



EEG v intenzivní medicíně

MUDr. Marek Protuš, Ph.D.

XXXII. kongres ČSARIM · Brno 2026



Osnova



1 · Řízení sedace

Validace, burst suppression, RCT, konsenzus 2023



2 · Well-being neuronů

Nekonvulzivní záchvaty, ischemie u SAH, delirium a seps



3 · Prognóza

Po srdeční zástavě, SedLine parametry, skryté vědomí



4 · Jaterní encefalopatie

EEG obraz, receptory, recentní data

cEEG vs. pEEG: rozdíly



cEEG · 10–20



pEEG · frontálně

cEEG — diagnostika

pEEG — monitoring

Montáž

8–21 svodů + video

frontální 2–4 kanály

Výstup

surová křivka, vzorce, reaktivita

index + SR + spektrogram + EMG

Hlavní role

záchvaty · ischemie · prognóza

hloubka sedace · prevence suprese

Kdo čte

neurofyziolog (latence odečtu)

intenzivista + sestra u lůžka

Limity

kapacity · cena · dostupnost

frontální slepota · léky · EMG

Nekonkurují si — doplňují se: pEEG denně u lůžka, cEEG cíleně podle rizika.

Proč nestačí RASS

- RASS –5 nerozlišuje „přiměřeně hluboko“ od burst suppression — pod hladinou vědomí je škála slepá
- Hodnocení vyžaduje stimulaci pacienta → samo mění hloubku sedace
- Nadměrná sedace: delirium, delší ventilace, delší pobyt, horší kognice

RASS: pod hladinou vědomí škála nerozlišuje



slepé místo: „akorát“ i burst suppression = stejné číslo

SPICE

Observační: 703 pac., 42 JIP, mortalita 32 %; expozice = průměrná hloubka sedace za 0–48 h.

úmrtí za 180 dní HR **1,29** (1,15–1,46)

delirium HR **1,25** (1,10–1,43)

časná extubace HR **0,80** (0,73–0,87)

dávkově závislý vztah — čím hlouběji, tím hůř

Funguje to? Validace proti škálám

$\rho = 0,79$

PSI × RASS

Idei 2022 · Spearman
50 pac., 382 měření, zaslepeně

$r = 0,68$

BIS × RASS, Ramsay, SAS

Heavner 2022 · metaanalýza
24 studií, 1235 pac.

RASS -4/-5

kde je pEEG spolehlivé

PSIWAV 2026 · SedLine vs. NeuroSENSE
u lehčí sedace spolehlivost klesá

Co číslo znamená: 1,0 = dokonalý vztah, 0 = žádný. $r = 0,68$ vysvětlí necelou polovinu variability škály (podle škály: RASS 0,66 · Ramsay 0,76 · SAS 0,53).



U relaxovaných pacientů přímá validace chybí — použití je konsenzuální extrapolace, ne důkaz.

Burst suppression: čemu se vyhnout



HR 2,04

6měsíční mortalita

Watson 2008 · CI 1,12–3,70 · adjustováno

delirium

čas v BS = nezávislý prediktor

Andresen 2014 · výskyt i trvání deliria po kómatu

50 % času

PSI < 25 při cíleném RASS –5/–4

Favre 2024: běžná hluboká sedace =
nerozpoznaná suprese

Změna pohledu na burst suppression: není to jen „předávkoval jsem“ — je to **časný marker vyčerpané mozkové rezervy**.

Sedativum funguje jako zátěžový test: kdo suprimuje při nízké dávce, má zranitelný mozek.

Tvrdá data: co zatím RCT ukázaly

Shetty 2018 · Cochrane

- 4 RCT, celkem 256 pacientů
- důkazy nedostatečné, velmi nízké kvality
- žádný prokázaný efekt na outcome

Huespe 2024 · Chest — RCT, n = 99

- Primární cíl — dny bez deliria/kómatu: ns ($p = 0,1$)
- BIS skupina: nižší dávky propofolu
- **Podskupina sedace > 24 h: BIS 6,9 vs klinika 3,5 dne bez deliria/kómatu ($p < 0,01$) — podskupina, ne primární cíl**

Tobar 2022 (COVID; protokol SEF95/SR): ventilator-free days beze změny — záleží na populaci a délce sedace.

pEEG není evidence-based **intervence** — je to evidence-based **informace**. Důkaz o outcome chybí.

Konsenzus 2023: koho monitorovat a jak číst

KDY monitorovat

Rasulo 2023, Delphi konsenzus · PADIS 2018

- nervosvalová blokáda — hlavní metoda hodnocení
- cíl RASS ≤ -3 (hluboká sedace)
- ECMO
- krátká hluboká sedace pro výkony

NE rutinně u lehké sedace (RASS 0 až -2)

JAK monitorovat

Rasulo 2023, Delphi konsenzus

- index + surová křivka + spektrogram + SR + EMG
- **burst suppression eliminovat → cíl SR < 5 %**
- BS připustit jen cíleně: refrakterní nitrolební hypertenze či status epilepticus
- nenahrazuje škály tam, kde klinika funguje
- strukturovaný trénink týmu (jako echo)

Nekonvulzivní záchvaty: co bez EEG nevidíme

Ze záchvatů zachycených na cEEG:

92 % bez klinického korelátu — bez EEG nedetekovatelné

8 % klinicky

U koho na ně myslet

- opožděné probouzení po křečích či bez metabolické příčiny
- nevysvětlená porucha vědomí po akutním poškození mozku
- deviace bulbů, nystagmus, jemné záškuby

19 %

záchvat na cEEG u 570 monitorovaných

Jak dlouho monitorovat

- 88 % prvních záchvatů do 24 h
- 2HELPS2B 0 → stačí 1 h, ≥ 2 → aspoň 24 h
- komatózní: záchvat častěji až po 24 h

8 %

NCSE u komatózních bez klinických známek

A co s nálezem

- CERTA, Tele-cRCT: víc detekce i změn léčby
- TELSTAR: agresivní suprese vzorců nepomohla
- léčit záchvaty, ne každý vzorec

0

randomizovaných studií s lepším outcome

Bez EEG je neuvidíte — ale vidět neznamená automaticky léčit.

Ischemie u SAH: EEG vidí dřív

Co je alpha/delta ratio: poměr výkonu 8–13 Hz ku 1–4 Hz; ischemie ubírá alfu a přidává deltu, takže poměr klesá.

