

A ritmikus vizuális stimuláció, mint a vizuális figyelem mérési módszere a korai társas interakciókban

Dr. Bánki Anna

Central European University, Department of Cognitive Science

Causal Cognition Lab

Témavezető: Prof. Jonathan Kominsky

University of Vienna, Faculty of Psychology

Department of Developmental and Educational Psychology

Research Unit Developmental Psychology

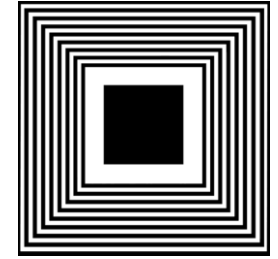
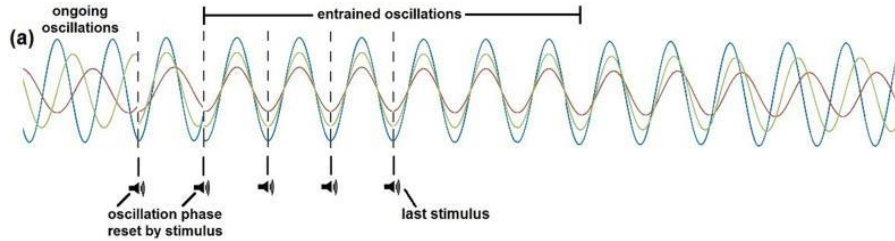
PhD Témavezető: Prof. Stefanie Höhl



© Wiener Kinderstudien

SZTE Kognitív Előadássorozat

2026. június 11.



Calderone et al., 2014

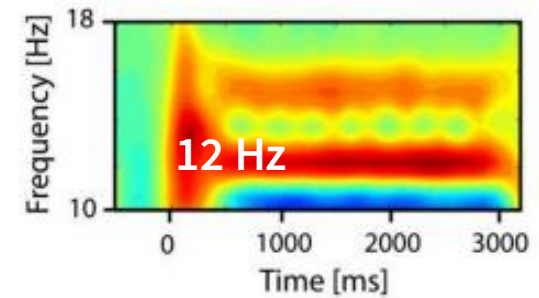
© giphy.com

Bevezetés

Ritmikus vizuális stimuláció a korai fejlődés vizsgálatában

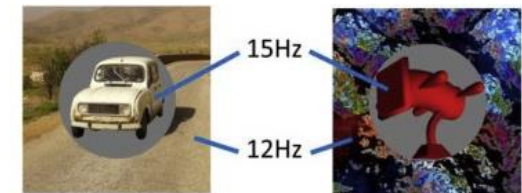
- Ritmikus vizuális stimuláció (RVS): ritmikus vizuális ingerek bemutatása → neurális 'entrainment', idegi aktivitás szinkronizációja külső ritmikus ingerekhez (Keitel et al., 2022; Lakatos et al., 2019; Nguyen et al., 2017; Obleser & Kayser, 2019)
- Neurális oszcillációk ráhangolódnak a ritmikus ingerekre szinkronizáción keresztül (Calderone et al., 2014; Keitel et al., 2022; Thut et al., 2011, 2012; Zoefel et al., 2018)
- RVS: a vizuális figyelem és észlelés mérési módszere korai fejlődés során
 - **Figyelem** (Christodoulou et al., 2018)
 - Arcfelismerés (Peykarjou et al., 2022; 2017)
 - Vizuális információkeresés (Robertson et al., 2012)

Bevezetés



Adaptáció: Köster et al., 2017

- Ritmikus vizuális stimuláció kiváltotta agyi válaszok: **Steady State Visually Evoked Potentials (SSVEPs)**, vizuálisan kiváltott potenciálok, **elektroenkefalográfiával (EEG)** mérhetőek
- Hasznos módszer vizuális és kognitív fejlődés mérésére: EEG műtermékekkel szemben robosztus, magas jel-zaj-arány, signal-to-noise ratio (SNR)
- Nem-invazív, csecsemők és gyerekek jól tolerálják
- Viselkedéses mérések: nehezebben kapcsolható közvetlenül komplex kognitív folyamatokhoz
- Idegi folyamatok közvetlen mérésére alkalmas
- Előre definiálható stimulációs frekvenciák → frekvenciatagelés



