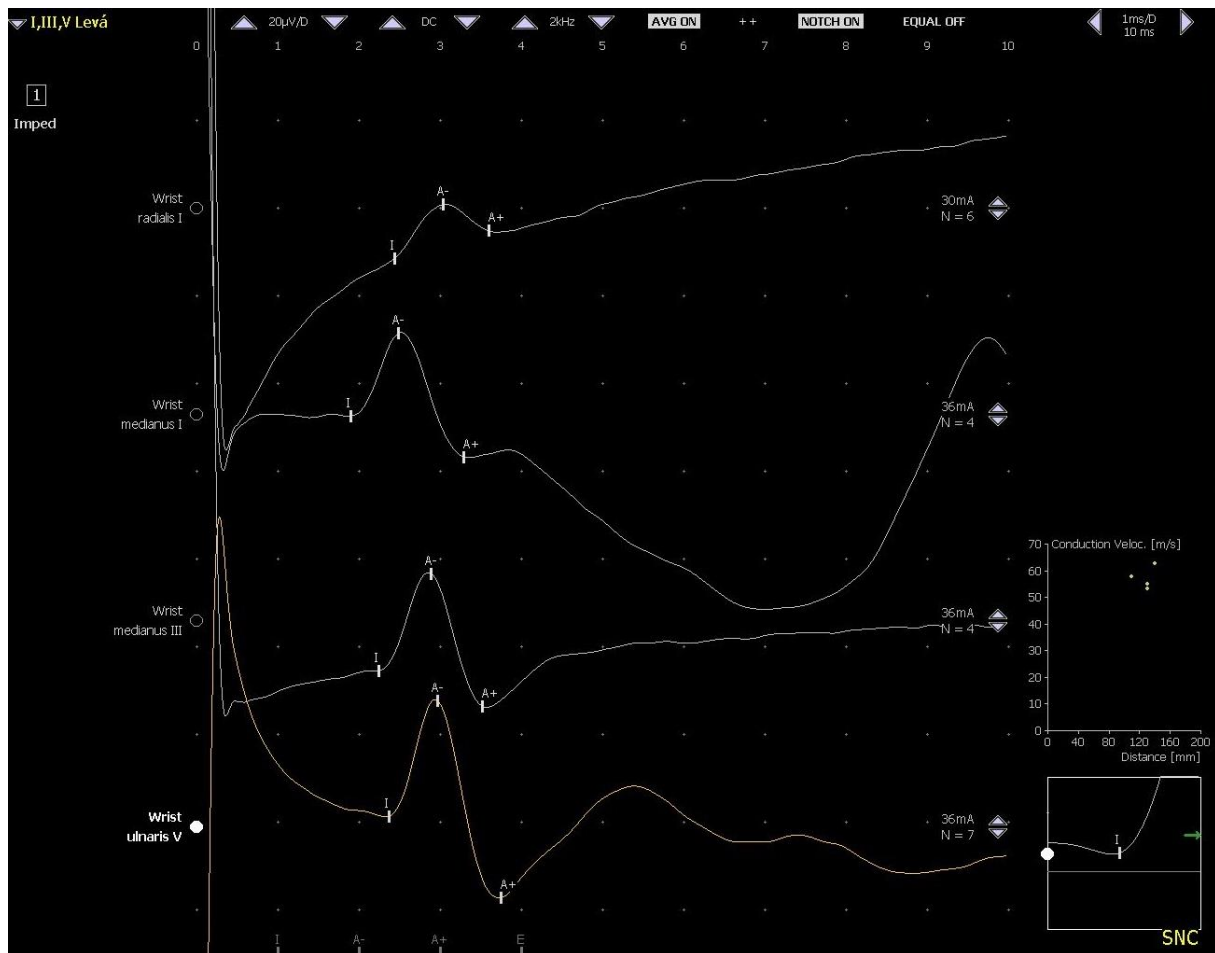
**Senzitivní studie** – stimulujeme senzitivní vlákna nervu a snímáme nad kůží sumační akční potenciál senzitivního nervu - tzv. SNAP (sensory nerve action potencial).

U senzitivních studií nás zajímá:

Rychlost senzitivního vedení: určíme mezi místem stimulace a místem snímacích elektrod.

Amplituda SNAP: amplituda SNAP vypovídá hlavně o počtu funkčních nervových vláken, pokud jsou akční potenciály vedeny nervem synchronizovaně.

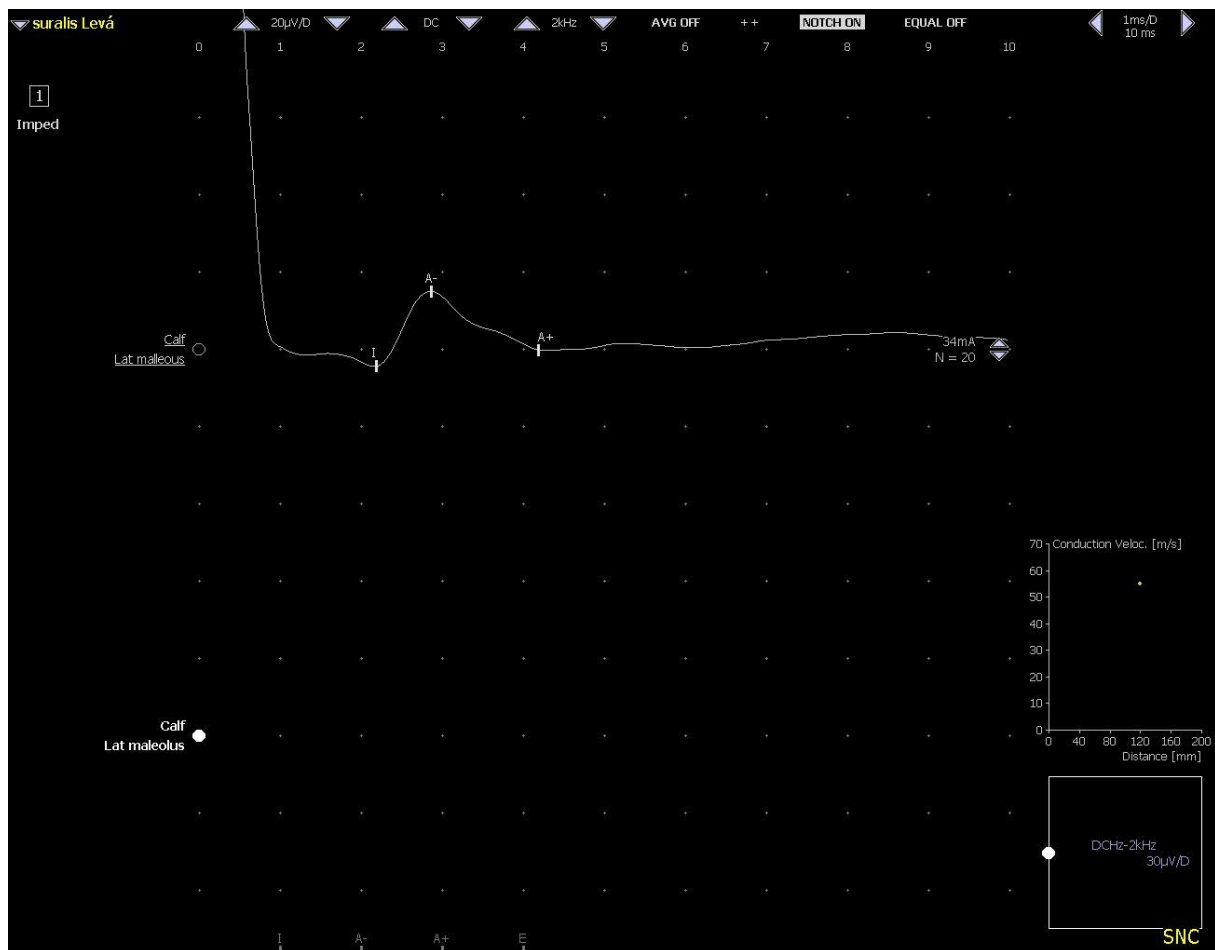
Senzitivní studie - viz obrázek EMG-3 a EMG-4



### obrázek EMG-3 Senzitivní studie na ruce

Senzitivní studie na ruce. V prvním přeběhu je patrný SNAP při stimulaci ramus superficialis nervi radialis k I. prstu, ve druhém SNAP při stimulaci nervus medianus k I. prstu, ve třetím SNAP při stimulaci nervus medianus ke III. prstu a ve čtvrtém přeběhu SNAP při stimulaci nervus ulnaris k V. prstu. Jedná se o normální nález, amplitudy SNAP jsou přibližně 10-25  $\mu$ V a rychlost vedení je od 53-63 m/s.



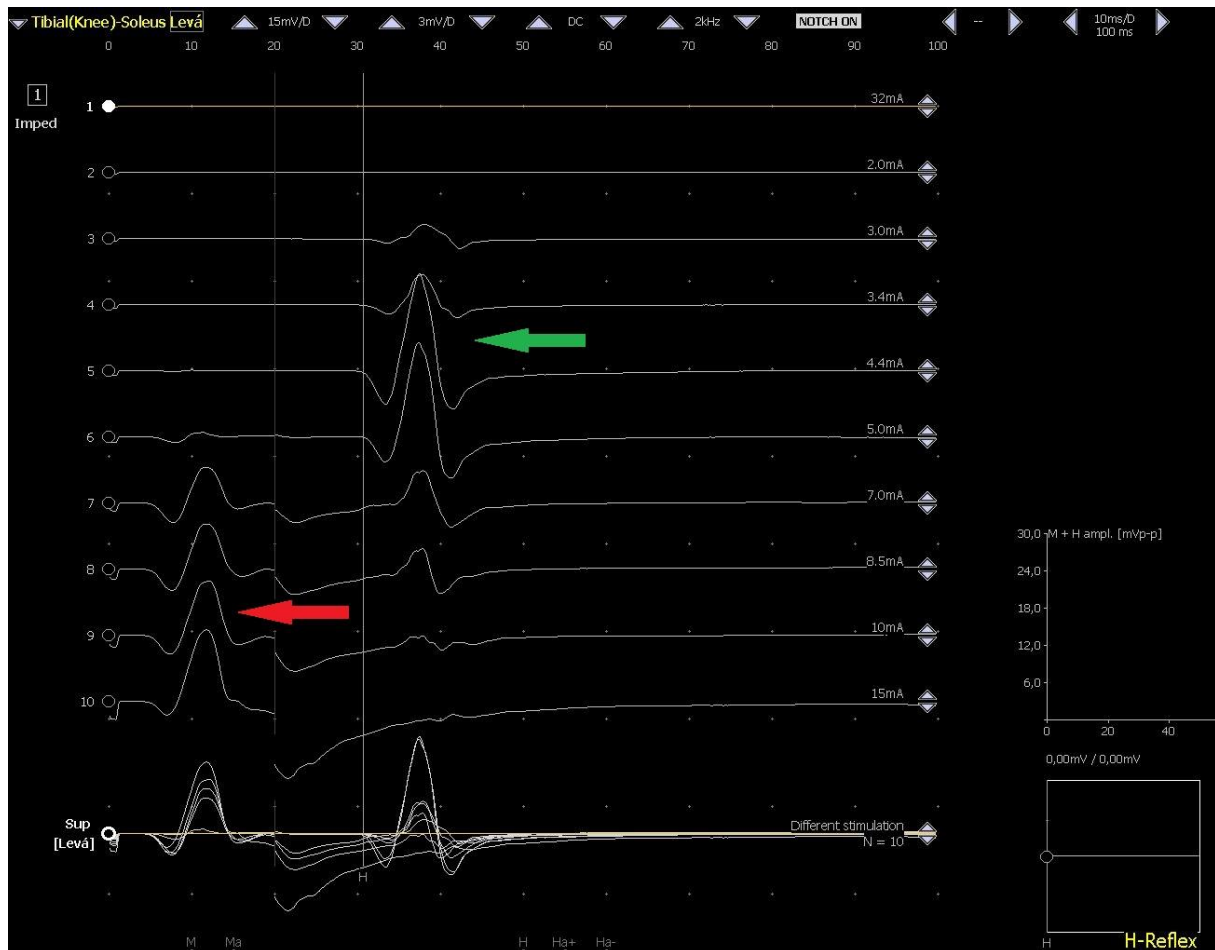


#### obrázek EMG-4 Senzitivní studie nervus suralis

Senzitivní studie nervus suralis. Na obrázku je patrný SNAP, který lze detekovat v oblasti kotníku při stimulaci nervus suralis na bérce. Jedná se o normální nález, amplituda SNAP je přibližně 20  $\mu$ V a rychlost vedení je od 55 m/s.

**H reflex** musculus soleus – jedná se o stimulaci nervus tibialis v podkolení jamce. Po stimulaci nervu se akční potenciály šíří jednak distálně, tak jako při motorických studiích a jako první odpověď pozorujeme CMAP musculus soleus (= M odpověď na obrazovce), signál se ale zároveň z místa stimulace šíří po aferentních vláknech proximálně do míchy. V míše se signál přepojí na alfa motoneurony a odtud se akční potenciály šíří zpět do periferie až do musculus soleus, kde jsou registrovány pomocí snímacích elektrod v podobě H reflexu. H reflex se tedy na obrazovce objevuje až za M odpovědí. U H reflexu sledujeme především latenci (doba objevení se H reflexu po stimulaci) a amplituda H reflexu.

H reflex- viz obrázek EMG-5

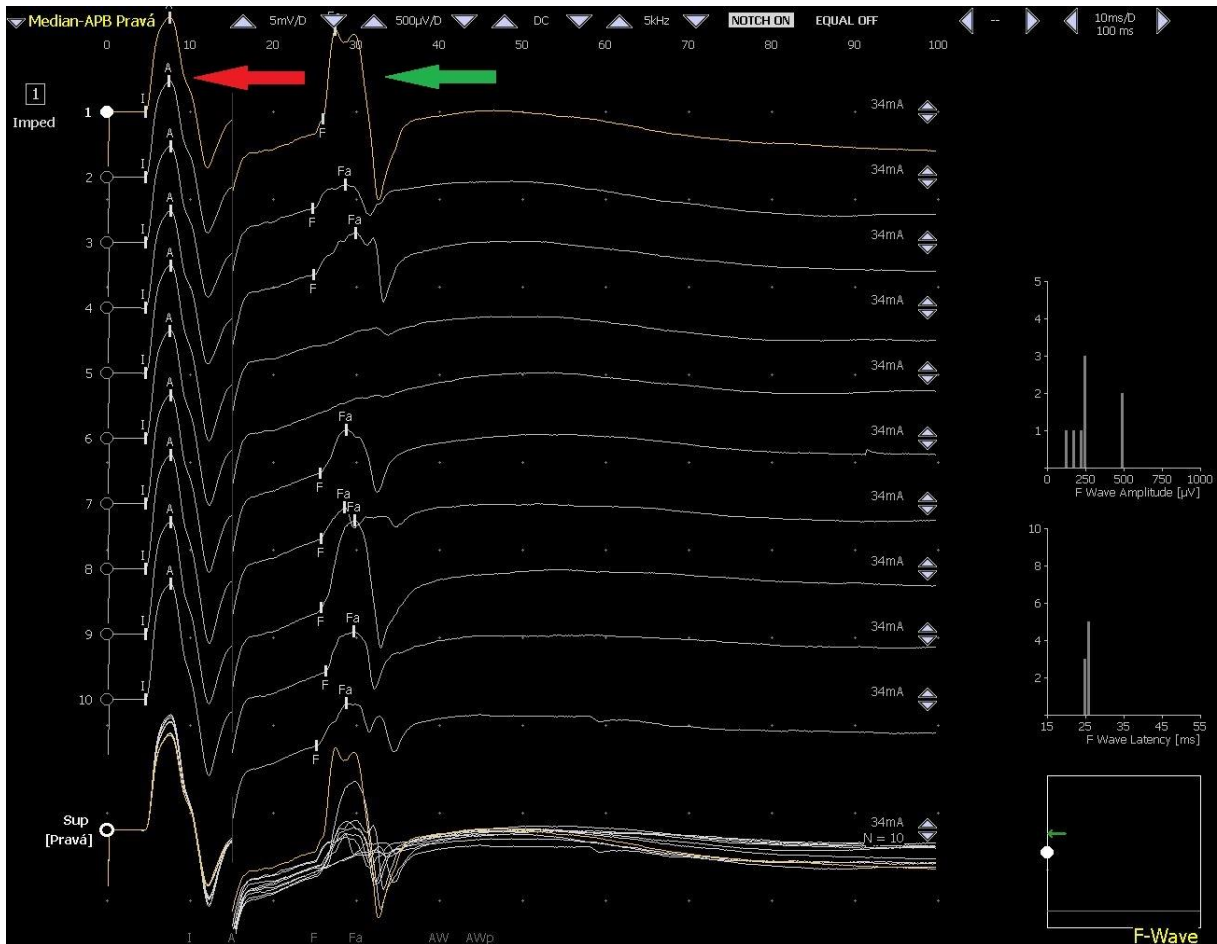


### obrázek EMG-5 H reflex

H reflex s latencí přibližně 30 ms a amplitudou 4 mV. Jedná se o normální nález. Při zvyšující se intenzitě stimulace se nejprve objevuje H reflex (třetí přeběh), postupně narůstá jeho amplituda (maximální je v pátém a šestém přeběhu, viz zelená šipka) a pak postupně mizí. U pátého a šestého přeběhu se také objevuje M odpověď, která odpovídá CMAP, který vybavujeme v běžných motorických kondukčních studiích. Amplituda M odpovědi vzrůstá při zvyšující se intenzitě stimulace a při dosažení maximální hodnoty zůstává nadále vybavitelná (červená šipka).

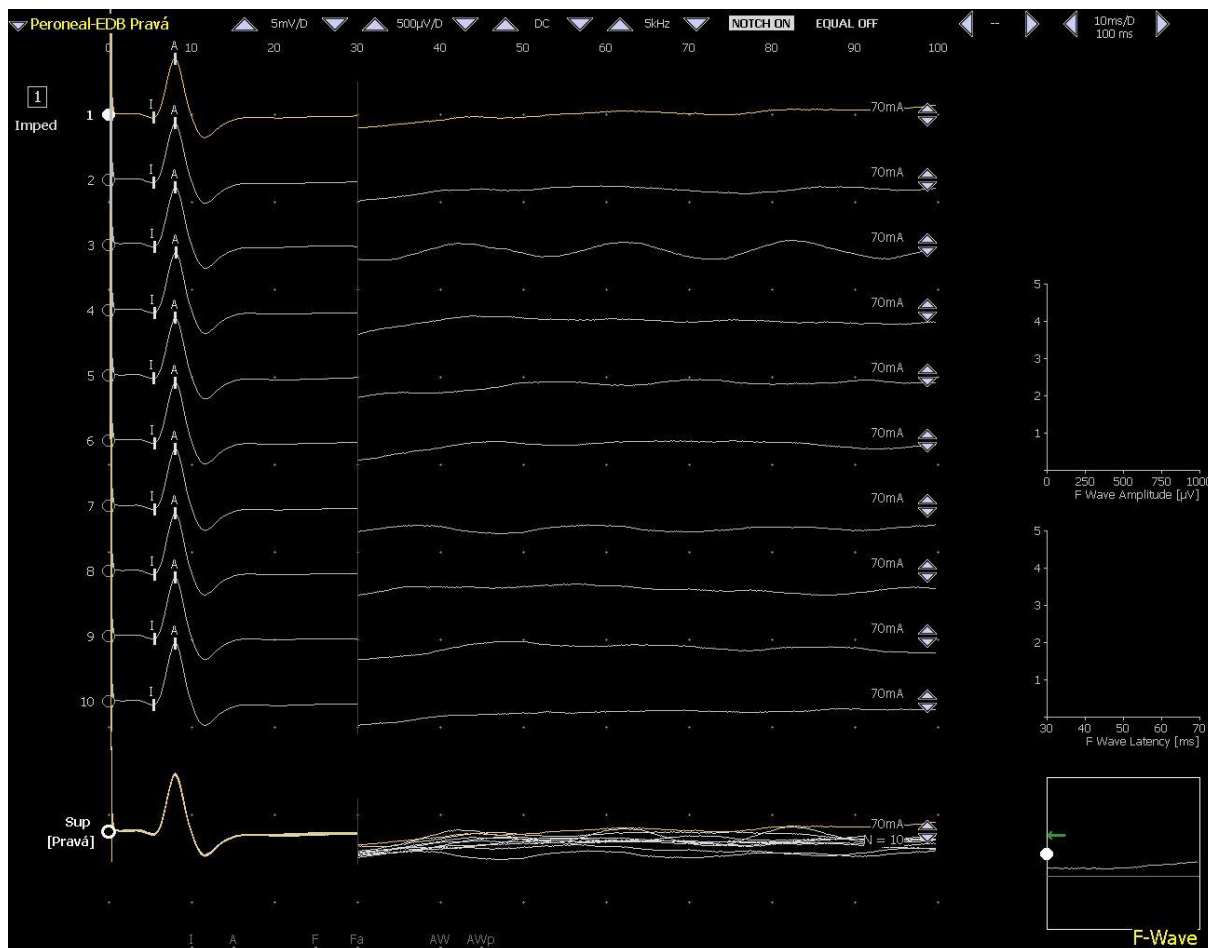
**F vlna** – při stimulaci motorických vláken nervu se část akčních potenciálů šíří i proximálně (antidromně) směrem k tělu motoneuronu a odtud zpět po stejném axonu zpět do periferie (ortodromně). Po převedení akčních potenciálů na sval se nad svalem tyto akční potenciály registrují. Sleduje se především latence F vlny (doba objevení se F vlny po stimulaci).

