

Kiváltott agyi jelek informatikai feldolgozása

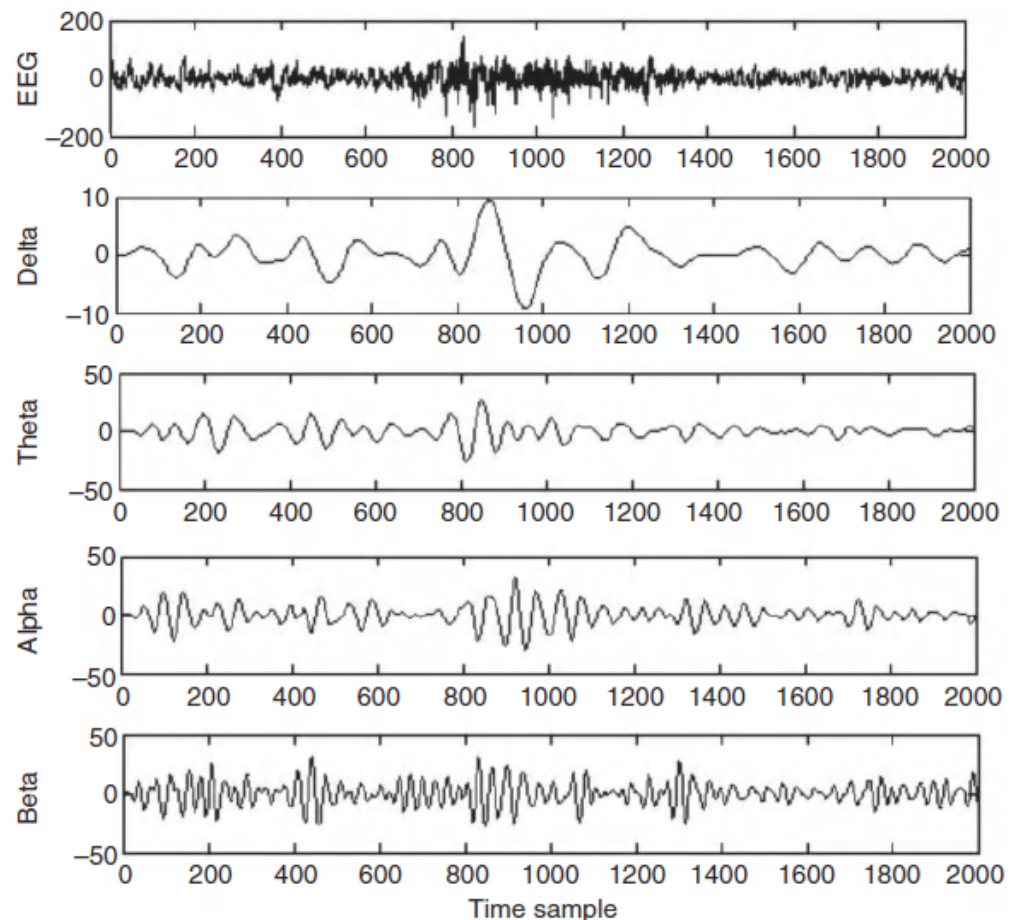
Agyi ritmusok, ERP

Agyi hullámok csoportjai

- Ritmikus agyi hullámok (agyi ritmusok)
- Széles frekvencia spektrumú, vagy impulzus szerű hullámok (pl. k-komplex)
- Tranziens hullámok
 - Event-related potencial, ERP, eseményhez kötött potenciál
 - Evoked potencial, EP, kiváltott potenciál
 - Movement-related potencial, MRP, mozgáshoz kötött potenciál
- Az agy sérült területéről származó jel
- Artefact, „műtermék”

Agyi ritmusok

- Öt fő agyi hullámot különböztetnek meg frekvenciasávok szerint lebontva
 - **Delta.** 1–4 Hz
 - **Theta.** 4–7 Hz
 - **Alfa.** 8–13 Hz
 - **Béta.** 13–30 Hz
 - **Gamma.** 30–100 Hz



Delta aktivitás

- 1–4 Hz-es, nagy amplitúdójú, kis frekvenciájú hullám
- Főként a **bal oldali temporális kéreg** felett domináns
- Felnőtteknél **mély NREM alvás**ban jelentkezik
- **Éber állapotban egyes kognitív folyamatok alatt is** jellemző – de általában az EEG-regisztrálások kevesebb, mint 1%-t teszi ki
- Felnőtteknél **a túlzott mértékű delta-aktivitás abnormálisnak** számít, valamilyen encefalopátiára utal
- Gyerekeknél 10 éves korig éber állapotban a delta hullámok kevesebb, mint 10%-t teszik ki az agyi elektromos aktivitásnak, ami normálisnak számít
- A lassú hullámú alvás nem jelenti azt, hogy a **neuronális aktivitás** is kisebb
 - Hosszú burst-ök tüzeléskor, nagy burst-ök közötti időintervallum

Theta hullám

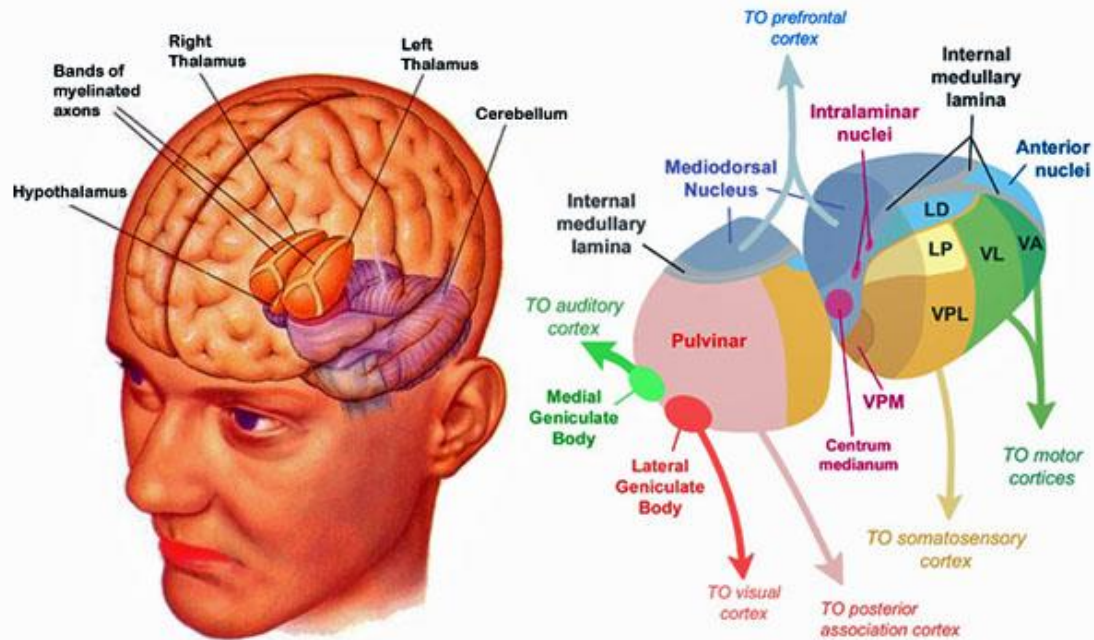
- 4–7 Hz-es frekvenciájú, változó amplitúdójú és morfológiájú hullám
- Csecsemő-és kisgyermekkorban alvás előtt és alvás alatt jelentkezik
- Éber állapotban felnőtteknél időszakosan, rendszertelenül fordul elő, főként a frontális, frontocentrális területeken
- A frontális területeken elvezethető theta-aktivitás növelhető feszült koncentráció, érzelmek, és mentális feladatok elvégzése közben, valamint hiperventiláció esetén
- Feltehetően éber állapotban az emlékenyomok konszolidációját reprezentálja
- Felnőtteknél, éber állapotban elvéve hirtelen jelentkező theta-aktivitás abnormálisnak tekinthető

