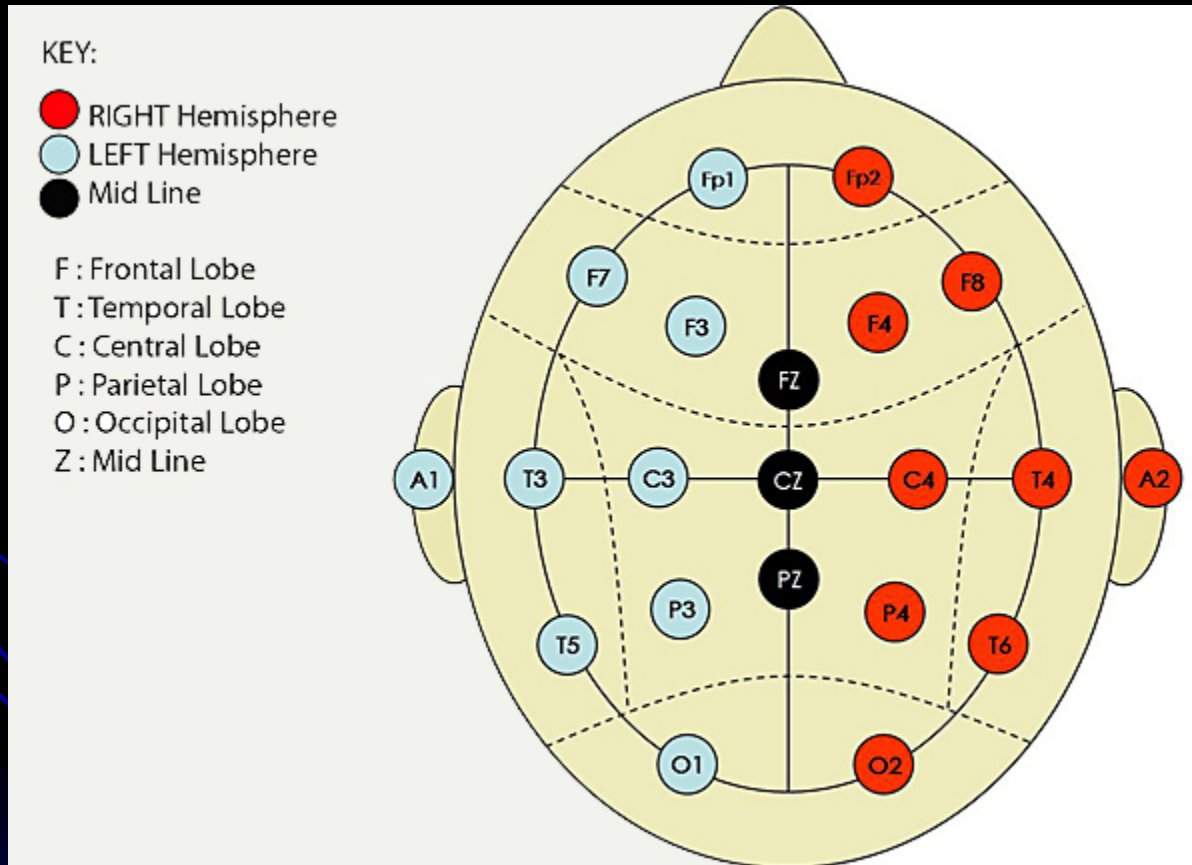


EEG v intenzivní péči: jak a proč se hodí?

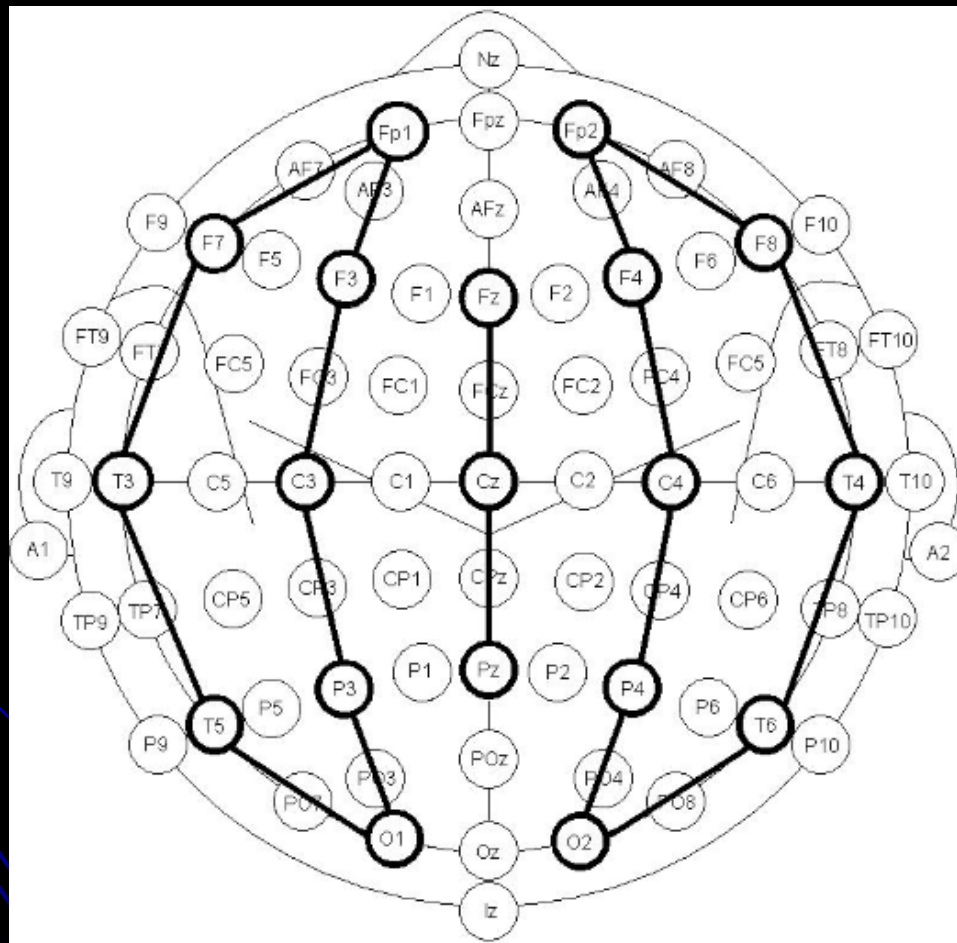
Petr Aulický
ARIM NMB Brno



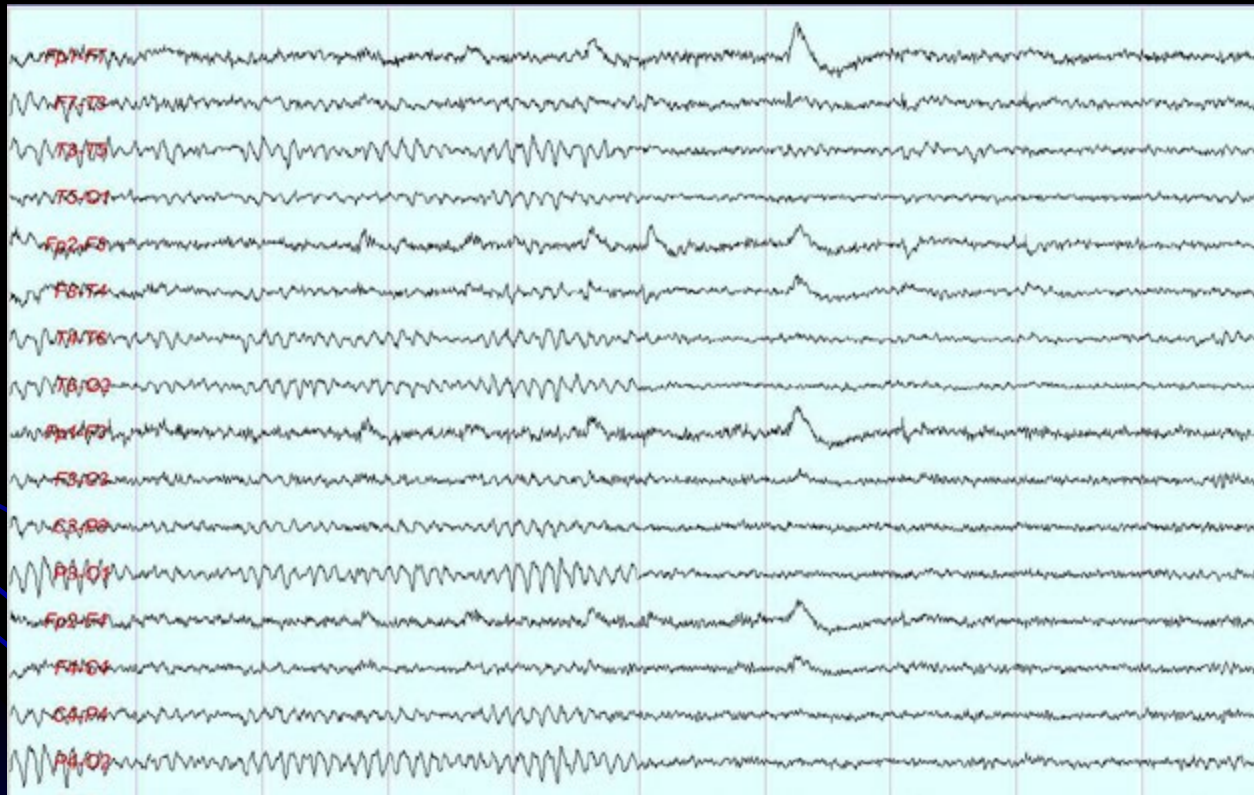
Označení elektrod



Bipolární longitudinální zapojení

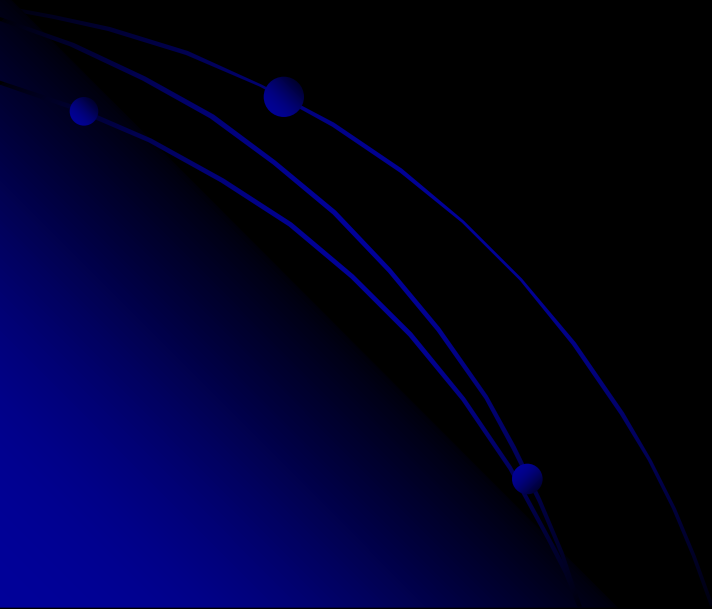


Fyziologický EEG (vč. alfa-atenuační reakce)

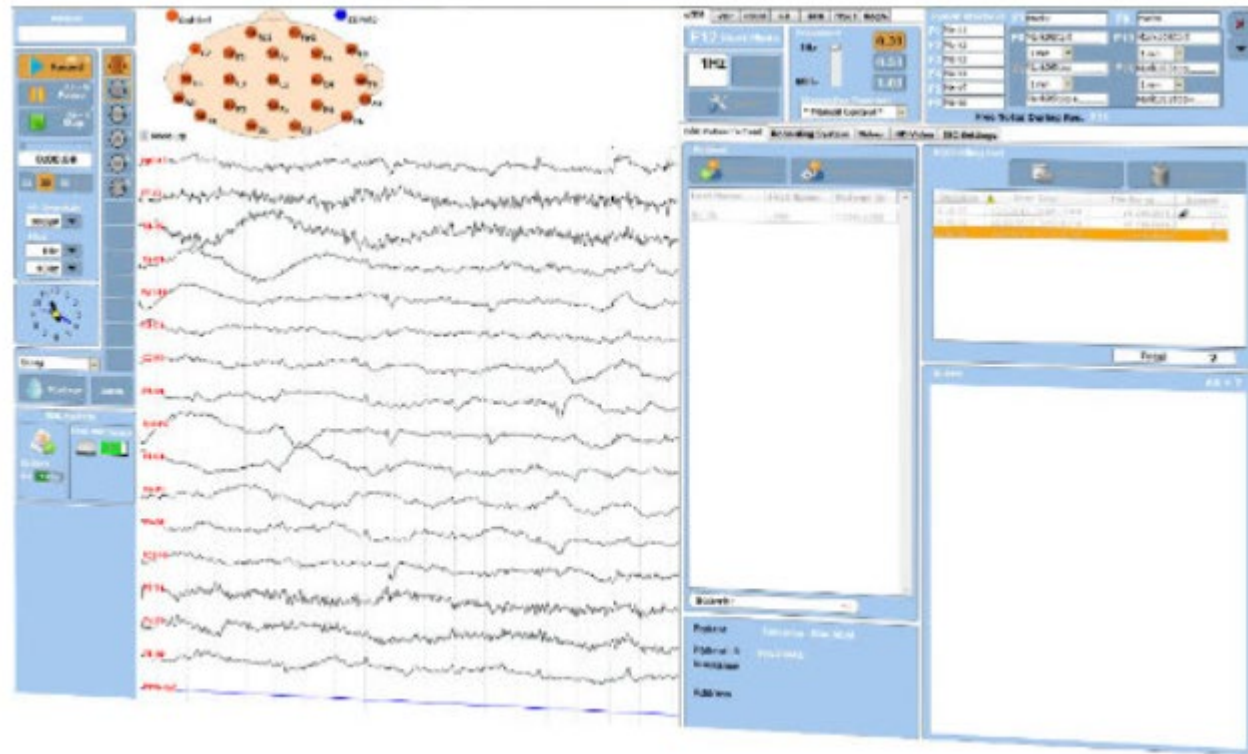


rEEG vs. cEEG


- Rutinní EEG (rEEG): 20-30 min
 - 18 kanálů
- Kontinuální EEG (cEEG): hodiny až dny
 - 6-8-16-18 kanálů



rEEG → cEEG
30 min → 8 h → ≥ 24 h



rEEG vs. cEEG

- cEEG vyšší sensitivita při detekci non-konvulsivních, resp. elektrografických záchvatů ve srovnání s rEEG
 - Záchvatová aktivita v EEG = iktální aktivita
- 