F vlna - viz obrázek EMG-6 a EMG-7



### obrázek EMG-6 F vlna

F vlna při stimulaci nervus medianus. F vlna se objevuje nepravidelně s různou výškou amplitudy, ale s relativně konstatní latencí – v tomto případě kolem 25 ms. V některých přebězích může F vlna chybět. Poslední přeběh je překrytím všech jednotlivých přeběhů přes sebe – tzv. superimposed mode. F vlna je označena zelenou šipkou, M odpověď červenou šipkou. M odpověď odpovídá CMAP (viz text), v tomto případě jen v jiném zobrazení a s jiným názvem.

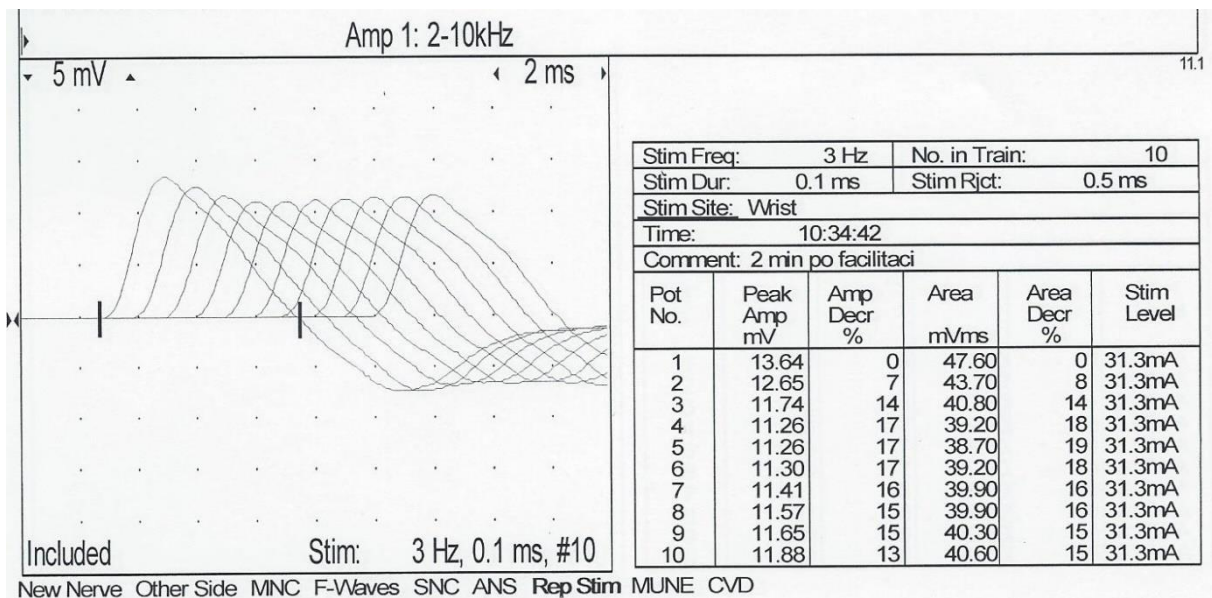


### obrázek EMG-7 F vlna

F vlna při stimulaci nervus peroneus. Abnormní nález, F vlna zde vůbec není vybavena. Objevuje se pouze M odpověď. M odpověď odpovídá CMAP (viz text), v tomto případě jen v jiném zobrazení a s jiným názvem. Srovnej s obrázkem EMG-6, kde je normální nález.

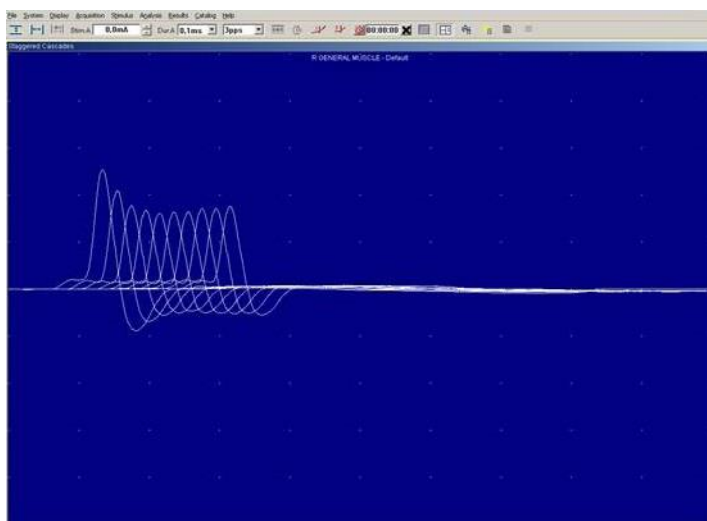
**Repetitivní stimulace** – u repetitivní stimulace se nestimuluje jednorázově, ale nerv se stimuluje opakovaně s určitou frekvencí - například 10 stimulů s frekvencí 3 Hz. Snímá se sumační svalový akční potenciál (CMAP) nad svaem pomocí aktivní a referenční elektrody. Tím, že stimuluje opakovaně, můžeme porovnávat amplitudy jednotlivých CMAP za sebou. Repetitivní stimulace se využívá u diagnostiky poruchy nervosvalového přenosu – např. u pacientů s podezřením na myastenii gravis. Porucha nervosvalového přenosu se při repetitivní stimulaci projevuje tak, že dojde k poklesu amplitudy CMAP v průběhu stimulace o 10 % a více. Při poklesu CMAP v průběhu stimulace mluvíme o dekrementu.

Repetitivní stimulace viz obrázek EMG-8, EMG-9 a EMG-10.



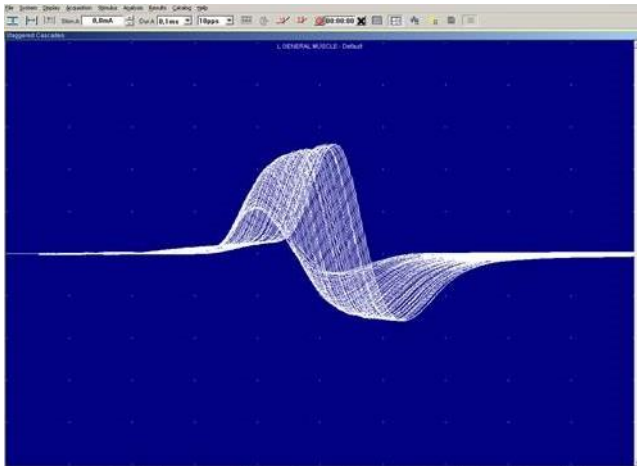
### obrázek EMG-8 dekrement při repetitivní stimulaci

Dekrement amplitudy CMAP při repetitivní stimulaci 3 Hz. Amplituda čtvrté odpovědi je o 17 % menší než amplituda první odpovědi. Zároveň lze pozorovat „U“ tvar při pomyslném spojených vrcholů odpovědí CMAP při repetitivní stimulaci. Tento nálezn svědčí pro poruchu nervosvalového přenosu.



### obrázek EMG-9 dekrement při repetitivní stimulaci

Ještě větší pokles amplitudy (dekrement amplitudy) CMAP při repetitivní stimulaci 3 Hz než na předchozím obrázku EMG-8. Amplituda čtvrté odpovědi je o 34 % menší než první amplituda. Zároveň lze pozorovat „U“ tvar pomyslně spojených vrcholů odpovědí CMAP při repetitivní stimulaci. Tento nálezn svědčí pro poruchu nervosvalového přenosu.



### obrázek EMG-10 inkrement při repetitivní stimulaci

Inkrement amplitudy CMAP při repetitivně stimulaci 30 Hz (vysokofrekvenční stimulace). Za 3,9 sekund vysokofrekvenční repetitivně stimulace vzrostla amplituda CMAP o dalších 136 % oproti amplitudě první odpovědi. Tento náález svědčí pro poruchu nervosvalového přenosu presynaptického typu (Lambert Eaton myastenický syndrom).

### 3. Jehlová EMG

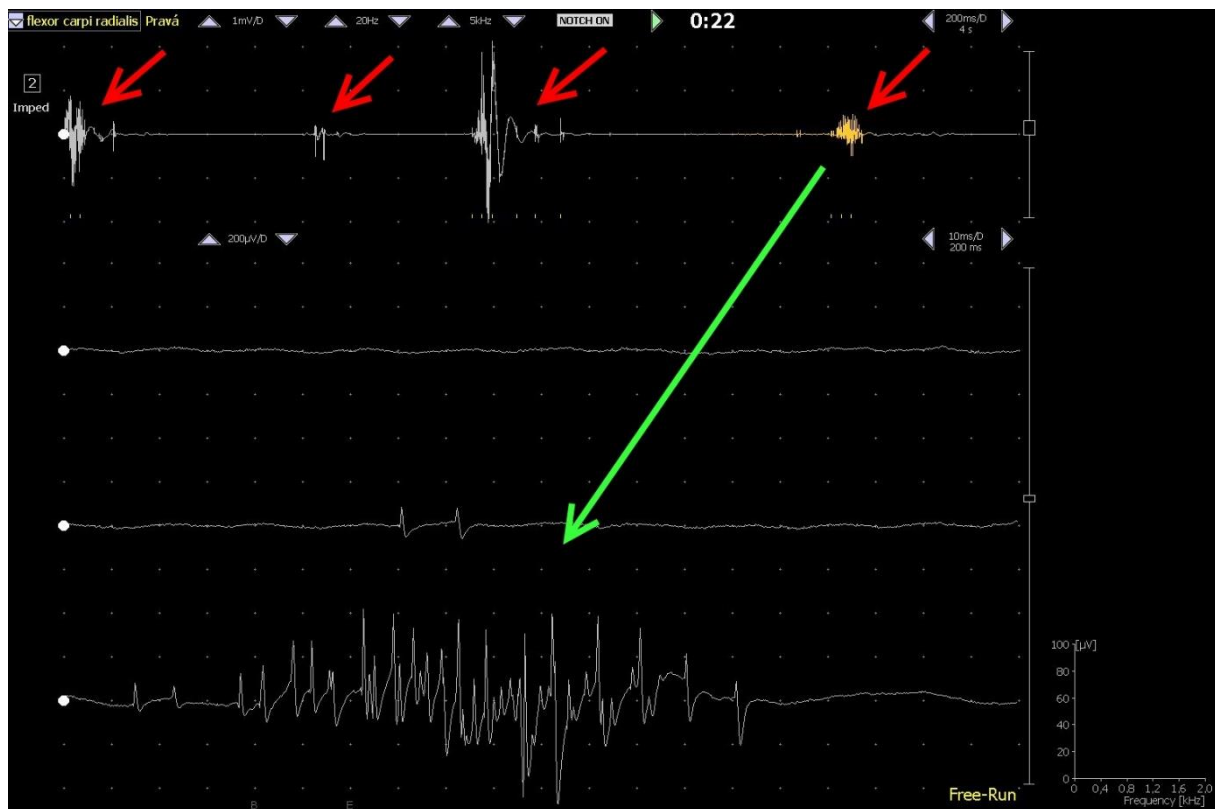
Jehlová elektromyografie představuje snímání akčních potenciálů v blízkosti membrán svalových vláken kosterního svalu pomocí jehlové elektrody. U nejčastějšího typu elektrody – tzv. koncentrické jehlové elektrody, je aktivní elektroda vyvedena na hrotu jehly a plášť jehly funguje jako referenční elektroda, snímá se elektrické napětí mezi nimi. Jehlová elektroda se inzeruje do svalu a potenciály pozorujeme při vpichu, při relaxaci svalu, při lehké volní kontrakci svalu a při maximální kontrakci svalu.

Při vyšetření jehlovou EMG lze určit, zda je přítomna axonopatie motorických vláken inervujících sval, nebo jsou známky myopatie. V případě axonopatie a myopatie lze rozlišit, zda se jedná o proces akutní či chronický.

U jehlové EMG sledujeme především:

**Inzerční aktivitu** – při vpichu jehly do relaxovaného svalu dojde k mechanickému podráždění membrán s následnou aktivací akčních potenciálů.

Inzerční aktivita viz obrázek EMG-11

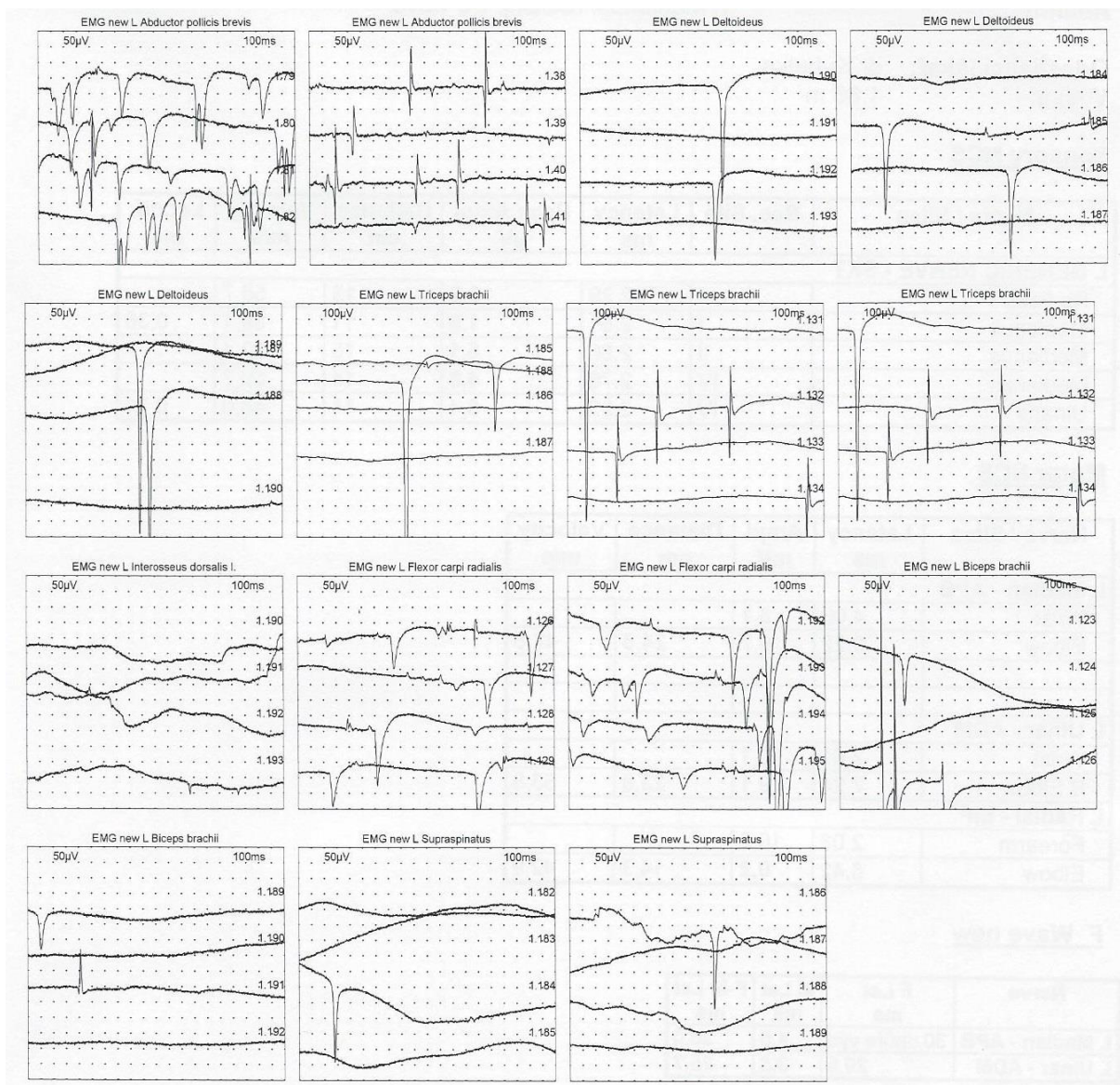


### obrázek EMG-11 inzerční aktivita

Poslechem připomíná inzerční aktivita škrábání jehlou po gramofonové desce. Zde na obrázku je zachycena 4x (červené šipky) a jeden úsek je zesílen (viz zelená šipka).

**Spontánní aktivitu** – sledujeme při relaxovaném svalu. Pozitivní ostré vlny a fibrilace jsou příklady patologické spontánní aktivity, které svědčí pro akutní denervaci svalových vláken (pro akutní axonopatii), nebo se objevují při akutní myopatii. Jedná se o potenciály jednotlivých svalových vláken (každá fibrilace či pozitivní ostrá vlna představuje potenciál jen jediného svalového vlákna).

Spontánní aktivita- viz obrázek EMG-12



### obrázek EMG-12 Fibrilace a pozitivní ostré vlny

Fibrilace a pozitivní ostré vlny – patologická spontánní aktivita při vyšetření v různých svalech. Svaly jsou při vyšetření relaxovány. Například na prvním, třetím a čtvrtém obrázku převažují pozitivní ostré vlny, na druhém, sedmém a osmém obrázku fibrilace.

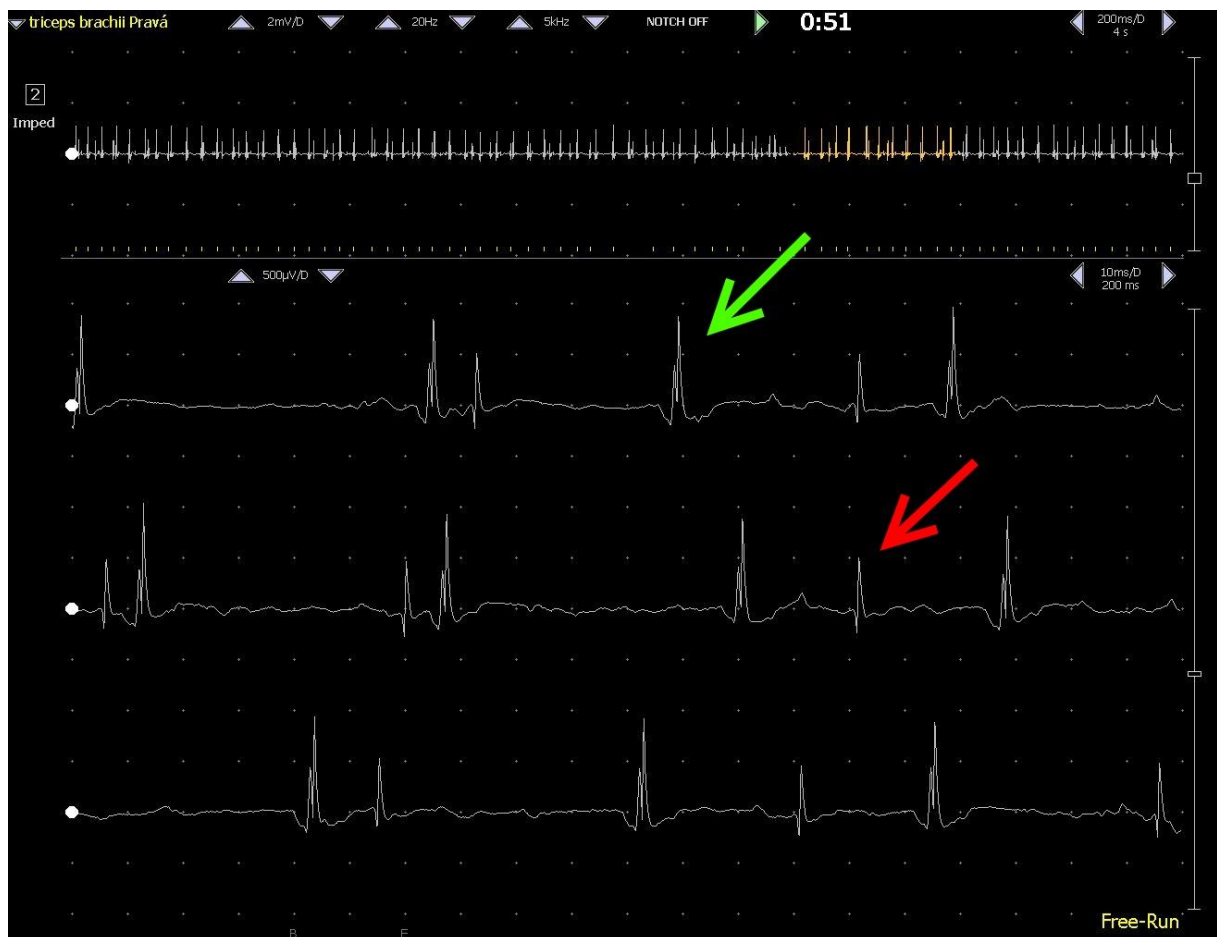
**Motorické jednotky** – tzv. MUP (akční potenciál motorické jednotky, motor unit potential). Pokud je aktivován motoneuron, dojde k šíření akčního potenciálu po axonu a k přenesení akčního potenciálu přes terminální větvení axonu na všechna svalová vlákna, která axon zásobuje. Soubor motorického neuronu, jeho axonu a všech svalových vláken, která inervuje, označujeme pojmem „motorická jednotka“. Sumaci akčních potenciálů ze všech svalových vláken v dosahu jehlové elektrody inervovaných jedním axonem pak snímáme v podobě MUP. Tuto aktivitu sledujeme při lehké volní kontrakci svalu. V případě **chronické axonopatie** dochází k zániku některých axonů a jiné zachované axony jsou schopny denervovaná svalová vlákna reinervovat. Tak některé axony získávají větší počet svalových vláken, než měly



původně a sumace akčních potenciálů je větší – vidíme MUP o vyšší amplitudě a s větším počtem fází (fáze je zlom MUP přes bazální linii na obrazovce EMG přístroje). V případě **myopatie** dochází k zániku některých svalových vláken, přičemž není postižen axon. Axon tak zásobuje menší počet svalových vláken a výsledná MUP má nižší amplitudu než je normální a také větší počet fází.