- EEG zachytí pokles perfuze před infarktem — okno pro intervenci
- Nejcennější u těžkého SAH (WFNS IV–V), kde porucha vědomí zakryje klinické známky ischemie
- Sledují se trendy u pacienta, ne absolutní hodnoty

Který parametr a jak přesný

pokles ADR (sens./spec.)	83 / 74 %
pokles alfa variability	nejspecifičtější
nová epileptiformní aktivita	doplňkový signál
strojové učení (výzkum)	AUC 0,7–0,9



Encefalopatie v širším smyslu

Delirium

jednokanálové EEG (DeltaScan)

- korelát: polymorfní delta (PDA)
- DeltaScan (1 kanál): validace u 494 pac.
- pozor: deltu dělají i sedativa



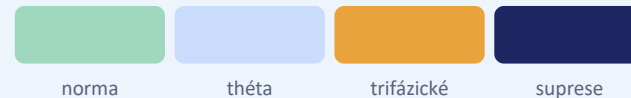
polymorfní delta (schéma)

Sepse

cEEG / rutinní EEG

- nereaktivita a periodické výboje $\Rightarrow$ vyšší mortalita
- EEG při alteraci vědomí či pomalém probouzení

mortalita $\rightarrow$



norma

théta

trifázické

suprese

gradient mortality dle nálezu (schéma)

Spánek

cEEG se skórováním spánku

- atypický spánek $\Rightarrow$ vyšší mortalita
- bez K-komplexů a vřetének $\Rightarrow$ těžší encefalopatie, $\uparrow$ úmrtí



K-komplex a spánkové vřeténko (schéma)

Pozor na modalitu: na SedLine/BIS tyto nálezy nehodnotíte — chybí pokrytí i skórování a sedativa je zkreslují. Společné ale je: EEG ukáže, co klinika nevidí — u sedovaného pacienta je to jediná cesta k mozku.

Po srdeční zástavě

93 %

specifita „highly malignant“ vzorců

TTM2, 845 pac.: suprese ± periodické výboje či burst-suppression; 95% CI 90–96, senzitivita 50 %

- EEG hodnotit > 24 h od ROSC, po odeznění sedace; závěr o prognóze až ≥ 72 h
- Nikdy samostatně: multimodálně, ≥ 2 konkordantní prediktory (ERC-ESICM 2021/2025)
- Benigní reaktivní EEG $\Rightarrow$ dobrá zpráva; nereaktivní suprese naopak zvyšuje specifitu na 97 %
- Izolovaný „malignant“ znak: specifita jen ~ 81 % (Benghanem 2025, 1 076 pac.)

A co PSI a SR ze SedLine?

- PSI + SR: velmi časný prediktory neurologického výsledku po zástavě (observační data)
- Obdobně BIS a SR při terapeutické hypotermii ($BIS \leq 25$ ve 12. h, $SR \geq 3$ ve 23. h)
- Výhoda: objektivní čísla dostupná okamžitě u lůžka

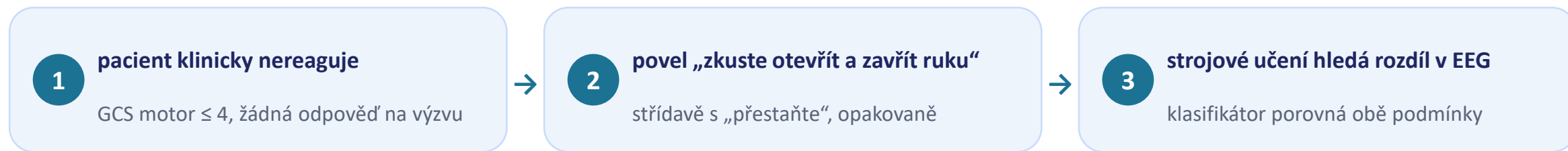


Nejsou v guidelines.

Orientační doplněk multimodální rozvahy — nikdy podklad pro limitaci péče.

Skryté vědomí: kognitivně-motorická disociace

Jak se to dělá



Kolik jich je



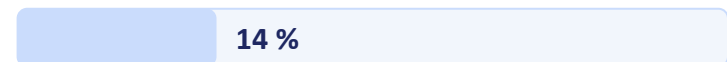
Co to znamená prognosticky

dobrý výsledek ve 12 měsících (GOS-E ≥ 4)

s CMD



bez aktivace



zhruba trojnásobný rozdíl — a klinicky je nerozeznáte

Etický dopad: část pacientů, kteří „nereagují“, vnímá a rozumí. To má váhu při rozhodování o limitaci péče — a je to důvod, proč u nejasných případů nespěchat. Zatím výzkumná metoda, ale směr je jasný.

Jaterní encefalopatie: stupeň a EEG

ze zadních svodů — standardní EEG

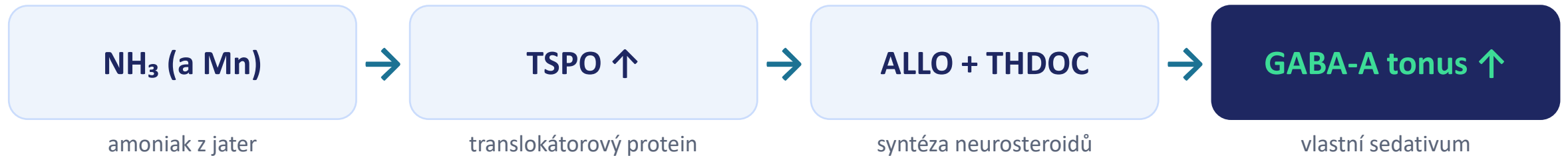
frontálně — pEEG (BIS)

stupeň HE	dominantní rytmus / nález	kvantitativní EEG (MDF)	BIS — Dahaba 2008
0 / minimální	alfa, vizuálně normální nález	MDF $\geq 6,4$ Hz; théta ≤ 35 %	> 95 (kontroly)
I	objevuje se théta	MDF $\geq 6,4$ Hz, ale théta > 35 %	90,2 $\pm$ 2,5 (práh 85)
II	théta dominuje, možné trifázické vlny	MDF < 6,4 Hz, bifázické spektrum	78,4 $\pm$ 6,6 (práh 70)
III	delta + trifázické vlny	MDF < 6,4 Hz, delta ≥ 70 %	63,2 $\pm$ 4,8 (práh 55)
IV	delta, nízká amplituda, suprese	MDF < 6,4 Hz, delta ≥ 70 %	45,4 $\pm$ 5,0

MDF = průměr frekvencí vážený výkonem (těžiště spektra). BIS odlišil všechny stupně HE — shoda s West Haven u 87 % validačních pacientů.