Alfa hullám /1

- Éber állapotban **bilaterális posterior területek** felől elvezethető **8–12 Hz-es alaphullám**, általában **az occipitális területek felett magasabb amplitúdóval**
- Az alfa-ritmus **szemcsukáskor, nyugalmi állapotban occipitális területek felett fokozódik**
 - Háttérvilágítás esetén az amplitúdó csökken
- Az alfa-hullám a fejlődés során **3 éves kortól** jelenik meg
- A hullám **amplitúdója** változékonny, de felnőtteknél általában **50 μ V alatti**
- Mivel az alfa-hullám leginkább a becsukott szemű, de éber nyugalmi állapottal korrelál, azt feltételezik, hogy a vigilitás fokozódásakor **a figyelmi folyamatok** (különösen a vizuális és mentális erőfeszítések) **blokkolják**, elnyomják az alfa-aktivitást, és kisebb amplitúdójú, nagyobb frekvenciájú hullám lesz a dominánsabb
 - Ezt a folyamatot **alfa-deszinkronizációnak** nevezik, általában pedig akkor beszélünk deszinkronizációról ha **egy nagyobb amplitúdójú és kisebb frekvenciájú hullámot egy kisebb amplitúdójú, de nagyobb frekvenciájú komponens vált fel**

Alfa hullám

- Az alfa hullám és az al
- Eltérő viselkedési ál
- A sejtszintű magyaráz
- Mérése nehézkes, a



- Alapvető tulajdonságai
 - A vizuális kéregben a IV és V rétegekben lévő dipólus rétegek állítják elő
 - A kortikális területeken mért koherencia nagyobb, mint a thalamikus-kortikális koherencia
 - A pulvináris alfa ritmus hatása nagy lehet a kérgi ritmusokra, ám a kérgen belüli tényezők fontos szerepet játszanak a kérgi tartományban megjelenő alfa ritmusban
 - → a felszínnel párhuzamos intrakortikális kapcsolatok, mint epicentrumok felelősek az alfa hullám terjedéséért
 - (a thalamikus, főként pulvináris tényezőkön kívül)
 - Lassú terjedési sebesség: 0.3 cm/s

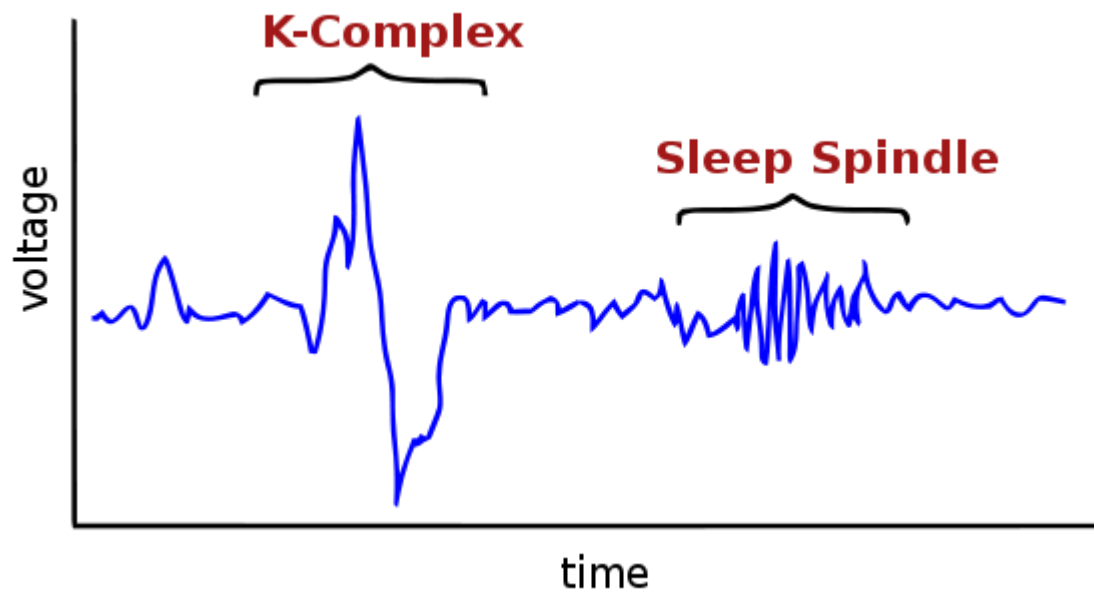
Alfa hullám

mu és tau ritmus

- Két ritmikus aktivitás, amely **az alfa sávon belül** van
- **Mu ritmus**
 - Szomatoszenzoros kéregben mért aktivitás
 - „Rolandic mu rhythm”
 - Nyugalmi állapotban jelenik meg, **mozgásra eltűnik**
 - A kézmozgásért felelős szomatoszenzoros kéregben jelenik meg, és főként az ujjak ökölbe szorítására reagál
 - **Nincs koherencia az alfa ritmussal → egymástól függetlenek**
- **Tau ritmus**
 - A **hallókéreg**ben megjelenő ritmikus aktivitás
 - Hang ingerre
 - („third rhythm”, „independent temporal alphoid rhythm”)

Alvás közbeni EEG

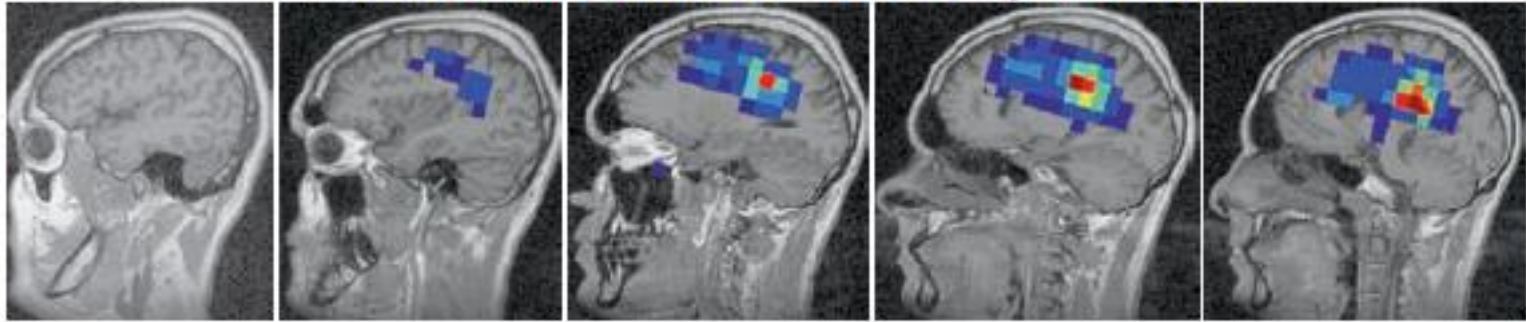
- **Alvás közben** két alapvető EEG jelenség fordul elő
 - 7 és 14 Hz közötti un. **szigma orsók**, hullámok
 - Alvás kezdetekor lépnek fel
 - 1-4 Hz-es **delta hullámok**
 - Mélyebb alvási fázisok
 - (0.6-1 Hz-es **nagyon lassú oszcilláció**, amely modulálja a tipikus alvási EEG eseményeket)
- Alvási fázisok:
 1. **NREM1**: alfa hullám eltűnik, theta-aktivitás lesz domináns
 2. **NREM2**: rövid, alvási orsók és K-komplexek jelennek meg
 3. **NREM3-4**: Delta hullámok
 - Ilyenkor vagyunk a legnehezebben felébreszthetők
 4. **REM**: fűrészfogas hullámok
 - EEG deszinkronizáció („paradox” alvás)