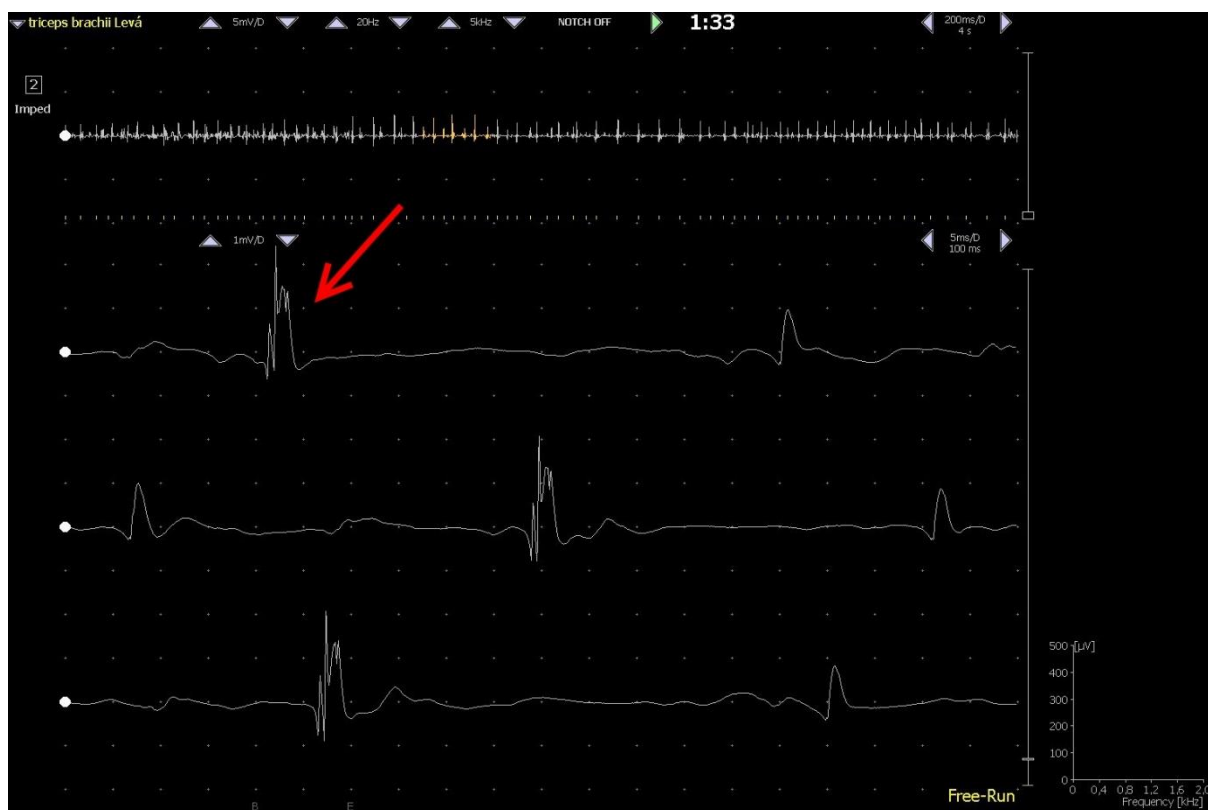
**Fascikulace** jsou spontánní výboje motorických jednotek neboli spontánně se objevující MUP (bez volní aktivity pacienta). Fascikulace lze pozorovat v klidu – v relaxovaném svalu, kdy pozorujeme spontánní aktivitu (viz výše).

Motorické jednotky- viz obrázek EMG-13, EMG-14



**obrázek EMG-13 motorické jednotky**

Na obrazovce vidíme dva různé MUP, které se s určitou frekvencí objevují na obrazovce. Zelenou šipkou je označena MUP o amplitudě 1 mV a červenou šipkou MUP o amplitudě 0,75 mV. Normální nález.



#### obrázek EMG-14 motorické jednotky

Na obrazovce se objevuje abnormní MUP (červená šipka). Má amplitudu 3 mV (je vysoká oproti normálním jednotkám) a má komplexní tvar – u těchto jednotek vidíme více fází, tedy více zvrátů křivky než u normální jednotek. Při vícečetném zvratu křivky mluvíme o polyfázickém MUP nebo o MUP s „polyturns“. U polyfázického MUP je více zvrátů křivky přes bazální linii (baseline), u „polyturns“ MUP je více zvrátů křivky, ale tyto zvraty nepřecházejí přes bazální linii.

**Interferenční vzorec** – při maximální volní kontrakci svalu dochází k výbojům velké řady MUP. Sledujeme hustotu EMG křivky při nábore motorických jednotek při zvyšování intenzity kontrakce až do maximální intenzity.

#### Single fibre EMG

Jedna z metod single fibre EMG (SFEMG, elektromyografie jednotlivého svalového vlákna) je **stimulovaná SFEMG**. Jedná o opakovanou stimulaci nervu a snímání akčního potenciálu pouze jednoho svalového vlákna pomocí speciálně upravené jehlové elektrody (SFEMG jehlová elektroda). Fyziologicky přenáší axon při opakované stimulaci akční potenciál na svalové vlákno konstantní rychlostí. Pokud ovšem pacient trpí poruchou nervosvalového přenosu, tak je tato rychlost nestabilní a v místě nervosvalové ploténky dochází ke kolísání rychlosti až k úplné blokaci nervosvalového přenosu. Variabilita času objevení se akčního potenciálu po stimulaci se nazývá jitter. SFEMG se využívá především pro diagnostiku poruch nervosvalového přenosu, například myastenia gravis.

#### 4. Indikace EMG

EMG vyšetření lze využít u velkého množství nosologických jednotek, a to při postižení periferního nervstva (neuropatie), nervosvalového přenosu, nebo kosterního svalstva (myopatie). U části onemocnění EMG stanoví diagnózu, nebo k ní přispěje. Pomocí EMG lze onemocnění sledovat a můžeme se také vyjádřit k prognóze. U sporných nálezů lze pomocí EMG onemocnění objektivizovat, nebo odhalit subklinické postižení. Obecně EMG rozšiřuje neurologické vyšetření. Aby vyšetření EMG bylo přínosné, musí být nejprve dle anamnesy a klinického vyšetření formulována diferenciativně diagnostická otázka, na kterou má vyšetření odpovědět – tedy kterou klinickou diagnózu potřebujeme tímto paraklinickým vyšetřením posoudit.

#### EMG v konkrétních diagnostických situacích

**Syndrom karpálního tunelu** je nejčastější **mononeuropatií** (mononeuropatie = postižení jednoho nervu). V EMG dominuje demyelinizace n. medianus v oblasti karpálního tunelu. Nacházíme prodlouženou DML nervus medianus a sníženou rychlost vedení senzitivních vláken nervus medianus přes zápěstí. Ostatní nervy mají parametry vedení normální. Stimulace probíhá proximálně od karpálního tunelu a registrace distálně od karpálního tunelu.

Příklad EMG vyšetření syndromu karpálního tunelu – viz publikace: Minks E, Minksová A, Brhel P, Babičová V. Profesionální syndrom karpálního tunelu. *Neurol. praxi* 2014; 15(5): 234-239  
<http://www.neurologiepropraxi.cz/pdfs/neu/2014/05/03.pdf>

**Neuropatie nervus ulnaris v oblasti lokte** v místě sulcus nervi ulnaris, nebo v místě kubitálního kanálu je druhou nejčastější mononeuropatií. V EMG dominuje demyelinizace nervus ulnaris v oblasti lokte a nacházíme především sníženou rychlost motorického vedení přes loket nebo blok motorického vedení v této oblasti.

Příklad EMG vyšetření nervus ulnaris v oblasti lokte – viz publikace: Minks E, Husárová I, Hlučková A, Streitová H, Konečný L, Pochmonová J, Bareš M. 2cm segmentová studie motorických vláken nervus ulnaris přes oblast lokte - elektromyografická technika. *Neurol. praxi* 2012; 13(1): 32–37  
<http://www.neurologiepropraxi.cz/pdfs/neu/2012/01/09.pdf>

U **polyneuropatie** (polyneuropatie = postižení více nervů) lze EMG využít jednak k průkazu polyneuropatie a jednak k její bližší specifikaci - lze říci, zda jde o polyneuropatii axonální či demyelinizační, akutní či chronickou a zda jsou postižena senzitivní vlákna či senzitivní a zároveň motorická vlákna. Obecně jsou u polyneuropatie na dolních končetinách v průběhu onemocnění alterovány nejprve H reflexy a F vlny, poté senzitivní vedení a je patrná abnormita v jehlové EMG, nakonec

je postiženo motorické vedení. U polyneuropatie při chronickém abusu ethanolu (alkoholická polyneuropatie) bývá v EMG nález chronické axonopatie. U diabetické polyneuropatie jsou obvykle kromě chronické axonopatie i lehké známky demyelinizace. U AIDP (akutní dysimunitní demyelinizační polyradikuloneuritida) jsou v EMG výrazné známky demyelinizace.

U **radikulopatie** (radikulopatie = postižení kořene) je nejdůležitější jehlová EMG. V jehlové EMG nalzáme ve svalech axonopatii a to pouze v myotomu, který je zásoben postiženým kořenem. Ostatní svaly jsou normální. Senzitivní vedení je typicky u radikulopatie normální (u mononeuropatie, polyneuropatie, plexopatie je naopak postiženo). Senzitivní vedení je v EMG normální, zdánlivě paradoxně, přestože pacient má senzitivní symptomy (hypestesii, algie). Je tomu tak proto, že pokud je léze kořene lokalizována proximálně od ganglion spinale (což je nejčastější situace), periferní raménka senzitivních neuronů mezi periferií a ganglion spinale jsou intaktní. Příčina senzitivních příznaků je tedy proximálně od ganglion spinale a paramenty senzitivního vedení v EMG zůstávají v normě, neboť odrážejí funkci periferních ramének pseudounipolárních neuronů.

U **plexopatie** (plexopatie = postižení nervové pleteně) horní končetiny lze nalézt postižení, které se podobá svojí tíží lézi více kořenů (supraklavikulární typ = léze nad klíční kostí, léze truncus superior, medius, inferior), nebo lze nalézt postižení, které se podobá lézi více nervů (infraklavikulární typ = léze pod klíční kostí, léze fasciculus lateralis, posterior, medialis). V případě supraklavikulární léze plexu horního typu (truncus superior) jde o syndrom dobré ruky na špatném rameni a paži, v případě supraklavikulární léze dolního typu (truncus inferior) jde o syndrom špatné ruky na dobrém rameni a paži. U plexopatie jsou v EMG známky postižení jak senzitivních, tak motorických vláken pod místem léze (plexem) a nejsou postiženy struktury, které odstupují nad plexem – například nervus thoracicus longus zásobující musculus serratus anterior a paravertebrální svaly zásobené z rami posteriores míšního kořene (radixu). U plexopatie na dolní končetině lze rozlišit lézi horního typu (léze plexus lumbalis) a dolního typu (léze plexus sacralis). Postižení zde připomíná postižení více nervů a postižena jsou jak motorická tak senzitivní vlákna. Nejsou postiženy nervy, které odstupují nad plexem – například vyšetření paravertebrálních svalů zásobených z rami posteriores míšních kořenů (radixů) je s normálním nálezem

**Amyotrofická laterální skleróza (ALS)** je příkladem **onemocnění motoneuronu** (motorického neuronu). Senzitivní vedení je zde typicky normální, vedení motorických vláken vykazuje axonopatii. V jehlové EMG se nachází zároveň jak spontánní aktivita – fibrilace a pozitivní ostré vlny, tak chronické změny MUP. Charakteristický bývá bohatý výskyt fascikulací. U rozvinutého onemocnění je tento nález v jehlové EMG těžkého stupně a přítomen generalizovaně – v řadě svalů zásobených hlavovými nervy, na horních končetinách, na trupu a na dolních končetinách.

U **poruch nervosvalového přenosu** – jedná se zejména o **myastenia gravis a Lambert Eatonův myastenický syndrom** se využívá repetitivní stimulace a SFEMG, které detekují poruchu nervosvalového přenosu. U myastenie gravis nacházíme u nízkofrekvenční repetitivní stimulace (frekvence 3 Hz) pokles amplitudy CMAP o 10 a více % a u SFEMG dochází k větší variabilitě a snížení rychlosti vedení až k blokádě přenosu akčního potenciálu k jednotlivému svalovému vláknu. U Lambert Eatonova syndromu je navíc u motorického vedení iniciální amplituda CMAP velmi nízká a po aktivaci svalu dochází k jejímu nárůstu o 100 % a více. Podobný obraz je u vysokofrekvenční repetitivní stimulace (30 Hz) u tohoto syndromu. Při vysokofrekvenční stimulaci dochází k nárůstu amplitudy o 100 % a více.

U **myopatií** (postižení kosterního svalstva) je pro diagnostiku důležitá jehlová EMG. Senzitivní a motorické vedení je normální. V jehlové EMG nacházíme polyfázické MUP nízké amplitudy a plnou interferenční křivku o nízké amplitudě při objektivně malé svalové síle pacienta. V případě akutních myopatií (polymyositida) nacházíme také spontánní aktivitu. Rázovitý zvuk a obraz mají tzv. myotonické výboje (vzrůstající a klesající frekvence zvuku v reproduktoru, tento zvuk je připodobňován k túrovanému motoru motorky, střemhlav útočícímu bombardéru nebo letu chrousta). Vysoce specificky se vyskytují u myotonií. Nejčastější myotonií je myotonická dystrofie II. nebo I. typu.

## **Kontraindikace**

Absolutní kontraindikace pro EMG vyšetření neexistují, vyšetřením však lze za určitých okolností pacienta poškodit. Jedná se především o EMG vyšetření při antikoagulační terapii (hematom v místě vpichu s dalšími důsledky, např. compartment syndrom), poškození kardiostimulátoru či jiného stimulátoru při silné elektrické stimulaci v blízkosti implantovaného přístroje. Kardiostimulátor může analyzovat naše elektrické výboje jako vlastní srdeční rytmus pacienta a může přestat stimulovat po dobu naší stimulace. Pokud je pacient na kardiostimulátoru dependentní, může dojít k bradykardii či asystolii. Pokud je vyšetření nezbytné, pak lze provést za účasti lékaře kardiostimulační ambulance, který přístroj kontroluje či nastaví na pevný rytmus. EMG vyšetření je často nepříjemné / bolestivé. Na druhou stranu je potřeba upozornit elektromyografistu na infekční onemocnění pacienta (např. hepatitidu B) z důvodu rizika poranění lékaře při vyšetření jehlovou elektrodou a indikaci EMG vyšetření u infekčních pacientů důkladně zvážit.

**Poděkování:** Text by nevznikl bez dlouhodobé práce mých kolegů, poděkování patří MUDr. Haně Streitové, MUDr. Tomáši Gescheidtovi, Ph.D., MUDr. Ivici Čechové, Ph.D., Marii Kopíčkové, Anně Hlučkové, Janě Bártové, Petře Krainerové z elektromyografické laboratoře I. neurologické kliniky LF MU a FN u sv. Anny v Brně, Věře Čermákové z elektromyografické laboratoře na Běhounské 8 v Brně a v neposlední řadě patří poděkování MUDr. Alexandře Minkové. Obrazová dokumentace je uveřejněna se souhlasem vyfotografovaných a natočených osob.

***Otázky ke zkoušce***

- *Elektromyografie*
- *Kondukční studie*
- *Jehlová EMG*
- *Indikace EMG, EMG v konkrétních diagnostických situacích*

## Evokované potenciály

MUDr. Eduard Minks, Ph.D.

### 1. Úvod

Evokovaný potenciál (EP) je odpověď nervové soustavy (nebo svalové soustavy) na stimulaci receptorů nebo nervů. Jedná se o sumaci velkého počtu akčních potenciálů na membránách nervových (nebo svalových) buněk, které jsou vyvolány určitým podnětem. V případě, že se jedná o sumaci akčních potenciálů ze široké neuronální sítě, mluvíme o tomto místě jako o generátoru EP. Evokovaný potenciál je časově vázaný na stimulus – to znamená, že se objevuje s konstantní latencí po určitém stimulu. Podle stimulace rozlišujeme zrakové (VEP), sluchové (BAEP), somatosenzitivní (SSEP), motorické (MEP) a kognitivní evokované potenciály. Modifikací MEP vznikla párová a repetitivní transkraniální magnetická stimulace. Registraci EP provádíme pomocí dvou, většinou povrchových elektrod – aktivní a referenční; snímáme změny napětí mezi aktivní a referenční elektrodou v čase. Aktivní elektroda je umístěna nad generátorem evokovaného potenciálu (což může být např. parietální kortex při natáčení SSEP) a referenční v oblasti neaktivní (např. jiná a neaktivní oblast mozkové kůry při natáčení SSEP). Vzhledem k tomu, že amplitudy evokovaných potenciálů se pohybují v řádech mikrovoltů (s výjimkou MEP, kde se pohybují v řádech milivoltů), je nutno je „zvýraznit“ oproti rušivému signálu z okolí (při snímání nad skalpem též oproti běžnému EEG signálu). Záznam EP (s výjimkou MEP) tedy vzniká zprůměrněním několika set přeběhů - je aplikováno několik set stimulů a v přístroji jsou tyto záznamy signálu navazujícího na stimulaci zprůměrněny. EP se objevuje v pevné časové vazbě na stimulus a při zprůměrnění je tedy zvýrazněn, zatímco rušivý signál z okolí nemá časovou vazbu na stimulaci a je tedy při zprůměrnění potlačen.

Pro natočení evokovaných potenciálů se používá stejný přístroj jako pro elektromyografii – viz příslušná kapitola.

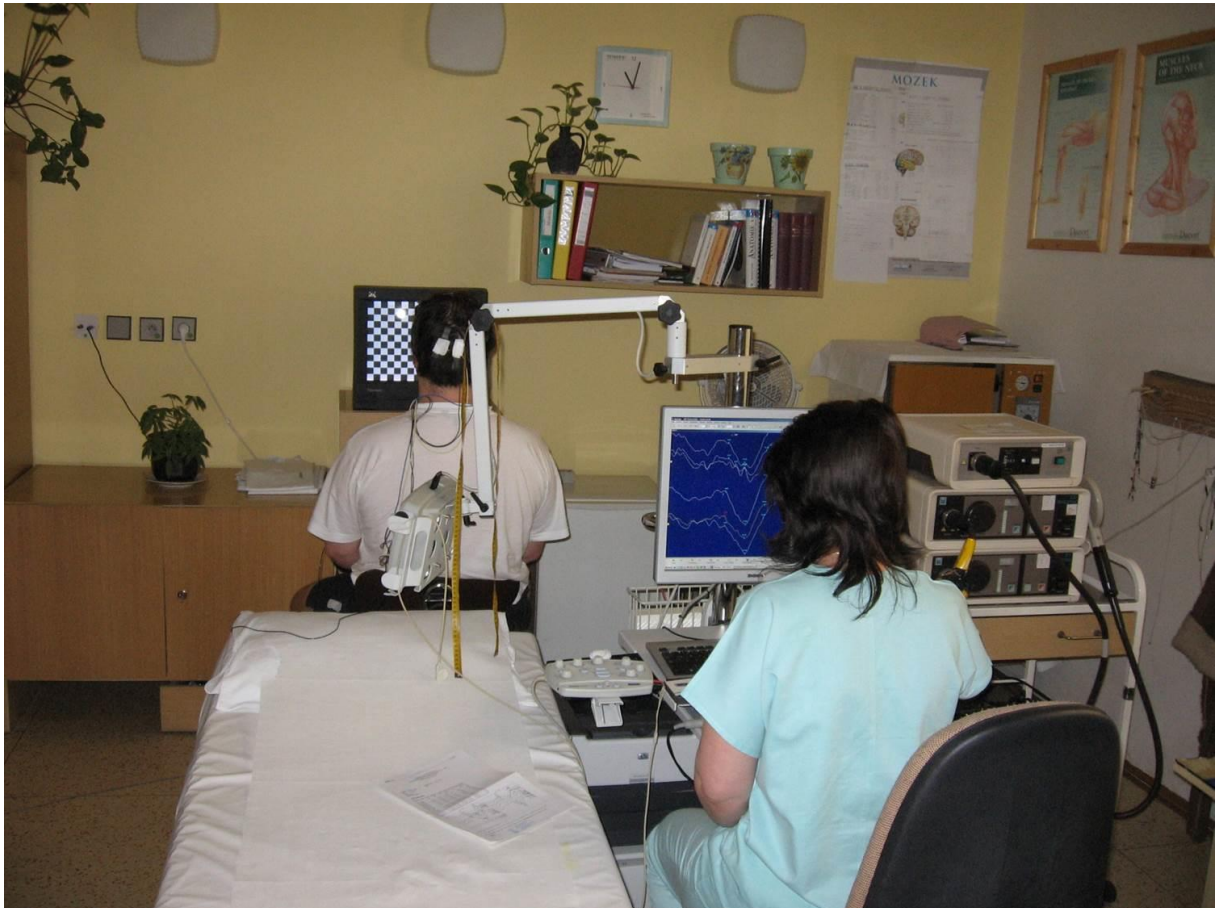
U evokovaných potenciálů (tak jako u kondukčních studií v EMG) známe okamžik stimulace sledované dráhy a známe okamžik objevení se EP. Známe tedy čas (udávaný v ms), za který se akční potenciály v oblasti generátoru objeví – mluvíme o latenci EP, nebo o kondukčním čase. U některých drah (SSEP, MEP) jsme schopni registrovat hned několik EP na několika odlišných místech na jedné anatomické dráze. Například při vyšetření SSEP n. medianus stimulujeme elektricky nervus medianus v oblasti zápěstí a získáváme EP v oblasti Erbova bodu (plexus brachialis), v oblasti krční míchy a v oblasti kortexu. Zjišťujeme tedy i kondukční časy mezi těmito body a můžeme posuzovat i jednotlivé úseky sledované dráhy. Víme také, jakou má mít EP amplitudu (např. u VEP). Posuzujeme i případnou stranovou asymetrii srovnáním záznamů při stimulaci zleva i zprava. Z těchto informací lze soudit, zda jsou evokované potenciály v normě. Pokud jsou latence prodlouženy, je-li významná asymetrie odpovědí, je-li amplituda EP nižší, nebo pokud dokonce EP chybí - je sledovaná dráha alterována.