Záchvaty/ status epilepticus

- **Konvulsivní** = projevují se tonickými/ klonickými křečemi
 - Generalizovaný tonicko-klonický záchvat (GTCS) trvající ≥ 5 min = **generalizovaný konvulsivní status epilepticus (GCSE)**
- **Non-konvulsivní** = záchvaty neprojevující se křečemi (NCS)
 - NCS ≥ 10 min = **non-konvulsivní status epilepticus (NCSE)**

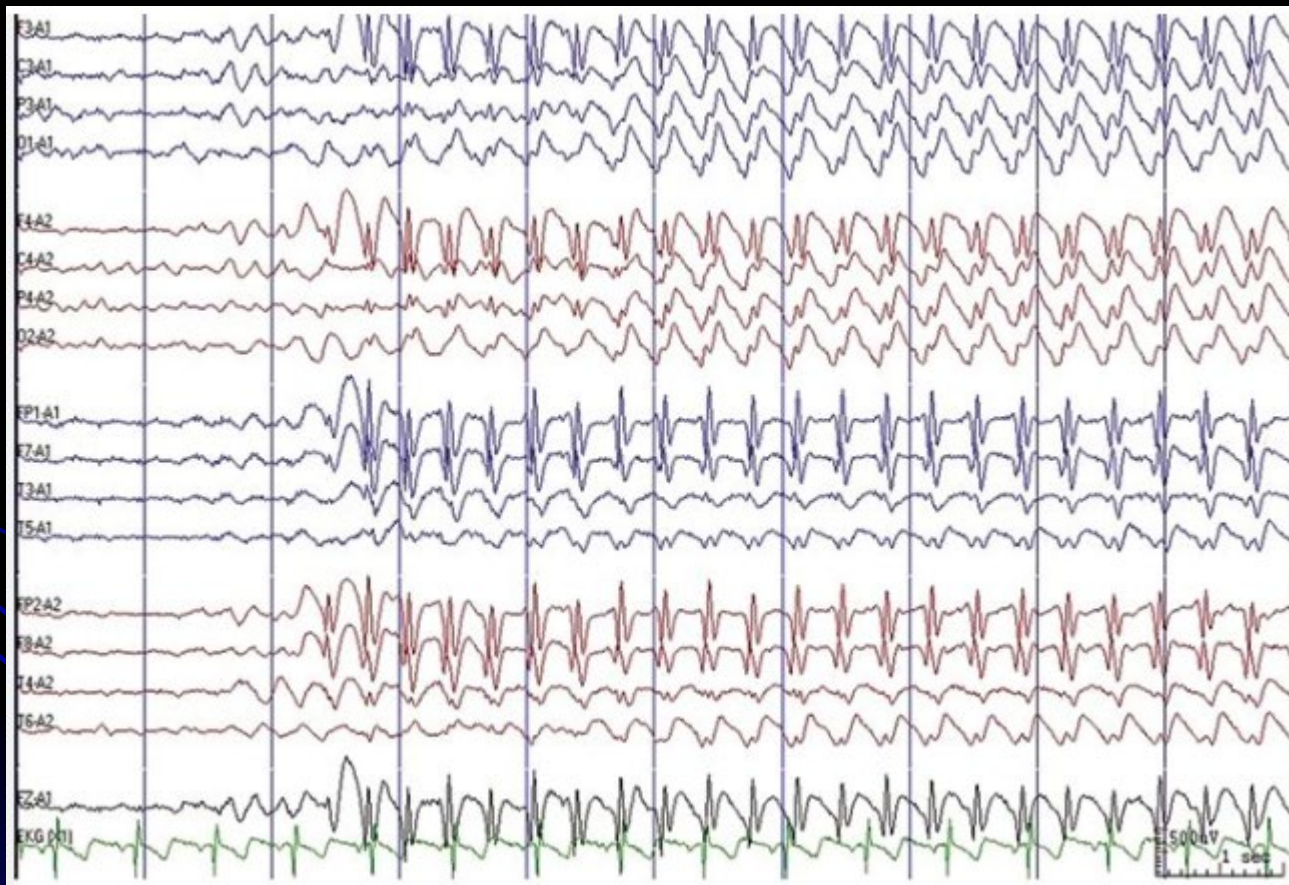
NCSE

- NCSE bez kómatu
 - Od opakovaných výpadků pozornosti po kvalitativní a/nebo kvantitativní poruchy vědomí
- NCSE s kómatem (vč. myoklonického SE)
- Mimo ILAE klasifikaci: SE terminans (sutble SE) – po generalizovaném konvulzivním SE/ GTC záchvatu

Indikace k EEG

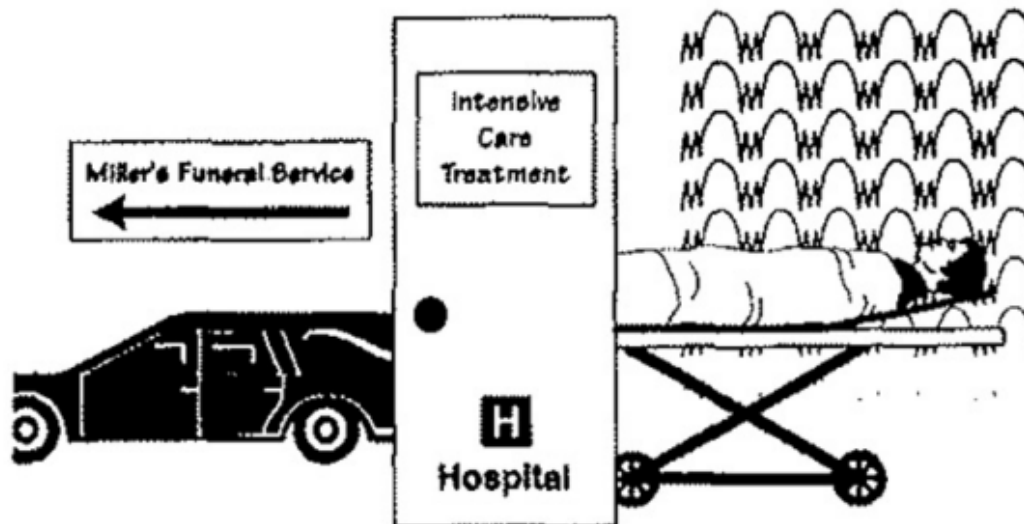
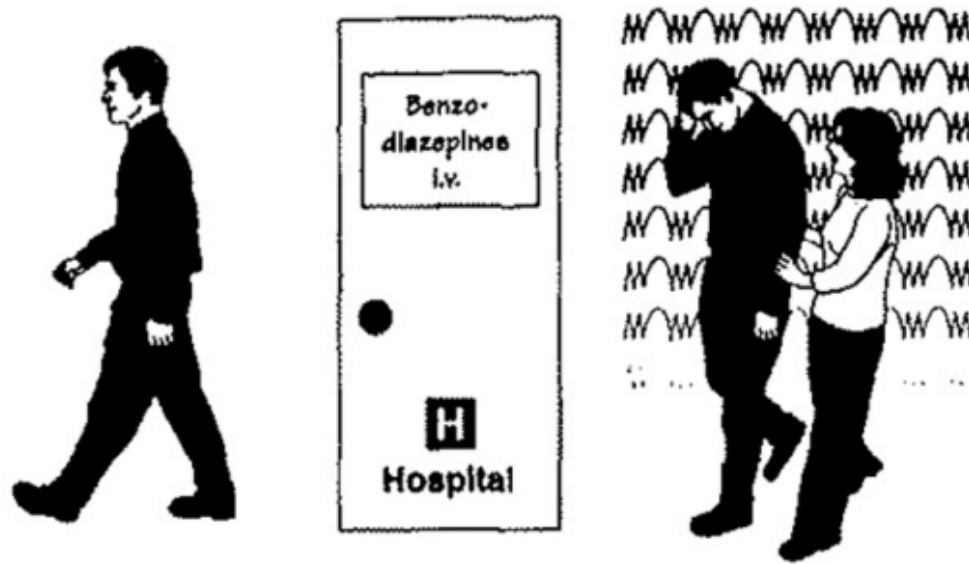
- Fluktuace nebo alterace chování nebo mentálního stavu
- Akutní supratentoriální poškození mozku s poruchou vědomí
- Perzistující alterace mentálního stavu následující po léčbě GCSE
- Kriticky nemocní, kteří jsou stuporózní nebo komatózní
- Recentní klinické záchvaty (jakéhokoli trvání), po nichž se pacient nedostává do původního stavu
- Postanoxické kóma
- Zejména v situacích nevysvětlitelné alterace/ poruchy vědomí