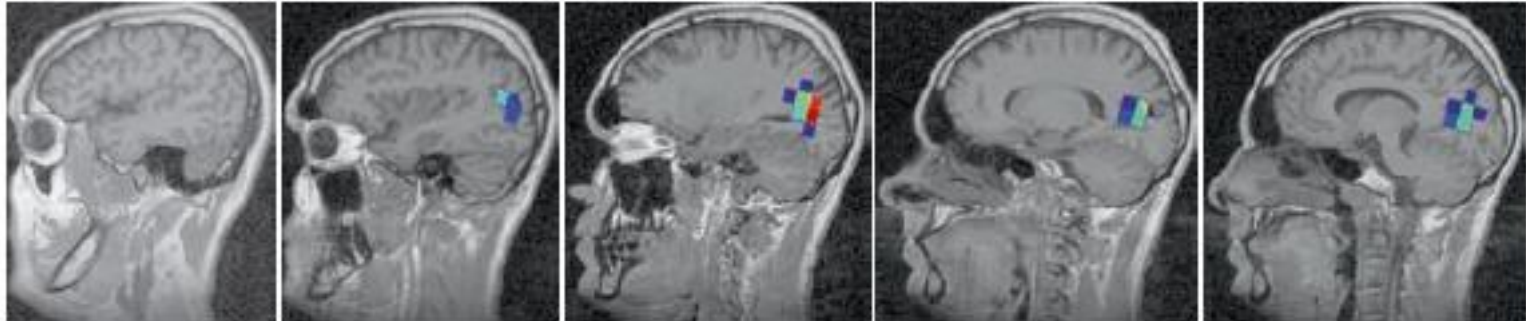
b

EEG: distribution of sources per voxel

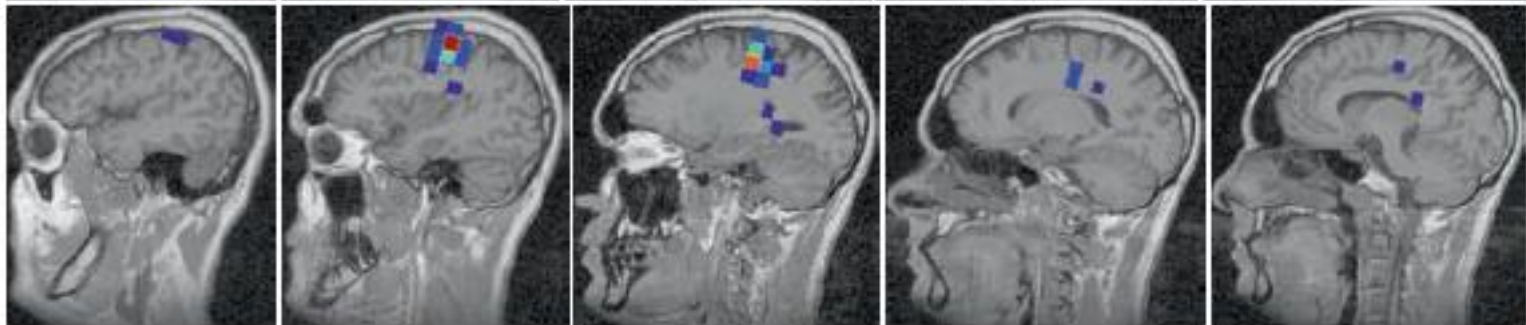
spindles



alpha



mu



Béta aktivitás

- 13 Hz feletti frekvenciával jellemezhető hullámok, **amplitúdójuk kisebb, mint 20 μV**
- A normál megfigyelt tartomány **18–25 Hz** között van, a sávszélesség ritkán haladja meg a 30 Hz-t
- Dominánsan a **frontális kéreg** felett jelenik meg
- **Ha az amplitúdó meghaladja a 25 μV -ot, akkor abnormálisnak** tekintjük, valamint ha az amplitúdó mérete több mint 50%-kal csökken, akkor valószínű, hogy az elvezetés alatti szürkeállomány abnormális működése okozza
- **Éber állapotban nyitott szemmel** ez az **alapaktivitás**, feltehetőleg kognitív folyamatokat jelképez
- Szorosan összefügg a motoros viselkedéssel – **aktív mozgáskor vagy taktilis ingerléskor általában a béta-aktivitás gátolódik**
- A vizsgálatok elsősorban a vizuális és a szomatomotoros kéregre koncentrálnak
 - Ám a szaglóközpontban is mértek béta ritmust

Gamma aktivitás

- 30–100 Hz közötti hullám
- Feltehetőleg különböző neuron populációk összeköttetését jelzi az agyi régiók közötti kommunikáció céljából
- Jelentéssel bíró ingerek feldolgozásához, egyes kognitív folyamatokhoz és motoros funkciók végrehajtásához köthető

| Spektrum | Frekvencia (Hz) | Amplitúdó (mikroV) | Jelentőség |
|----------|-----------------|--------------------|---|
| Delta | 0,5-3,5 | 100-200 | <ul style="list-style-type: none"> - mély alvás - 1-2 éves korban fiziológias - tumor, ér eredetű károsodás - frontális lebenyhez köthető kognitív feladatok |
| Theta | 4-7,5 | <30 | <ul style="list-style-type: none"> - REM alvás - 1-6 éves korban fiziológias - hipnózis és meditáció - frontális lebenyhez köthető kognitív feladatok - hippocampuszhoz kapcsolódó memória folyamatok |
| Alfa | 8-12 | 30-50 | <ul style="list-style-type: none"> - az agy „alapritmusa” - stimuláció hatására nagyfrekvenciájú ritmus váltja fel (alfa-blokk) - az információfeldolgozás általános időbeli koordinációja - thalamokortikális kapcsolatok mutatója |
| Béta | 13-30 | <20 | <ul style="list-style-type: none"> - szenzoros és emocionális behatások - akaratlagosan blokkolható |
| Gamma | 30-50 | <10 | <ul style="list-style-type: none"> - neuronális elemek koaktivációja (szinkronizációja), amely a tudatos információfeldolgozás alapja lehet - ingerek alkotórészeinek (pl. forma és mozgás) összekapcsolása (binding) |

Eseményhez kötött potenciál

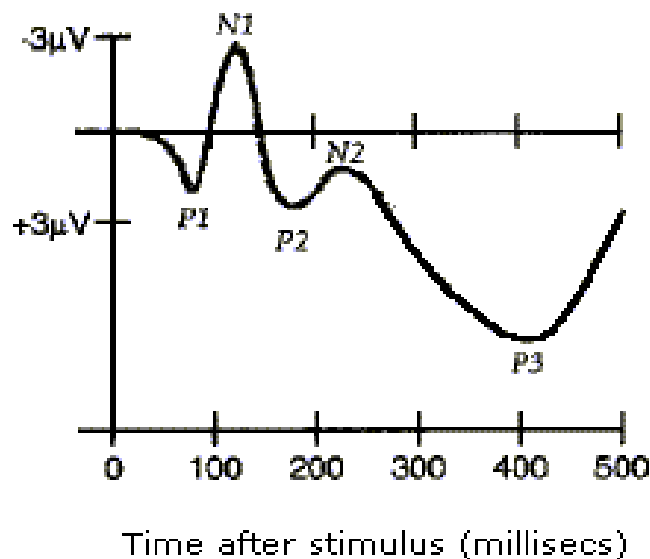
- Az ERP pozitív és negatív amplitúdó komponensek sorozata. Az agykéreg **elektromos válasza** a szenzoros, érzelmi (affective) és kognitív eseményekre
- Feszültség ingadozás az agyban, **nagyszámú akciós potenciálok összegeként**
- Az EEG-hez képest az ERP jóval **kisebb amplitúdóval** rendelkezik (1-30 μV)
- Az ERP három dimenzió mentén elemezhető:
 - **Amplitúdó:** a neurális aktivitás nagyságát jellemzi.
 - **Késleltetés:** az aktiváció időzítését írja le.
 - **Koponya-menti eloszlás:** a feszültség változásának iránya a koponya mentén