Pozor na modalitu: MDF se měří ze zadních svodů, které frontální SedLine nesnímá — z jeho displeje ji tedy neodečtete. Trifázické vlny má jen ~20–25 % nemocných a nejsou specifické (renální, anoxická encefalopatie; dif. dg. NCSE).

Co dělají receptory: endogenní sedace



Receptor je v pořádku

- vazebná místa GABA-A jsou u HE normální
- zvýšený tonus působí endogenní ligandy, ne změna proteinu
- allopregnanolon ↑ i v autoptickém mozku po jaterním kómatu
- endogenní „benzodiazepiny“ až 10× vyšší (role kontroverzní)

Proč to zajímá anesteziologa

- cílem neurosteroidů jsou extrasynaptické GABA-A receptory tonické inhibice
- tedy tentýž receptor, na který cílí propofol i benzodiazepiny — každý ale na jiné vazebné místo
- naše léky se přičítají k endogenní sedaci → vyšší citlivost, delší útlum
- benzodiazepiny mohou encefalopatii precipitovat

Klinický důsledek: u jaterního selhání je GABAergní tonus zvýšen endogenně. Podaná anestetika se k němu přičítají — proto je snížena potřeba dávky, prodloužená eliminace i vyšší riziko suprese. Nízký index u těchto nemocných proto odráží encefalopatii, nikoli hloubku sedace.

Sedace u jaterního selhání: co je jinak

Tři úrovně, na kterých se to liší od běžného pacienta — a co z toho plyne k lůžku.

Farmakodynamika

GABA-A tonus je zvýšen endogenně

- anestetika se sčítají s neurosteroidy
- stačí nižší dávky, útlum je hlubší
- burst suppression přijde dřív
- benzodiazepiny mohou HE vyvolat či zhoršit

Farmakokinetika

jaterní clearance je narušená

- midazolam: nižší clearance, dlouhý účinek
- propofol lépe, jen u těžkého selhání delší eliminace
- dexmedetomidin: jaterní metabolismus → nižší dávka
- na orgánu nezávislé: remifentanil, cisatrakurium

Monitorace

index měří encefalopatii, ne sedaci

- BIS validován pro tíži overt HE
- čist křivku, spektrogram a SR
- MDF (zadní svody) frontální monitor nevidí

Prakticky: propofol či dexmedetomidin místo benzodiazepinů (PADIS), nižší dávky, titrovat podle obrazu, ne čísla, a hlídat supresi. Flumazenil HE krátkodobě zlepšuje (Cochrane 2017, RR 0,75; nízká kvalita), mortalitu ne — a blokuje jen benzodiazepinové místo.

SedLine u transplantace jater: jediná data

Rice et al., Clinical Transplantation 2025 — retrospektivní kohorta, Michigan

Design

- 37 vedených fEEG vs. 40 standardní péče
- první transplantace jater, chronické onemocnění (ALF vyloučeno)
- titrace na SEF 8–14 Hz a PSI 25–50
- průměrné PSI 26 — na spodní hranici pásma
- anamnéza HE: 78 % ve skupině s fEEG vs 68 % ve standardní

Výsledky

spotřeba anestetika (MAC)	–15 % β –0,13 (–0,19 až –0,06)
pooperační sedační skóre	β –0,2 $p = 0,03$
střední arteriální tlak a noradrenalin	beze změny
delirium (fEEG vs standard)	19 vs 10 % $p = 0,43$
doba do extubace (fEEG vs standard)	10 vs 10 h $p = 0,98$

Co se nehodnotilo: žádný parametr ze spektrogramu, žádný alfa výkon a žádné suppression ratio. Analyzovala se jen dvě odvozená čísla — SEF a PSI. I tam, kde SedLine použili, tedy vytěžili zlomek toho, co monitor nabízí.

Autoři sami doporučují: zkoumat EEG i mimo frontální lalok, protože jaterní encefalopatie mění také okcipitální svody. Anamnéza HE přitom s nižší potřebou anestetika spojená nebyla (β –0,02; $p = 0,58$) — definovala se ale jen zástupně přes rifaximin či laktulózu a transplantace pro akutní selhání byly vyloučeny.

Monitor je jeden díl, ne celý obraz

- Delirium má více příčin: zánět, bolest, spánek, imobilita, komorbidity, léky, prostředí JIP
- Hloubka sedace je jen jedna z nich — proto se efekt v RCT utopí v šumu
- Co naopak funguje: strukturovaný svazek péče, ne jednotlivý přístroj

AOR/AHR < 1 = nižší riziko po adjustaci na tíži stavu

ABCDEF / ICU Liberation

Observační: 15 226 pac., 68 JIP; úplné vs. žádné denní splnění svazku.

delirium	AOR 0,60
kóma	AOR 0,35
úmrtí do 7 dnů	AHR 0,32
readmise na JIP	AOR 0,54

dose-response: čím víc prvků, tím lépe

Analogie „neuro fast-tracku“:

na JIP ABCDEF / ICU Liberation (A–F: bolest, probouzení a ventilační testy, volba sedace, delirium, mobilizace, rodina);
perioperačně Safe Brain Initiative — 18 nefarmakologických doporučení ESAIC. pEEG je v obou jen jeden prvek, ne řešení.

Take-home

- ✓ pEEG nasadit tam, kde klinika nevidí: relaxace, RASS ≤ -3 , ECMO — argument z nouze, ne z RCT
- ✓ Hlídat supresi: cíl SR < 5 %; burst suppression jen cíleně (refrakterní ICH či status epilepticus)
- ✓ cEEG: záchvaty jsou časté a neviditelné — 2HELPS2B řídí délku; léčit s rozmyslem (CERTA, TELSTAR)
- ✓ Prognóza po zástavě: EEG jen multimodálně; reaktivní EEG = dobrá zpráva; PSI/SR jen orientačně
- ✓ U jater: nízký index $\neq$ hluboká sedace — mozek je „předsedovaný“; čtěte křivku a spektrogram

Technologii máme. **Chybí implementace — protokol, trénink, zpětná vazba.**

Děkuji za pozornost

MUDr. Marek Protuš, Ph.D.