Záchvat/status typické absence



Záchvat/status s kómatem



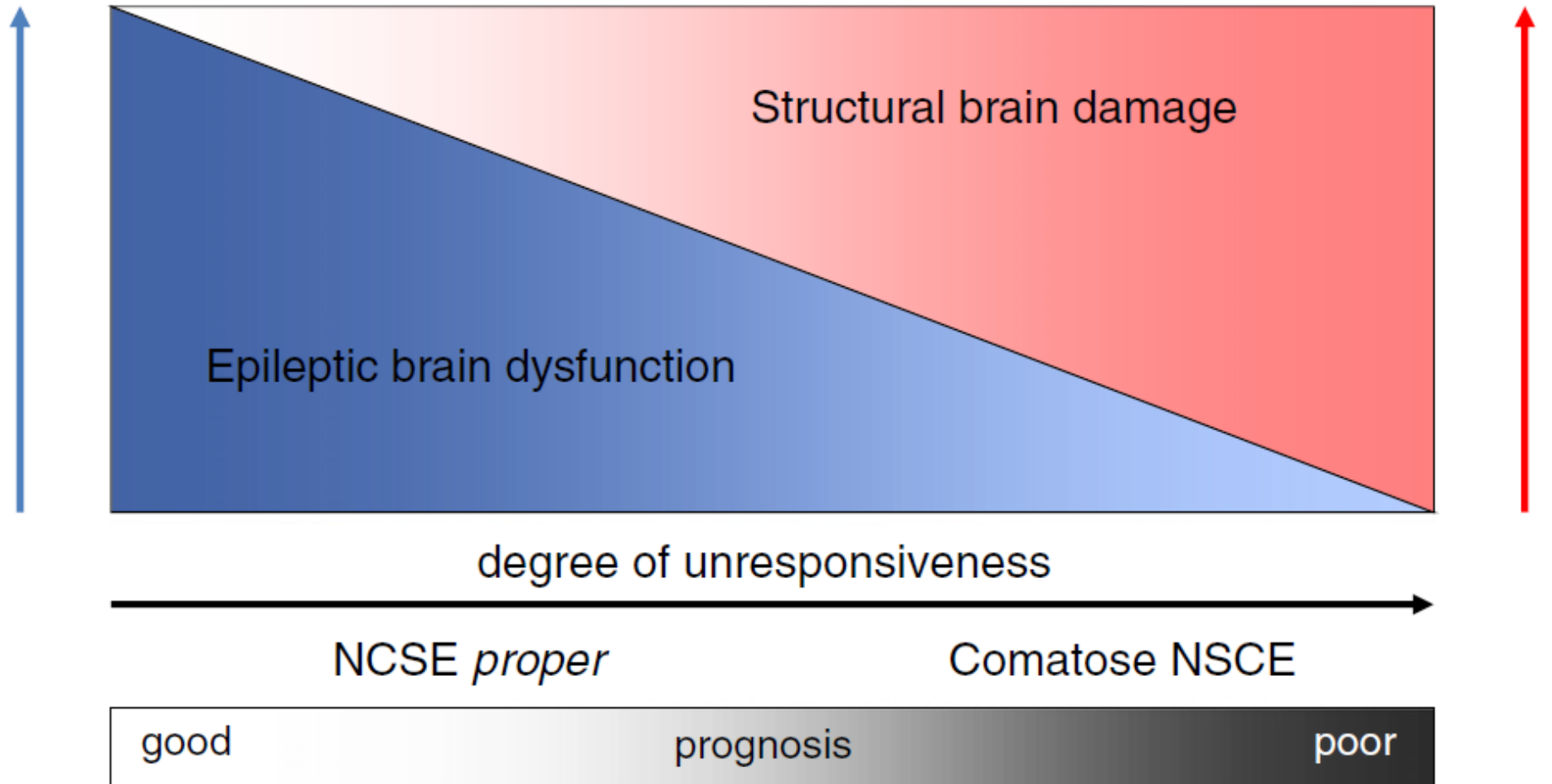


AS in IGE
Late AS de novo
Atypical AS

Focal SE with impaired consciousness,
Aura continua,
Status aphasicus

Acute symptomatic focal SE +/- EPC
Subtle SE

Coma with GPD
Coma with LPD

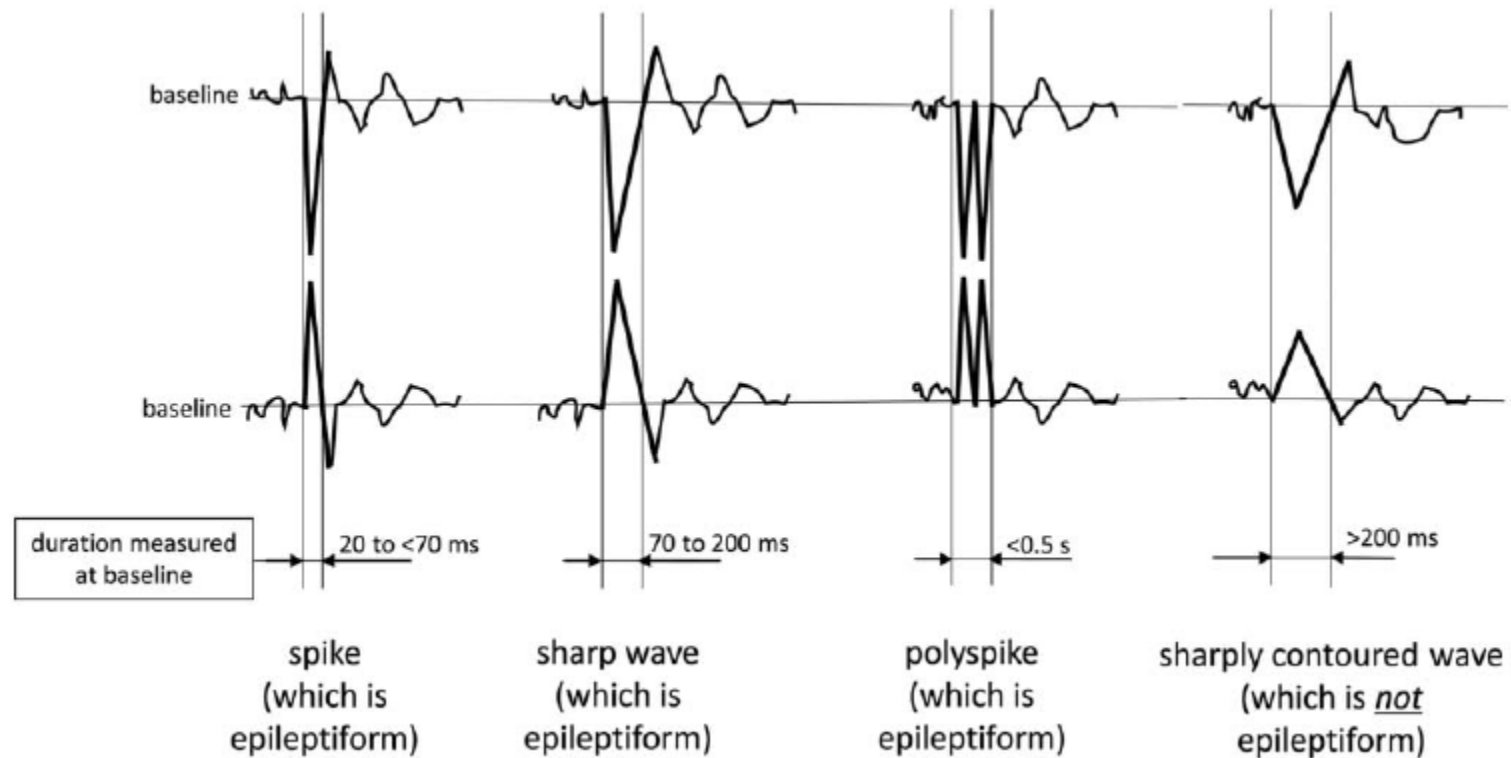


American Clinical Neurophysiology Society's Standardized Critical Care EEG Terminology: 2021 Version

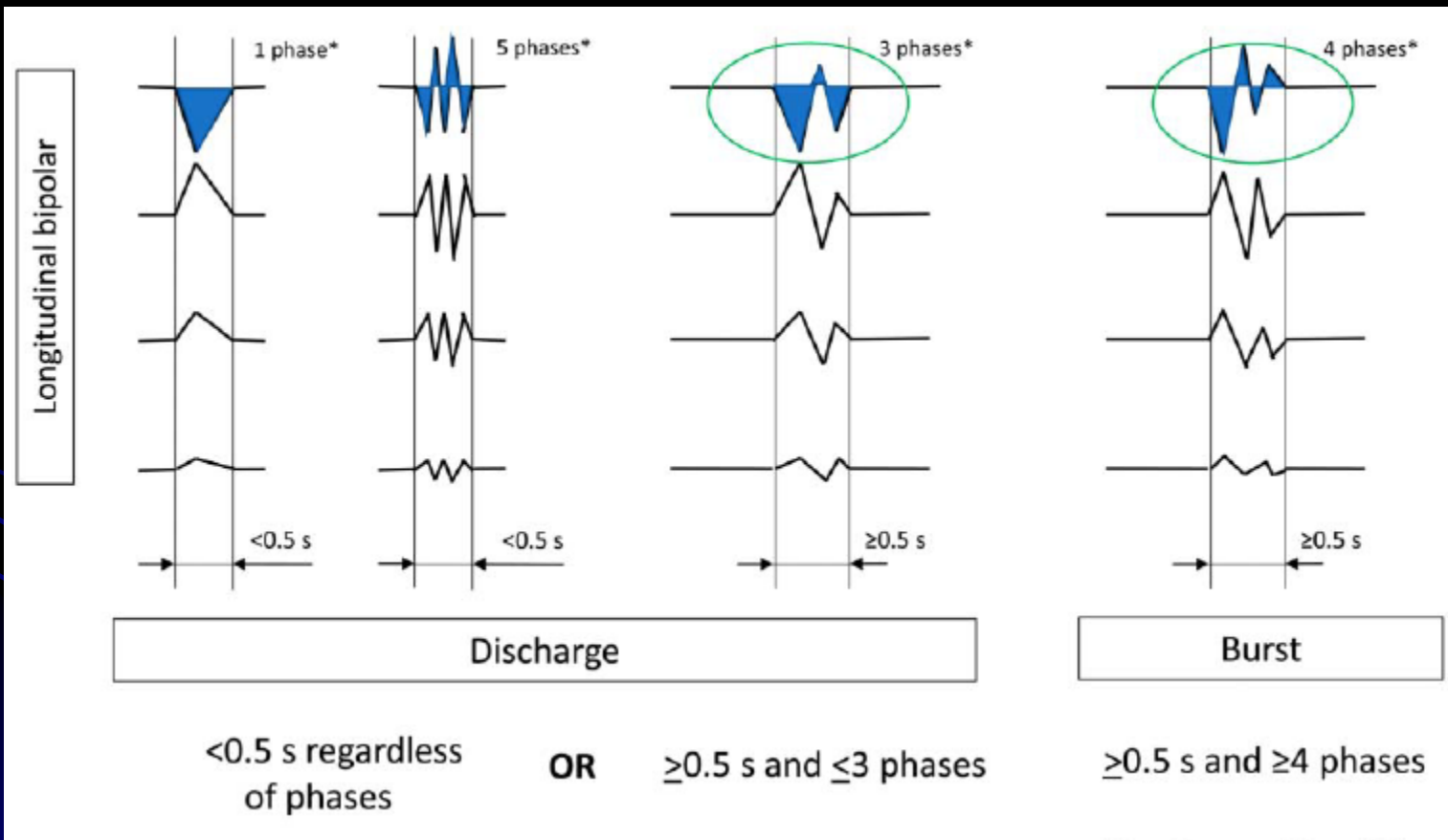
Lawrence J. Hirsch,* Michael W.K. Fong,† Markus Leitinger,‡ Suzette M. LaRoche,§ Sandor Beniczky,|| Nicholas S. Abend,¶ Jong Woo Lee,# Courtney J. Wusthoff,** Cecil D. Hahn,†† M. Brandon Westover,‡‡ Elizabeth E. Gerard,§§ Susan T. Herman,|||| Hiba Arif Haider,§¶¶ Andres Rodriguez-Ruiz,§ Carolina B. Maciel,## Emily J. Gilmore,* Andres Fernandez,*** Eric S. Rosenthal,††† Jan Claassen,‡‡‡ Aatif M. Husain,§§§ Ji Yeoun Yoo,||||| Elson L. So,¶¶¶ Peter W. Kaplan,### Marc R. Nuwer,**** Michel van Putten,†††† Raoul Sutter,‡‡‡‡ Frank W. Drislane,§§§§ Eugen Trinka,‡ and Nicolas Gaspard|||||||

*Comprehensive Epilepsy Center, Department of Neurology, Yale University School of Medicine, New Haven, Connecticut, U.S.A.; †Westmead Comprehensive Epilepsy Unit, Westmead Hospital, University of Sydney, Sydney, Australia; ‡Department of Neurology, Christian Doppler Klinik, Paracelsus Medical University, Salzburg, Austria; §Department of Neurology, Emory University School of Medicine, Atlanta, Georgia, U.S.A.; ||Department of Clinical Neurophysiology, Danish Epilepsy Center, Dianalund and Aarhus University Hospital, Aarhus, Denmark; ¶Departments of Neurology and Pediatrics, The Children's Hospital of Philadelphia and the Perelman School of Medicine at the University of Pennsylvania, Philadelphia, Pennsylvania, U.S.A.; #Brigham and Women's Hospital, Boston, Massachusetts, U.S.A.; **Division of Child Neurology, Stanford University, Palo Alto, California, U.S.A.; ††Division of Neurology, The Hospital for Sick Children, and Department of Pediatrics, University of Toronto, Toronto, Canada; ‡‡Neurology Department, Massachusetts General Hospital, Massachusetts, U.S.A.; §§Comprehensive Epilepsy Center, Department of Neurology, Northwestern University, Chicago, Illinois, U.S.A.; |||Barrow Neurological Institute, Phoenix, Arizona, U.S.A.; ¶¶Department of Neurology, Henry Ford Hospital, Detroit, Michigan, U.S.A.; ###Division of Neurocritical Care, Department of Neurology, University of Florida, Gainesville, Florida, U.S.A.; ***Department of Neurology, Thomas Jefferson University Hospital, Philadelphia, Pennsylvania, U.S.A.; †††Department of Neurology, Massachusetts General Hospital, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts, U.S.A.; ‡‡‡Neurocritical Care, Department of Neurology, Columbia University, New York, New York, U.S.A.; §§§Department of Medicine (Neurology), Duke University Medical Center, and Veterans Affairs Medical Center, Durham, North Carolina, U.S.A.; ||||Department of Neurology, Icahn School of Medicine at Mount Sinai, New York, New York, U.S.A.; ¶¶¶Division of Epilepsy, Mayo Clinic, Rochester, Minnesota, U.S.A.; ###Department of Neurology, Johns Hopkins University School of Medicine, Johns Hopkins Bayview Medical Center, Baltimore, Maryland, U.S.A.; ****Department of Neurology, David Geffen School of Medicine at University of California Los Angeles, Los Angeles, California, U.S.A.; ††††Medisch Spectrum Twente and University of Twente, Enschede, The Netherlands; ‡‡‡†Medical Intensive Care Units and Department of Neurology, University Hospital Basel, Basel, Switzerland; §§§§Department of Neurology, Harvard Medical School, and Comprehensive Epilepsy Center, Beth Israel Deaconess Medical Center, Boston, Massachusetts, U.S.A.; and |||||Department of Neurology, Université Libre de Bruxelles, Hôpital Erasme, Brussels, Belgium.

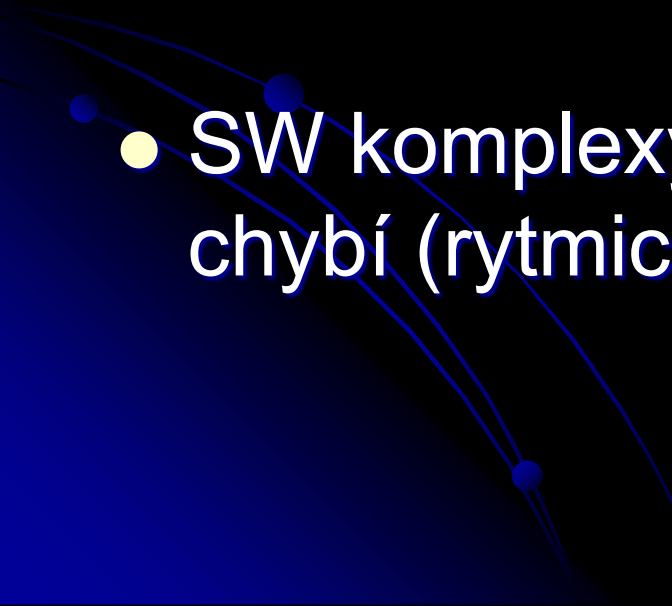
Epileptiformní výboje (epileptiform discharges)



Discharge vs. burst

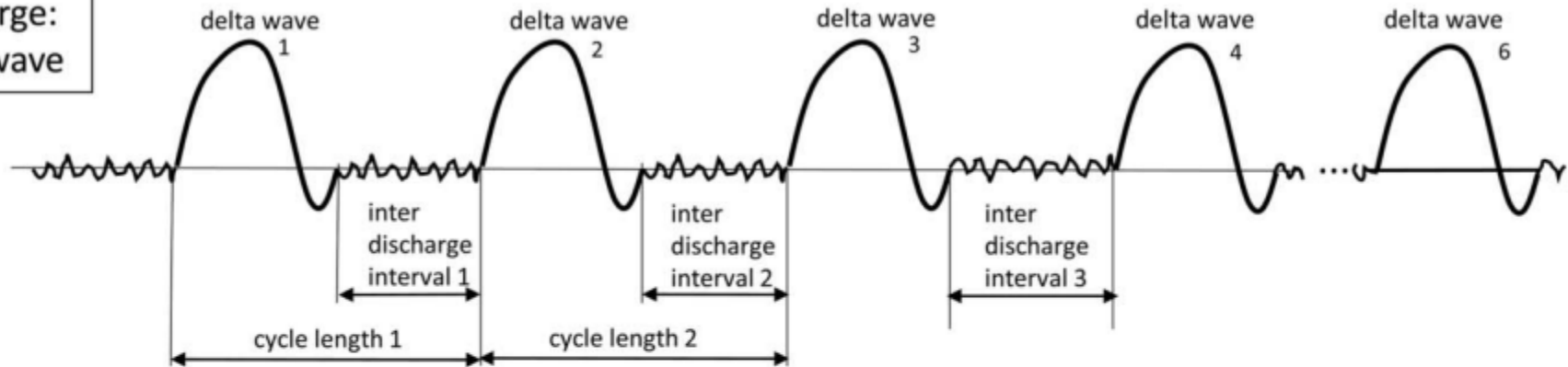


Rytmické a periodické vzorce (rhythmic and periodic patterns = RPPs)