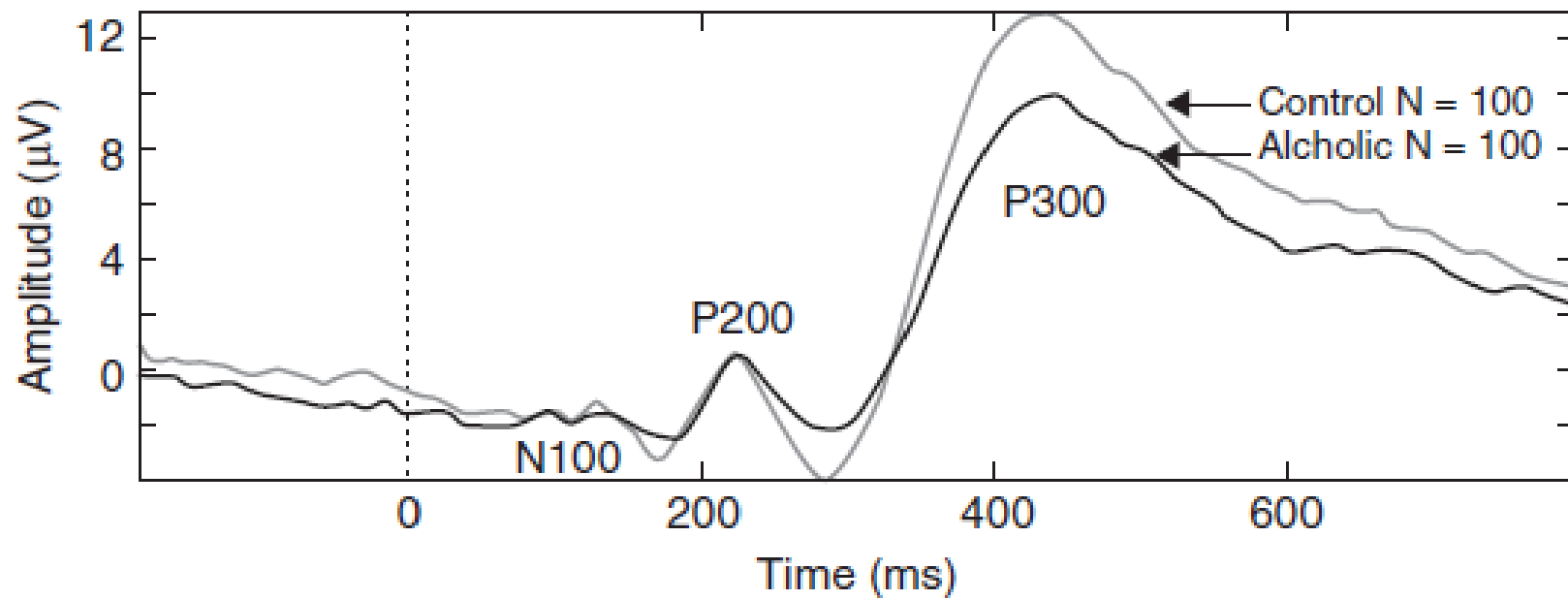
ERP jelölései

Az ERP jelek felépítése: **negatív és pozitív csúcsok N és P betűkkel jelölve**. Ezután szám jelzi, hogy az inger indulásától kezdve mekkora **késleltetéssel** jelenik meg (pl P300: pozitív, 300 ms-os késleltetéssel)

A leírásához meg kell adni a **komponenseket** és az **agyi területeket**, ahol mérhető

The components of Event Related Potentials





ERP

Exogén/endogén komponensek

A komponenseket a klasszikus elméletek **exogén** és **endogén** csoportokra bontja

- Az **exogén** (szenzoros) **kompone**nsek az eseményt követő **rövid látenciával** jelentkeznek, az **inger fizikai jellemzőivel kapcsolatos változásoktól füg**gnek
- Az **endogén** (kognitív) **kompone**nsek látenciája **hosszabb**, a **bejövő információ magasabb szintű feldolgozásával kapcsolatos**ak, megjelenhetnek **külső ingerlés nélkül is**, és az észlelő **korábbi tapasztalatai, szándékai és más tényezők is befolyásolhatják**
- Ez a megkülönböztetés félrevezető lehet – tudnunk kell, hogy **vannak olyan exogén komponensek, amelyek endogén szabályozás alatt állnak**

Vizuális szenzoros ERP-k /1

C1

- Az első fő vizuális ERP komponens
- maximuma a **posterior középvonali** elektródákon mérhető, az elsődleges vizuális kéreg (V1) fölött
- A C1 hullám **80-100 milliszekundummal az inger bemutatása** után éri el csúcsát, amplitúdója érzékeny az inger fizikai paramétereire, mint például a kontraszt vagy a téri frekvencia
- A többi elektromos hullámmal ellentétben nincs pozitív (P) vagy negatív (N) címke az elnevezésében, mert **polaritása változhat**.

P1

- Maximuma a **laterális occipitális** elektródákról vezethető el
- **100-130 ms-mal az inger bemutatása után**, bár latenciája nagyban változhat a stimulus kontrasztjától függően
- A P1 hullám **érzékeny az inger fizikai paramétereire, a vizsgált személy téri figyelmére, illetve arousal állapotára**, más fentről lefelé folyamatok azonban úgy tűnik, hogy nincsenek hatással a hullám latenciájára vagy amplitúdójára

Vizuális szenzoros ERP-k /2

N1

- **Több vizuális N1 alkomponens** is létezik, a legkorábbi 100-150 ms-mal az inger bemutatása után éri el maximumát az **anterior** elektródákon, illetve két későbbi N1 komponens is jelentkezik 150-200 ms-mal az inger után, a **parietális**, továbbá a **laterális occipitális** kéreg feletti skalpterületekről elvezetve
- Az N1 komponensekre **hatással van a téri figyelem**. Úgy tűnik, hogy a korai diszkriminációs folyamatok működéséhez köthetők