Burst suppression jako zátěžový test mozku

Starý výklad

- BS = předávkování sedativem
- iatrogenní, tedy odstranitelné
- odstraním supresi → odstraním riziko
- protektivní (snížení metabolismu)

Dnešní výklad

- fenotyp „zranitelného mozku“: nízký frontální alfa výkon
- suprese při nižší než očekávané dávce = nízká rezerva
- mechanismus: deplece ATP, astrocytární dysfunkce, porucha HEB
- záleží i na léku: BS pod sevofluranem OR 9,3 vs propofol bez BS
- „pre-burst suppression“: poklesy výkonu i bez viditelné BS

Volba anestetika mění dopad téže suprese — perioperační data, ne JIP

- SuDoCo (n = 1277): suprese nejdelší u propofolu (32,5 min; sevofluran 17,1, desfluran 20,1) — přesto desfluran vyšší riziko deliria (OR 1,77)
- Kohorta n = 265 (> 70 let): interakce lék × suprese (p = 0,033); sevofluran + BS OR 9,3 (95% CI 1,6–52,8) vs propofol bez BS — autoři: BS je marker zranitelnosti, ne příčina
- Ale: volba anestetika nebyla randomizovaná; randomizovaně měl propofol méně deliria než sevofluran (Cao 2023) — RAPID-II (n = 1332) končí 2027

2HELPS2B: bodování a reálné riziko záchvatů

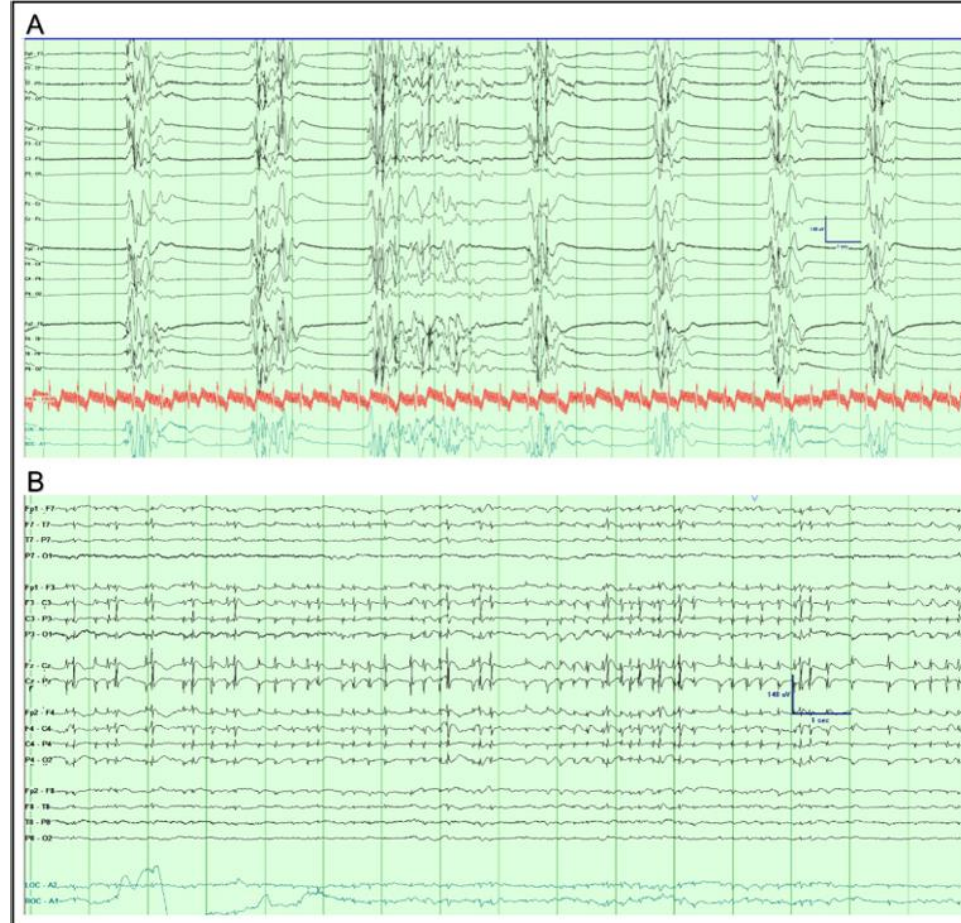
skóre 0 → riziko 3–4 % (stačí 1 h EEG) · skóre 1 → 12–15 % (12 h) · skóre ≥ 2 → 34 % a více (≥ 24 h)

2HELPS2B	Risk Factor	NO / YES		Total Score	Actual Seizure Risk(%)
2H	Frequency > 2Hz	0	1	0	3-4
E	Independent Sporadic Epileptiform Discharges	0	1	1	12-15
L	Lateralized Rhythmic or Periodic Patterns (LPD/BIPD/LRDA)	0	1	2	34
P	Plus Features (Superimposed rhythmic, fast, sharp)	0	1	3	52-55
S	Prior Seizure History	0	1	4	71-75
2B	Brief Ictal Rhythmic Discharges (BIRDs)	0	2	5+	84-93
		Total=		/7	

Fig. 3. 2HELPS2B score. A point system designed to stratify inpatient seizure risk based on 5 electrographic features and one clinical factor (history of seizures). The score was validated to predict seizure risk and guide physicians in determining the minimum required EEG duration. Abbreviations: BIPD, bilateral independent periodic discharge; LPD, lateralized periodic discharge; LRDA, lateralized rhythmic delta activity