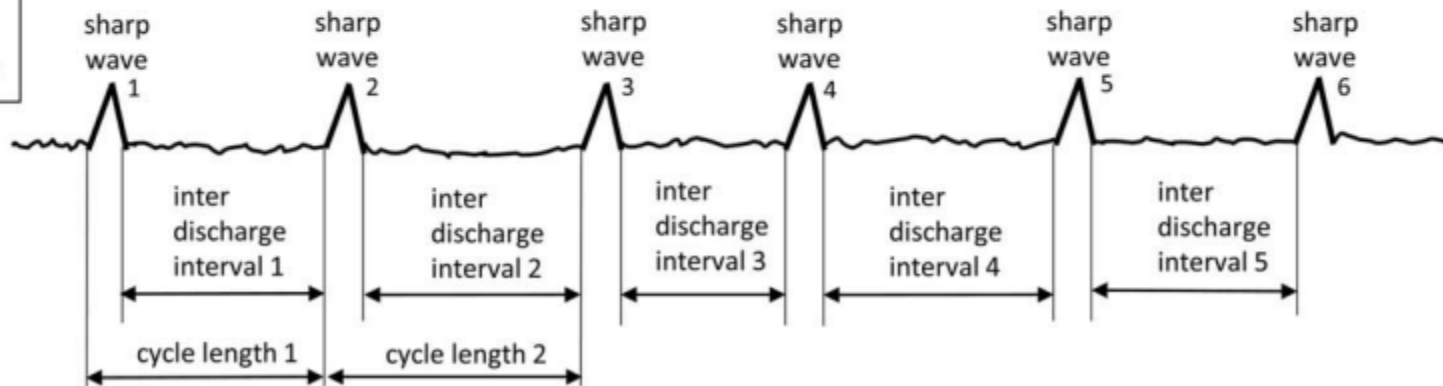
- Periodické výboje (periodic discharges = PDs) – přítomnost interdischarge intervalu
 - Trvání výboje < 0.5 s
 - SW komplexy – interval mezi komplexy chybí (rytmický vzorec)
- 

RPPs – periodické výboje

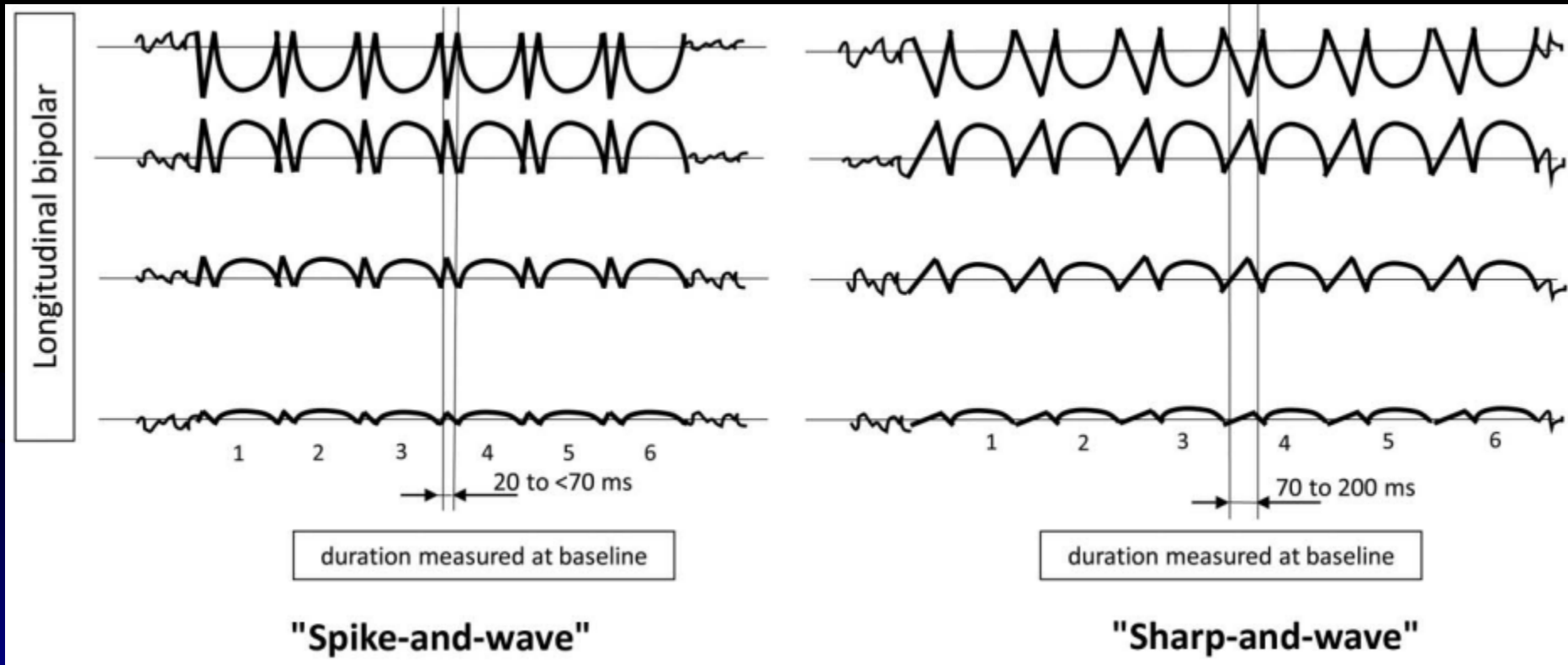
Discharge:
delta wave



Discharge:
sharp wave



RPPs – SW komplexy



+ PSW (polyspike-and-wave) komplexy



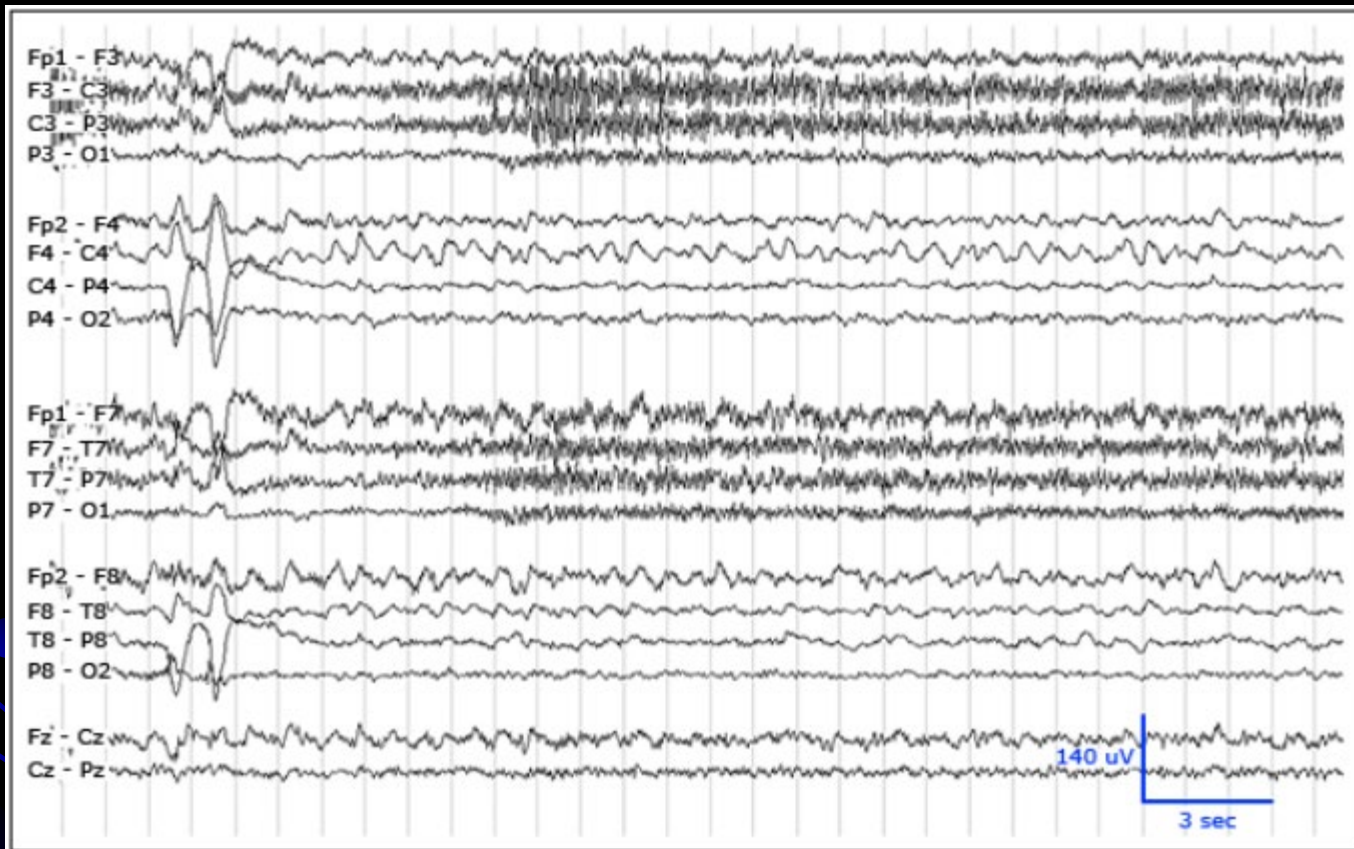
EEG 5 Generalized Periodic Discharges (GPDs): 1 Hz sharp GPDs.



EEG 7 Lateralized Periodic Discharges (LPDs): 0.5-1 Hz spiky LPDs. Despite their spike-and-wave morphology, the discharges are periodic (as there is a quantifiable inter-discharge interval between consecutive waveforms and recurrence of the waveform at nearly regular intervals).



EEG 9 Bilateral Independent Periodic Discharges (BIPDs): Periodic spike wave occurring at 0.3-0.5 Hz in the left posterior quadrant (arrows). At the same time, there is another periodic spike wave population occurring at 0.5-1 Hz in the right posterior quadrant (asterisks).



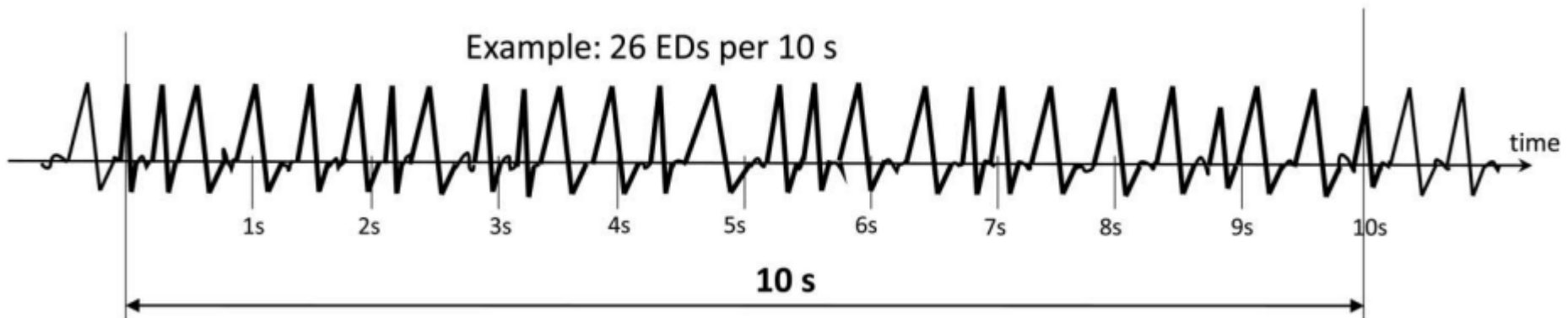
Stimulus induced rhythmic, periodic, or ictal discharges (SIRPIDs)

Non-konvulsivní záchvaty u komatózních pacientů

- Elektrografické: S klinickým korelátem nebo bez něj
- Elektroklinické: S klinickým korelátem – včetně nenápadných příznaků
 - Myoklonus, nystagmus, deviace bulbů
- Většina pacientů bez klinických příznaků (pouze kóma)

Záchvaty elektrografické

Epileptiform discharges averaging >2.5 Hz for ≥ 10 s (>25 discharges in 10 s)



Hroty a ostré vlny >2.5 Hz trvající ≥ 10 s

Při frekvenci výbojů 1-2.5 Hz by se jednalo o **možný EG záchvat**

EG záchvaty mohou být tvořeny i ostře konturovanými výboji >200 ms (až 400 ms), tzn. výboji, které technicky nejsou epileptiformní

Záchvaty elektrografické



SW komplexy >2.5 Hz trvající ≥ 10 s

Při frekvenci SW komplexů 1-2.5 Hz by se jednalo o **možný EG záchvat**

Záchvaty elektroklinické

Any EEG pattern with either:

Definite clinical correlate time-locked to the pattern (of any duration)



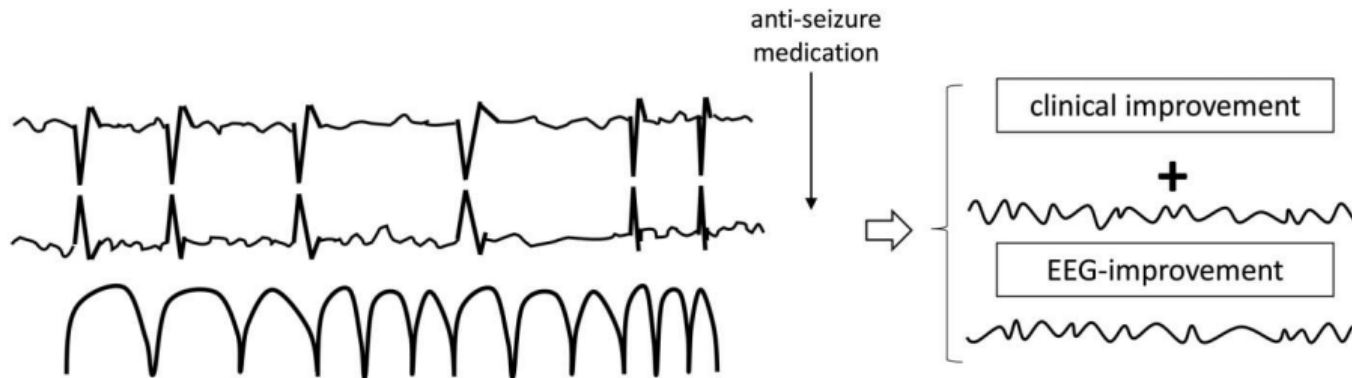
time-locked clinical correlate, e.g., jerk
time-locked clinical correlate, e.g., jerk
time-locked clinical correlate, e.g., jerk
time-locked clinical correlate, e.g., jerk
time-locked clinical correlate, e.g., jerk



time-locked clinical correlate, e.g., jerk
time-locked clinical correlate, e.g., jerk
time-locked clinical correlate, e.g., jerk