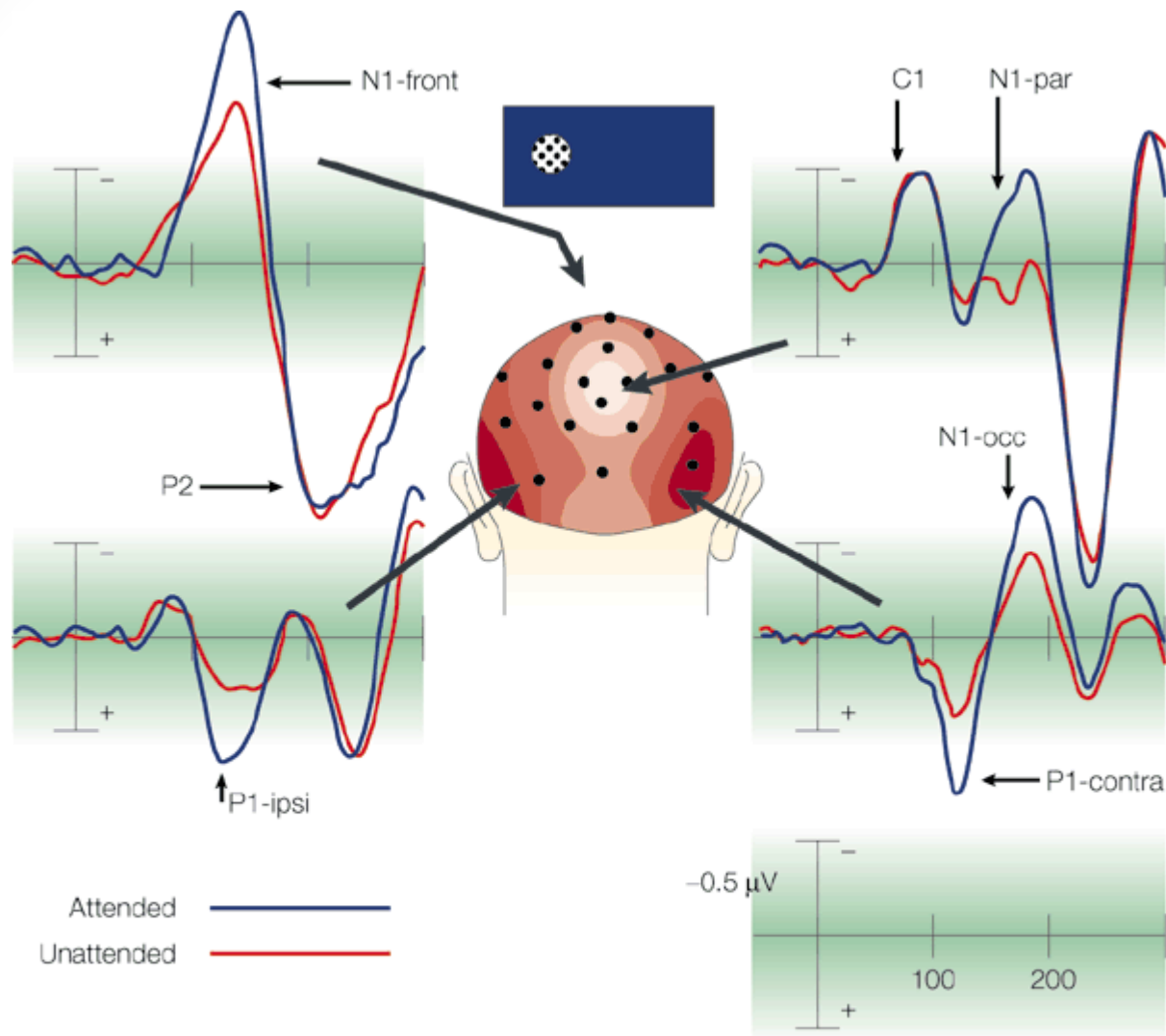
P2

- A vizuális P2 hullám maximuma az **anterior és centrális** elektródákról vezethető el
- Megjelenése **egyszerű célingerek feldolgozásával** van összefüggésben, tehát ilyen szempontból hasonló a P3 komponenshez, ugyanakkor szemben az utóbbival, a P2 csak egyszerű ingertulajdonságok esetén van jelen

Vizuális szenzoros ERP-k /3

N170

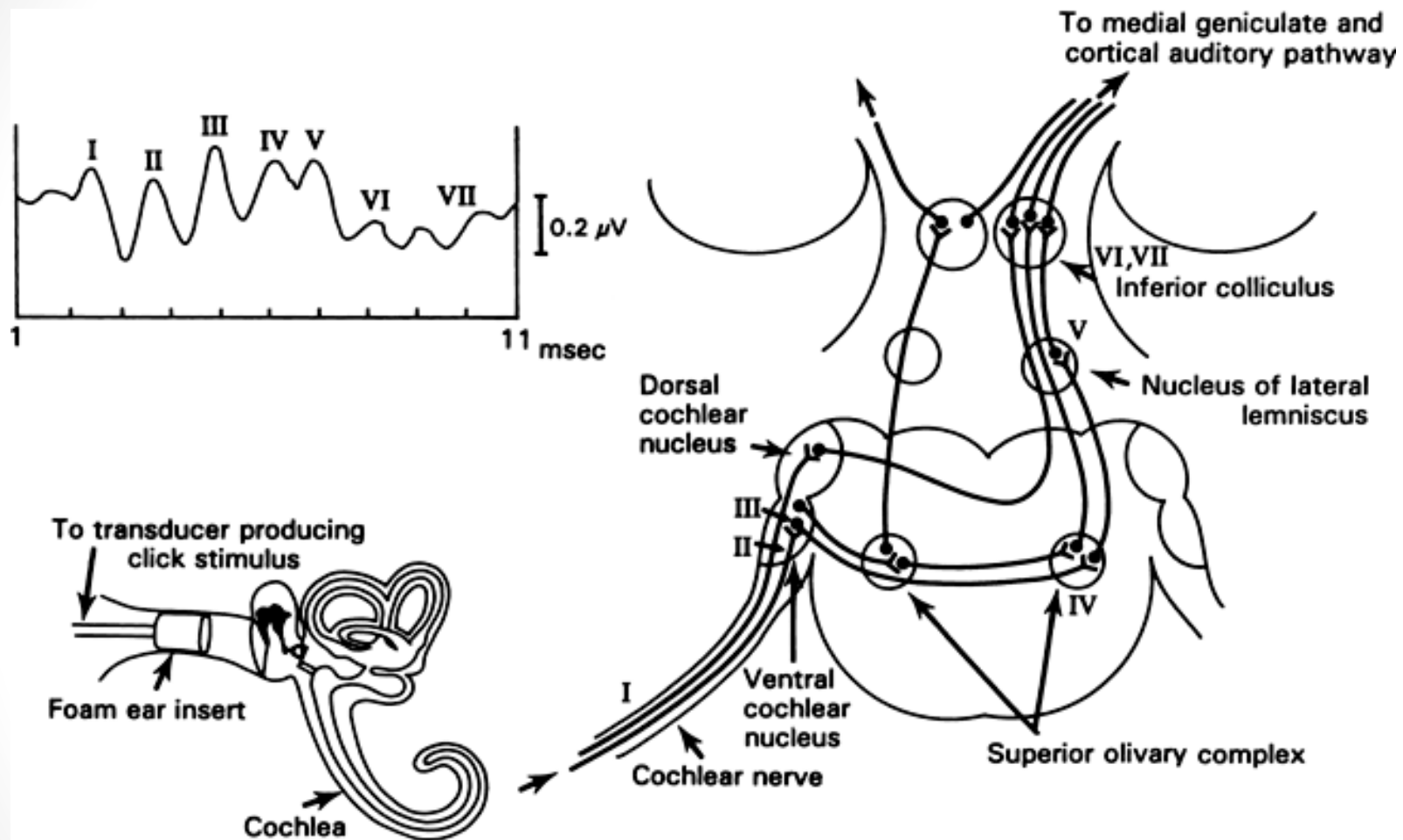
- Elsősorban a **jobb félteke** fölött, nagyjából 170 ms-mal az **arcingerek** bemutatása után a **laterális occipitális** elektródákon nagyobb negativitás vezethető el, mint nem-arc ingerek esetén
- A hullám amplitúdója **nagyobb egyenes állásban lévő arcokra**, mint fejjel lefelé fordítottakra, illetve megjelenik érzelmi arc kifejezések és emberi test bemutatására is
- Bár az emberi arc preferenciája veleszületett, az N170 komponens **megjelenik más, ismerős ingerekre is**, így például hasonló aktivitásváltozás mutatható ki akkor is, ha autószakértő személyeknek autókat mutatnak be, mint vizuális ingereket, míg ez a változás elmarad olyan embereknél, akik nem jártasak ezen ingerek diszkriminálásában. Ezek alapján ma már az N170 hullámot nem az arcok feldolgozásához, hanem **a nagy jártasságot kívánó, ismerős ingerek észleléséhez kötik**