Adaptáció: Köster et al., 2017

'frequency-tagging'

Bánki et al., 2022; de Heering, 2022 [conf. presentation]; Figueira et al., 2022; Kabdebon et al., 2022; Norcia et al., 2015; Quigley, 2021; Rossion et al., 2022

Bevezetés

Elektroenkefalográfia (EEG)



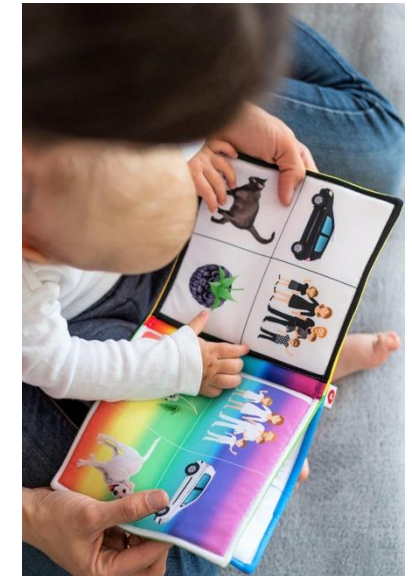
© CEU KiKo Lab



- Enkephalo (agy) + graphein (írás)
- Az agysejtek aktivitásának valós idejű rögzítése
- Elektroenkefalogram: az EEG által a fejbőr mentén rögzített jel, amely többkomponensű, periodikus hullámformaként írható le
- Nem invazív, viselkedés közben, valós időben, mintavételezés: 1 ms (1000 Hz) vagy annál jobb
- Közvetlenül ábrázolja az információk integrációját az idegsejtekben
- Az agykéreg felszínén zajló aktivitás, az agy mélyére nem lát be!
- Térbeli érzékenység: változó, a sejtek helyétől és tájolásától függően, 10 mikron
- Alacsony költség, más módszerekhez képest kiváló hordozhatóság

Elméleti háttér

- Korábbi RVS kutatások csecsemőkkel, gyerekekkel:
 - Vizuális rendszer, látás fejlődése – e.g., Ahtola et al., 2020; Braddick et al., 1983; Morrone et al., 1993; Norcia & Tyler, 1985
 - Figyelem – e.g., Christodoulou et al., 2018; Robertson et al., 2012
 - (Arc) kategorizálás & megkülönböztetés – e.g., Bertels et al., 2020; de Heering & Rossion, 2015; Peykarjou et al., 2017
 - Kognitív fejlődés – e.g., Libertus et al., 2011; Lochy & Schiltz, 2019; Köster et al., 2019
 - RVS válasz tulajdonságainak fejlődése – e.g., Birca et al., 2006; Lee et al., 2012; Sokol et al., 1992



© pixabay.com

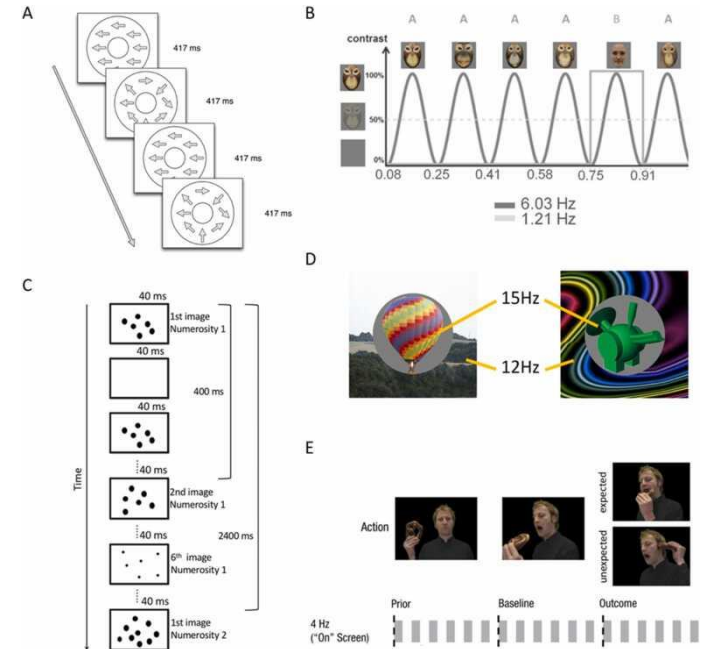


Rhythmic visual stimulation as a window into early brain development: A systematic review