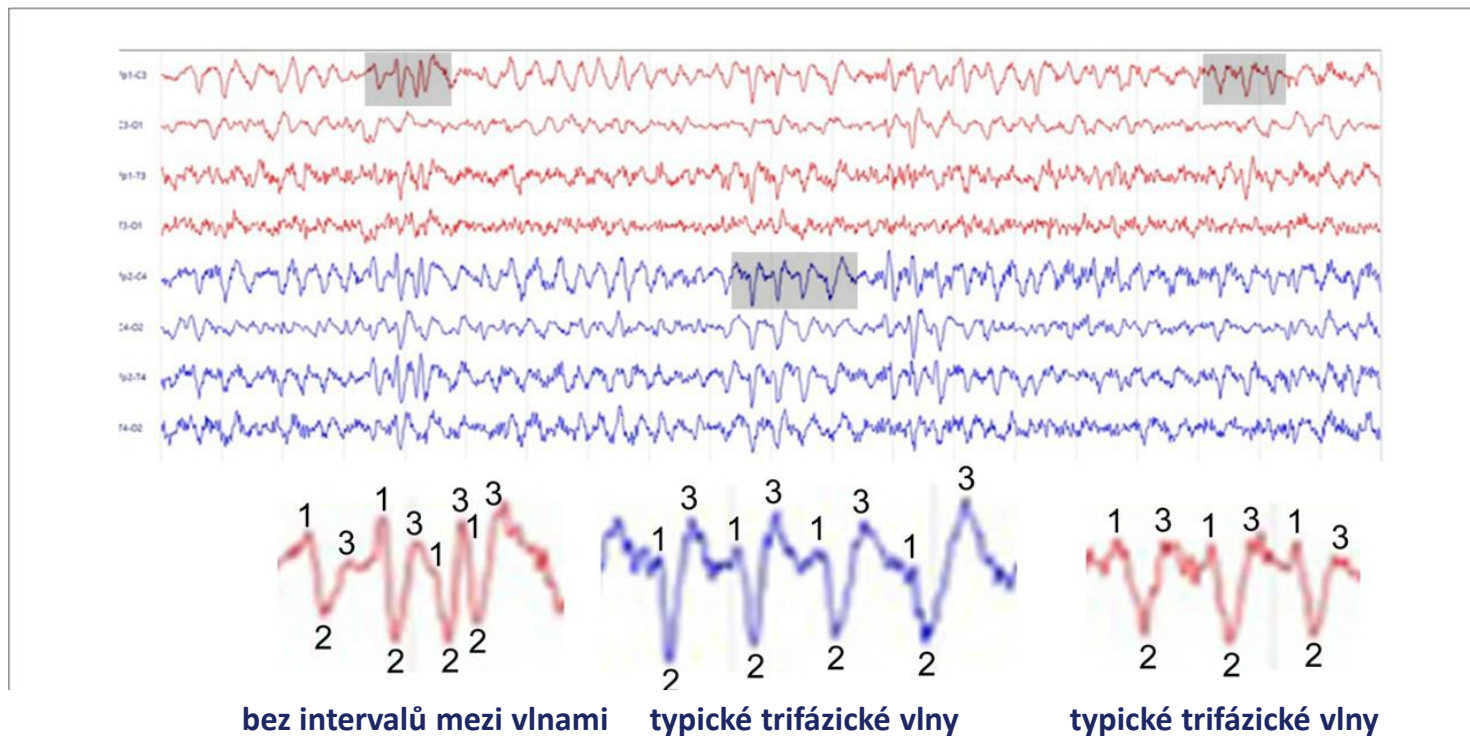
Myoklonus po zástavě: dva různé příběhy

A Elmerův vzorec 1: burst-suppression + polyspiky v zákmitu s myoklony = 100% mortalita · B vzorec 2: kontinuální pozadí, úzké vertexové spike-wave = přežili 4 z 8 (Elmer 2016 — malá čísla)



Jaterní encefalopatie: trifázické vlny

původně publikováno jako „status epilepticus“ — ve skutečnosti typická HE · pozitivně–negativně–pozitivní morfologie (fáze 1–2–3), běhy bez intervalů



Šedé úseky jsou zvětšeny dole; čísla 1–2–3 označují tři fáze vlny.

Proč to zaměnili: když vlny běží bez mezer, vypadá vzorec kontinuálně a tedy iktálně. Pro metabolickou encefalopatii mluví oboustranná synchronie, frontální maximum, tupá morfologie kolem 1,5–2 Hz a reaktivita — a hlavně klinický kontext. Zlepšení po diazepam status nedokazuje: benzodiazepin je hypnotikum a trifázické vlny mizí i ve spánku.

Reference (1/6)

1. Ahboucha S, Desjardins P, Chatauret N, Pomier-Layrargues G, Butterworth RF. Normal coupling of brain benzodiazepine and neurosteroid modulatory sites on the GABA-A receptor complex in human hepatic encephalopathy. *Neurochem Int.* 2003;43:551-6. PMID: [12820983](#)
2. Ahboucha S, Butterworth RF. The neurosteroid system: implication in the pathophysiology of hepatic encephalopathy. *Neurochem Int.* 2008;52(4-5):575-87. doi:[10.1016/j.neuint.2007.05.004](#)
3. Aldecoa C, Bettelli G, Bilotta F, Sanders RD, Aceto P, Audisio R, et al. Update of the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine evidence-based and consensus-based guideline on postoperative delirium in adult patients. *Eur J Anaesthesiol.* 2024;41(2):81-108. doi:[10.1097/EJA.0000000000001876](#)
4. Als-Nielsen B, Gluud LL, Gluud C. Benzodiazepine receptor antagonists for hepatic encephalopathy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2004;(2):CD002798. doi:[10.1002/14651858.CD002798.pub2](#)
5. Andresen JM, Girard TD, Pandharipande PP, Davidson MA, Ely EW, Watson PL. Burst suppression on processed electroencephalography as a predictor of postcoma delirium in mechanically ventilated ICU patients. *Crit Care Med.* 2014;42(10):2244-51. PMID: [25072756](#)
6. Azabou E, Magalhaes E, Braconnier A, Yahiaoui L, Moneger G, Heming N, et al. Early standard electroencephalogram abnormalities predict mortality in septic intensive care unit patients. *PLoS One.* 2015;10(10):e0139969. doi:[10.1371/journal.pone.0139969](#)
7. Benghanem S, Novy J, Cariou A, Pruvost E, Ben-Hamouda N, Rossetti AO. Value of isolated vs multiple malignant EEG criteria to reduce prognostic uncertainty in comatose patients after cardiac arrest. *Neurology.* 2025;105(12):e214426. doi:[10.1212/WNL.00000000000214426](#)
8. Bitar R, Khan UM, Rosenthal ES. Utility and rationale for continuous EEG monitoring: a primer for the general intensivist. *Crit Care.* 2024;28(1):244. doi:[10.1186/s13054-024-04986-0](#)
9. Blanco Silva A, Flores Calderon HS, Crespo Narváez MC, Blanco Gomez MA, Maldonado Rivera VV, Gil González CC, et al. Association between intraoperative electroencephalogram burst suppression and postoperative delirium in non-cardiac surgery: a systematic review. *Cureus.* 2026;18(6):e110417. doi:[10.7759/cureus.110417](#)
10. Bodien YG, Allanson J, Cardone P, Bonhomme A, Carmona J, Chatelle C, et al. Cognitive motor dissociation in disorders of consciousness. *N Engl J Med.* 2024;391(7):598-608. doi:[10.1056/NEJMoa2400645](#)
11. Boyko Y, Toft P, Ørding H, Lauridsen JT, Nikolic M, Jennum P. Atypical sleep in critically ill patients on mechanical ventilation is associated with increased mortality. *Sleep Breath.* 2019;23(1):379-88. doi:[10.1007/s11325-018-1718-3](#)
12. Butterworth RF. Neurosteroids in hepatic encephalopathy: novel insights and new therapeutic opportunities. *J Steroid Biochem Mol Biol.* 2016;160:94-7. doi:[10.1016/j.jsbmb.2015.11.006](#)

Reference (2/6)

13. Cao SJ, Zhang Y, Zhang YX, Zhao W, Pan LH, Sun XD, et al. Delirium in older patients given propofol or sevoflurane anaesthesia for major cancer surgery: a multicentre randomised trial. *Br J Anaesth*. 2023;131(2):253-65.