### 2. Jednotlivé modality evokovaných potenciálů

**Vizuální evokované potenciály (VEP)** – stimulujeme zrakovou dráhu pomocí obrazovky, na které se střídavě promítá šachovnicové a reverzní šachovnicové pole s určitou frekvencí (pacient sleduje určený bod uprostřed obrazovky, na obrazovce se v pravidelných intervalech navzájem střídají barvy políček šachovnice; tzv. „*pattern-reversal VEP*“). Natáčí se zvlášť záznam při stimulaci pravého a zvlášť levého oka (jedno oko je vždy zakryto). Obrazovkou je

stimulována sítnice oka a akční potenciály putují zrakovou dráhou do okcipitálního kortexu, kde se nachází generátor VEP. Hlavní popisovaná komponenta je vlna P100, která se objevuje s latencí kolem 100 ms od stimulu (tedy od změny barvy políček). Latence vlny P100 je hlavním sledovaným parametrem, dále je důležitá rovněž výška amplitudy a tvar vlny P100. Nejčastější abnormitou je prodloužení latence vlny P100. Postižení zrakové dráhy se dá dle VEP topizovat. Například u prechiasmatického demyelinizačního postižení je latence P100 při stimulaci jednoho oka normální a u druhého prodloužena. Postižení je na straně prodloužené latence. Tvar vlny P100 charakteru „W“ je rovněž abnormitou.

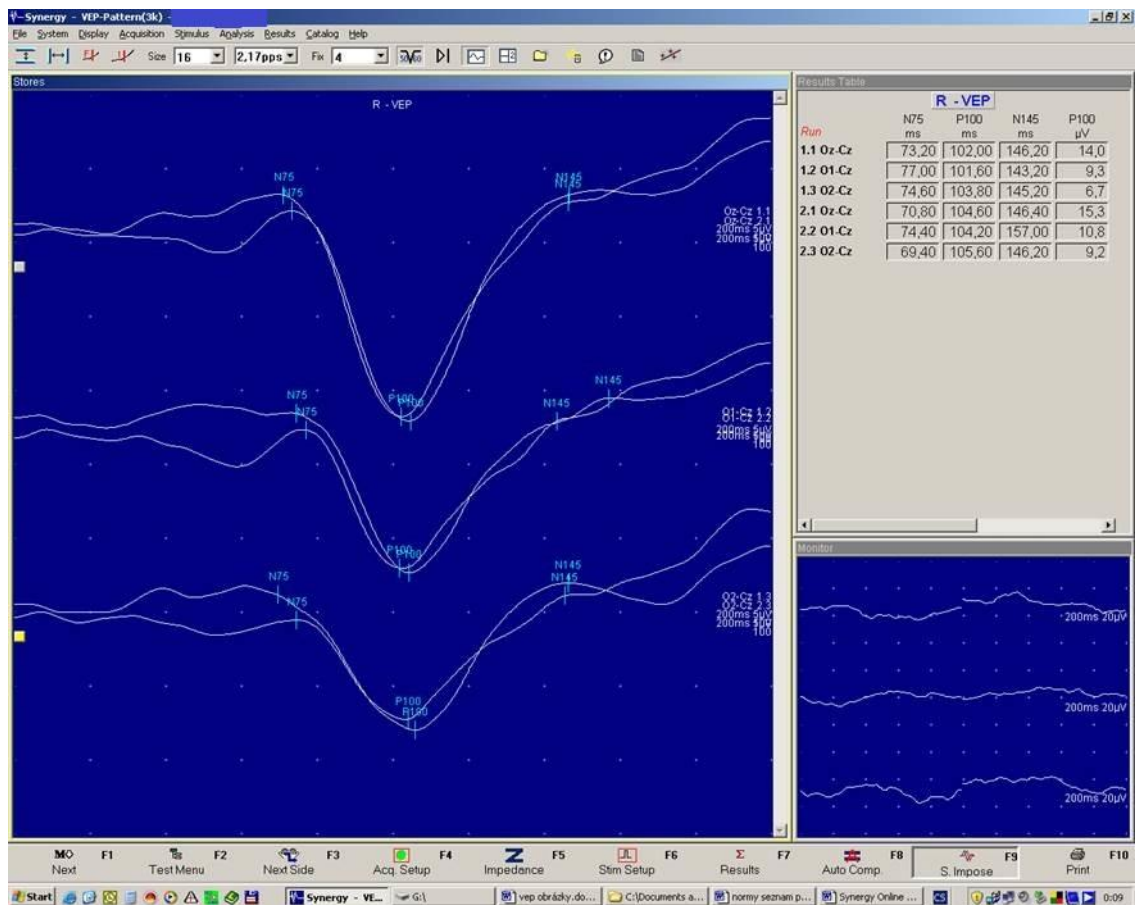
Příklad VEP viz obrázek EP-1 a EP-2 a EP-3 a EP-11 a EP-12



**obrázek EP-1, natáčení VEP**

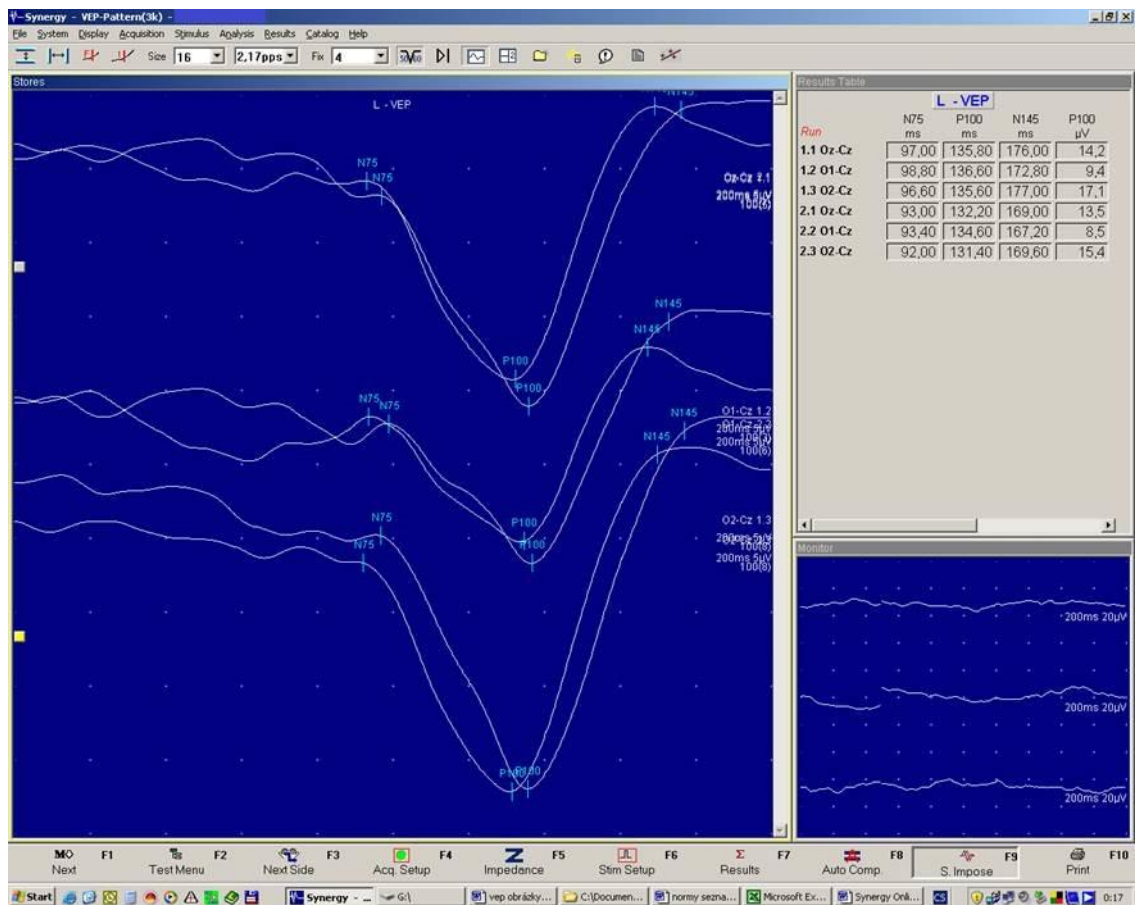
Situace v laboratoři při natáčení vizuálních evokovaných potenciálů. Pacient sedí před obrazovkou, kde probíhá prezentace šachovnicového a reverzního šachovnicového podnětu, okcipitálně jsou u pacienta nalepeny povrchové elektrody. Na obrazovce elektromyografického přístroje jsou patrné vykreslené VEP, elektrofyziologická laborantka kontroluje průběh natáčení.





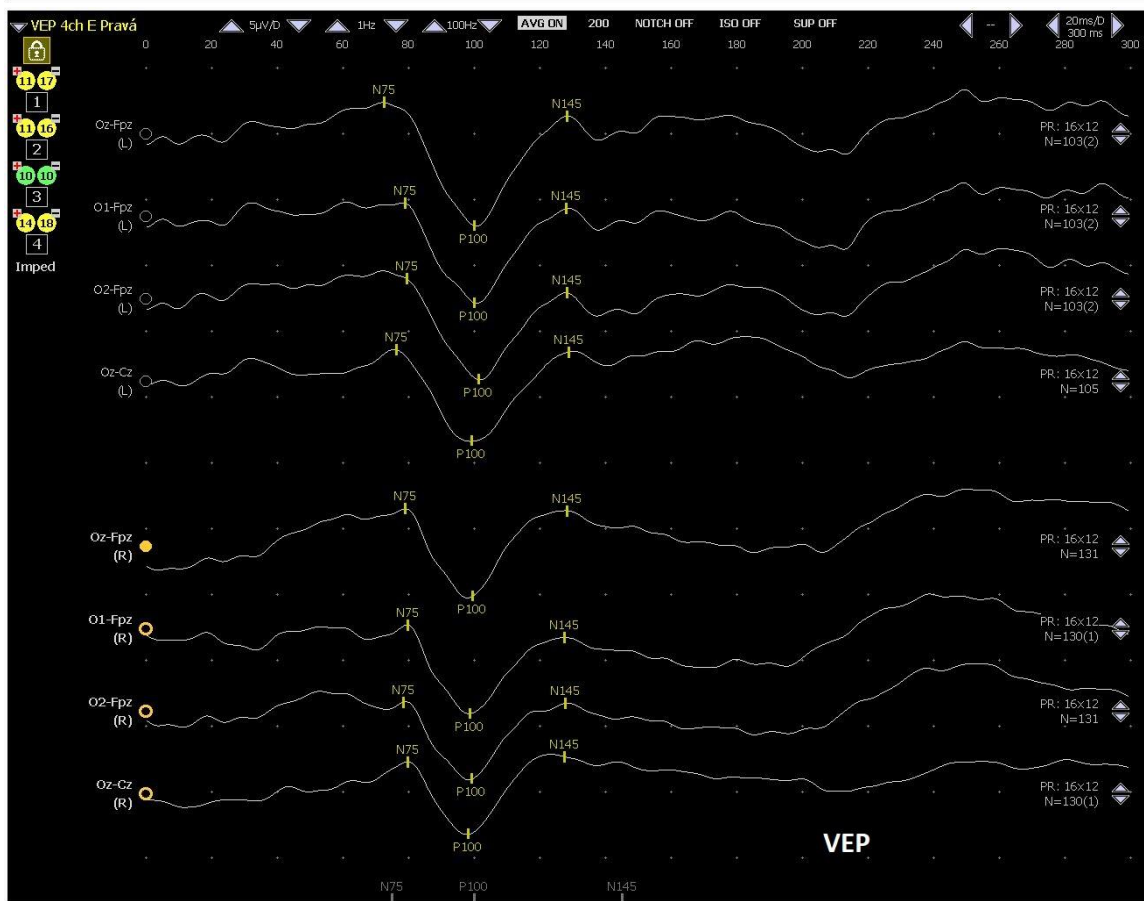
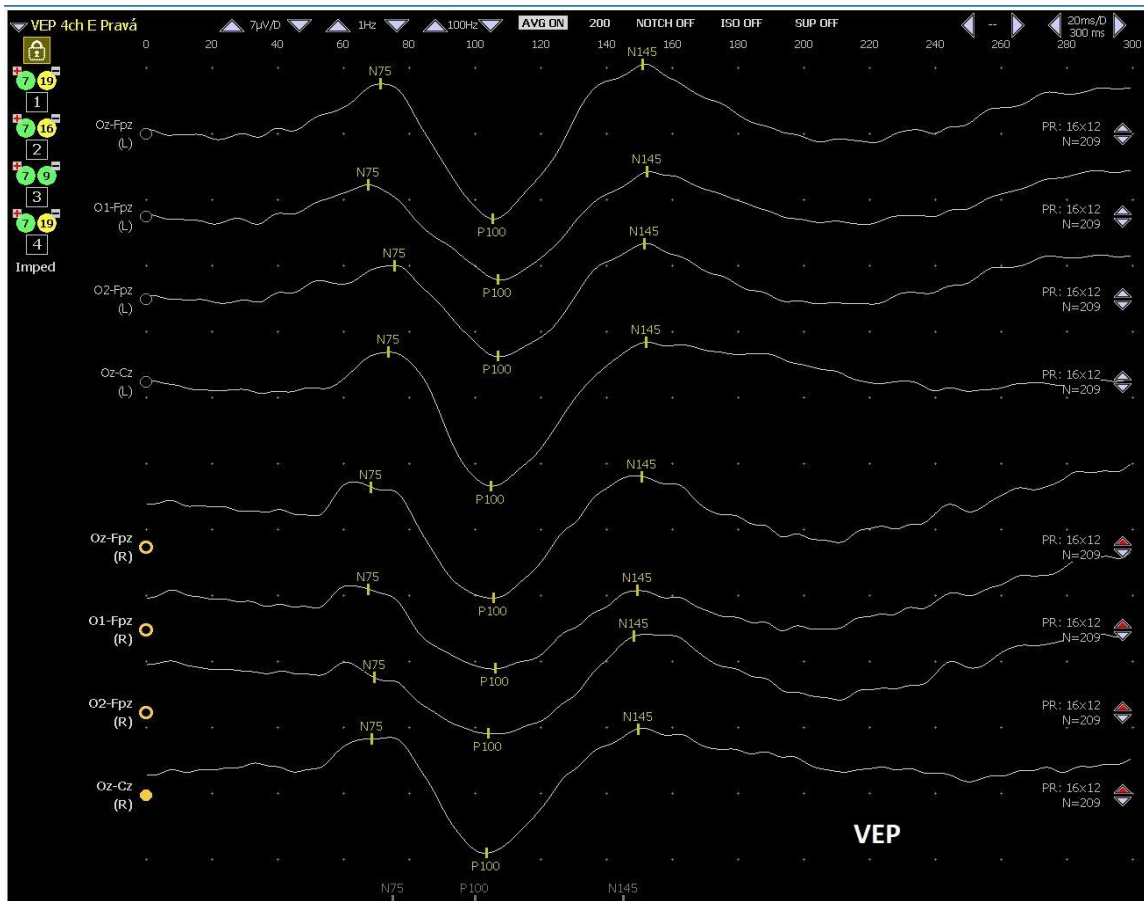
### obrázek EP-2, normální VEP

Pohled na monitor, na kterém jsou vykresleny vizuální evokované potenciály. Normální nález. Latence vlny P100 je 102-106 ms.



### obrázek EP-3, abnormní VEP

Pohled na monitor, na kterém jsou vykresleny vizuální evokované potenciály. Abnormní nález. Latence vlny P100 je abnormně prodloužena na 131-137 ms. Srovnej s předchozím obrázkem.



**obrázky EP-11 a EP-12.** Jedná se o příklady normálních VEP. Stranově je nález symetrický, amplituda má normální tvar, latence vlny P100 je v normě.

**Motorické evokované potenciály (MEP)** mají mezi evokovanými potenciály zvláštní postavení – na rozdíl od ostatních EP nevyšetřujeme aferentní, ale eferentní dráhu – stimulace se provádí v různých místech vyšetřované dráhy a registrace se provádí nad svalem, tedy v periférii motorické dráhy.

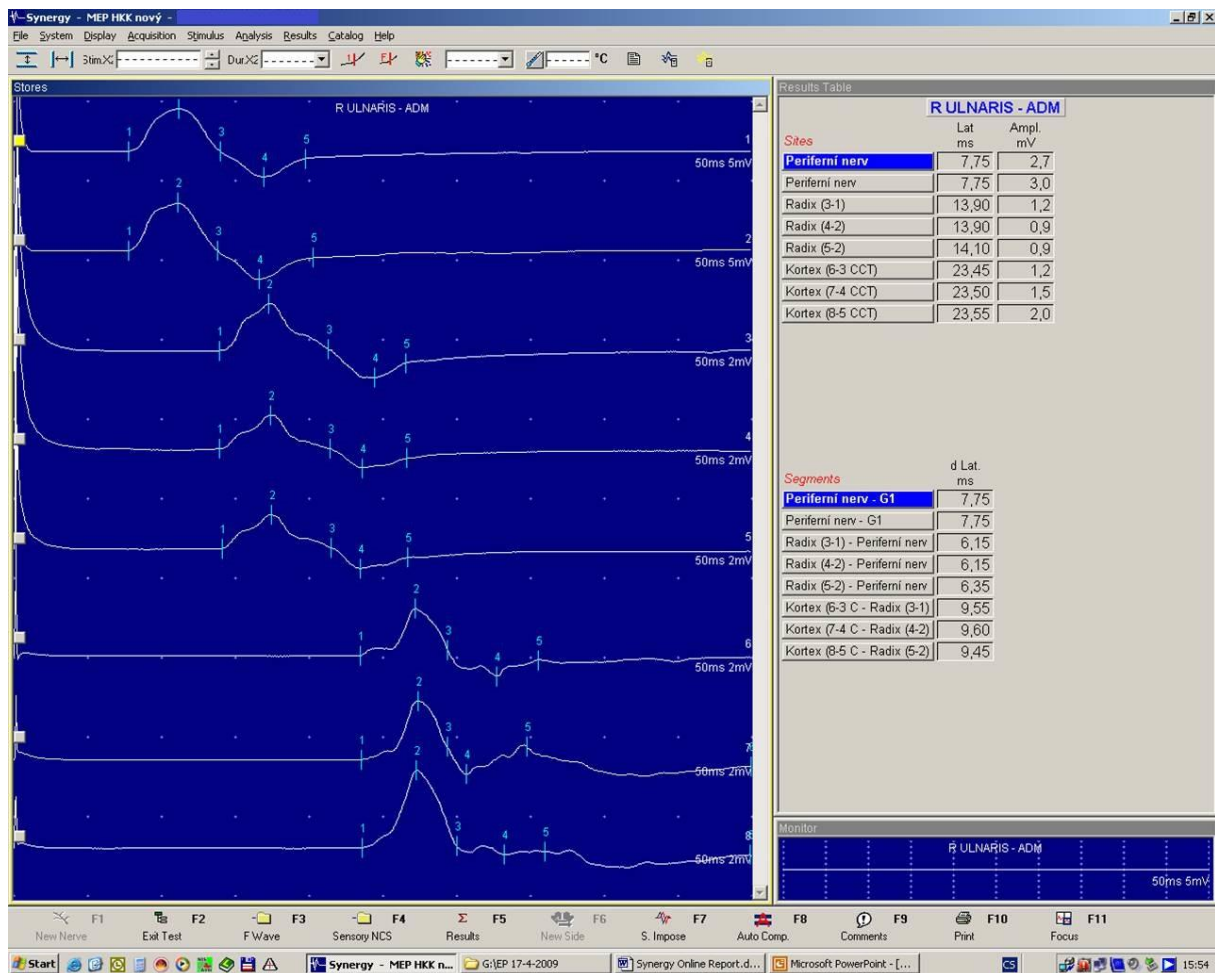
Struktury motorické dráhy stimulujeme pomocí magnetického pole. K tomuto účelu se používá kruhová magnetická cívka, která se přikládá k hlavě pacienta (stimulace kortexu), nad oblast páteře (stimulace míchy a odstupujících kořenů) a do oblasti nad průběhem periferního nervu. Magnetické pole indukuje v nervové tkáni elektrický proud a ten vyvolá odpověď nervového systému. Akční potenciály se šíří po motorické dráze a odpověď je snímána na končetinách v oblasti drobných svalů ruky a nohy (typicky musculus abductor digiti minimi a musculus abductor hallucis, používají se povrchové elektrody). Hodnotíme latence odpovědi – tedy časové úseky od aplikovaného magnetického pulzu po vybavené odpovědi. U MEP je důležitý centrální kondukční čas a periferní kondukční čas. Centrální motorický kondukční čas (CMCT) je rozdíl mezi latencí odpovědi při kortikální stimulaci (stimulace na hlavě) a při spinální stimulaci (stimulace nad oblastí páteře) a to při registraci odpovědi ze stejného svalu. Při postižení v centrálním úseku motorické dráhy (postižení centrálního nervového systému) je alterován centrální kondukční čas, při postižení v periferním úseku je alterován periferní kondukční čas. Získaná odpověď při MEP je vlastně CMAP (sumační svalový akční potenciál), ale nikoliv vyvolaný elektrickou stimulací, jak je tomu u kondukčních studií v EMG, ale magnetickým polem pomocí magnetické cívky. Amplituda odpovědi se pohybuje v řádech milivoltů, MEP je vybaven již po jednotlivém stimulu a záznamy není potřeba dále zprůměrnovat.

MEP viz obrázky EP-4 a EP-5



**obrázek EP-4, natáčení MEP**

Situace v laboratoři při natáčení motorických evokovaných potenciálů. Lékař drží nad hlavou pacienta kruhovou cívku, která vytváří pulzní magnetické pole. To indukuje elektrický proud v motorickém kortexu, což vede k aktivaci kortikospinálního traktu a následně k vybavením MEP (CMAP) nad svaem horní, nebo dolní končetiny. Na obrazovce elektromyografického přístroje jsou patrné vykreslené motorické evokované potenciály.