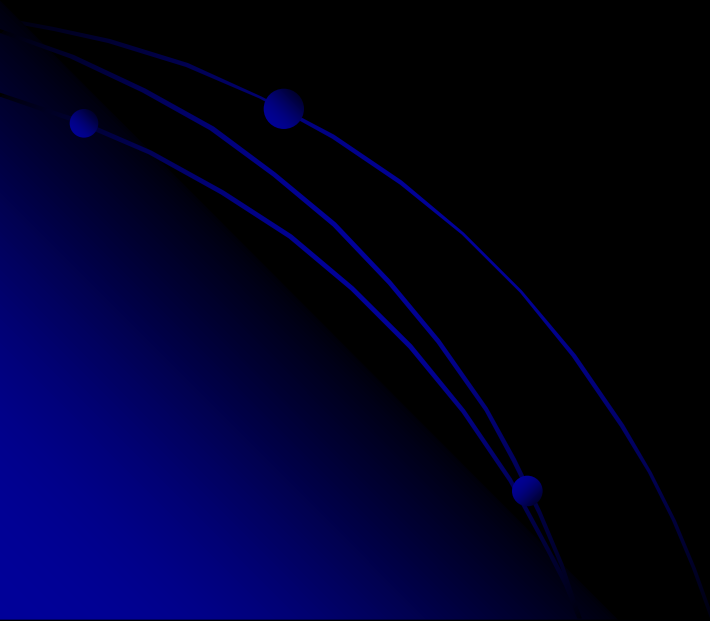
OR

EEG **AND** clinical improvement with a parenteral (typically IV) anti-seizure medication



Záchvaty elektroklinické

- Ne každý elektroklinický záchvat musí být současně záchvatem elektrografickým
 - Elektroklinický z. je současně záchvatem EG při frekvenci výbojů >2.5 Hz a trvání ≥ 10 s



Elektrografický záchvat

≥ 10 s

- Epileptiformní výboje > 2.5 Hz
- Periodické výboje nebo SW komplexy > 2.5 Hz

Elektroklinický záchvat

Jakékoli trvání

- Klinický projev (např. myoklonus) časově vázaný s vzorcem
- Klinické a EEG zlepšení po aplikaci i.v. protizáchvatové medikace

≥ 10 min nebo $\geq 20\%$ / 60 min = **status epilepticus**



EEG 24a Electrographic seizure (ESz): Definite evolution in a pattern lasting at ≥ 10 s, and also averaging >2.5 Hz for ≥ 10 seconds (either criterion would suffice to qualify as an ESz). There was no clinical correlate to this seizure i.e. not electroclinical.

Ictal-interictal continuum (IIC)

Periodické výboje nebo SW komplexy

- ≤ 1 Hz – interiktální aktivita
- 1-2.5 Hz při trvání ≥ 10 s = **IIC** = možné eletrografické záchvaty
- ≥ 2.5 Hz při trvání ≥ 10 s = eletrografické záchvaty – iktální aktivita

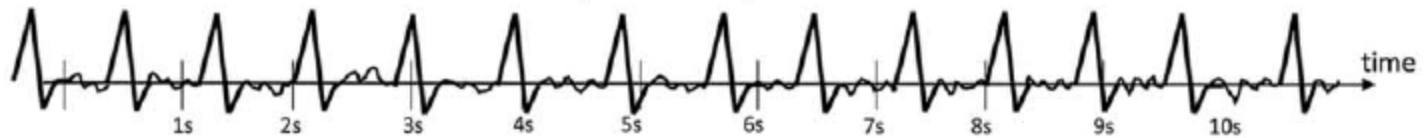
Ictal-interictal continuum (IIC)

A

Epileptiform discharges > 1.0 Hz and ≤ 2.5 Hz over 10 s (>10 and ≤ 25 ED in 10 s)

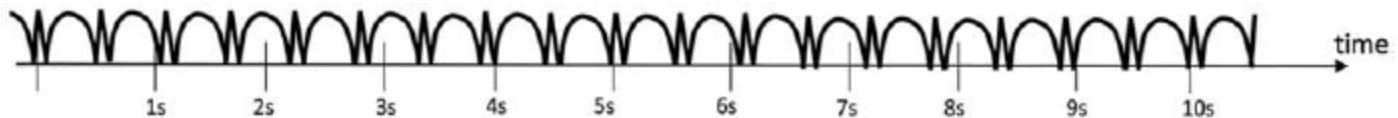
PD

Example: 12 EDs per 10 s

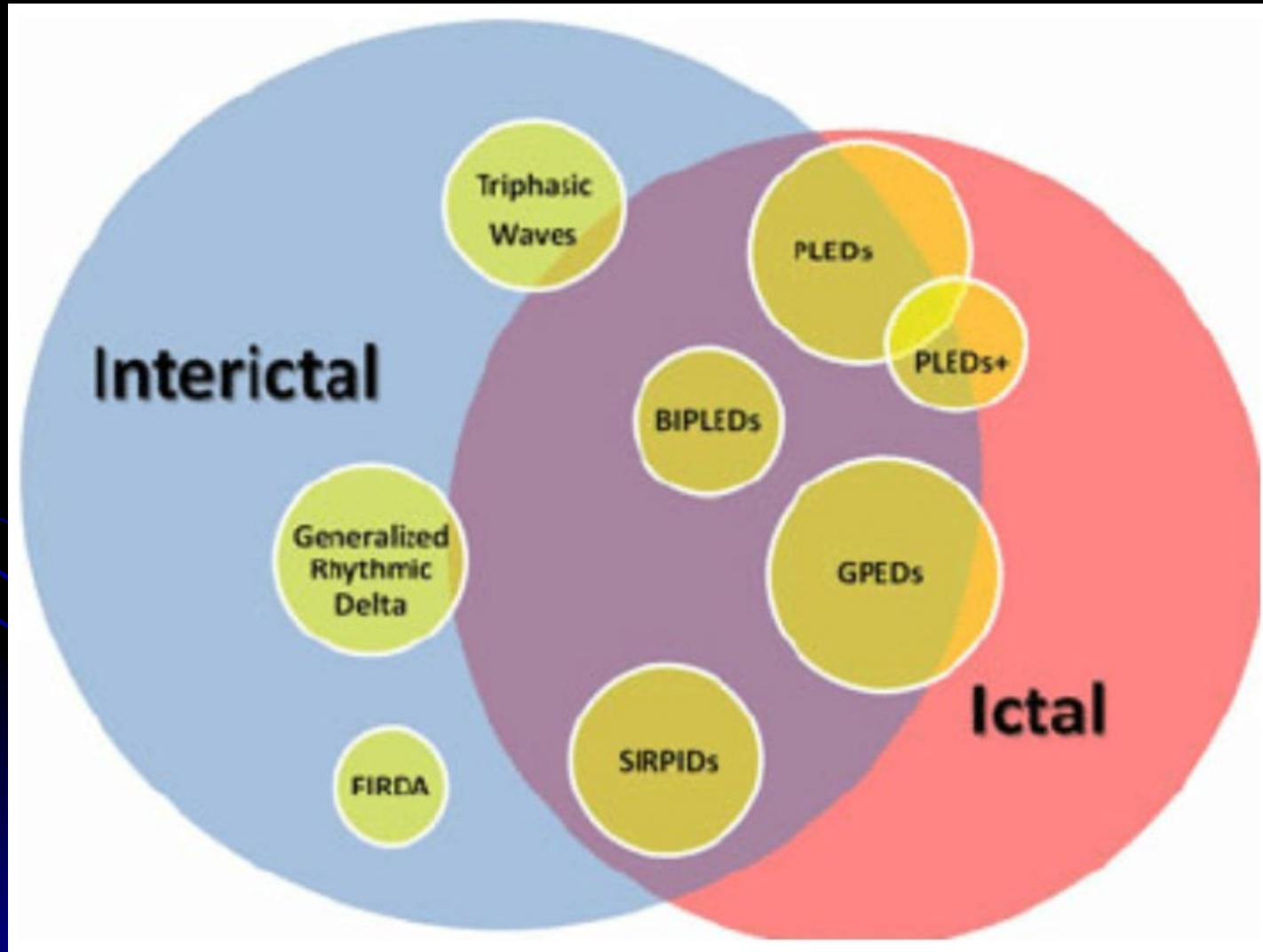


SW

Example: 18 EDs per 10 s



Ictal-interictal continuum (IIC)



Ictal-interictal continuum (IIC)



EEG 29b Ictal-Interictal Continuum (IIC) – Generalized:
As the recording continues the EEG begins to change, with GPDs fluctuating between 1 Hz and very briefly up to 1.5 Hz. Now qualifying as a pattern on the IIC. Cont.

Detekce záchvatů po srdeční zástavě

- Preference cEEG před rEEG
- Začátek monitorace během 6-12 h od zahájení aktivní kontroly teploty (ATC) → monitorace do minim. 24 h po zahřátí
- Při nedostupnosti cEEG intermitentní monitorace (např. v 12 h intervalech od zahájení ATC do minim. 24 h po zahřátí)

Detekce záchvatů po srdeční zástavě

- Výskyt záchvatů až u 1/3 pacientů
- Mnoho záchvatů jsou z. non-konvulsivní, klinicky subtilní, k detekci často vyžadující EEG
- Menší část záchvatů jsou z. konvulsivní (tonické/ klonické křeče)

Detekce záchvatů po srdeční zástavě

- Záchvaty (klinické projevy) mohou být potlačovány sedací nebo svalovou relaxací
- Non-konvulsivní záchvaty (NCS) u 10-30 % pacientů po srdeční zástavě
- NCS mohou být spojeny s jakýmkoli těžkým poškozením mozku
- NCS obvykle (ne vždy) spojovány se špatnou prognózou

Hodnocení prognózy pacientů po srdeční zástavě

Box. Cerebral Performance Category (CPC) Scale

CPC 1: Full recovery or mild disability

CPC 2: Moderate disability but independent in activities of daily living

CPC 3: Severe disability; dependent in activities of daily living

CPC 4: Persistent vegetative state

CPC 5: Dead

Positive Outcomes

Negative Outcomes

| GOS Score | Clinical Meaning |
|-----------|---|
| 1 | Death |
| 2 | Neurovegetative state; patient unresponsive and speechless for weeks or months |
| 3 | Severe disability; patient dependent for daily support |
| 4 | Moderate disability; patients independent in daily life |
| 5 | Good recovery; resumption of normal life with minor neurological and psychological deficits |

Hodnocení prognózy na podkladě EEG společně s ostatními prognostickými ukazateli

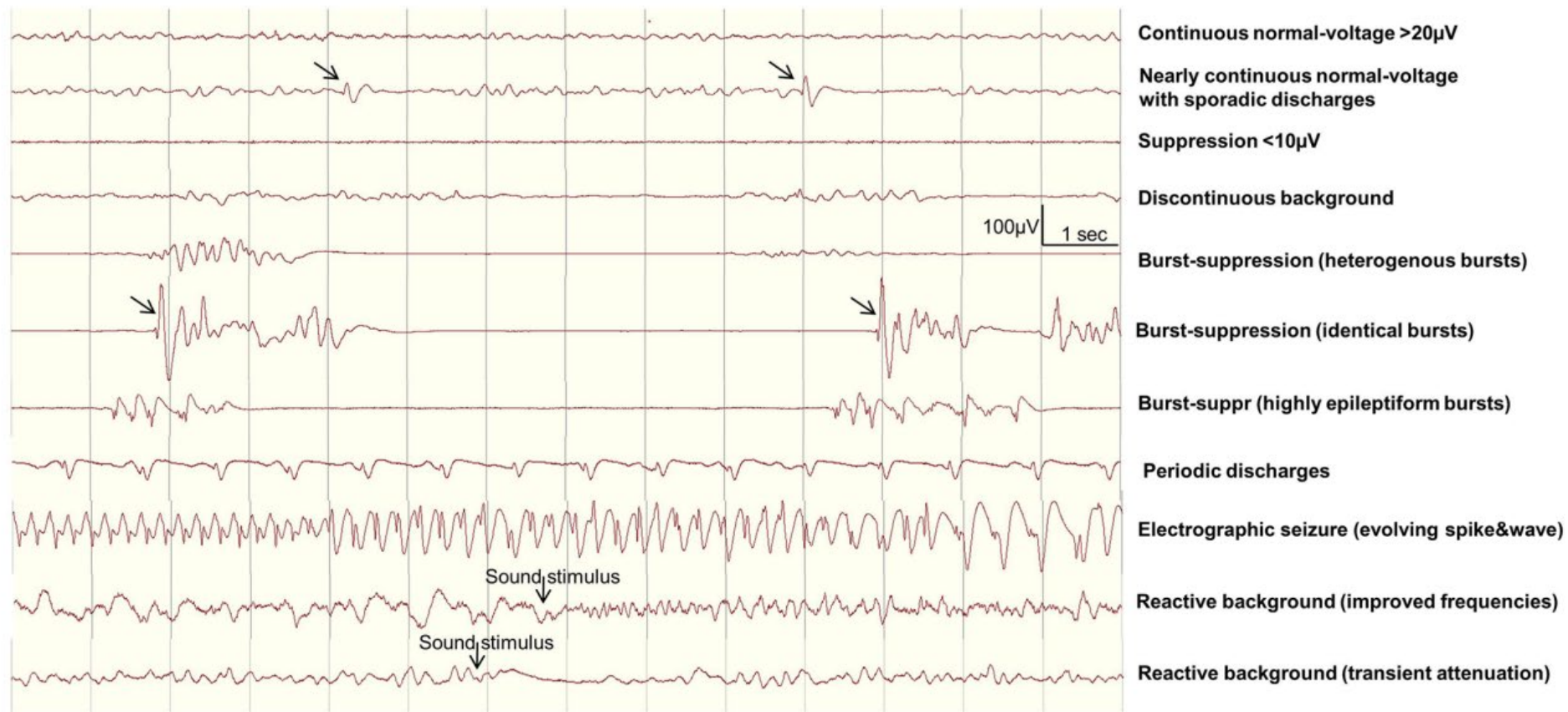


Fig. 1 Relevant EEG patterns after cardiac arrest. See ESM Table 1 for definitions