[doi:10.1016/j.bja.2023.04.024](https://doi.org/10.1016/j.bja.2023.04.024)

14. Claassen J, Hirsch LJ, Kreiter KT, Du EY, Connolly ES, Emerson RG, et al. Quantitative continuous EEG for detecting delayed cerebral ischemia in patients with poor-grade subarachnoid hemorrhage. *Clin Neurophysiol*. 2004;115(12):2699-710. [PMID: 15546778](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15546778/)

15. Claassen J, Mayer SA, Kowalski RG, Emerson RG, Hirsch LJ. Detection of electrographic seizures with continuous EEG monitoring in critically ill patients. *Neurology*. 2004;62(10):1743-8. [PMID: 15159471](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15159471/)

16. Claassen J, Taccone FS, Horn P, Holtkamp M, Stocchetti N, Oddo M. Recommendations on the use of EEG monitoring in critically ill patients: consensus statement from the neurointensive care section of the ESICM. *Intensive Care Med*. 2013;39(8):1337-51. [PMID: 23653183](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23653183/)

17. Claassen J, Doyle K, Matory A, Couch C, Burger KM, Velazquez A, et al. Detection of brain activation in unresponsive patients with acute brain injury. *N Engl J Med*. 2019;380(26):2497-505. [PMID: 31242361](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31242361/)

18. Dahaba AA, Worm HC, Zhu SM, Bao FP, Salah A, Zakaria S, et al. Sensitivity and specificity of bispectral index for classification of overt hepatic encephalopathy: a multicentre, observer blinded, validation study. *Gut*. 2008;57(1):77-83. [PMID: 17698861](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17698861/)

19. Devlin JW, Skrobik Y, Gélinas C, Needham DM, Slooter AJC, Pandharipande PP, et al. Clinical practice guidelines for the prevention and management of pain, agitation/sedation, delirium, immobility, and sleep disruption in adult patients in the ICU. *Crit Care Med*. 2018;46(9):e825-73. [doi:10.1097/CCM.0000000000003299](https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003299)

20. Ditzel FL, Hut SCA, van den Boogaard M, Boonstra M, Leijten FSS, Wils EJ, et al. DeltaScan for the assessment of acute encephalopathy and delirium in ICU and non-ICU patients: a prospective cross-sectional multicenter validation study. *Am J Geriatr Psychiatry*. 2024;32(9):1093-104. [doi:10.1016/j.jagp.2023.12.005](https://doi.org/10.1016/j.jagp.2023.12.005)

21. Eertmans W, Genbrugge C, Vander Laenen M, Boer W, Mesotten D, Dens J, et al. The prognostic value of bispectral index and suppression ratio monitoring after out-of-hospital cardiac arrest: a prospective observational study. *Ann Intensive Care*. 2018;8(1):34. [doi:10.1186/s13613-018-0380-z](https://doi.org/10.1186/s13613-018-0380-z)

22. Elmer J, Rittenberger JC, Faro J, Molyneaux BJ, Popescu A, Callaway CW, et al. Clinically distinct electroencephalographic phenotypes of early myoclonus after cardiac arrest. *Ann Neurol*. 2016;80(2):175-84. [doi:10.1002/ana.24697](https://doi.org/10.1002/ana.24697)

23. Favre E, Bernini A, Miroz JP, Abed-Maillard S, Ramelet AS, Oddo M. Early processed electroencephalography for the monitoring of deeply sedated mechanically ventilated critically ill patients. *Nurs Crit Care*. 2024;29(6):1781-7. [doi:10.1111/nicc.13009](https://doi.org/10.1111/nicc.13009)

24. Gélinas P, Crespel A. Commentary: triphasic waves in hepatic encephalopathy. *Front Neurol*. 2025;16:1731471. [doi:10.3389/fneur.2025.1731471](https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1731471)

Reference (3/6)