### obrázek EP-5 MEP, normální nález

Pohled na monitor se záznamem MEP. První dva přeběhy byly registrovány z musculus abductor digiti minimi při stimulaci periferního nervu, další tři přeběhy při spinální stimulaci ke stejnému svalu a poslední tři přeběhy při kortikální stimulaci ke stejnému svalu. Normální nález.

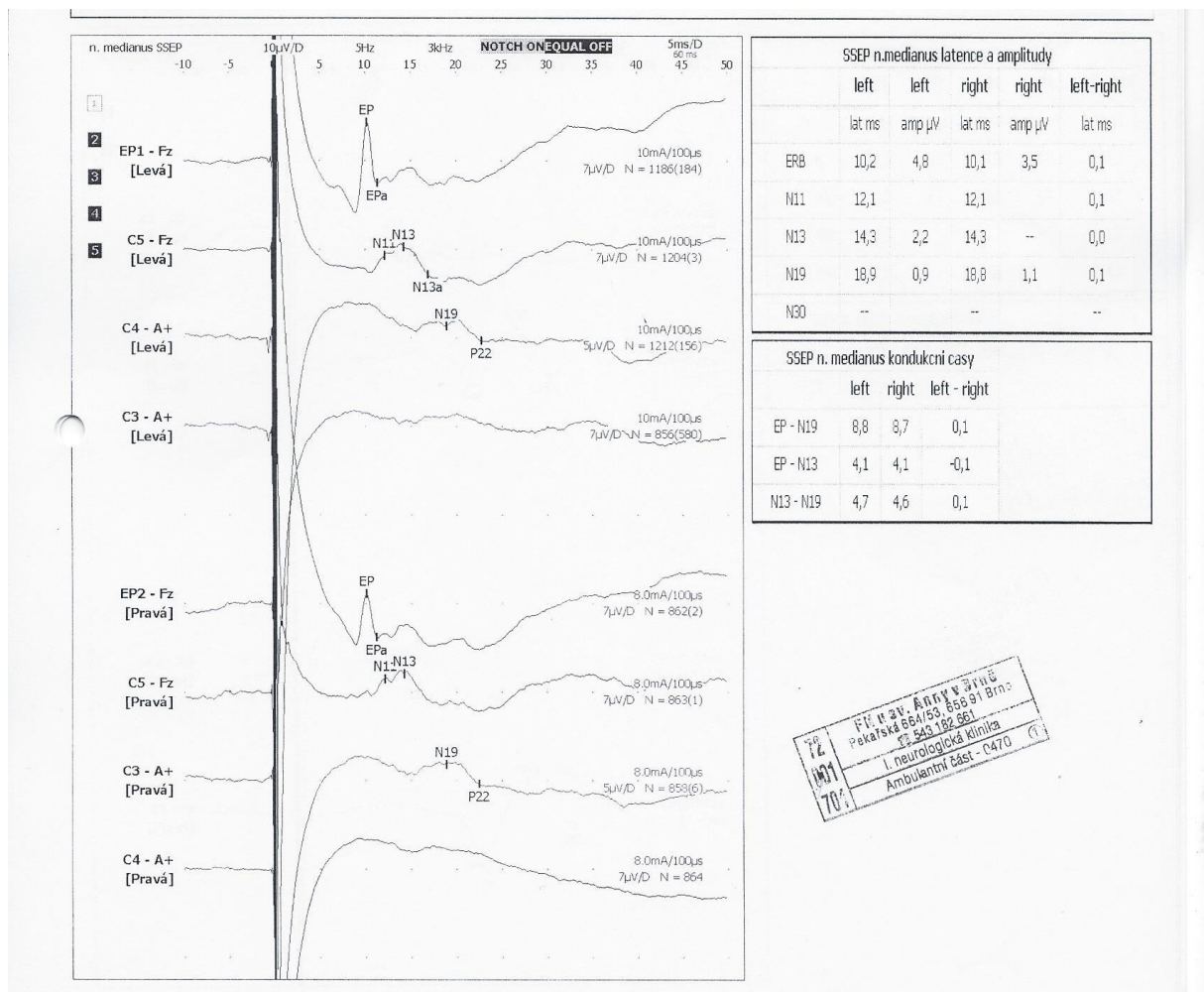
### Somatosenzorické evokované potenciály (SSEP, somatosenzitivní evokované potenciály).

Podle toho, zda stimulujeme nervus medianus na horní končetině, nebo nervus tibialis na dolní končetině, rozlišujeme SSEP nervus medianus a SSEP nervus tibialis. U SSEP n. medianus používáme elektrickou stimulaci tohoto periferního nervu v oblasti zápěstí. Zde dojde ke vzniku akčního potenciálu v jednotlivých vláknech periferního nervu a tento potenciál se šíří dále centrálně, převážně systémem zadních provazců přes thalamus do somatosenzorického kortexu. Při stimulaci lze s pomocí několika párů snímacích elektrod (dvojic aktivních a referenčních elektrod) současně registrovat potenciály generované různými strukturami senzitivní dráhy. Můžeme tak sledovat evokovaný potenciál nad brachiálním plexem (tzv. Erbův bod - vlna EP), nad krční míchou (vlna N13) a nad skalpem v oblasti senzitivního kortexu (vlna N20, někdy také označovaná jako N19). U SSEP n. tibialis provádíme elektrickou stimulaci tohoto periferního nervu v oblasti vnitřního kotníku. Opět dojde ke vzniku akčních potenciálů, které se šíří senzitivní dráhou až do kortexu. EP registrujeme nad lumbosakrální páteří (vlna N22) a nad kortexem (vlna P40). Vzhledem k tomu, že známe normální parametry latencí (a kondukčních časů) evokovaných potenciálů

v průběhu dráhy, jsme schopni zhodnotit, zda dráha vede normálně, nebo je alterována v centrálním, či periferním úseku.

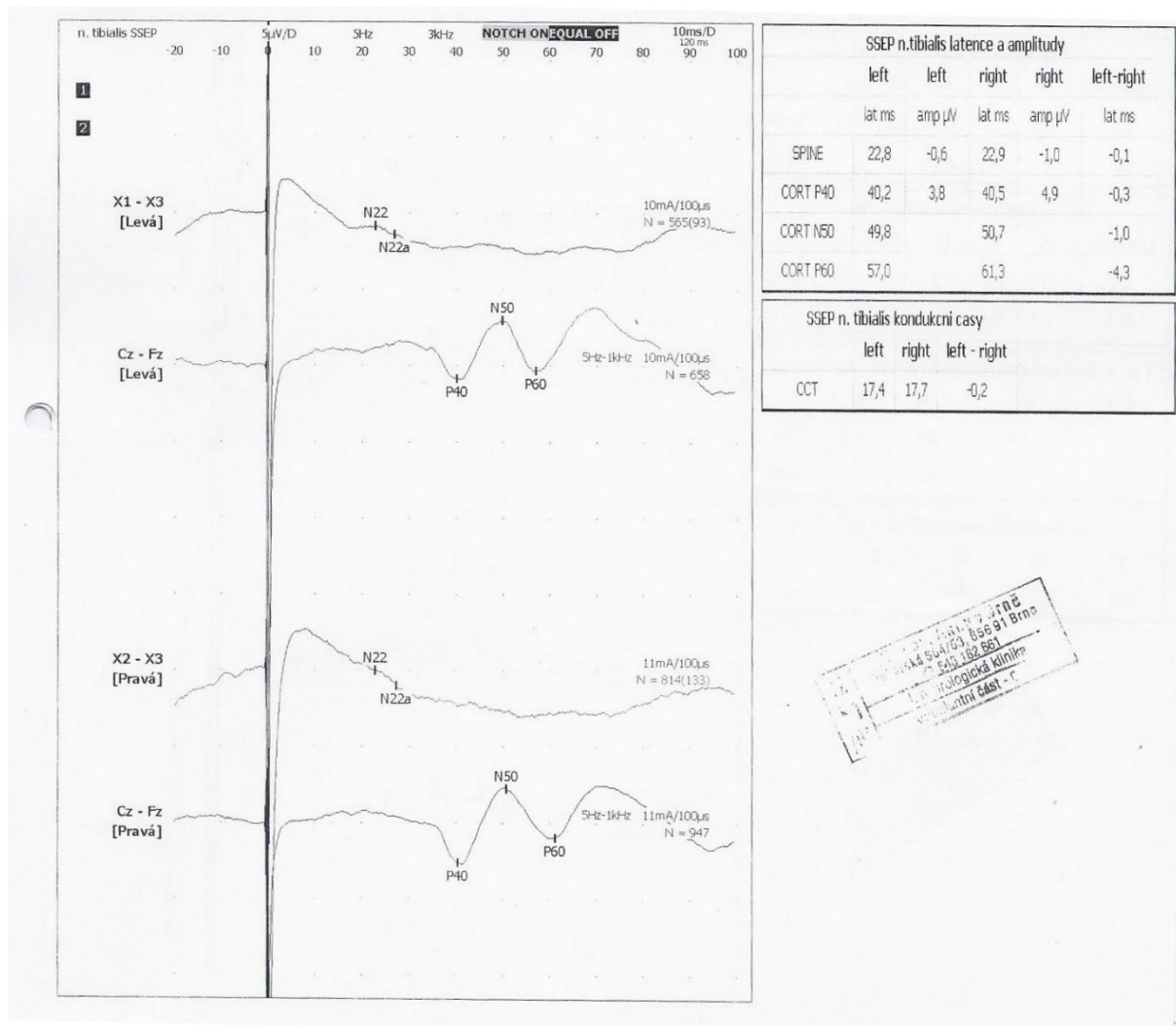
Jednotlivé EP dostaly svoje označení podle pozitivivity či negativity potenciálu a podle jejich normální latence. Tak například vlna P40 je pozitivní vlna s latencí kolem 40 ms od stimulu a vlna N13 je negativní vlna s latencí přibližně 13 ms. Tato pravidla označení EP platí i u jiných EP (srovnej například vlnu P100 u VEP, nebo P3 neboli vlnu P300).

SSEP viz obrázky EP-6 a EP-7 a EP-8 a EP-13 a EP-14 a EP-15 a EP-16



obrázek EP-6 SSEP nervus medianus, normální nález

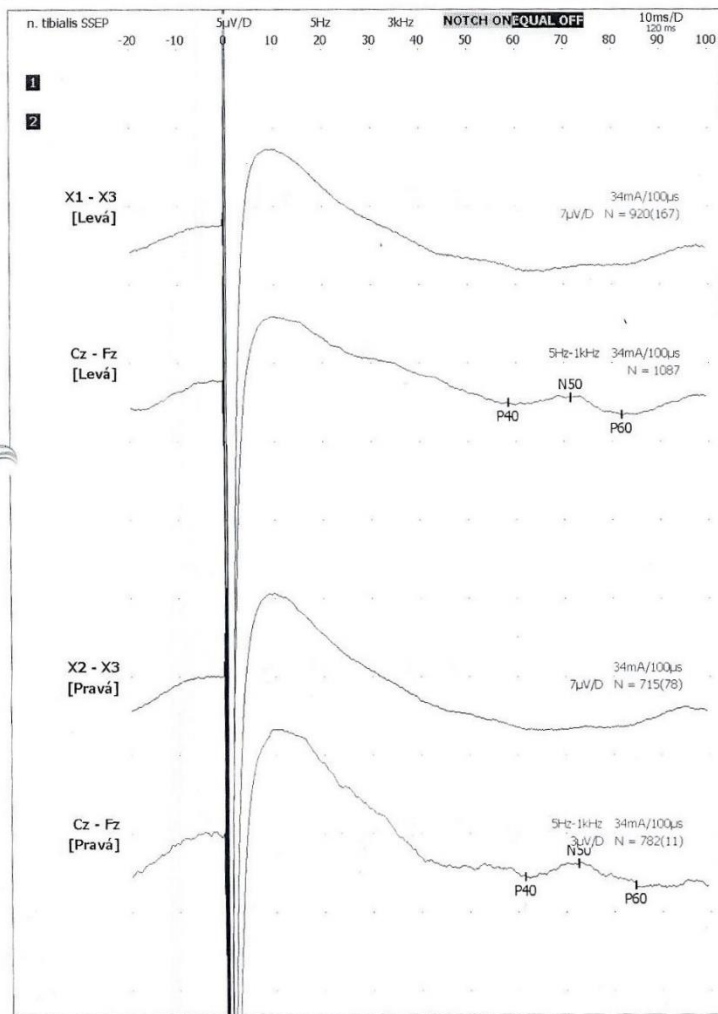
SSEP nervus medianus při stimulaci z levé a pravé strany, normální nález. Vlny EP, N13 a N19 (=N20) jsou oboustranně dobře vykresleny s normální latencí.



**obrázek EP-7 SSEP nervus tibialis, normální nález**

SSEP nervus tibialis při stimulaci z levé a pravé strany, normální nález. Vlny N22 a P40 jsou oboustranně dobře vykresleny s normální latencí.





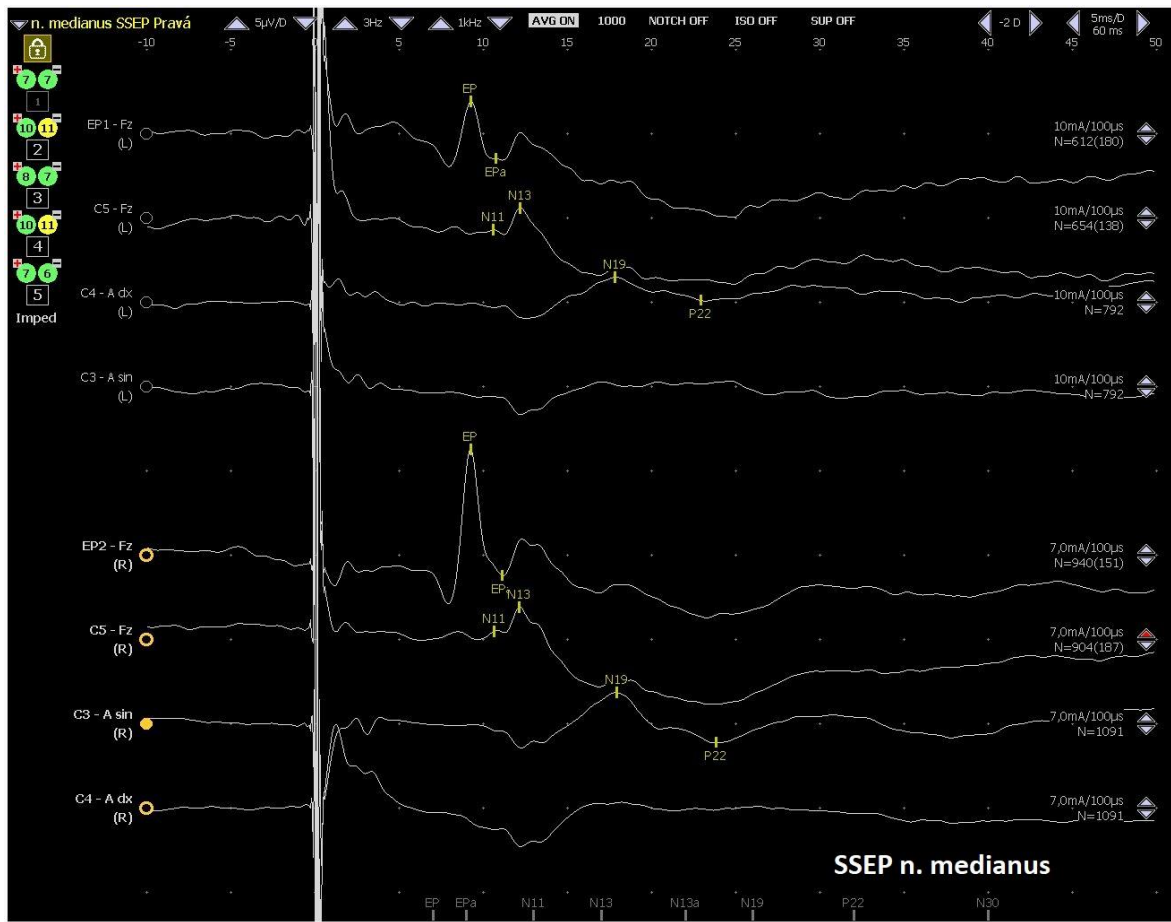
SSEP n.tibialis latence a amplitudy					
	left	left	right	right	left-right
	lat ms	amp µV	lat ms	amp µV	lat ms
SPINE	--	--	--	--	--
CORT P40	58,5	0,4	61,5	0,5	-3,0
CORT N50	71,4		72,7		-1,3
CORT P60	82,0		84,6		-2,6

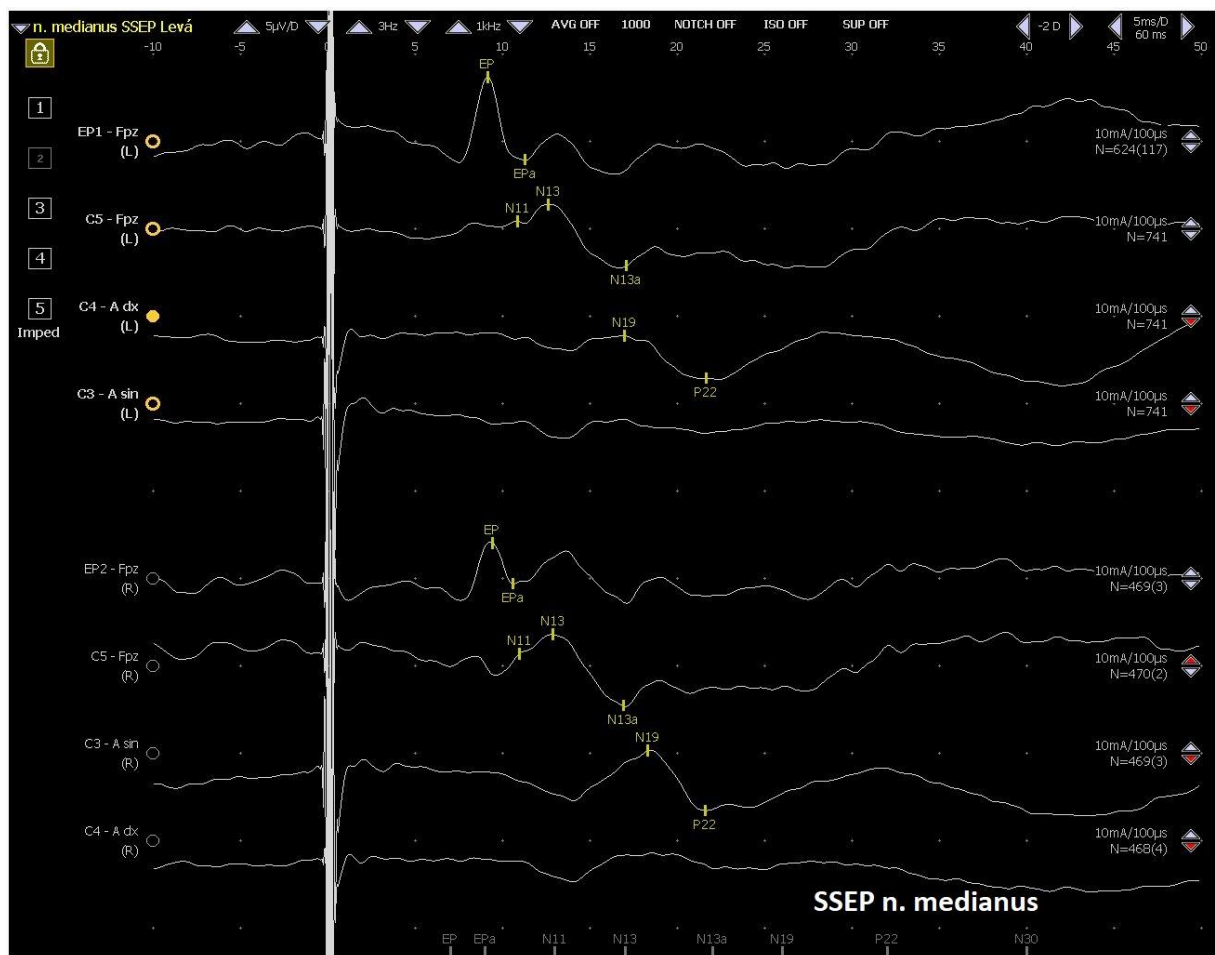
SSEP n. tibialis kondukční časy			
	left	right	left - right
CCT	--	--	--



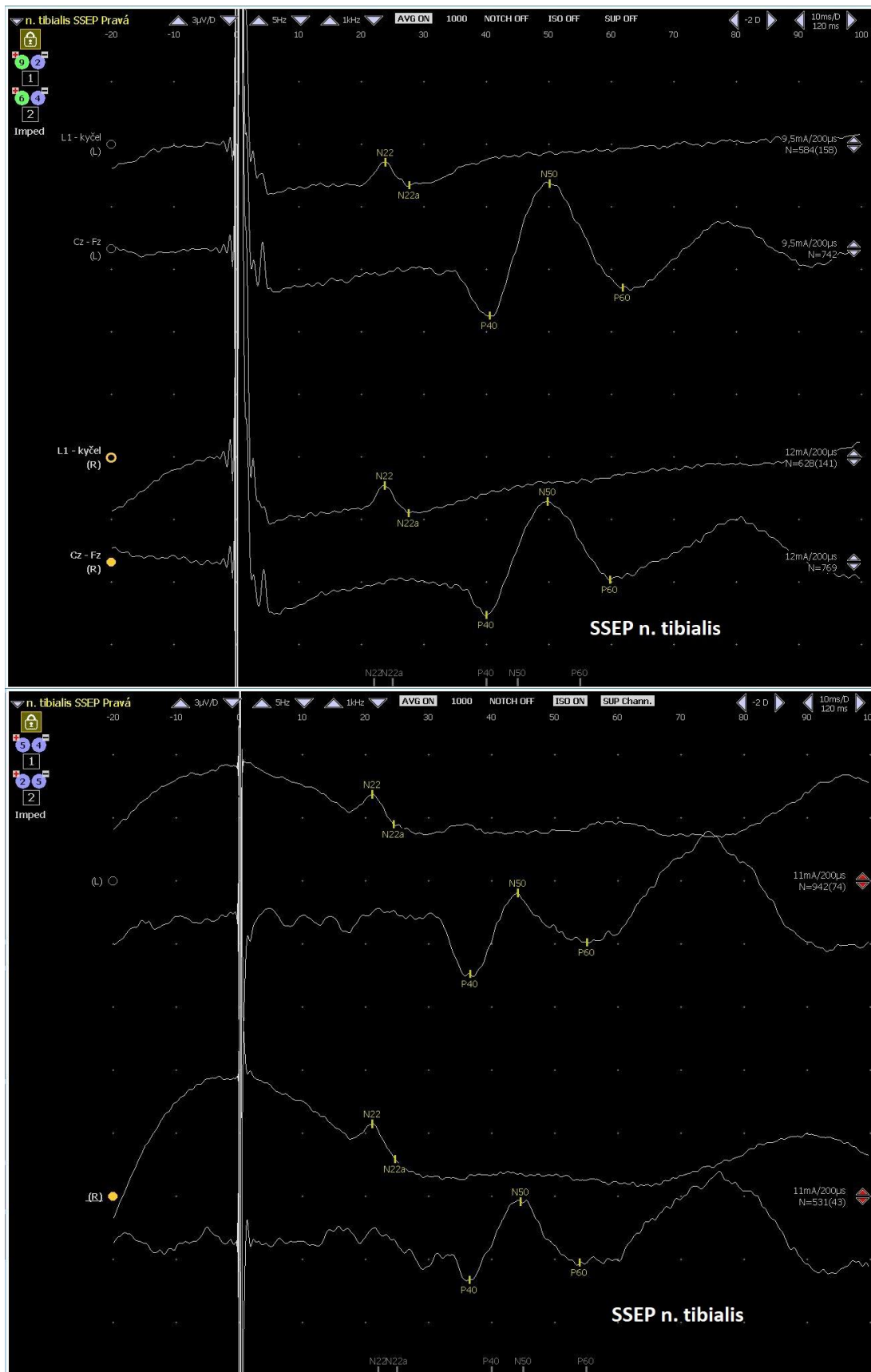
**obrázek EP-8 SSEP nervus tibialis, abnormní nález**

SSEP nervus tibialis. Abnormní nález jak při stimulaci z levé, tak z pravé strany. Nevýbavná vlna N22, prodloužená latence vlny P40.