Auditoros szenzoros ERP-k /1

BER

- Az agytörzsi kiváltott válaszok (Brainstem Evoked Responses)
- **Egyszerű hangingereket** (pl. kattogó hangok) **követő**, korai pozitív komponensek sorozatai, melyek **az agytörzs különböző területeiről vezethetők el** az inger bemutatását követő 10-20 ms-ban, így a hallópályák működéséhez köthetők
- Fő alkalmazási területe a **klinikai gyakorlatra** irányul
 - elsősorban csecsemők és kisgyermekek hallásának vizsgálatával
 - az idegrendszer műtét közbeni megfigyelésével
 - demielinizációs betegségek feltérképezésével
 - A központi idegrendszert felépítő idegrostok tengelyfonalát körülvevő velőhüvely elpusztulása. Az érintett idegek ingerületvezetési képességének csökken vagy teljesen megszűnik.
- Amplitúdójára és latenciájára **nem hat az alvás, a figyelem, szedatív szerek használata, az altatás vagy a mozgás**, így gyakorlati alkalmazása nagymértékben könnyű
- A különböző BER válaszok római számokkal (I-VII) jelöltek, attól függően, hogy mely idegrendszeri területen mérhető a maximumuk.
- A BER-t **számos középlátenciájú komponens követi** (pl. auditoros P1), nagyjából az ingerbemutatás után 50 ms-mal
 - Maximum amplitúdójuk az elsődleges auditoros, illetve frontocentrális területekhez köthetők. Figyelmi hatások már észlelhetők a középlátenciájú hullámok szintjén, de más fentről lefelé folyamatok még nincsenek befolyással ezekre a kiváltott válaszokra



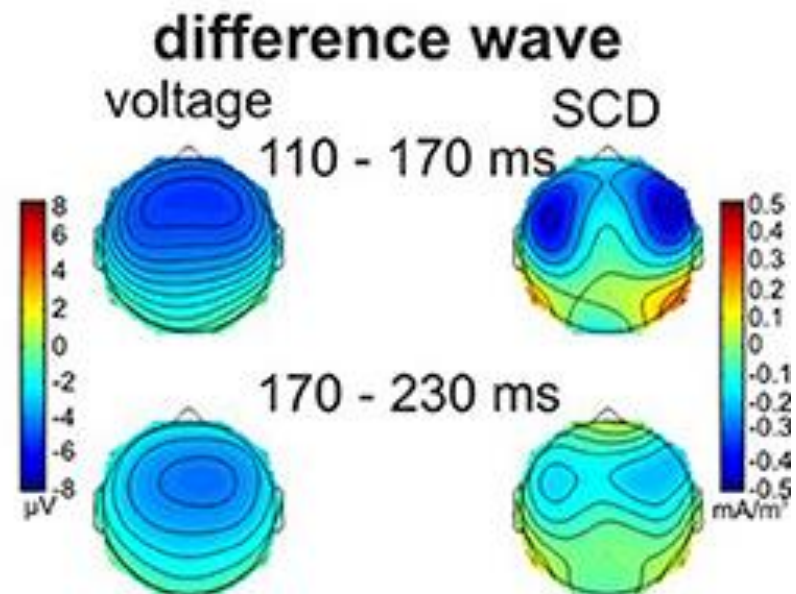
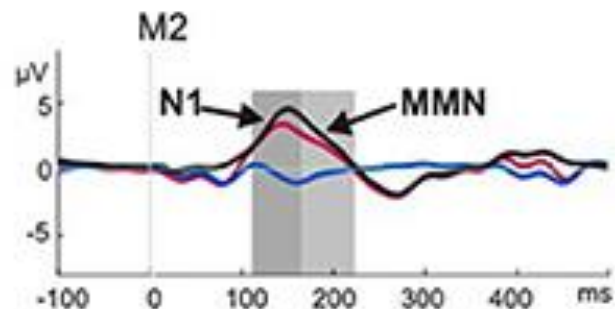
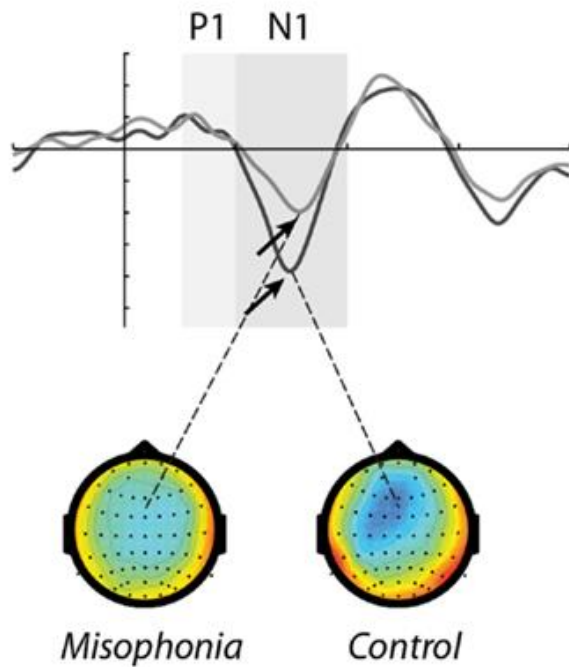
Auditoros szenzoros ERP-k /2

N1

- A vizuálishoz hasonlóan, az auditoros N1 is számos **további komponensre bontható**
- **Frontocentrális** komponense 75, míg **laterális** komponense az ingerbemutatás után 150 ms-mal éri el csúcsát
- Figyelmi hatások érvényesülnek az N1 komponensen

MMN (nem csak auditoros)

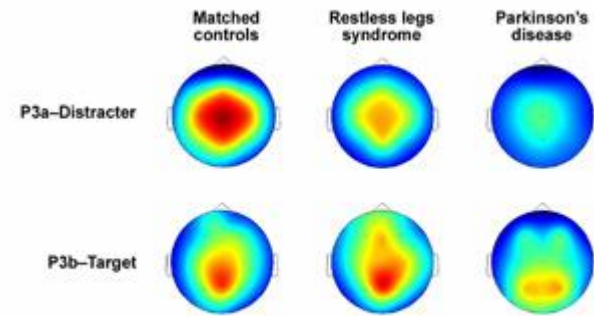
- Az eltérési negativitás (**MisMatch Negativity**) akkor figyelhető meg, ha egy sor bemutatott, hasonló inger (standard) között megjelenik egy eltérő (**deviáns**)
- Az MMN egy negatív hullámkomponens, mely a deviáns inger bemutatása után 160-220 ms-mal jelentkezik, **centrális középvonali maximummal**
- Bár számos más komponens is érzékeny a feladat-releváns eltérésekre, az MMN hullám **akkor is kiváltódik, ha a személyek figyelme máshova irányul**, és a szabálysértés nem tudatosul, így az eltérési negativitást egy viszonylag automatikus folyamat eredményeként kezelik, mely **a beérkező ingereket veti össze a korábbi ingerek szenzoros emléknymaival**



P300

- A **P3**, vagy P300 komponens kiváltásához általában az **odd-ball** (kakukktojás) paradigmát használják
 - **Ismétlődő** auditoros vagy vizuális **inger** szabálytalan időközönként megszakítva egy deviáns (kilógó, eltérő) ingerrel
 - A deviáns inger esetén az alanyak valamilyen reakciót kell mutatni
 - pl. gombnyomás
- A P300 akkor következik be, ha az alanyak egy **célingert** kell detektálnia
 - Minél nehezebben **diszkriminálható** az inger, annál nagyobb az amplitúdó
- A hullám az inger prezentálása után 300-600 ms-mal éri el a maximumát
- Megkülönböztetjük a **P3a**, **P3b** és P3f alkomponenseket, de a szakirodalomban elterjedt, egyszerű P3 elnevezés általában a P3b komponensre utal
- Bár a P3 komponensek megjelenése általában együtt jár döntéshozással és bizonyos szintű tudatos feldolgozással, **nincs** felettük **tudatos kontroll**
- A P3 hullám **több modalitás**ban is kiváltható
- Életkorral csökken az amplitúdója
- Megjelenése eltérést mutat számos neurológiai (pl. Alzheimer-kór, Parkinson-kór, HIV-dementia), pszichiátriai (pl. OCD, skizofrénia, alkoholizmus, depresszió) és más egyéb (pl. diszlexia, narkolepszia) állapot esetén