- 25.** Goh ET, Andersen ML, Morgan MY, Gluud LL. Flumazenil versus placebo or no intervention for people with cirrhosis and hepatic encephalopathy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;8(8):CD002798. [PMC6483298](#)
- 26.** Gruenbaum BF, Safavynia SA, Bilotta F. Intraoperative electroencephalographic burst suppression: a narrative review and clinical framework for interpretation and management. *Br J Anaesth.* 2026;136(6):1843-54. [doi:10.1016/j.bja.2026.03.003](#)
- 27.** Hahn CD, Rossetti AO. Choosing wisely: who really benefits from critical care EEG monitoring? *Intensive Care Med.* 2025;51(10):1913-6. [doi:10.1007/s00134-025-08040-7](#)
- 28.** Heavner MS, Gorman EF, Linn DD, Yeung SYA, Miano TA. Systematic review and meta-analysis of the correlation between bispectral index (BIS) and clinical sedation scales: toward defining the role of BIS in critically ill patients. *Pharmacotherapy.* 2022;42(8):667-76. [PMID: 35707961](#)
- 29.** Herman ST, Abend NS, Bleck TP, Chapman KE, Drislane FW, Emerson RG, et al. Consensus statement on continuous EEG in critically ill adults and children, part I: indications. *J Clin Neurophysiol.* 2015;32(2):87-95. [PMID: 25626778](#)
- 30.** Hogan J, Sun H, Aboul Nour H, Jing J, Tabaeizadeh M, Shoukat M, et al. Burst suppression: causes and effects on mortality in critical illness. *Neurocrit Care.* 2020;33(2):565-74. [doi:10.1007/s12028-020-00932-4](#)
- 31.** Huespe I, Giunta D, Acosta K, Avila D, Prado E, Sanghavi D, et al. Comparing bispectral index monitoring vs clinical assessment for deep sedation in the ICU: effects on delirium reduction and sedative drug doses—a randomized trial. *Chest.* 2024;166(4):733-42. [doi:10.1016/j.chest.2024.05.031](#)
- 32.** Idei M, Seino Y, Sato N, Yoshida K, Kobayashi K, Nakamura T, et al. Validation of the Patient State Index for monitoring sedation state in critically ill patients: a prospective observational study. *J Clin Monit Comput.* 2022;36(6):1723-30. [doi:10.1007/s10877-022-00871-9](#)
- 33.** Kaye C, Rhodes J, Austin P, Casey M, Gould R, Sira J, et al. Assessment of depth of sedation using Bispectral Index monitoring in patients with severe traumatic brain injury in UK intensive care units. *BJA Open.* 2024;10:100287. [doi:10.1016/j.bja.2024.100287](#)
- 34.** Kim TY, Hwang SO, Jung WJ, Roh YI, Kim S, Kim H, et al. Early neuro-prognostication with the Patient State Index and suppression ratio in post-cardiac arrest patients. *J Crit Care.* 2021;65:149-55. [PMID: 34153738](#)
- 35.** Knauert MP, Gilmore EJ, Murphy TE, Yaggi HK, Van Ness PH, Han L, et al. Association between death and loss of stage N2 sleep features among critically ill patients with delirium. *J Crit Care.* 2018;48:124-9. [doi:10.1016/j.jcrc.2018.08.028](#)
- 36.** Koch S, Blankertz B, Windmann V, Spies C, Radtke FM, Röhr V. Desflurane is risk factor for postoperative delirium in older patients independent from intraoperative burst suppression duration. *Front Aging Neurosci.* 2023;15:1067268. [doi:10.3389/fnagi.2023.1067268](#)

Reference (4/6)

- 37.** Likhvantsev VV, Berikashvili LB, Smirnova AV, et al. Intraoperative electroencephalogram patterns as predictors of postoperative delirium in older patients: a systematic review and meta-analysis. *Front Aging Neurosci.* 2024;16:1386669. doi:10.3389/fnagi.2024.1386669
- 38.** Limotai C, Jirasakuldej S, Wongwiangjunt S, Tugsawas A, Pornsiriprasert S, Tuntapakul S, et al. Efficacy of delivery of care with tele-continuous EEG in critically ill patients: a multicenter randomized controlled trial (Tele-cRCT study). *Crit Care.* 2025;29:15. doi:10.1186/s13054-024-05246-x
- 39.** Markus M, Dorenbeck M, Röhr V, Leroy S, Blankertz B, Brown EN, et al. Influence of anesthetic agent and burst suppression on postoperative delirium in elderly patients: a prospective cohort study with automated EEG analysis. *Front Aging Neurosci.* 2026;17:1743267. doi:10.3389/fnagi.2025.1743267
- 40.** Meerts S, D'Haese J, Vanhonacker D, Cools W, Ghijselings I. Comparison of NeuroSENSE and SedLine for measuring depth of sedation in the intensive care unit: the PSIWAV study. *Eur J Anaesthesiol Intensive Care.* 2026;5(1):e0095. PMC12893416
- 41.** Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW, Cariou A, Cronberg T, Friberg H, et al. European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine guidelines 2021: post-resuscitation care. *Resuscitation.* 2021;161:220-69. doi:10.1016/j.resuscitation.2021.02.012
- 42.** Nolan JP, Sandroni C, Cariou A, Cronberg T, D'Arrigo S, Haywood K, et al. European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine guidelines 2025: post-resuscitation care. *Resuscitation.* 2025;215 Suppl 1:110809. doi:10.1016/j.resuscitation.2025.110809
- 43.** Numan T, van den Boogaard M, Kamper AM, Rood PJT, Peelen LM, Slooter AJC. Delirium detection using relative delta power based on 1-minute single-channel EEG: a multicentre study. *Br J Anaesth.* 2019;122(1):60-8. doi:10.1016/j.bja.2018.08.021
- 44.** Park SK, Han DW, Chang CH, Jung H, Kang H, Song Y. Association between intraoperative electroencephalogram burst suppression and postoperative delirium: a systematic review and meta-analysis. *Anesthesiology.* 2025;142(1):107-20. doi:10.1097/ALN.0000000000005255
- 45.** Parsons-Smith BG, Summerskill WHJ, Dawson AM, Sherlock S. The electroencephalograph in liver disease. *Lancet.* 1957;273(7001):867-71. doi:10.1016/S0140-6736(57)90005-3
- 46.** Pun BT, Balas MC, Barnes-Daly MA, Thompson JL, Aldrich JM, Barr J, et al. Caring for critically ill patients with the ABCDEF bundle: results of the ICU Liberation Collaborative in over 15,000 adults. *Crit Care Med.* 2019;47(1):3-14. doi:10.1097/CCM.0000000000003482
- 47.** Rasulo FA, Hopkins P, Lobo FA, Pandin P, Matta B, Carozzi C, et al. Processed electroencephalogram-based monitoring to guide sedation in critically ill adult patients: recommendations from an international expert panel-based consensus. *Neurocrit Care.* 2023;38(2):296-311. doi:10.1007/s12028-022-01565-5
- 48.** Rice G, Douville N, Kumar S, Bloom P. Optimizing anesthesia management in liver transplantation with use of real time frontal electroencephalogram. *Clin Transplant.* 2025;39(2):e70110. doi:10.1111/ctr.70110

Reference (5/6)

49. Rosenthal ES, Biswal S, Zafar SF, O'Connor KL, Bechek S, Shenoy AV, et al. Continuous electroencephalography predicts delayed cerebral ischemia after subarachnoid hemorrhage: a prospective study of diagnostic accuracy. *Ann Neurol.* 2018;83(5):958-69. doi:10.1002/ana.25232

50. Rossetti AO, Schindler K, Sutter R, Rüegg S, Zubler F, Novy J, et al. Continuous vs routine electroencephalogram in critically ill adults with altered consciousness and no recent seizure: a multicenter randomized clinical trial (CERTA). *JAMA Neurol.* 2020;77(10):1225-32. PMID: 32716479

51. Ruijter BJ, Keijzer HM, Tjepkema-Cloostermans MC, Blans MJ, Beishuizen A, Tromp SC, et al. Treating rhythmic and periodic EEG patterns in comatose survivors of cardiac arrest (TELSTAR). *N Engl J Med.* 2022;386(8):724-34. PMID: 35196426