Maligní EEG vzorce

- Vysoce maligní EEG vzorce – viz dále
- Generalizované periodické výboje (GPDs)
- Intermitentní nebo kontinuální záchvaty
- Absence reaktivity EEG na podněty
 - Nedochází ke změně amplitudy (vč. atenuace) nebo frekvence na podněty
 - Přítomnost reaktivity EEG = poměrně příznivý prognostický ukazatel
- Alfa-theta vzorec/ kóma

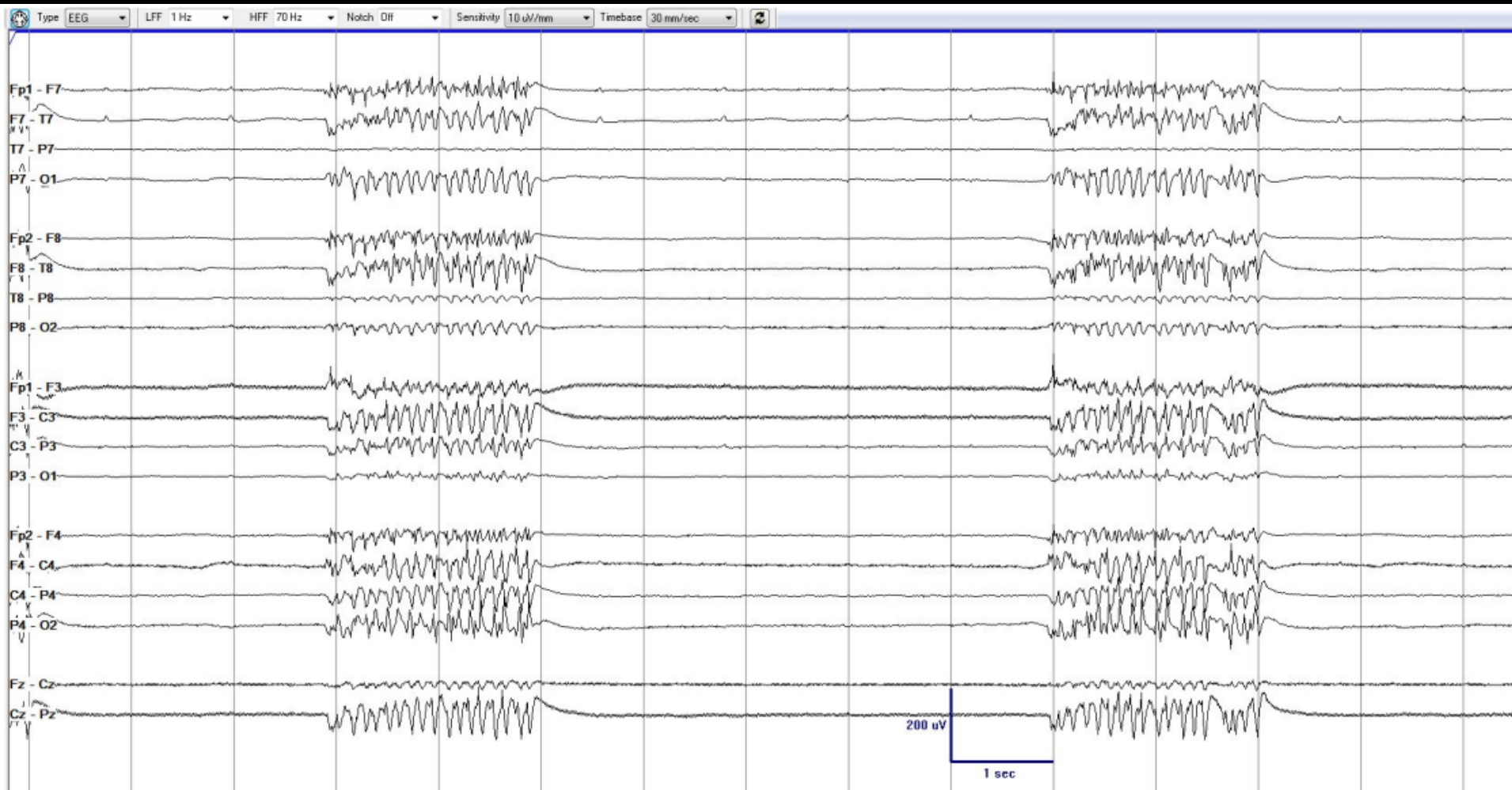
Vysoce maligní EEG vzorce

- Suppression (suprese pozadí záznamu)
- Burst-suppression
 - Zejména vysoce epileptiformní a identické bursts
- Specificita pro špatný výsledný stav téměř 100% (≥ 24 h od obnovy oběhu)

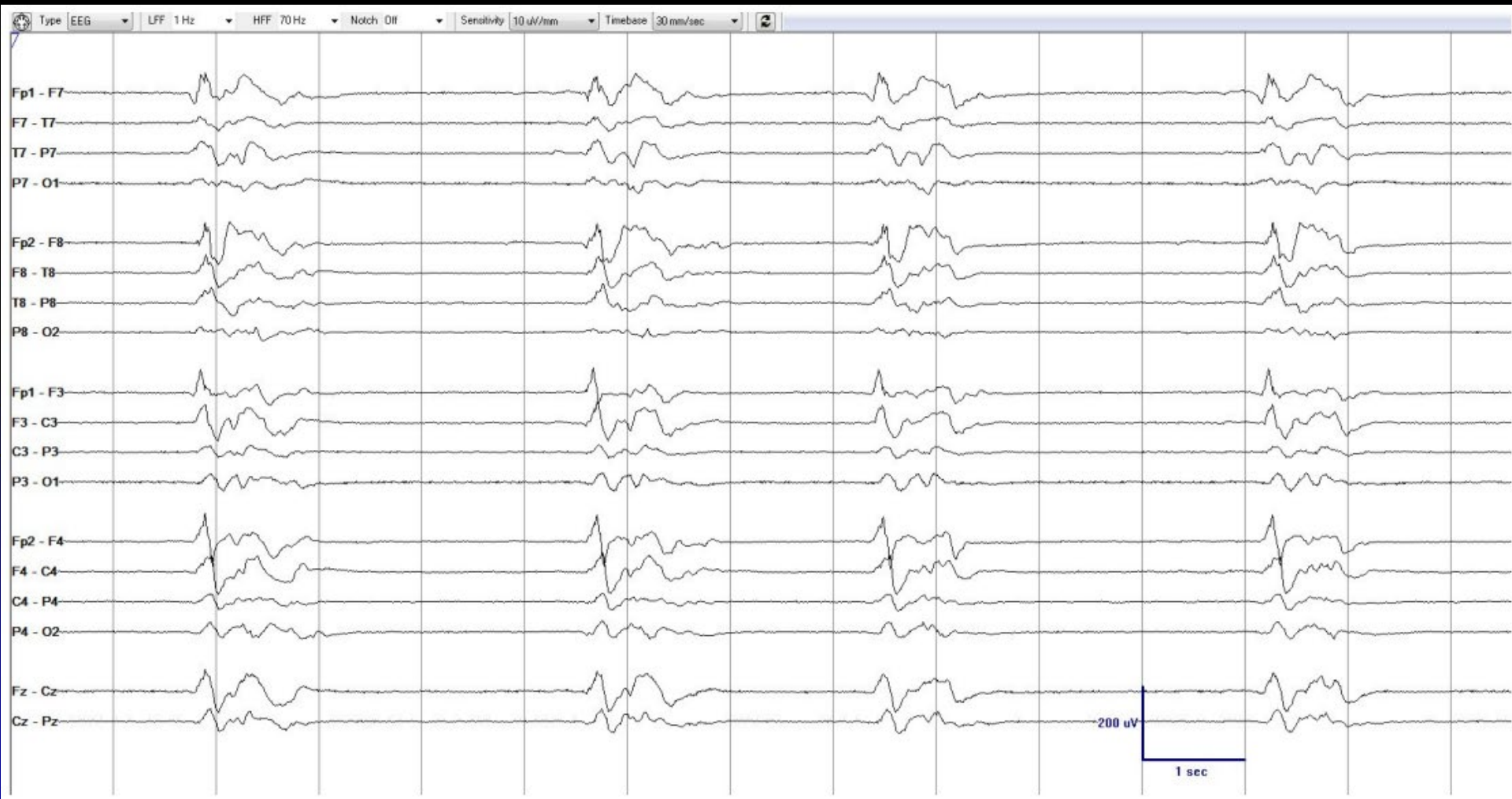
Vysoce maligní EEG vzorce

- Suprese pozadí záznamu a burst suppression u pacientů s časným difúzním mozkovým otokem
- Suprese pozadí záznamu (<10 mcV) = prognosticky nej malignější vzorec