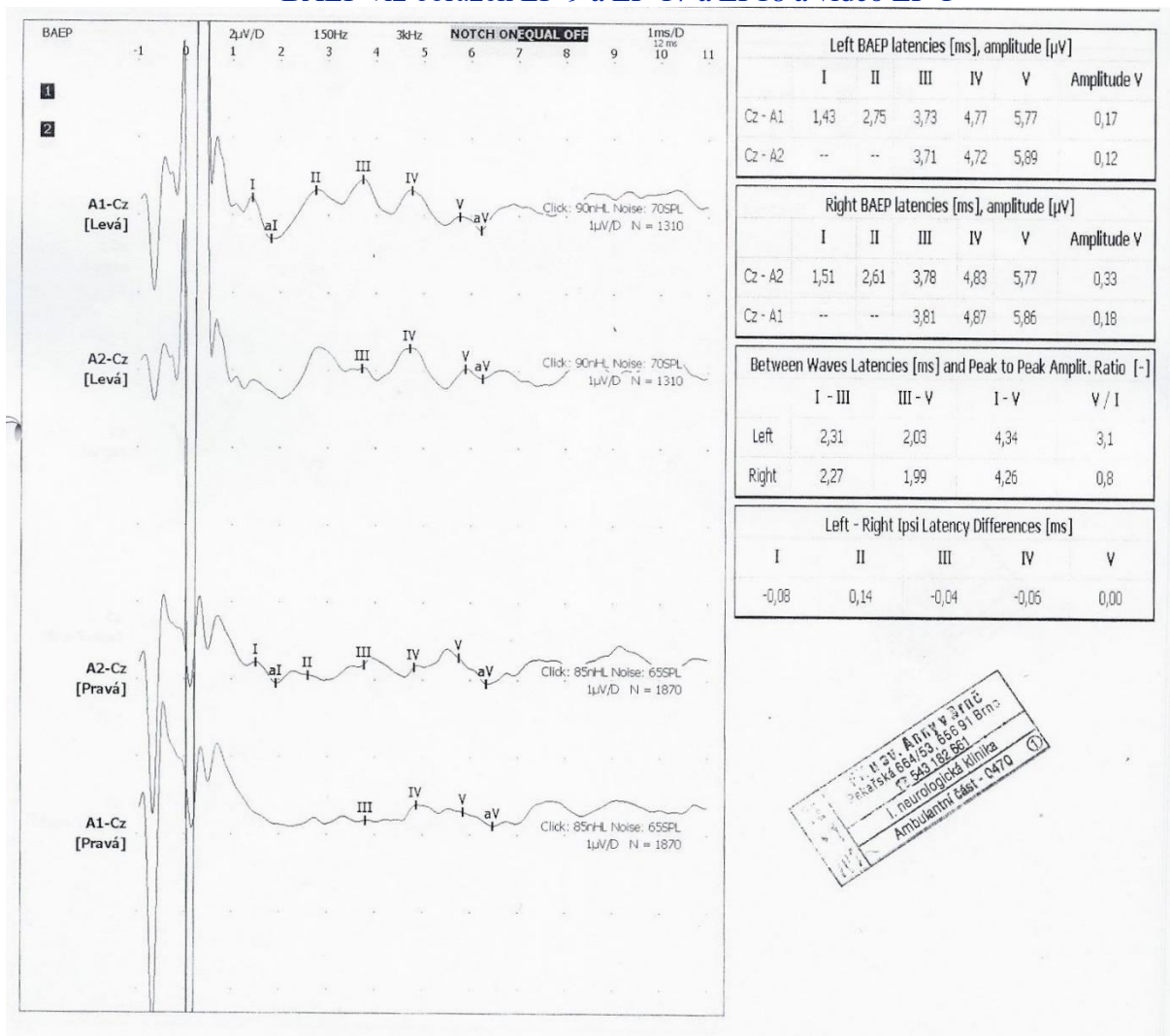
obrázky EP-13 a EP-14. Jedná se o další příklady normálních SSEP n. medianus.



obrázky EP-15 a EP-16. Jedná se o další příklady normálních SSEP n. tibialis.

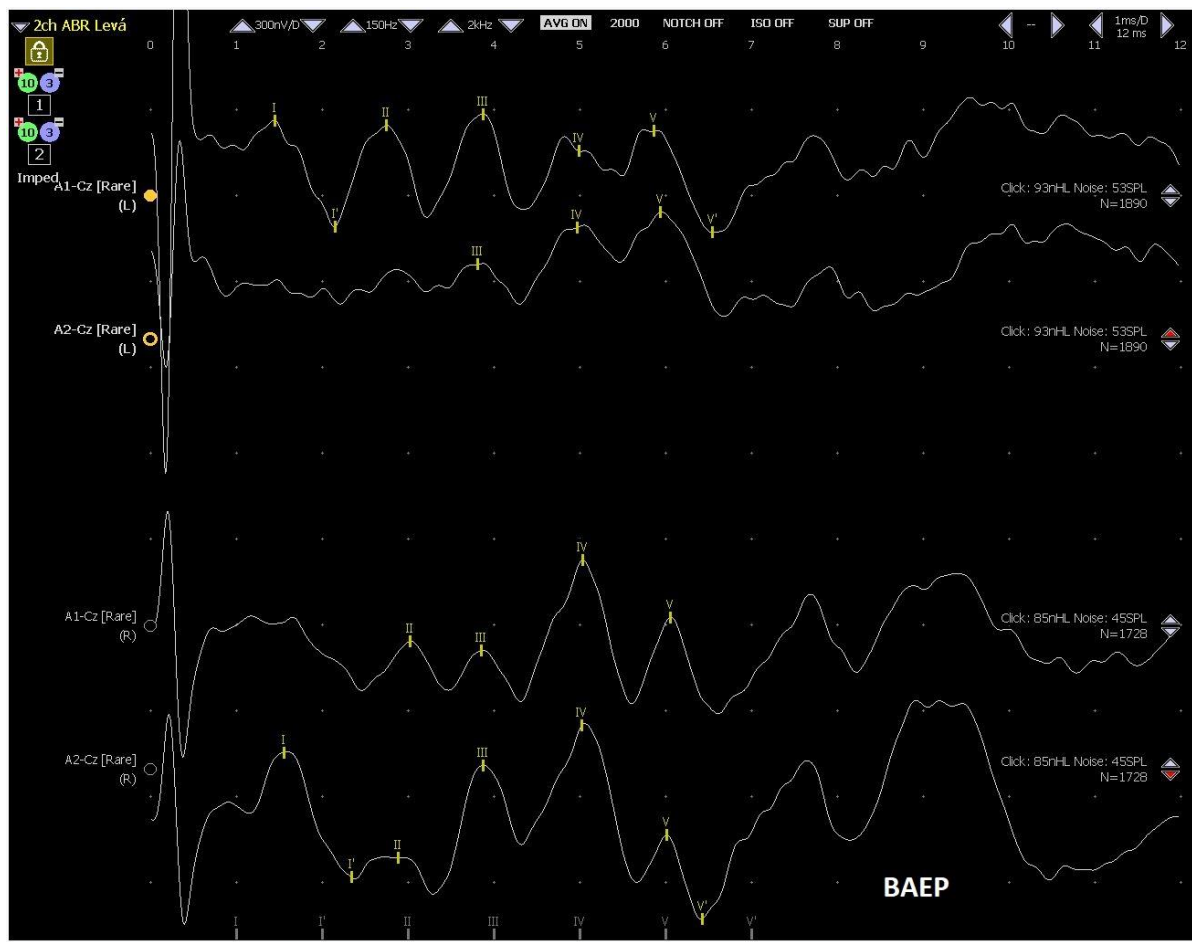
**Sluchové evokované potenciály** (BAEP = brainstem auditory evoked potentials) - stimulujeme sluchovou dráhu pomocí audiometrických sluchátek (stimulus má podobu cvaknutí, kliku). Po převedení mechanického podnětu na elektrický ve sluchovém orgánu ve vnitřním uchu se akční potenciály šíří po jednotlivých vláknech kochleárního nervu do mozkového kmene. Sluchový nerv a struktury sluchové dráhy mozkového kmene generují sérii vln, které jsme schopni snímat pomocí povrchových elektrod (aktivní a referenční) umístěných na vertexu a na ušním lalůčku. Snímané vlny označujeme římskými čísly I, II, III, IV, V. Nejkonstantnější jsou vlny I (vzniká v oblasti distální části sluchového nervu), vlna III a V (vznikají v pontu a v dalších strukturách mozkového kmene). Latence těchto vln od začátku stimulace se pohybují přibližně od 2 do 6,5 ms. Z výbavnosti jednotlivých komponent, z jejich latencí (i rozdílů mezi latencemi jednotlivých vln) posuzujeme případnou lézi sluchové dráhy a určujeme topiku postižení do periferního úseku vyšetované dráhy, nebo do mozkového kmene.

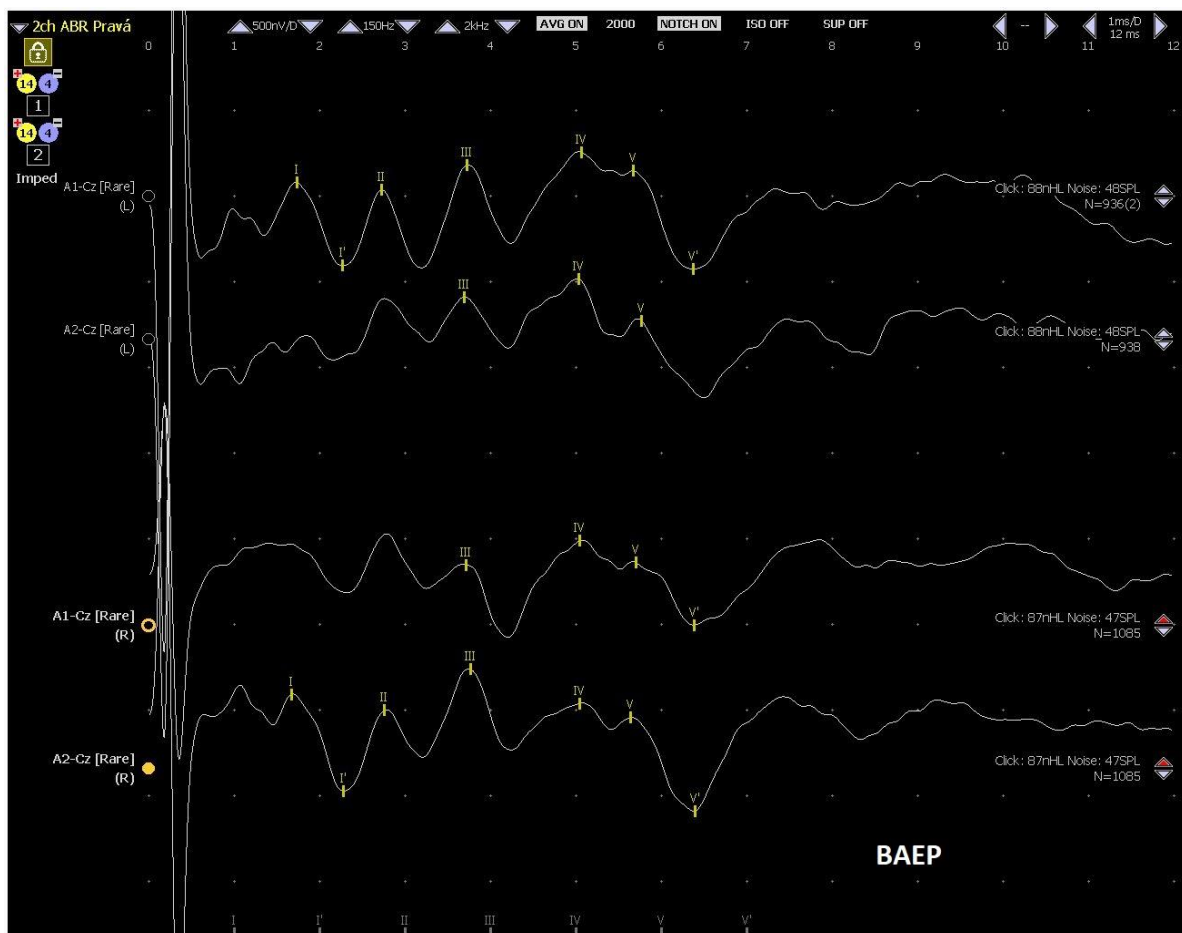
BAEP viz obrázek EP-9 a EP-17 a EP18 a video EP-1



obrázek EP-9 BAEP, normální nález

Sluchové evokované potenciály při stimulaci levého a pravého ucha. Normální a stranově symetrický nález. Dobře jsou patrné všechny vlny I, II, III, IV a V.





**obrázky EP-17 a EP-18 BAEP. Další příklady normálních nálezů.** Sluchové evokované potenciály při stimulaci levého a pravého ucha. Normální a stranově symetrický nálezn. Dobře jsou patrné všechny vlny I, II, III, IV a V.

**Video video EP-1 je samostatně umístěno na webu.**

**Video EP-1 BAEP, natáčení**

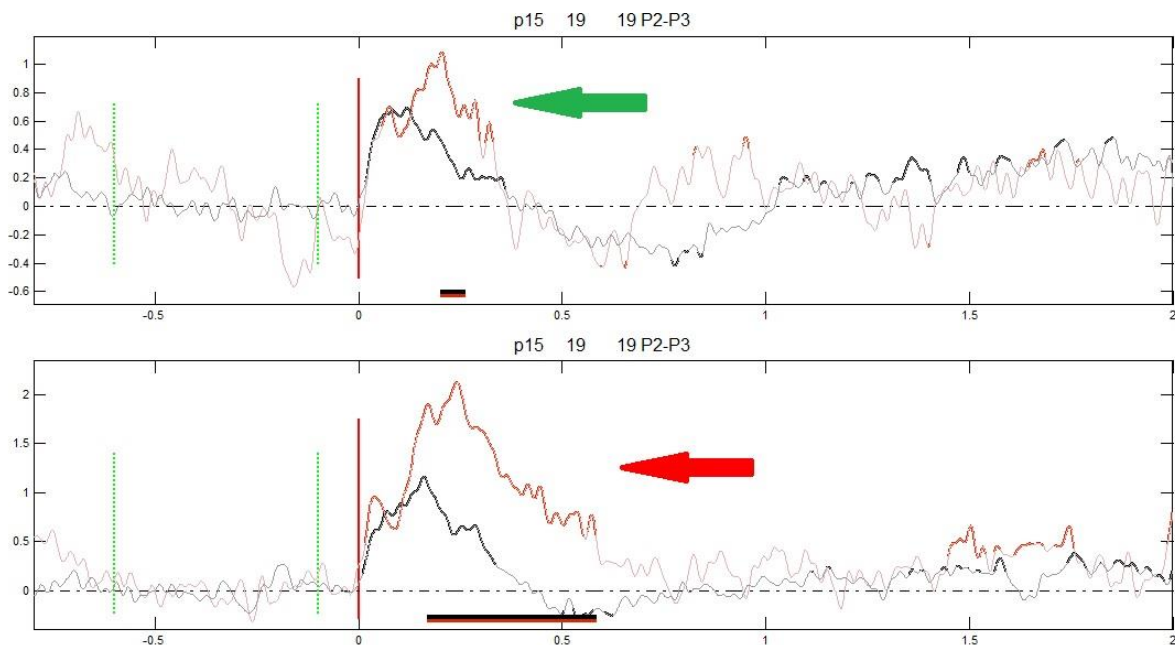
Natáčení sluchových evokovaných potenciálů v laboratoři. Postupně vidíme naložení elektrod, uložení pacienta, zjištění sluchového prahu pro levé i pravé ucho, natočení BAEP při stimulaci z levé i pravé strany, kontrola natáčení elektrofyziologickou laborantkou a zhodnocení a popis získaných BAEP lékařem.

**Kognitivní vlna P3** (vlna P300, vlna P3). Nejčastěji používanou metodou stimulace jsou sluchové signály v tzv. odd ball paradigmatu. V odd ball paradigmatu je proband vystaven pravidelným stimulům - například hlubokému tónu vyskytujícímu se v pravidelných intervalech. Nepravidelně a vzácně se ale v řadě těchto pravidelných hlubokých tónů objevují vysoké tóny. Pokud proband sleduje tyto vzácné - tzv. terčové podněty (vysoké tóny), lze nad skalpem s latencí kolem 300 ms zaznamenat vlnu P3. Jedná se o kognitivní evokovaný potenciál. Tato vlna je odrazem kognitivní aktivity pacienta a je generována širokou sítí neuronů rozprostřenou prakticky po celém mozku. V intracerebrálních elektrodách byla vlna P3 registrována v různých oblastech kortexu mozku, dále například v thalamu a v bazálních gangliích. Kognitivní evokované potenciály jsou používány spíše v rámci výzkumu, nežli v běžné klinické praxi.

## Vlna P3 viz obrázek EP-10 a EP-19 a EP-20

**Mismatch negativity (MMN)** patří také mezi kognitivní potenciály. Není ale generována při zaměření pozornosti pacienta na vzácný podnět na vědomé úrovni, jak je popsáno u vlny P3, ale vzniká na podvědomé úrovni. Jako stimulace se použije stejné odd ball paradigma, jako při natáčení vlny P3 – tedy sluchové frekventní a nefrekventní podněty. Proband ale na stimuly není upozorněn, naopak je jeho pozornost odvedena, například čtením knihy. V okamžiku objevení se vzácných podnětů lze na skalpu natočit potenciál s latencí 100 až 250 ms, tzv. MMN. Je odrazem podvědomé sensorické automatické paměti, je korelátem primitivní inteligence. Mozek neustále na podvědomé úrovni srovnává nové podněty a vyhodnocuje je, odlišně pak reaguje na podvědomě zachycenou „mimořádnost“ – na neobvyklý podnět v řadě obvyklých, frekventních podnětů. V intracerebrálních elektrodách byly generátory této vlny objeveny ve frontálním a temporálním kortexu a také v nucleus subthalamicus.