P300 komponensei

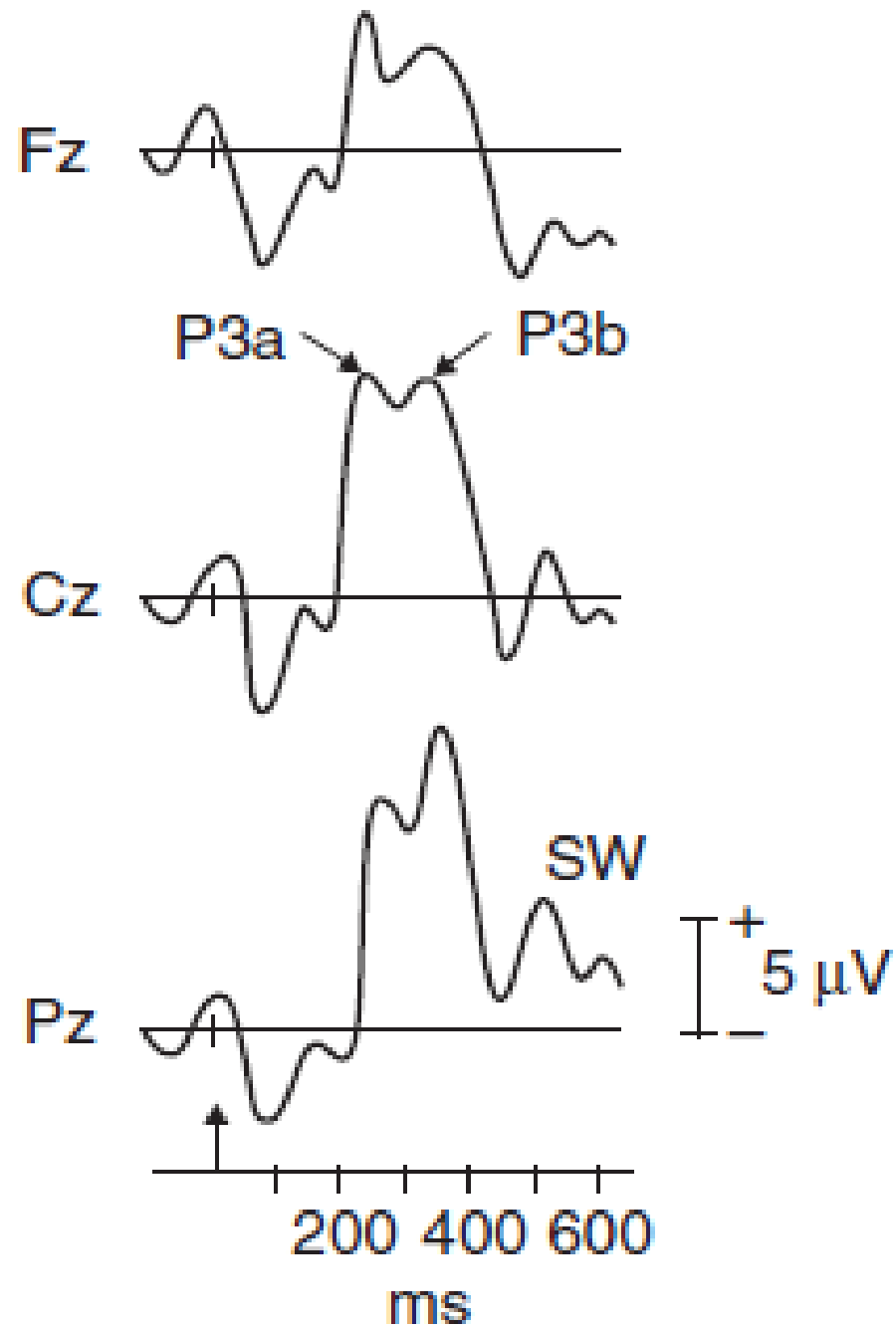


P3a

- **Frontocentrális** eloszlású
- Érzékeny az inger kontextusára, **ritka, nem-célingerekre** jelentkezik a legnagyobb amplitúdóval, gyorsan **habituálódik**
- Megjelenése a feladattal kapcsolatos figyelmi működésekkel hozható összefüggésbe
- A P3a komponens **gyakran eltűnik frontális sérült betegeknél**
- A P3 hullám ezen összetevőjét megpróbálták felhasználni hazugságdetektációs eljárásokhoz, megjelenése azonban inkább együtt jár a többletjelentéssel bíró információk kezelésével, mint a hazugsággal.

P3b

- **Parietális** maximumú hullám
- Akkor jelenik meg, ha **a célinger nagyon meglepő**, vagy nem várt
- **Nem habituálódik**
- Megjelenését a figyelmi folyamatokkal, memória-frissítéssel, illetve az ingerkontextus feldolgozásával hozzák összefüggésbe
- Látenciája **függ az ingerfeldolgozáshoz szükséges időtől** és az abba fektetett erőfeszítéstől
- Amplitúdója **érzékeny az inger megjelenésének valószínűségére**, minél ritkább egy stimulus, annál nagyobb maximummal jelentkezik, ugyanakkor a hullám amplitúdója csökken, ha a személyek nem biztosak benne, hogy az adott inger célinger vagy sem



Agyi tevékenység értékelése ERP használatával

A **P300** különböző tulajdonságai (amplitúdó, késleltetés, időtartam) **indikátorai a kognitív információ feldolgozásnak.**

A következő jelenségeket figyelték meg:

- Az amplitúdó nő a kognitív/érzékelési feladat nehézségének növekedésével.
- Az **amplitúdó csökkenés jelzi a figyelem csökkenését**, amely következménye lehet a hozzászokásnak.
- A késleltetés növekedése az időbeli feldolgozás meghosszabbodását jelzi, a **kognitív információ feldolgozás nehézségének növekedése** miatt.
- Az alfa sáv energiája csökken a feladatra figyeléskor, és a béta sáv energiája megnő rögtön a feladat után. Ezek jelzik, hogy a központi idegrendszer lelassul a **mentális és fizikai fáradtság** hatására.
- Ám a fáradtságot jobban jelzi a P300 amplitúdó és késleltetés megváltozása

Szomatoszenzoros ERP-k

SSEP

- A szomatoszenzoros kiváltott potenciálok (SomatoSensory Evoked Potentials) **korai, negatív, szenzoros kiváltott válaszok**, melyek 20 ms-mal az inger bemutatása után érik el maximumukat
- Kiváltásához általában **a perifériás idegrendszer elektromos ingerlését** használják
- Látenciája és maximum amplitúdójának helye **változhat, attól függően, hogy a test mely részét ingerlik**, illetve **megváltozhat alvás vagy altatás közben**
- Elsősorban **klinikai felhasználása** jellemző: neurológiai betegségek diagnózisára, kómás betegek állapotfelmérésére, továbbá műtéti eljárások során alkalmazzák

N2 komponensek /1

N2

- Az N2 komponens egy negatív komponens, mely 200-350 ms között éri el a csúcsát
- Általában a P3a-P3b komponensekkel együtt vizsgálják, de kisebb a maximum amplitúdója
- **Frontocentrális csúcsa auditoros ingerek bemutatása esetén** a legnagyobb, 180 ms-mal az inger bemutatása után, míg vizuális stimulus esetén ez temporo-okcipitális területeken mérhető, 250 ms-mal az inger bemutatása után
- Az N2 hullám több alkomponensre bontható.

N2 komponensek /2

N2a (MMN)

- Repetitív, nem-célingerek bemutatása kivált egy alap N2 komponenst, mely amplitúdója deviáns ingerek hatására megnő
- Ezt a megnövekedett amplitúdóval rendelkező, feladat-irreleváns deviáns stimulus esetén jelentkező hullámot nevezik N2a-nak, vagy MMN-nek
- Ennek a komponensnek a kiváltása nem feltétlen kíván figyelmi folyamatokat, illetve nem jár együtt P3 komponenssel
- Eredetileg az auditoros modalitásban figyelték meg, de számos próbálkozás történt a „vizuális MMN” leírására is.