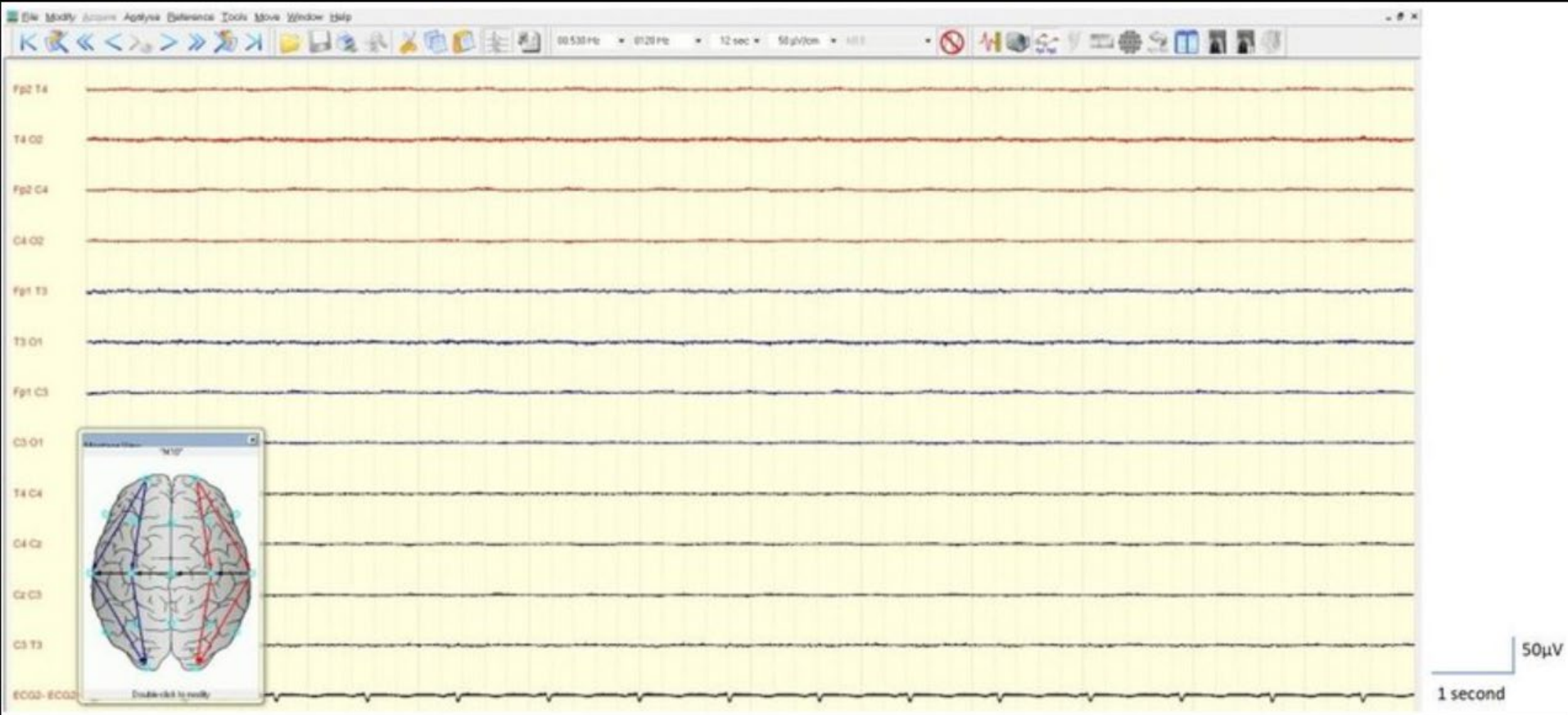
BS – highly epileptiform bursts



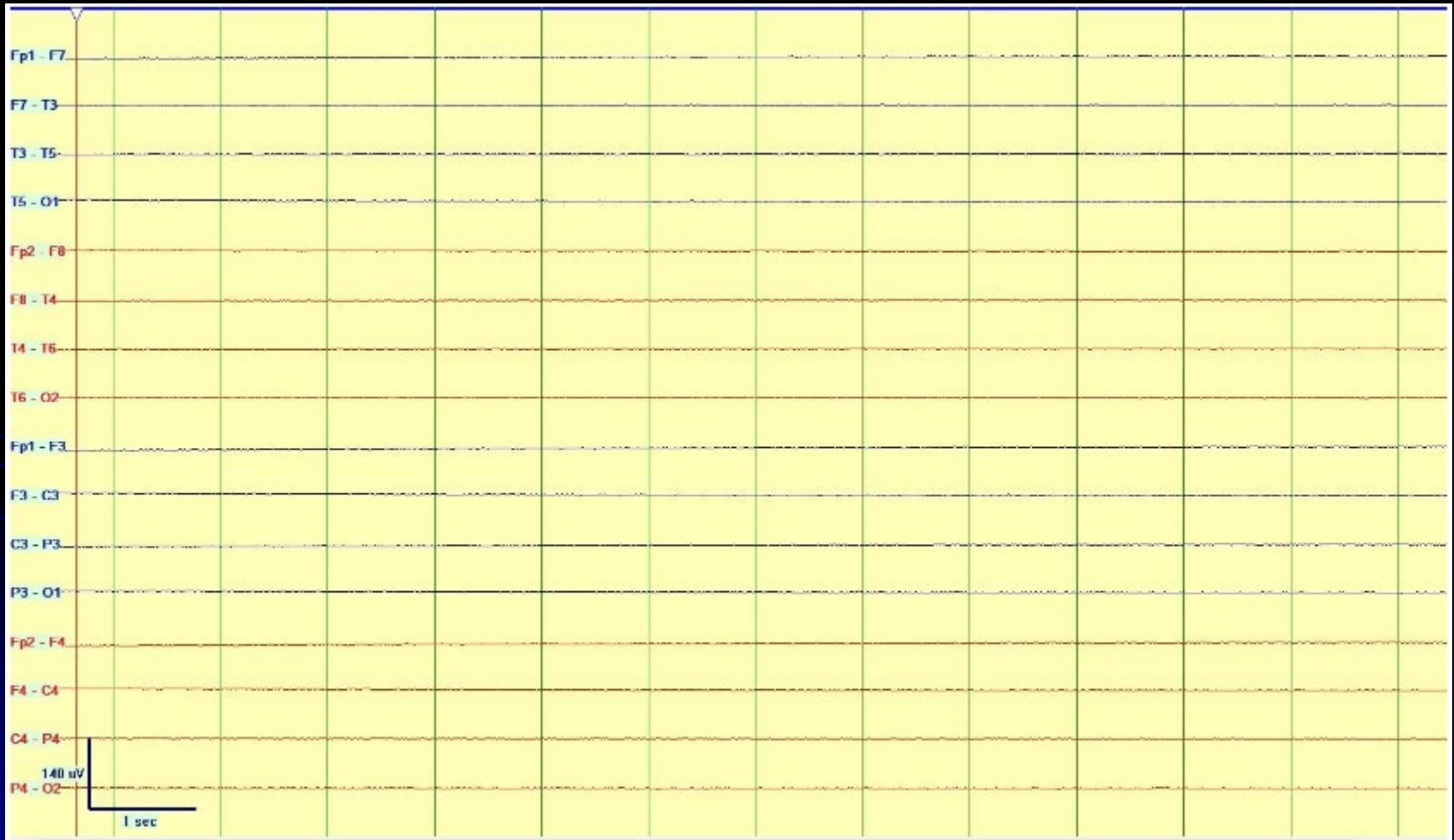
BS – identical bursts



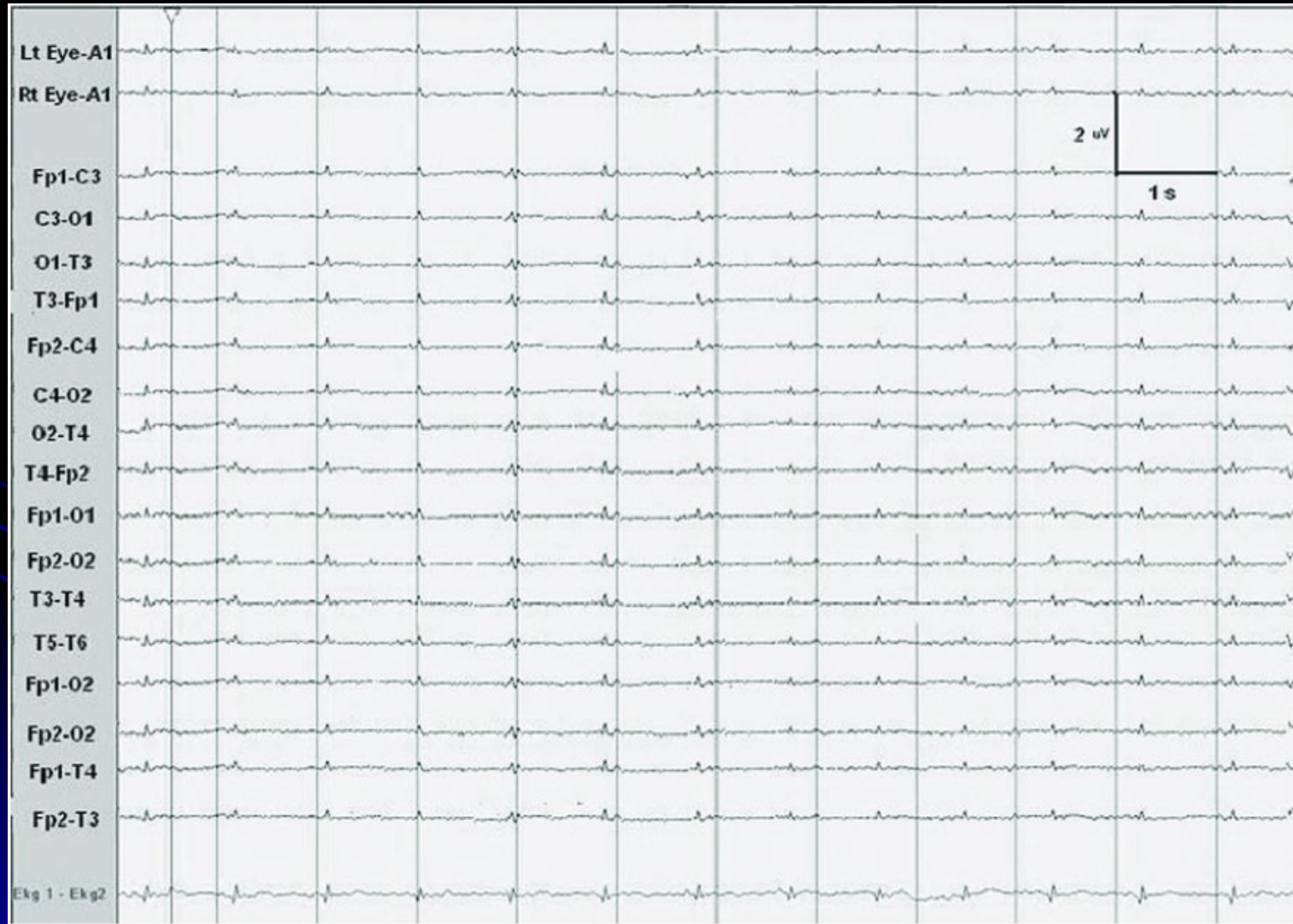
Suppression



Electrocerebral inactivity/silence



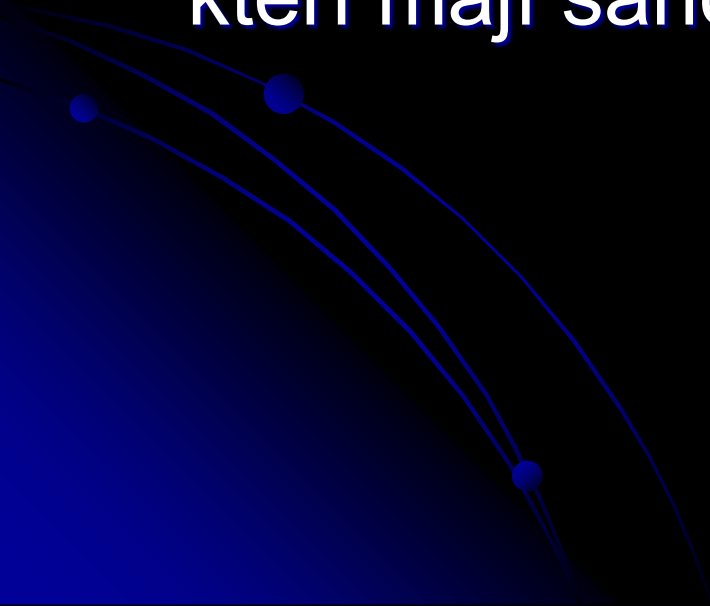
Electrocerebral inactivity/silence



Hodnocení prognózy pacientů po srdeční zástavě

- Bezprostředně po srdeční zástavě u většiny pacientů suprese pozadí záznamu
- Postupně narůstající amplituda a kontinuita záznamu během 12-24 h po zástavě oběhu = příznivý prognostický ukazatel

Hodnocení prognózy pacientů po srdeční zástavě

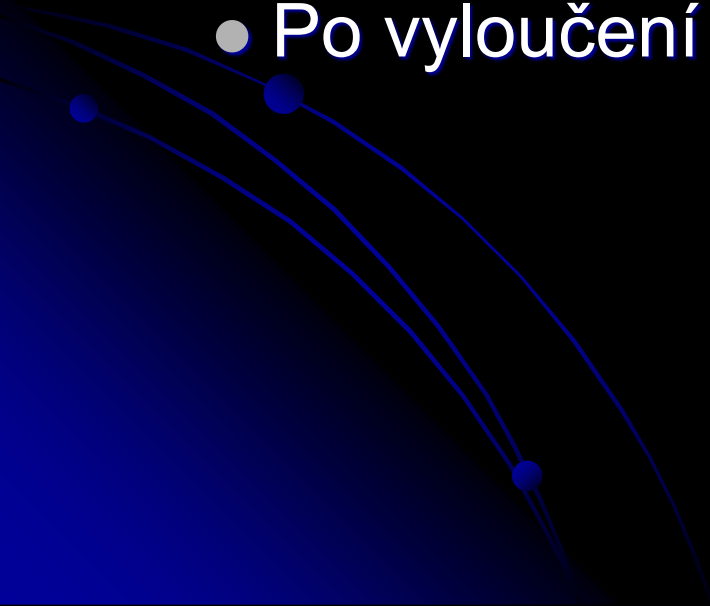
- Suppression a burst suppression jsou prediktory špatné prognózy
 - Ale : v prvních 12-24 h (zejména v prvních 12 h) se mohou vyskytovat i u pacientů, kteří mají šanci na dobrý výsledný stav
- 

Limitace?

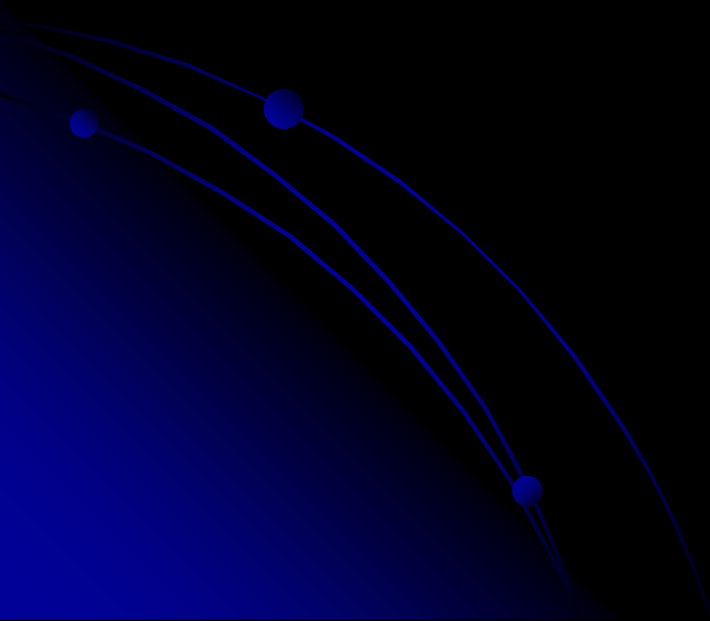
- Sedace mění EEG v závislosti na dávkování (pokles amplitudy, frekvence a kontinuity)
- Ale : typické vysoce maligní vzorce nelze při běžných dávkovacích režimech vytvořit
- Hypotermie může rovněž ovlivnit EEG
- Ale : vliv teploty 32-34°C (stejně už obvykle nepoužívané) na EEG je malý

Doporučení

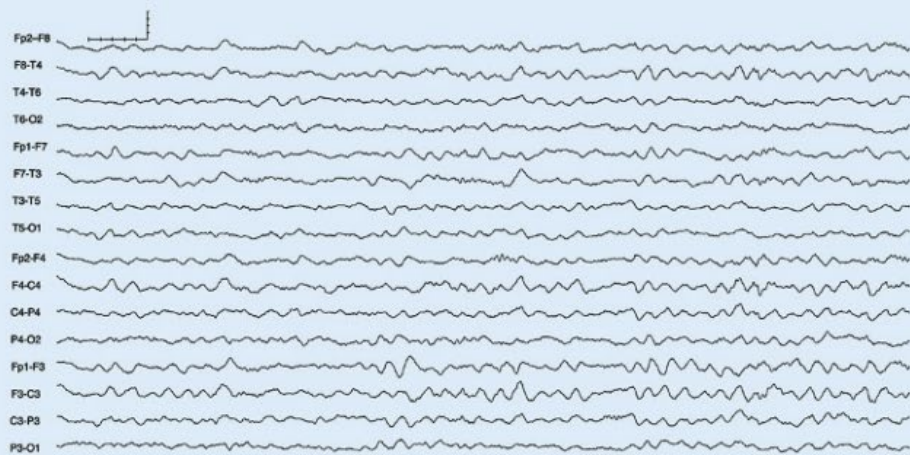
(ERC ESICM guidelines 2021)

- EEG k hodnocení prognózy ne dříve než za 24 h od obnovy oběhu
 - Po ukončení ATC
 - Po vyloučení vlivu sedace
- 

Monitorace terapie epileptických statů (GCSE)