## MMN viz obrázek EP-10

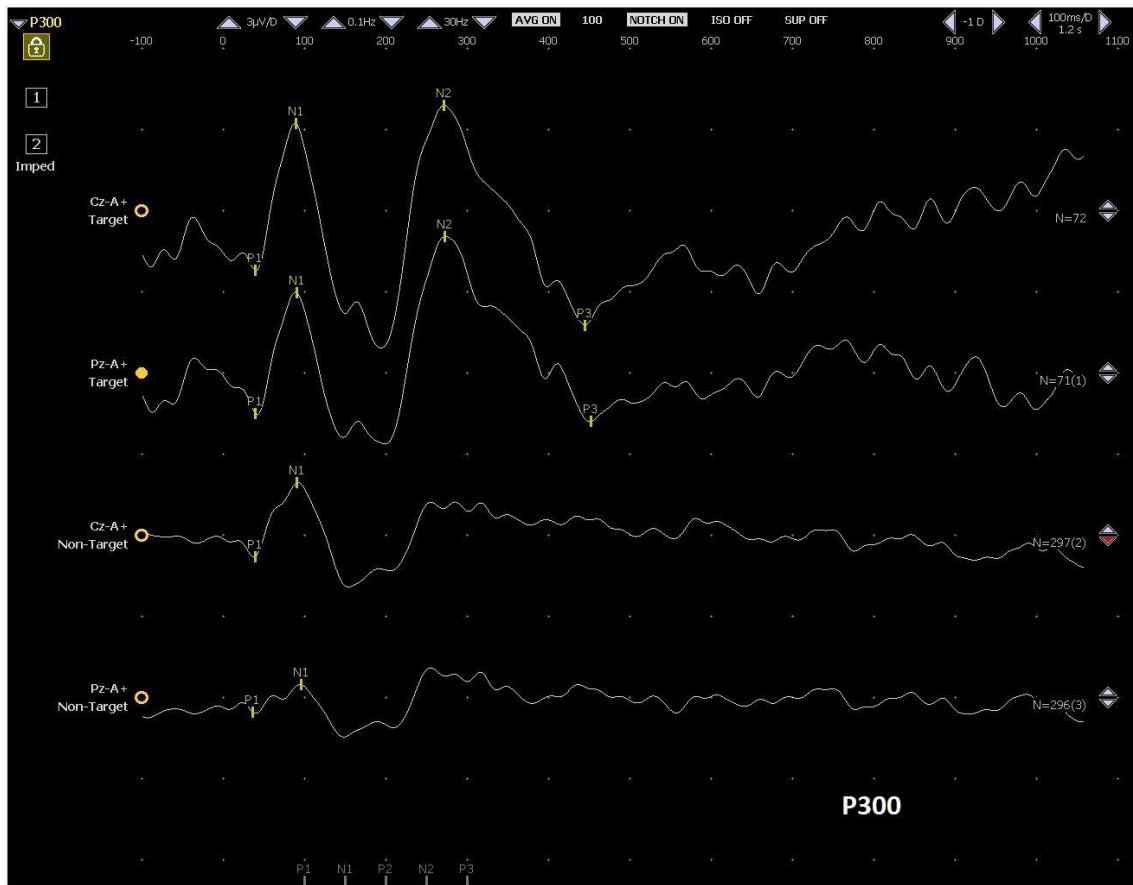


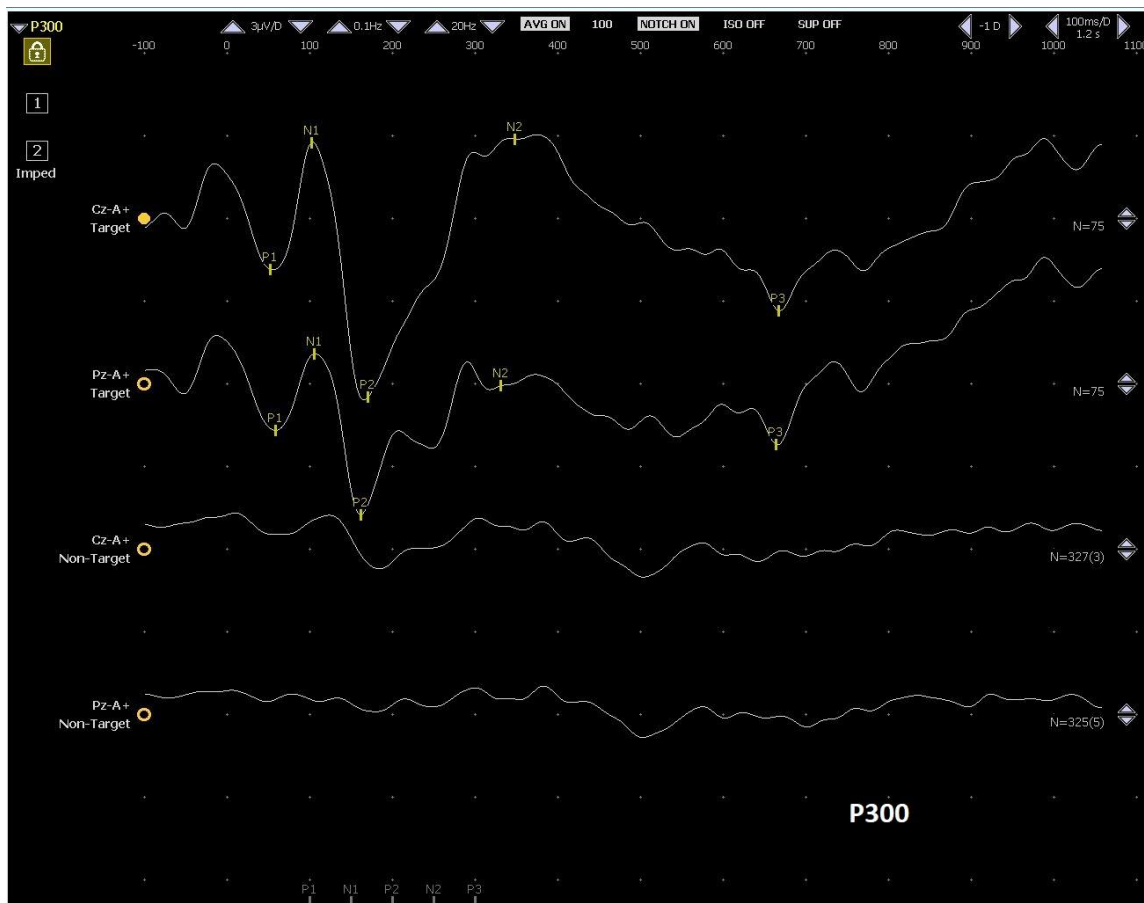
### Obrázek EP-10 MMN a P3 intrakraniálně

Na horním grafu je zachycen kognitivní evokovaný potenciál (zelená šipka) v návaznosti na protokol MMN a na dolním grafu je zachycen evokovaný potenciál (červená křivka)



v návaznosti na protokol P300. Jedná se o záznam z intracerebrální elektrody, umístěné v pravém nucleus subthalamicus u pacienta s Parkinsonovou nemocí, u kterého je zaváděna hluboká mozková stimulace (Deep Brain Stimulation). Dvojitá červenočerná horizontální úsečka pod evokovaným potenciálem ukazuje rozsah, kde je evokovaný potenciál statisticky významný. MMN-like potenciál (horní graf) se objevuje v oblasti do 250 ms, kdežto vlna P3 (ve stejných svodech a na stejném místě, jen s použitím jiného protokolu) v daleko širší oblasti přesahující až 500 ms. Vlna P3 je daleko robustnější (srovnej vertikální měřítko, které je v  $\mu\text{V}$ ), což odpovídá aktivitě daleko širší neuronální sítě, než u protokolu MMN.





**Obrázky EP-19 a EP-20. Vlna P300.** Na první obrázku je již lehce abnormní nález – latence vlny P300 je okolo 450 ms. Na druhém obrázku je nález abnormality již velmi výrazný – latence vlny P300 je více než 650 ms.

### **Párová transkraniální magnetická stimulace (pTMS) a repetitivní transkraniální magnetická stimulace (rTMS)**

MEP byly popsány v odstavci výše – jsou záznamem sumačního svalového akčního potenciálu pomocí aktivní a referenční povrchové elektrody umístěné nad sval, který je aktivován přenosem akčního potenciálu motorickou drahou po podráždění nervové soustavy (například kortexu) magnetickým polem. Pokud budeme aplikovat místo jednoho stimulu stimuly dva v krátkém časovém intervalu po sobě, jedná se o tzv. párovou transkraniální magnetickou stimulaci, zkráceně pTMS. pTMS není využívána v běžné klinické praxi, nýbrž pouze výzkumně. Interstimulus interval (interval mezi těmito dvěma stimuly) může být různě dlouhý, můžeme volit např. interstimulus interval 1 ms, nebo 200 ms. První aplikovaný stimulus (přípravný stimulus) nedosahuje prahové intenzity, sám o sobě nevyvolá motorickou odpověď, ovlivní však reakci na následující aplikovaný nadprahový stimulus (testovací stimulus). Na výběru interstimulus intervalu závisí výsledek pTMS. Pokud použijeme např. interstimulus interval 2 ms, dochází k inhibici motorické odpovědi, mluvíme o tzv. intrakortikální inhibici a získaný CMAP na periférii má nižší amplitudu, než by měl MEP po jednotlivém stimulu. Pokud použijeme interstimulus interval např. 10 ms, dochází naopak

k facilitaci této odpovědi a jedná se o intrakortikální excitaci, kdy získaný CMAP má amplitudu vyšší. Pomocí pTMS ovlivňujeme tedy inhibiční či excitační okruhy přímo v kortexu mozku a získáváme informace o excitabilitě kortexu, která může být u různých nemocí změněna. Repetitivní transkraniální magnetická stimulace (rTMS) nepatří mezi evokované potenciály, ale s tímto tématem souvisí. U rTMS je aplikována řada magnetických stimulů za sebou (například 1000 pulsů). Rozeznáváme nízkofrekvenční stimulaci (typicky frekvence stimulací je 1 Hz či nižší) a vysokofrekvenční stimulaci (frekvence stimulace 5Hz a vyšší). Nízkofrekvenční stimulace má na motorický kortex inhibiční vliv a vysokofrekvenční stimulace má naopak excitační vliv. U rTMS se při stimulaci žádný potenciál z periferie nesnímá, pouze se stimuluje kortex. To, že má tato stimulace inhibiční, nebo excitační vliv lze zjistit z pTMS, která se provede před a po rTMS. Pomocí rTMS lze tedy ovlivnit kortex mozku a to pouze v určité oblasti, kam je rTMS zaměřena, efekt je pouze dočasný. Lze snížit nebo zesílit funkci kortexu a tím i například ovlivnit onemocnění pacienta.

Více o transkraniální magnetické stimulaci viz článek:

Minks E, Kopickova M, Marecek R, Streitova H, Bares M. Transcranial Magnetic Stimulation of the Cerebellum. Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub. 2010 Jun; 154(2):133–139.  
<http://biomed.papers.upol.cz/pdfs/bio/2010/02/04.pdf>

### 3. Indikace a využití evokovaných potenciálů

Všechny základní evokované potenciály (VEP, SSEP, BAEP, MEP) se využívají v běžné klinické praxi k detekci léze nervového systému, cenné informace přinášejí při sledování vývoje onemocnění. Rovněž mohou být prospěšné v rámci odlišení organického onemocnění a psychogenní příčiny potíží, popřípadě i vědomé simulace. Typicky se používají například v diagnostice sclerosis multiplex, krční myelopatie, či jiných míšních lézí. Kognitivní evokované potenciály (P3 a MMN) se využívají vyjimečně, lze je využít především k detekci deteriorace kognitivních funkcí – k detekci demence. pTMS a rTMS se využívají jen vzácně na několika málo pracovištích a to převážně v rámci výzkumu nervové soustavy. pTMS lze využít k detekci poruchy excitability kortexu u různých onemocnění (například Parkinsonova nemoc, dystonie). Pomocí pTMS lze také sledovat vliv rTMS na kortex, zda rTMS působí inhibičně či excitačně. rTMS je schopna ovlivnit kortex a pomocí různých klinických testů a pomocí pTMS provedených před a po rTMS lze studovat funkci dané oblasti mozku a její funkční zapojení. V některých případech se používá rTMS i terapeuticky – například u depresí (jak v psychiatrii, tak v neurologii).

VEP jsou cenné při detekci léze zrakové dráhy. U optické neuritidy, která se vyskytuje jako samostatné onemocnění i u roztroušené sklerózy mozkomíšní, nebo dále při neuromyelitis optica Devic VEP elektrofyziologicky prokazují prechiasmatické demyelinizační postižení. Je zde typický obraz – při stimulaci jednoho oka je P100 (strana léze) prodloužena a u druhého zachována. U sclerosis multiplex jsou obecně VEP abnormní u více než 70 % pacientů.

MEP detekují lézi motorické dráhy (kortikospinálního traktu). Například často se využívají k detekci léze u komprese míchy (cervikální myelopatie), ke sledování vývoje onemocnění, lze je využít k objektivizaci poruchy – situace, kdy je klinicky nejisté, zda referované potíže pacienta mají organický podklad. Lze i částečně topizovat motorické postižení. V případě

normálního nálezu MEP k horním končetinám a abnormního nálezu v centrálním úseku k dolním končetinám lze předpokládat lézi míchy v thorakální či lumbální oblasti. U amyotrofické laterální sklerózy zachycené centrální postižení k horním a dolním končetinám přispěje k diagnostice onemocnění, pokud chybí klinické známky léze centrálního motoneuronu. Obecně řečeno, MEP přinášejí cenné informace zejména při diagnostice léze v centrálním úseku motorické dráhy, jsou užívány zejména v rámci detekce míšních lézí. (V diagnostice lézí v periferním úseku motorické dráhy je stěžejní elektrofyziologickou metodou EMG.)

SSEP nervus medianus a nervus tibialis lze využít k diagnostice nebo objektivizaci léze centrálního nervového systému. Klasickou indikací je například cervikální myelopatie, roztroušená skleróza mozkomíšní nebo transverzální longitudinální myelitida. SSEP n. tibialis jsou dále velmi senzitivní na polyneuropatické postižení – v tomto případě nacházíme v SSEP nervus tibialis abnormní parametry pro periferní úsek somatosenzorické dráhy. Zajímavou indikací je určení prognózy kómatu pomocí SSEP nervus medianus (probrání se pacienta z bezvědomí versus chronický apalický syndrom). Jde o pacienty např. s hypoxickou encefalopatií či po těžkém kraniotraumatu. V případě nevýbavnosti vln N20 oboustranně nad senzitivním kortexem (centrální část dráhy) a současné výbavnosti periferních komponent výsledek vyšetření ukazuje na nepříznivou prognózu stran návratu vědomí.

BAEP odrážejí funkci sluchové dráhy v periferním úseku a dále v jejím centrálním úseku v oblasti mozkového kmene. Při lézi ve sluchové dráze dochází k zachování výbavnosti a latencí vln generovaných před místem léze a k poruše výbavnosti či prodloužení latencí vln generovaných za místem léze. Postižení lze tedy topizovat. Při prekochleární poruše lze pozorovat na dané straně prolongace latencí všech vln se zachováním normálních mezivrcholových latencí vln (rozdíly mezi latencemi jednotlivých vln zůstávají normální). U neurinomu akustiku či jiného tumoru v zadní jámě lebni je normální latence vlny I a rozdíl latencí mezi vlnou I-III je prodloužen, stejně jako jsou prodlouženy absolutní latence vln III, IV, V na straně postižení. Při smrti mozku lze v některých případech pozorovat výbavnost vlny I (distální část sluchového nervu) a chybění ostatních centrálních komponent, a to při oboustranné stimulaci.

Vlna P3 je často využívána výzkumně při zavedení hlubokých elektrod mozku v rámci operačního programu, například u pacientů s epilepsií či s Parkinsonovou nemocí. Při zaměření pozornosti pacienta při určitém úkolu lze najít rozdíl ve výbavnosti vlny P3 ve studované struktuře a tím pádem je předpoklad, že daná funkce s danou anatomickou strukturou souvisí. V běžné klinické praxi lze P3 dobře využít k detekci poklesu kognitivních funkcí u demencí. Alterována je například dále u pacientů se schizofrenií a u chronických abuserů alkoholu.

MMN je korelát automatické senzorní paměti na nevědomé úrovni. U pacientů v kómatu (tak jako u SSEP nervus medianus) je jeho nevýbavnost nepříznivou prognostickou známkou. MMN je abnormní u pacientů s demencí, či jen u částečného poklesu kognitivních funkcí u pacientů se sclerosis multiplex, dále je MMN alterována u pacientů schizofrenií a například u dětí s dyslexií.

pTMS je využívána výzkumně, pomocí pTMS lze identifikovat normální nebo abnormální excitabilitu kortexu u různých nemocí. Slouží také k posouzení vlivu rTMS, či k posouzení vlivu jiného zásahu do organismu pacienta (např. podávání určitého léku) na kortex mozku.

rTMS se využívá převážně výzkumně při studiu centrálního nervového systému, či při hledání terapeutických možností. Terapeutické indikace v současné době existují, u nás ale většinou pouze v rámci studií. Terapeutický efekt má rTMS na neuropatickou bolest a depresivní syndrom. Dále lze rTMS využít například u chronického tinnitu a sluchových halucinací.

### **Kontraindikace**

Absolutní kontraindikací pro MEP je zavedený kardiostimulátor, defibrilátor, nebo jiný stimulator, který můžeme silným pulzním magnetickým polem poškodit. To stejné platí pro kov v těle, v blízkosti stimulace, u kterého může dojít k pohybu v magnetickém poli, k indukci elektrického proudu a poškození okolní tkáně. U pTMS či rTMS, kde se používá daleko slabší a cílenější stimulace, je tuto indikaci potřeba vždy velmi pečlivě zvážit. U SSEP platí, že je potřeba se vyhnout silné elektrické stimulaci (SSEP) v místě implantovaných přístrojů v těle pacienta. Dále kardiostimulátor může analyzovat elektrické výboje při stimulaci jako vlastní srdeční rytmus pacienta a může přestat stimulovat srdce po dobu naší stimulace - může dojít k bradykardii či asystolii. Pokud je vyšetření nezbytné, pak je lze provést za účasti lékaře kardiostimulační ambulance, který přístroj kontroluje, či nastaví na pevný rytmus. Pro VEP a BAEP, P300, MMN prakticky kontraindikace neexistují. Vždy je potřeba brát v úvahu event. infekční onemocnění pacienta z důvodu rizika pro personál a antikoagulační terapii či sklon ke krvácení, pokud se použijí místo povrchových elektrod jehlové elektrody.

**Poděkování:** Text by nevznikl bez dlouhodobé práce mých kolegů, poděkování patří MUDr. Haně Streitové, MUDr. Tomáši Gescheidtovi, Ph.D., MUDr. Ivici Čechové, Ph.D., Marii Kopíčkové, Anně Hlučkové, Janě Bártové, Petře Krainerové z elektromyografické laboratoře 1.neurologické kliniky LF MU a FN u sv. Anny v Brně. Dále poděkování patří Věře Čermákové z elektromyografické laboratoře na Běhounské 8 v Brně. A dále poděkování patří Bc. Evě Judové a Věře Hniličkové z elektromyografické ambulance v Židlochovicích. V neposlední řadě patří poděkování MUDr. Alexandře Minksové za podstatnou pomoc při vzniku textu a za práci v elektromyografické ambulanci v Židlochovicích. Obrazová dokumentace je uveřejněna se souhlasem vyfotografovaných a natočených osob.

### **Otázky ke zkoušce**

- *Evokované potenciály- VEP, SSEP, BAEP*
- *Evokované potenciály- MEP, pTMS, rTMS, P300, MMN*
- *Evokované potenciály – indikace a využití*

## Peroperační monitorace – evokované potenciály

**MUDr. Tomáš Gescheidt, Ph.D.**

Peroperační elektrofyziologická monitorace (též intraoperační elektrofyziologická monitorace, dále IOM) bývá prováděna v průběhu operací, při kterých hrozí poškození funkčně důležitých nervových struktur. Jedná se zejména o operace neurochirurgické, IOM dále nachází uplatnění u ortopedických zákroků na páteři (např. korekční operace pro skoliosu), ale i v cévní chirurgii (např. u operací na aortě, při nichž je riziko míšní ischemie, nebo u operací ateroskleroticky postižené arteria carotis interna ).

*Obecně se v rámci IOM používají dva přístupy:*

**Monitorace (v užším slova smyslu, sledování odpovědi):** Účelem je identifikovat hrozící / počínající lézi v časném / reverzibilním stadiu a upozornit na ni operátora, aby bylo možno včas zamezit dalšímu, resp. ireverzibilnímu poškození. Opakovaně v krátkých intervalech je prováděna stimulace a záznam evokovaných odpovědí, sledují se případné změny odpovědí v průběhu operace (výbavnost evokovaných odpovědí, změny amplitud a latencí). Stimulace i registrace se tedy provádí opakovaně na identickém místě, sledují se změny odpovědí v čase.

**Mapování (vyhledávání odpovědi):** Účelem je identifikovat lokalizaci funkčně důležitých struktur v operačním poli. Stimulace či registrace je prováděna v různých lokalizacích (tedy mění se místo stimulace či registrace) a sleduje se, kde jsou jaké odpovědi registrovány / vybaveny.

Nejčastěji jsou během operací používány oba tyto přístupy současně, v kombinaci.

### ***Průběh operace, příprava k IOM:***

Peroperační monitorace je prováděna na operačním sále za pomoci přístrojů pracujících na podobném principu, jako běžné přístroje užívané pro snímání evokovaných potenciálů (EP) v laboratoři; přístroje umožňují registraci a sledování velkého množství opakovaných záznamů v čase. Monitoraci provádí lékař – neurofyziolog, v oboru neurologie či neurochirurgie. Na operačním sále je pacient uveden do anestezie; technika anestezie je volena s ohledem na plánovanou monitoraci (např. svalová relaxace ruší výbavnost motorických evokovaných potenciálů snímaných ze svalů). Poté neurofyziolog provede instalaci elektrod; na rozdíl od běžného vyšetření EP v laboratoři se při IOM prakticky nepoužívají povrchové (lepené) elektrody, ale subdermální jehlové elektrody (často vývrtkové subdermální jehlové elektrody); pacientovi v anestezii nepůsobí bolest, naopak u povrchových elektrod by během

dlouhé operace nebyla zajištěna spolehlivost záznamu. Během operace je většina elektrod překryta operačními rouškami a nejsou tedy dobře přístupné, nelze dělat další úpravy. Elektrody samozřejmě nesmí operatérovi překážet. Provádí se opakované záznamy evokovaných potenciálů v krátkých intervalech. Monitorující lékař je v kontaktu s operátorem, v případě významných změn záznamu jej informuje (resp. dle závažnosti změny záznamu operátéra informuje, varuje, nebo vyhláší alarm). Operatér pak podle situace mění techniku operace, aby zamezil hrozícímu nevratnému poškození nervových struktur. Může se jednat o přímou afekci nervové tkáně - mechanická manipulace, termické poškození při elektrokoagulaci v blízkém okolí, etc., ale též o ischemické poškození – při operaci v cévní chirurgii, operace cévních malformací CNS; rovněž může dojít k poškození při mechanické trakci při operacích páteře - zde pak je důležité zavčas nadměrnou trakci uvolnit, aby nedošlo k ireverzibilnímu poškození; může se jednat i o systémovou příčinu – např. výrazný pokles krevního tlaku (v takovém případě můžeme pozorovat pokles amplitud či výbavnosti evokovaných odpovědí povšechně, oboustranně).