N2b

- **Ha a megjelenő deviáns inger feladat-releváns**, egy **frontocentrális** eloszlású negatív hullám jelenik meg, 180-300 ms-mal az inger bemutatása után
- Az N2b komponens **bilaterális**, amplitúdója nagyobb kevésbé gyakori elemek hatására (valószínűség-érzékeny), ezért a **kategorizációs folyamatokkal hozzák összefüggésbe** a megjelenését
- Érzékeny az újdonságingerekre is, de az így kiváltott N2b **habituálódik**
- Maximum amplitúdója nagyobb, ha az inger nagyon eltér a hosszú- vagy a rövidtávú kontextustól
- Összefüggésben lehet a kognitív kontrollal, illetve a válaszgátlási folyamatokkal
- Gyakran követi P3a komponens
- **Kiváltható auditoros** (centrális területek), **és vizuális** (posterior részek) **feladat-releváns deviáns hatására is**. Kiváltása figyelmi folyamatokat kíván

N2 komponensek /3

N2c

- Az N2c hullám megjelenése is kötődik az ingerre irányított figyelemhez
- Gyakran követi P3b komponens
- Látenciája a reakcióidővel változik, amplitúdója **nagyobb ritkán bekövetkező célingerekre**, mint más ingerekre
- A skalpon való elrendeződése **modalitás-specifikus**, **posterior** területek feletti maximummal **vizuális** ingerek esetén, illetve **frontocentrális** eloszlást követve az **auditoros** modalításban
- Figyelem-függő komponens.
- **Időtartama megnő nehezebben kategorizálható ingerekre**
 - Kategorizációs feladatot tükröz

N2pc

- Az N2pc posterior, az inger helyével ellentétes oldalon megjelenő hullám
- Nem valószínűség-érzékeny
- a célingerre irányított téri figyelem esetén jelenik meg
- **Zavaró ingerekkel** és a **figyelmi koncentrációval** van összefüggésben, főleg nehéz diszkriminációs folyamatokat igénylő feladatok elvégzése során
 - A zavaró ingerek eltávolítása esetén, és így a keresési folyamatok megszüntetésével a hullám nem váltódik ki, még akkor sem, ha a célinger tulajdonságai komplexek

Nyelvi ERP-k /1

ELAN

- A korai bal oldali **anterior** negativitás (Early Left Anterior Negativity) a nyelvi feldolgozáshoz köthető
- Gyorsan, mintegy 100-300 ms-mal egy **grammatikai sértés** (kifejezések struktúrájának megszegése) után megjelenő hullám
- Bár az ily módon kiváltott válasz amplitúdója **nagyobb a baloldalon**, megjelenése lehet kétoldali is

N400

- Az N400 komponens **centrális-parietális** eloszlást követ 300-500 ms-mal az inger bemutatása után
- Általában nagyobb amplitúdóval a jobb, mint a bal félteke fölött, bár hasított-agyú betegek esetei azt mutatják, hogy a hullám megjelenése bal-félteke függő
- Kiváltója a **szemantikus elvárások megsértése**, így tehát mondatok feldolgozása esetén **a mondat utolsó szavát követően jelenik meg**
- **Szemantikailag helyes, ugyanakkor ritka szavak, szópárok vagy mondatok is kiváltják** a hullámot
- Annál nagyobb a komponens amplitúdója, minél durvább sértés történt
- Bár az N400 tipikusan egy nyelvi kiváltott válasz, nem-nyelvi tartalmak hatására is megjelenhet, így például olyan vonalrajzok látványa esetén is, melyek nem illenek bele a rajzolt kontextusba

Nyelvi ERP-k /2

P600/SPS

- A szintaktikai pozitív eltolódás (Syntactic Positive Shift) **szintaktikai sértés, a mondat értelmezését nehezítő grammatikai hibák/szerkezetek, illetve „gardenpath-mondatok”** („The old man the boat”) hatására megjelenő, kései kognitív kiváltott potenciál
- Kiváltható **vizuális** (olvasás) és **auditoros** (beszéd hallgatás) modalitásban is
- A nyelvi hiba után 500-600 ms-mal éri el maximumát, általában a **centro-parietális** elektródákon, de egyes vizsgálatok frontális, illetve posterior-temporális csúcsmplitúdójú P600-ról is beszámolnak
- Olyan komplex nyelvi szerkezetek feldolgozását kíséri, melyekhez **nagyobb erőfeszítés szükséges**, akár újraaktiválva/felülvizsgálva a hallottakat a helyes jelentés elérése érdekében

ERP-k hiba detekcióra

ERN

- A hibázási negativitás (Error-related Negativity) kiváltható vizsgálati helyzetben, amikor a személyek **inkorrekt választ** adnak
- **Frontocentrális** eloszlású hullám (ACC – anterior cinguláris kéreg), mely 50 ms-mal a válaszadás után éri el maximumát
- Nem magához az ingerhez, hanem **a válaszhoz kötött**
- Az ERN nem csak hibázás esetén váltható ki, hanem az inkorrekt válaszra adott negatív feedback által is, továbbá akkor, ha más személyeket látunk hibás választ adni
- Az ERN megjelenése **a válaszok monitorozását**, illetve **a szándékolt és a valós válasz közötti konfliktust jelzi**
- **Amplitúdójának maximuma nagyobb, ha a válasz reakcióideje gyorsabb**, jelezve az elhamarkodott feldolgozást.

ERP

- A hibázási negativitást gyakran követi egy pozitív komponens is (ERP, Error-related Positivity)
- Míg a hibázási pozitivitás esetén a hiba elkövetése mindig tudatosul, és együtt jár a hibázás élményével, ez a **hibázási negativitás esetén nem minden esetben tudatosul**

Válasz-függő kiváltott potenciálok

LRP

- A lateralizált készenléti potenciál (Lateralized Readiness Potential) akkor jelentkezik, ha a személyeknek **motoros választ kell adniuk egy feladat elvégzése közben, és ennek kivitelezésére fel vannak készülve**
- Az LRP néhánytól több száz ms-mal a tényleges **mozgásválasz elindítása előtti lassú, negatív hullám a frontális-centrális** (pl. elsődleges motoros kéreg) területeken
- Megjelenése **a motoros választ adó testrésszel ellentétes féltekéhez köthető**, jól használható kognitív vizsgálatok kivitelezéséhez, könnyen elkülöníthető más eseményhez kötött potenciáloktól
- **Minél nagyobb az amplitúdója az inger bemutatásának pillanatában, annál gyorsabb lesz az ingert követő motoros válasz**
- Van **egy LRP-küszöb**, ami **felett az előkészített mozgás mindenképpen végrehajtódik**, sokak szerint megkérdőjelezve ezzel a szabad akarat meglétét embereknél
- Több komponense van, a koraiak nem érik el a tudatosulás szintjét.

Válasz-függő kiváltott potenciálok /2

CNV

- Az eseményfüggő negatív változás (Contingent Negative Variation) egy kiterjedt, **lassú negatív** potenciálváltozás a **frontális** és **parietális** területek feletti skalpelektrodákon
- Olyan kísérleti paradigmák esetén váltható ki, amikor **a célingert megelőzi egy jelzőinger**
- A jelzőinger hatására a személy felkészül a célinger feldolgozására, illetve az arra adott válaszra
- A CNV hullám diagnosztikai jelentőséggel bír számos kórkép esetén (pl. Parkinson-kór, epilepszia, skizofrénia)

ERP - fMRI

- fMRI alkalmazása is lehetséges, ám hátrányai:
 - rossz időbeli felbontás,
 - a véroxigén szint dinamikája nem feltétlenül **egyezik a neurális tevékenységgel**,
 - valamint **nem érzékeny az inger fajtájára** (újszerű, cél, általános)