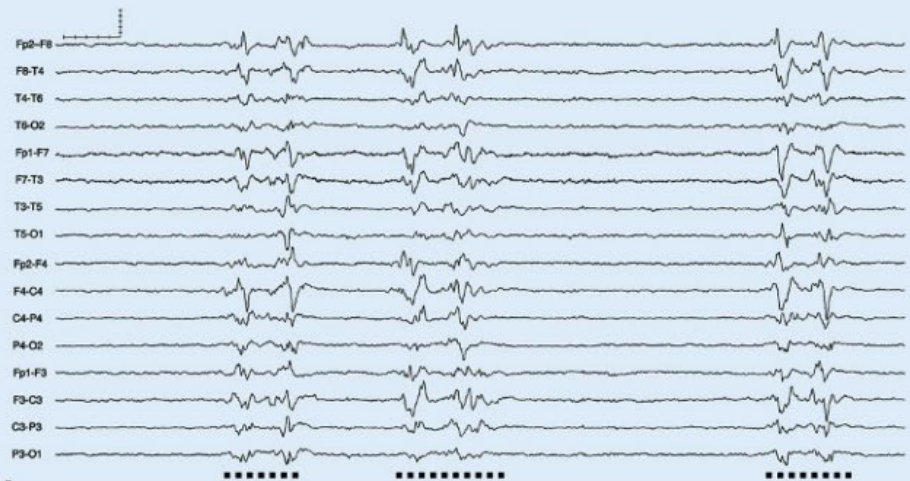
Prohlubující se sedace/CA (a → b → c)



a



c

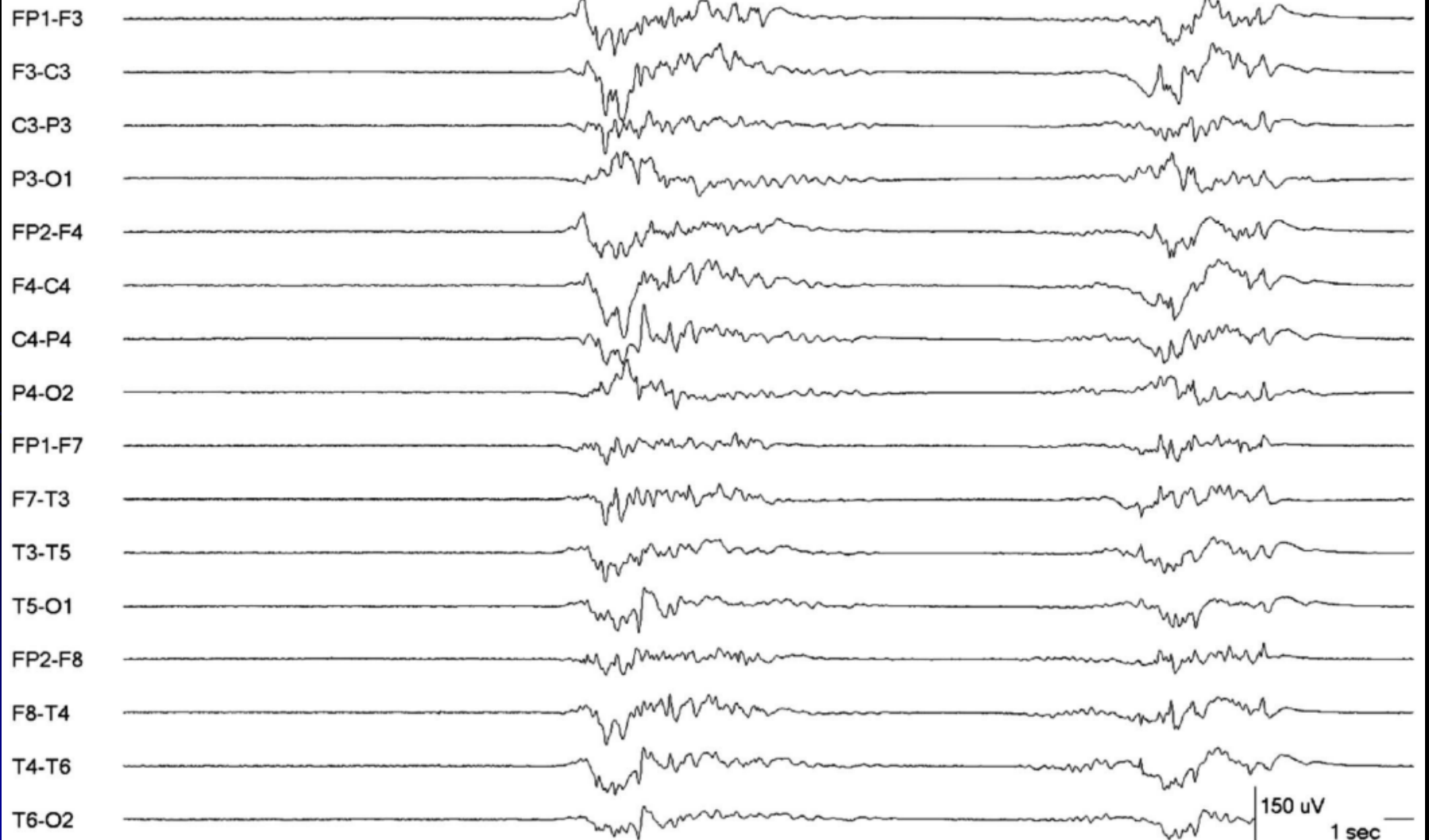


b

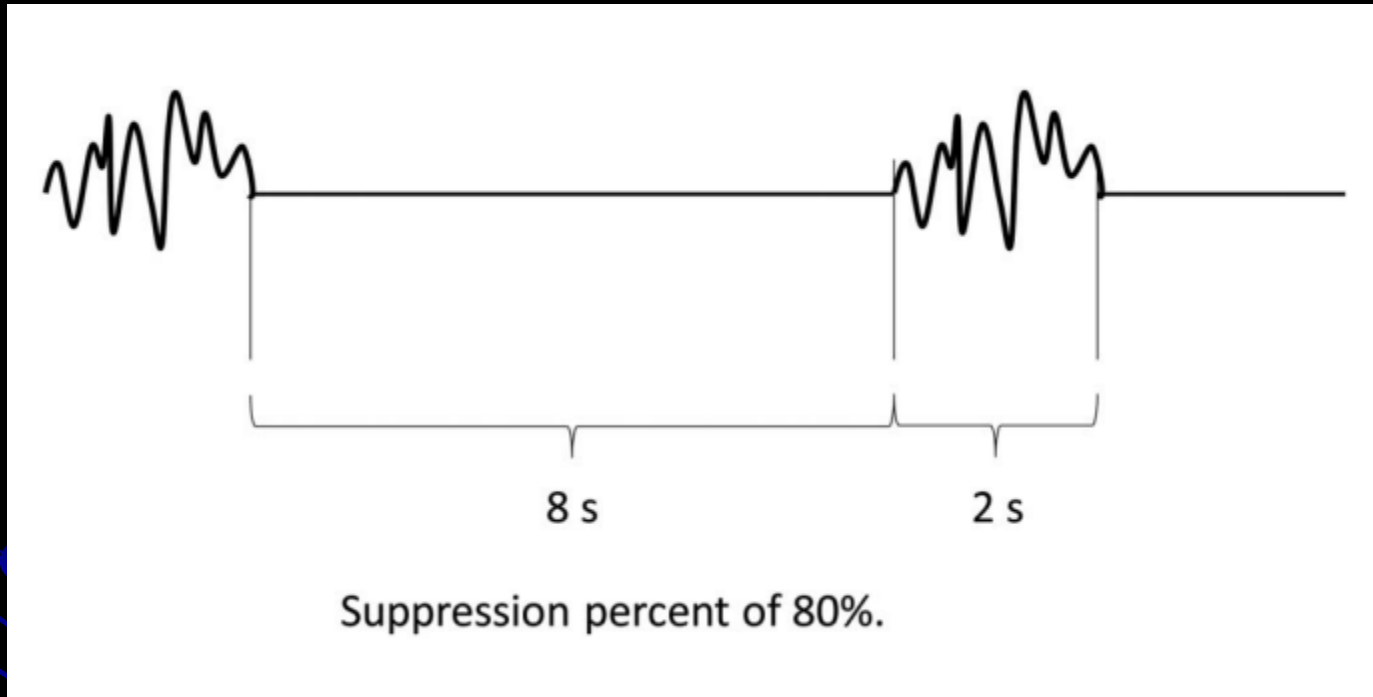
Monitorace terapie epileptických statů (GCSE)

- Refrakterní SE (RSE) : SE nereagující na terapii 1. (BDZ) a 2. (LEV, VPA, PHT) linie
- Indikace k zahájení léčby intravenózními anestetiky (propofol, midazolam, thiopental) – tato léčba má trvat (minimálně) 24 h
- Tradičním cílem této léčby je/bylo dosažení a udržování burst suppression

Burst suppression



Burst suppression



BS: 50-99% suppression

Burst: $\geq 0.5s$ a ≥ 4 fáze

EEG při terapii RSE

- Zahájení (po úvodu do CA) se začátkem kontinuální infuze i.v. anestetika
- Potlačení klinických i elektrografických záchvatů
- Není jasné, zda je nutné prohlubovat sedaci /CA k dosažení vzorce BS
 - Při hluboké CA nežádoucí účinky

Vývoj názorů na BS

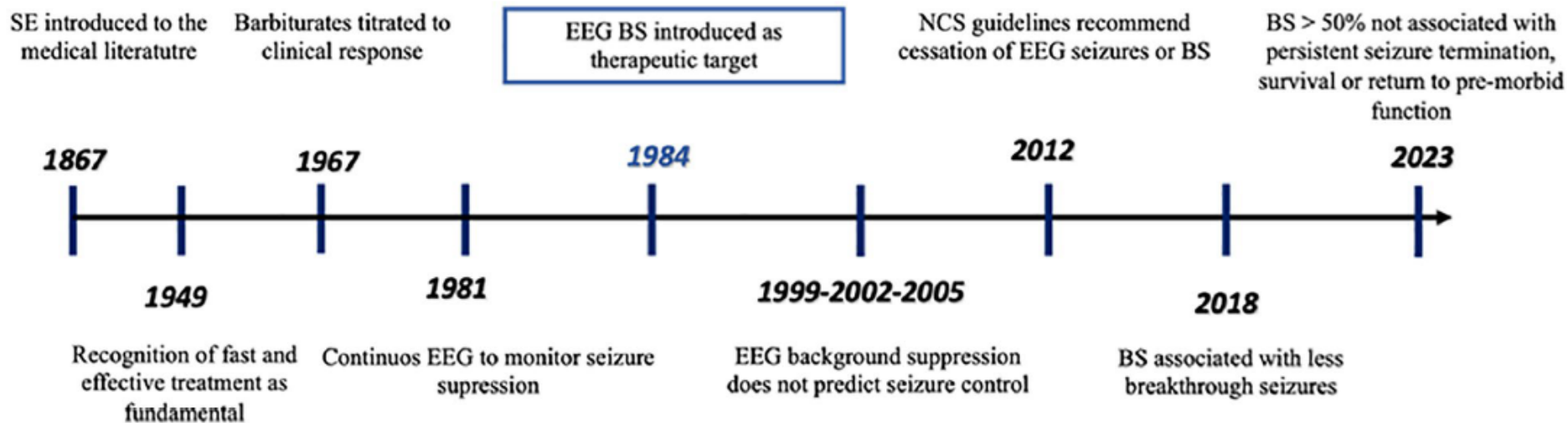


Fig. 2 Evolution of evidence on burst suppression as treatment target in refractory status epilepticus. BS, burst suppression, EEG, electroencephalogram, NCS, Neurocritical Care Society

Diskontinuální pozadí vs. burst suppression

Discontinuous

10 to 49%



Burst-attenuation/
Burst-suppression

50 to 99%



EEG při terapii RSE

- Postupné snižování /vysazování i.v. anestetik během 12-24 h
- Rychlost zotavování : propofol > midazolam > thiopental
- V této fázi zvýšená pozornost – EG záchvaty recidivují předtím, než se objevují záchvaty klinické
- Při recidivách EG, eventuálně i klinických záchvatů = **super-refrakterní SE (SRSE)**

EEG v intenzivní péči

- **Detekce záchvatů při poruchách/alteracích vědomí**
- **Detekce záchvatů u pacientů v kritickém stavu – nejčastěji po srdeční zástavě**
- **Hodnocení prognózy pacientů v kritickém stavu – nejčastěji po srdeční zástavě**
- **Monitorace terapie refrakterních a super-refrakterních epileptických statů**
- **Detekce fokálních ischemií u pacientů se SAH**

Literatura

- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35997792/>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9468095/>
- [https://journals.lww.com/clinicalneurophys/Fulltext/2021/01000/American Clinical Neurophysiology Society s.1.aspx](https://journals.lww.com/clinicalneurophys/Fulltext/2021/01000/American_Clinical_Neurophysiology_Society_s.1.aspx)
- https://www.uptodate.com/contents/intensive-care-unit-management-of-the-intubated-post-cardiac-arrest-adult-patient?search=management%20after%20cardiac%20arrest&source=search_result&selectedTitle=3%7E150&usage_type=default&display_rank=3
- https://www.uptodate.com/contents/hypoxic-ischemic-brain-injury-in-adults-evaluation-and-prognosis?search=management%20after%20cardiac%20arrest&topicRef=127223&source=see_link
- https://www.uptodate.com/contents/refractory-status-epilepticus-in-adults?search=refractory%20status%20epilepticus&source=search_result&selectedTitle=1%7E26&usage_type=default&display_rank=1#H2971081619
- <https://www.epilepsybehavior.com/action/showPdf?pii=S1525-5050%2815%2900256-5>
- https://www.uptodate.com/contents/nonconvulsive-status-epilepticus-classification-clinical-features-and-diagnosis?search=nonconvulsive%20status%20epilepticus&source=search_result&selectedTitle=1%7E46&usage_type=default&display_rank=1
- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37921932/>
- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33765189/>