V případě plánovaných operací jsou v rámci předoperační přípravy příslušná elektrofyziologická vyšetření prováděna s časovým předstihem v laboratoři (pokud například evokované potenciály u pacienta nelze vybavit před operací v laboratoři, nemá smysl po nich pátrat na operačním sále a je pak dopředu jasné, do jaké míry se lze či nelze na monitoraci spolehnout; operační sál je plný zdrojů rušení, vyšetření je technicky obtížnější, nežli v laboratoři a je více zatíženo artefakty).

***Peroperační monitorace vychází z principů běžných vyšetření evokovaných potenciálů, technické provedení se však v řadě ohledů liší:***

**MEP (motorické evokované potenciály):** V laboratořích užívanou magnetickou transkraniální stimulaci na operačním sále nelze použít. Stimulace MEP se provádí transkraniálně elektricky. Hlavní nevýhoda této stimulace, tedy bolestivost, při anestezii odpadá. Při operacích mozkových hemisfér se provádí přímá stimulace kortexu, případně stimulace bílé hmoty mozkové elektrickou sondou. Registrace myogenních odpovědí se provádí ze svalů jehlovými elektrodami, při operacích míchy lze snímat odpovědi přímo z povrchu míchy (tzv. D-vlna).

**SSEP (somatosenzorické evokované potenciály):** Registrace evokovaných odpovědí nad skalpem je prováděna pomocí jehlových elektrod; při operacích mozkových hemisfér lze snímat odpovědi přímo z kortexu za pomoci stripu (strip je silikonový proužek s několika elektrickými kontakty v řadě).

**BAEP (sluchové evokované potenciály):** Akustická stimulace se provádí pomocí speciálních reproduktorů, ze kterých je zvuk veden pomocí silikonových hadiček zavedených do zevního zvukovodu, případně lze stimulaci provádět pomocí malých sluchátek.

### ***Hodnocení změn evokovaných odpovědí během IOM:***

Při monitoraci je za významnou změnu v čase považována změna, která je opakovaná, progredující či radikální. Pro hodnocení odpovědí jsou určena kritéria, která se liší pro jednotlivé typy EP a závisejí i na typu operace. Např. u SSEP se obecně považuje za významnou změnu pokles amplitudy kortikálních odpovědí o 50% a více, nebo prodloužení kortikální latence o 10% (resp. její prodloužení o 1ms); u MEP je např. významnou změnou zhoršení výbavnosti - zvýšení prahu výbavnosti o 50% a více.

Účelem je snížení rizika trvalých neurologických následků operace; snahou je se vyvarovat falešně negativní / falešně pozitivní monitoraci:

**Falešně negativní monitorace:** porušená funkce příslušné nervové dráhy nebyla monitorací detekována

**Falešně pozitivní monitorace:** byla detekována významná změna odpovědí, která však není způsobena poškozením nervových struktur, ale je způsobena technickými faktory, vlivem anestezie, případně systémovou příčinou (hypotenze, hypotermie a podobně).

### ***Pro představu uvádíme, jak probíhá mapování v některých konkrétních situacích:***

*Pro určení lokalizace sulcus centralis při operacích hemisfér se používají kortikální SSEP, konkrétně detekce zvratu fáze kortikálních odpovědí. Registrační strip se přiloží na kortex parasagitálně, např. přes očekávanou lokalizaci sulcus centralis; snímají se odpovědi z jednotlivých kontaktů stripu. Odpovědi z kontaktů nad parietálním lalokem mají opačnou polaritu, než odpovědi z kontaktů nad frontálním lalokem; dle potřeby se provádí registrace při různých pozicích stripu; podle toho, ve kterých kontaktech je jaký typ odpovědi, se usuzuje na pozici sulcus centralis.*

*Pro mapování primárního motorického kortexu se provádí přímá stimulace kortexu elektrickou sondou, snímají se odpovědi ze svalů končetin i obličeje na kontralaterální straně; sledujeme, zda je detekována motorická odpověď, ze kterých svalů a při jaké intenzitě stimulace.*

*Analogicky lze mapovat i bílou hmotu mozkovou ve stěnách resekcí dutiny.*

*Při operacích páteře lze provádět stimulaci jednotlivých kořenů a sledovat, ze kterých svalů (tedy ze kterých příslušných myotomů) lze detekovat odpověď; to může být užitečné např. při operaci v oblasti cauda equina, kde je v operačním poli větší množství nervových kořenů a je třeba upřesnit jejich anatomickou příslušnost.*

### ***Další speciální metody užívané k peroperačnímu mapování:***



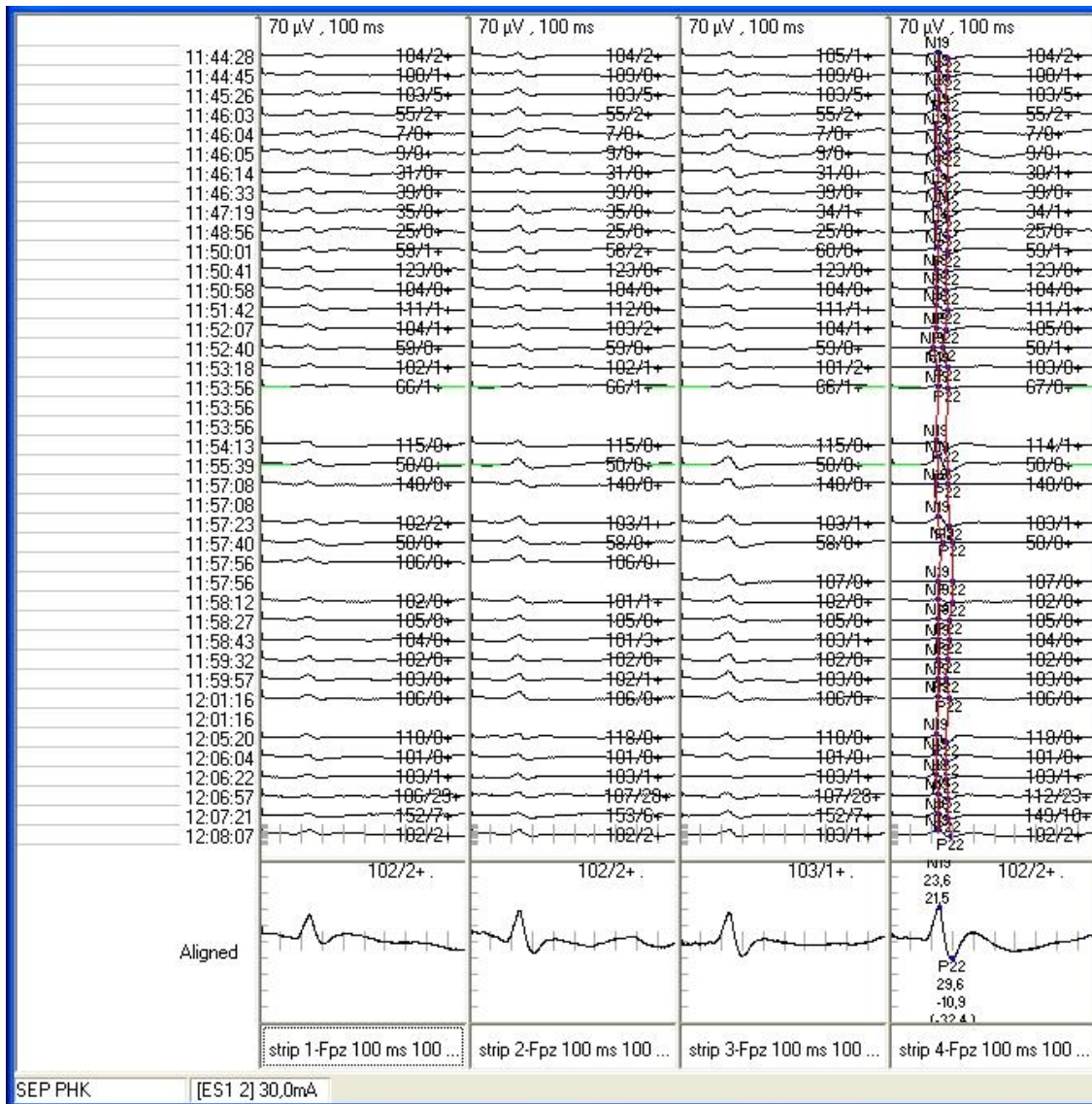
*V průběhu neurochirurgických operací jsou dále užívány některé další speciální metody pro mapování mozkových struktur, uvádíme některé z nich:*

*Pro mapování řečových funkcí bývá prováděna stimulace řečového kortexu v bdělé fázi operace – tzv. „asleep-awake-asleep“, „awake-craniotomy“. Pacient je po provedení kraniotomie a durotomie probuzen, komunikuje s lékařem (neuropsychologem či neurologem) a plní jednoduché řečové úkoly, operatér opakovaně přikládá elektrickou sondu na různé testované oblasti kortexu a sleduje se interference stimulace s řečovými funkcemi pacienta. Oblasti, při jejichž stimulaci dochází k pozitivním řečovým odpovědím (zástava řeči, chyby v řeči, vokalizace, etc.) jsou považovány za řečový kortex. Následně je pacient opět ztlumen. Samozřejmě tyto operace vyžadují zcela specifický způsob vedení anestezie, předchozí zevrubné poučení pacienta o postupu a podpis informovaného souhlasu pacienta, pacient musí být schopen spolupráce a musí být v plánu záložní varianta pro případ, že pacient během operace dostatečně spolupracovat nebude.*

**Obr. 1:**

### **Peroperační monitorace SSEP n. medianus**

Operace tumoru levé hemisféry. Opakovaně byla prováděna registrace SSEP a byly sledovány případné změny evokovaných odpovědí v čase; odpovědi v průběhu resekce bez významné změny amplitudy či latence. Stimulace probíhala nad n. medianus vpravo (povrchové elektrody nad zápěstím), registrace ze stripu přiloženého na kortex nad levou parietální oblastí (*referenční zapojení proti elektrodě Fpz – vývrtková subdermální elektroda mimo operační pole*); jednotlivé sloupce odpovídají záznamům z jednotlivých kontaktů stripu v průběhu operace, každý záznam vznikl zprůměrněním cca 100 odpovědí.



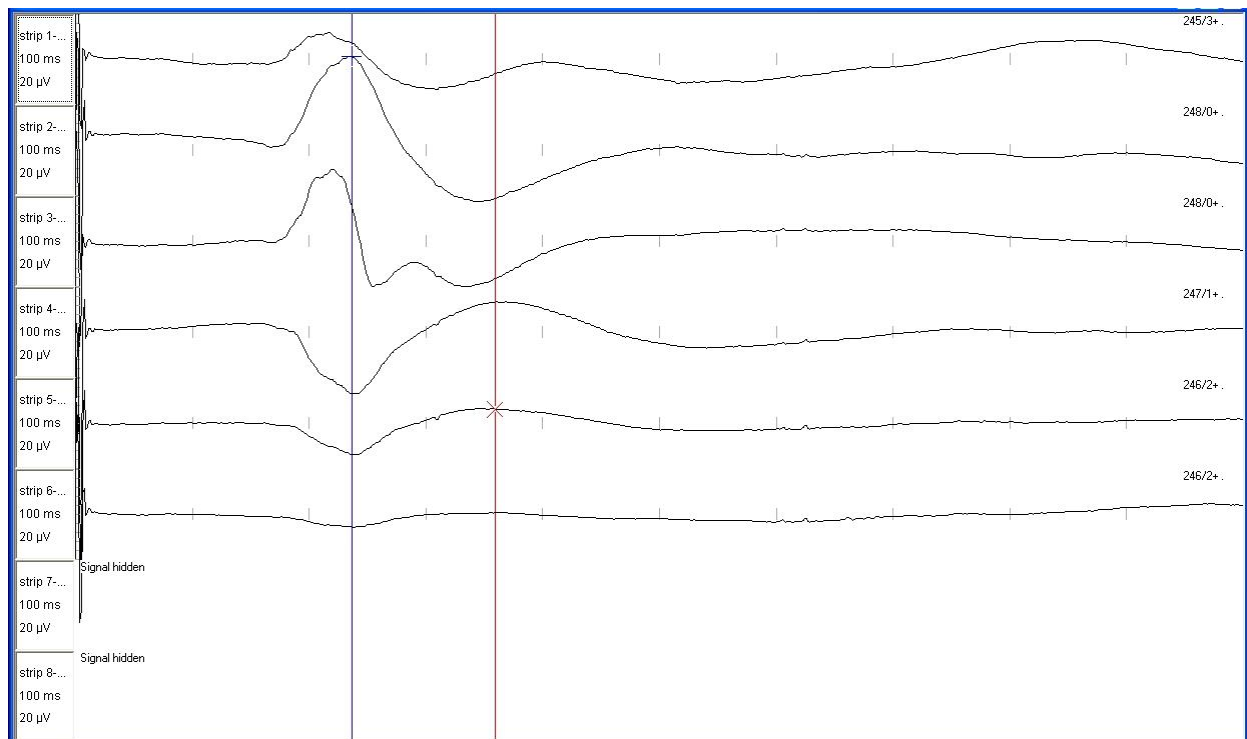
SEP PHK

[ES1 2] 30,0mA

**Obr. 2:**

**Určení lokalizace sulcus centralis pomocí zvratu fází SSEP n. medianus**

Operace tumoru levé hemisféry. Stimulace probíhala nad n. medianus vpravo (povrchové elektrody nad zápěstím), registrace evokovaných odpovědí ze stripu se šesti kontakty, uloženého na kortex na konvexitě levé mozkové hemisféry přes předpokládaný sulcus centralis. Stopy na snímku odpovídají záznamům z jednotlivých kontaktů stripu (*referenční zapojení – jako reference slouží subdermální vývrtková elektroda na skalpu*), záznam vznikl zprůměrněním cca 245 odpovědí. Podle registrovaných odpovědí se kontakty 4-6 nacházejí nad parietální oblastí, kontakty 1-2 nad frontální oblastí (je patrná opačná polarita odpovědí); je patrný zvrát fází odpovědí, sulcus centralis se nachází nejbližše kontaktu č. 3. (*Je rovněž patrné, že amplituda odpovědí se s rostoucí vzdáleností od sulcus centralis snižuje.*)



**Obr. 3:**

### **Stimulace motorického kortexu - MEP**

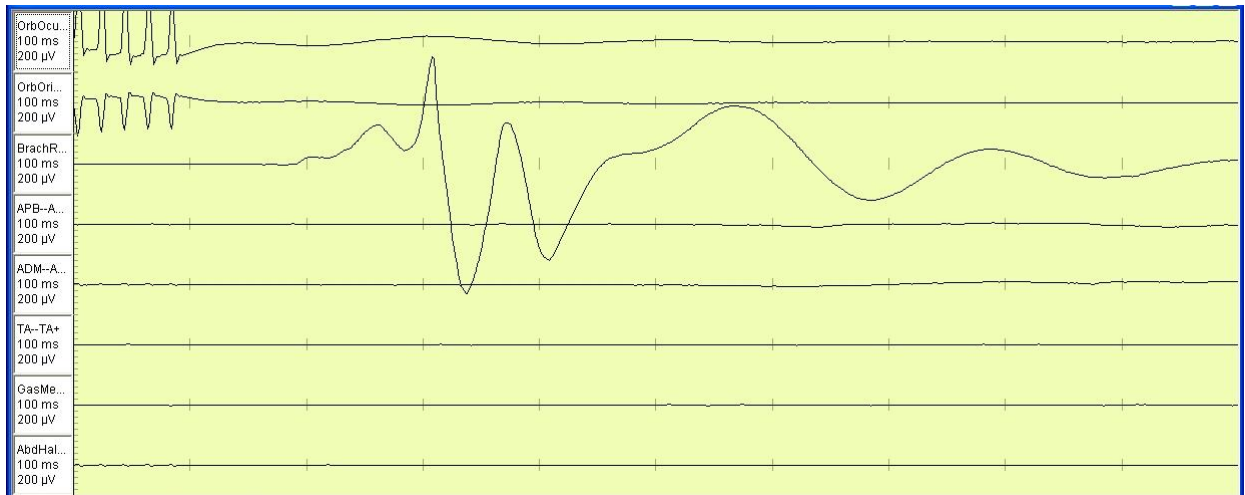
Operace tumoru v mozkové hemisféře, záznamy u dvou různých pacientů.

Prováděna elektrická stimulace kortexu („train“ pěti po sobě rychle následujících impulzů, aplikovaný stimulační sondou s dvojicí elektrod, bipolární stimulace); registrace odpovědí pomocí jehlových elektrod ze svalů kontralaterálně - stopy odshora: m. orbicularis oculi, m. orbicularis oris, m. brachioradialis, m. abductor pollicis brevis, m. abductor digiti minimi, m. tibialis anterior, m. gastrocnemius – caput mediale a m. abductor hallucis.

Na horním snímku je patrná odpověď ze svalů kontralaterální dolní končetiny při mapování motorického kortexu; na dolním snímku je přítomna odpověď z kontralaterálního m. brachioradialis.

*(Pozn.: V prvních dvou stopách je patrný artefakt ze stimulace, neboť svaly obličeje jsou poměrně blízko stimulaci, oproti ostatním zmíněným svalům.)*



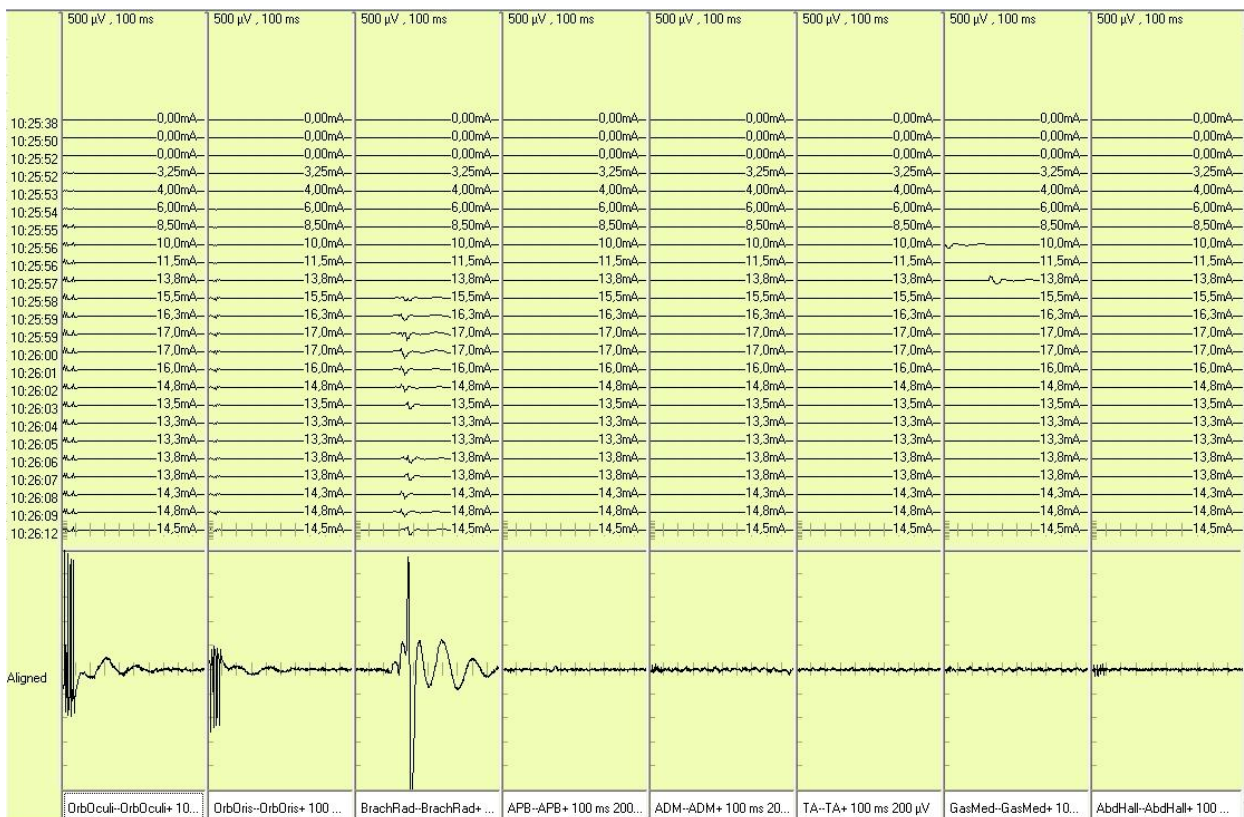


Obr. 4:

### Stimulace motorického kortexu – MEP

Operace tumoru mozkové hemisféry. Prováděna elektrická stimulace kortexu („train“ 5 impulzů); registrace odpovědi identická, jako u obr. 3; jednotlivé sloupce odpovídají jednotlivým svalům; vybavena odpověď z m- brachioradialis; prováděna opakovaná stimulace s různou intenzitou, práh výbavnosti odpovědi určen na 13mA.

(Pozn.: U svalů obličeje je patrný artefakt ze stimulace.)



## **Otázky ke zkoušce**

### *Peroperační monitorace – evokované potenciály*

#### **Literatura:**

*Stejskal L. a kol. Stimulační intraoperační monitorace v neurochirurgii; Grada Publishing, a.s., Praha 2006*

*Ambler Z., Bednařík J., Růžička E. a kol. Klinická neurologie, část obecná; Triton, Praha 2008*