52. Schneider G, Heglmeier S, Schneider J, Tempel G, Kochs EF. Patient State Index (PSI) measures depth of sedation in intensive care patients. *Intensive Care Med.* 2004;30(2):213-6. doi:10.1007/s00134-003-2092-5

53. Seder DB, Fraser GL, Robbins T, Libby L, Riker RR. The bispectral index and suppression ratio are very early predictors of neurological outcome during therapeutic hypothermia after cardiac arrest. *Intensive Care Med.* 2010;36(2):281-8. doi:10.1007/s00134-009-1691-1

54. Shao YR, Kahali P, Houle TT, Deng H, Colvin C, Dickerson BC, et al. Low frontal alpha power is associated with the propensity for burst suppression: an electroencephalogram phenotype for a “vulnerable brain”. *Anesth Analg.* 2020;131(5):1529-39. doi:10.1213/ANE.0000000000004781

55. Shehabi Y, Bellomo R, Kadiman S, Ti LK, Howe B, Reade MC, et al. Sedation intensity in the first 48 hours of mechanical ventilation and 180-day mortality: a multinational prospective longitudinal cohort study. *Crit Care Med.* 2018;46(6):850-9. doi:10.1097/CCM.0000000000003071

56. Shetty RM, Bellini A, Wijayatilake DS, Hamilton MA, Jain R, Karanth S, et al. BIS monitoring versus clinical assessment for sedation in mechanically ventilated adults in the intensive care unit and its impact on clinical outcomes and resource utilization. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018;2(2):CD011240. PMID: 29464690

57. Sonnevile R, Benghanem S, Jeantin L, de Montmollin E, Doman M, Gaudemer A, et al. The spectrum of sepsis-associated encephalopathy: a clinical perspective. *Crit Care.* 2023;27(1):386. doi:10.1186/s13054-023-04655-8

58. Stewart J, Särkelä M, Koivusalo AM, Wennervirta J, Salmi T, Isoniemi H, et al. Frontal electroencephalogram variables are associated with the outcome and stage of hepatic encephalopathy in acute liver failure. *Liver Transpl.* 2014;20(10):1256-65. doi:10.1002/lt.23944

59. Struck AF, Ustun B, Rodriguez Ruiz A, Lee JW, LaRoche SM, Hirsch LJ, et al. Association of an electroencephalography-based risk score with seizure probability in hospitalized patients (2HELPS2B). *JAMA Neurol.* 2017;74(12):1419-24. doi:10.1001/jamaneurol.2017.2459

60. Struck AF, Tabaeizadeh M, Schmitt SE, Ruiz AR, Swisher CB, Subramaniam T, et al. Assessment of the validity of the 2HELPS2B score for inpatient seizure risk prediction. *JAMA Neurol.* 2020;77(4):500-7. doi:10.1001/jamaneurol.2019.4656

Reference (6/6)

61. Taschner A, Fleischmann E, Kabon B, Sinner B, Eckhardt C, Horvath K, et al. Effect of desflurane, sevoflurane or propofol on the incidence of postoperative delirium in older adults: study protocol (RAPID-II trial). *BMJ Open*. 2024;14(11):e092611. doi:10.1136/bmjopen-2024-092611

62. Tobar E, Farías JI, Rojas V, Penna A, Egaña JI, Ponce D, et al. Electroencephalography spectral edge frequency and suppression rate-guided sedation in patients with COVID-19: a randomized controlled trial. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9:1013430. doi:10.3389/fmed.2022.1013430

63. Towne AR, Waterhouse EJ, Boggs JG, Garnett LK, Brown AJ, Smith JR, et al. Prevalence of nonconvulsive status epilepticus in comatose patients. *Neurology*. 2000;54(2):340-5. PMID: 10668693

64. Turella S, Dankiewicz J, Friberg H, Jakobsen JC, Leithner C, Levin H, et al. The predictive value of highly malignant EEG patterns after cardiac arrest: evaluation of the ERC-ESICM recommendations. *Intensive Care Med*. 2024;50(1):90-102. PMID: 38172300

65. Vakadaris G, Arvanitakis K, Kalopitas G, Koufakis T, Antoniadis N, Germanidis G, et al. Electroencephalography in hepatic encephalopathy: diagnostic and prognostic applications across the disease spectrum. *Ann Gastroenterol*. 2025. PMC13433964

66. van der Rijt CC, Schalm SW, De Groot GH, De Vlieger M. Objective measurement of hepatic encephalopathy by means of automated EEG analysis. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1984;57(5):423-6. PMID: 6201336

67. Watson PL, Shintani AK, Tyson R, Pandharipande PP, Pun BT, Ely EW. Presence of electroencephalogram burst suppression in sedated, critically ill patients is associated with increased mortality. *Crit Care Med*. 2008;36(12):3171-7. PMID: 19020432

68. Watson PL, Pandharipande P, Gehlbach BK, Thompson JL, Shintani AK, Dittus BS, et al. Atypical sleep in ventilated patients: empirical electroencephalography findings and the path toward revised ICU sleep scoring criteria. *Crit Care Med*. 2013;41(8):1958-67. doi:10.1097/CCM.0b013e31828a3f75

69. Westhall E, Rosén I, Rossetti AO, van Rootselaar AF, Wesenberg Kjaer T, Friberg H, et al. Interrater variability of EEG interpretation in comatose cardiac arrest patients. *Clin Neurophysiol*. 2015;126(12):2397-404. doi:10.1016/j.clinph.2015.03.017

70. Westhall E, Rossetti AO, van Rootselaar AF, Wesenberg Kjaer T, Horn J, Ullén S, et al. Standardized EEG interpretation accurately predicts prognosis after cardiac arrest. *Neurology*. 2016;86(16):1482-90. PMID: 26865516

71. Yu Z, Wen D, Zheng J, Guo R, Li H, You C, et al. Predictive accuracy of alpha-delta ratio on quantitative electroencephalography for delayed cerebral ischemia in patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage: meta-analysis. *World Neurosurg*. 2019;126:e510-6. doi:10.1016/j.wneu.2019.02.082

72. Zheng WL, Kim JA, Elmer J, Zafar SF, Ghanta M, Moura Junior V, et al. Automated EEG-based prediction of delayed cerebral ischemia after subarachnoid hemorrhage. *Clin Neurophysiol*. 2022;143:97-106. PMC9847346