Moritz Köster^{a,*,1}, Alicja Brzozowska^{b,1}, Anna Bánki^b, Markus Tünte^b, Emma Kate Ward^c, Stefanie Hoehl^b

Elméleti háttér

- Módszertani szempontok:
 - Stimuláció formái, kutatási paradigmák
 - Frekvenciák kiválasztása, elemzési módszerek
- Kutatási irányok:
 - RVS hatásai – funkcionális oszcillációk, viselkedéses válaszok
 - RVS lehetőségei: agyi fejlődés megértése; neuro-kognitív felmérések
- Disszertáció motivációja:
 - **Kevés RVS kutatás csecsemők figyelmének és szociális-kognitív fejlődésének mérésére** – e.g., Arioli et al., 2025; Baccolo et al., 2023; Christodoulou et al., 2018; Köster et al., 2021; Robertson et al., 2012; Tebbe et al., 2024
 - **RVS a magasabb szintű kogníció & korai szociális interakciók (i.e., közös figyelem) mérésére?**





© pixabay.com

Empirikus Kutatások

Disszertáció célkitűzései

- RVS módszer alkalmazása vizuális figyelem és észlelés mérésére korai társas interakciókban
- Korábbi kutatások nem alkalmaztak RVS-t **szociális helyzetek mérésére** interaktív **szociális fejlődési idegtudományi paradigmákban**
- RVS használata & SSVEPs mérése EEG-vel az agyi folyamatok megértésére **közös vizuális figyelmi helyzetben**
 - Study 1: **RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet kommunikatív jelzésekkel**, páros EEG
 - Study 2: **RVS mérés: kulturális különbségek babák vizuális figyelmében**, EEG

Hoehl et al., 2014; Hoehl & Bertenthal, 2021; Hoehl & Markova, 2018; Hutman et al., 2015; Markova et al., 2019; Mundy, 2018; Wass et al., 2020, 2022



© pixabay.com

Empirikus Kutatások

Korai társas interakciók

- Közös figyelem - Joint Attention (JA): figyelem szociális koordinációja, 6 hónapos kortól (Mundy, 2018; Sipošova & Carpenter, 2019)
- Dinamikus folyamat & kölcsönös predikciók baba és szülő között (Hoehl & Bertenthal, 2021)
- Baba-szülő szociális interakciók vizsgálata → új irány: természetes, mindennapi helyzetekben (Markova et al., 2019; Norton et al., 2022; Wass & Goupil, 2022; Wass et al., 2022)
- Babák is alakítják a szociális helyzeteket → szociális készségek fejlődése (Bergus & Southgate, 2018; Boyer et al., 2020; Hoehl & Bertenthal, 2021; Lancaster & Wass, 2025; Raz & Saxe, 2020; Shneidman & Woodward, 2016; Wass et al., 2024)
- A közös figyelem finom viselkedéses és agyi dinamikájának vizsgálata korai interakciókban (Wass et al., 2018; Phillips et al., 2023, 2025) → második személyű megközelítés (De Felice et al., 2024; Schilbach et al., 2013)
- Korábban: babák egyéni agyi válaszai (Michel & Thiele, 2025; Rayson et al., 2019); képernyős paradigmák

Empirikus Kutatások

Közös módszertan

- Kutatási résztvevők: anya-baba párok
- Babák életkora: 11 hónap 0 nap – 12 hónap 30 nap
- Kutatási feladat: vibráló képek megfigyelése (i.e., képek tárgyakkal és háttérrel)
- Kísérleti feltételek: közös figyelem (JA) interakcióval vs. interakció nélkül
- EEG: Smarting mobil EEG (mBrainTrain, Serbia)
- Mért változó: RVS agyi válasz - Steady-State Visually Evoked Potentials (SSVEPs)
- Viselkedéses mikro-kódolás: Interact (Mangold International GmbH, 2018)



© Wiener Kinderstudien



© mBrainTrain

Communicative signals during joint attention promote neural processes of infants and caregivers

Anna Bánki^{a,*}, Moritz Köster^{b,c}, Radoslaw Martin Cichy^c, Stefanie Hoehl^a

1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

• Háttér:

- Kommunikatív jelzések: elősegítik a babák szociális és tartós figyelmét (Siposova & Carpenter, 2019; Sun & Yoshida, 2022; Wahl et al., 2013)
- Szemkontaktus: fokozza a babák vizuális ingerekre adott agyi válaszait (Hoehl et al., 2014; Hutman et al., 2016; Reid et al., 2004) & elősegíti a tárgyakról való tanulást (Thiele et al., 2021)
- 12 hónapos babák tárgyakra irányuló tartós figyelmét fokozza a szüleik agyi reaktivitása (Wass et al., 2018), míg a babák agyi válaszai előre jelzik a szülők azonos tárgyakra irányuló figyelmének időtartamát (Phillips et al., 2025) közös játék során
- A figyelem összehangolódása és a kommunikatív jelzések elősegítik az agyi szinkronizációt – időben egybeeső agyi aktivitásmintázatokat (Hoehl et al., 2025; Piazza et al., 2020; Wass et al., 2020)



© pixabay.com

1. Kutatás



© Wiener Kinderstudien

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

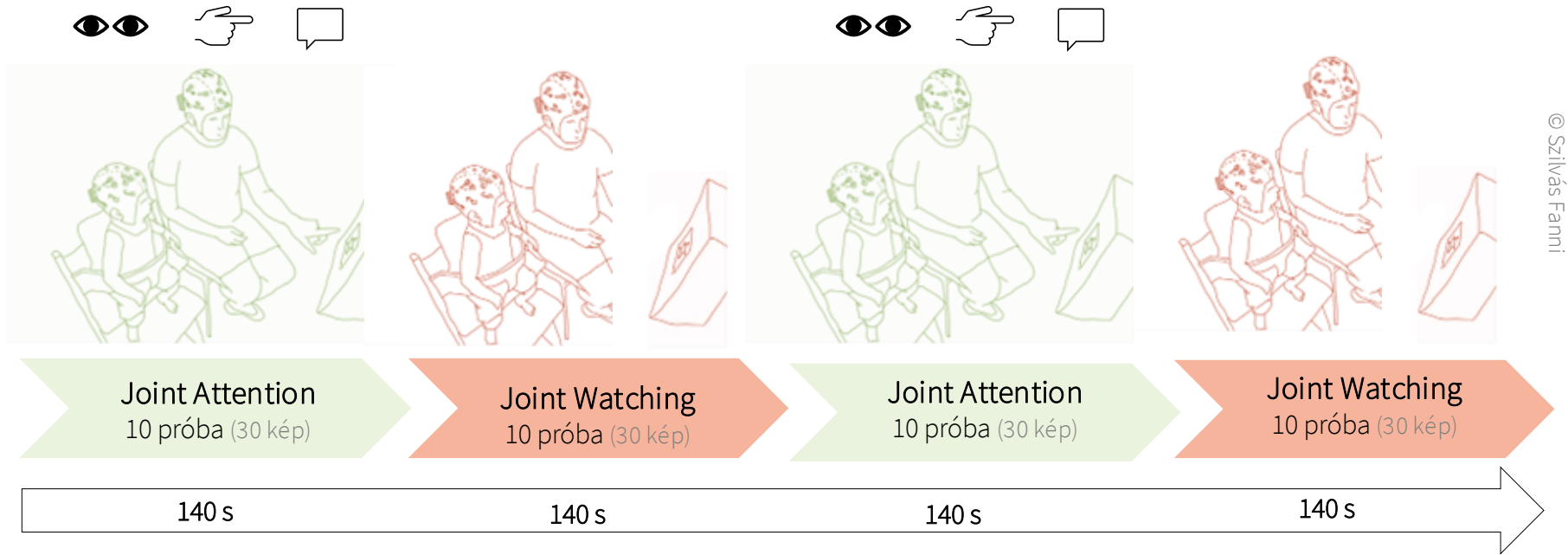
- Kommunikatív jelzések elősegítik:
 - Vizuális figyelmet?
 - Vizuális közös figyelmet – kölcsönös agyi folyamatokat, agyi szinkronizációt?
- Kommunikatív jelzések a közös figyelmi helyzetben fokozzák:
 - **H1:** Baba és anya **agyi válaszait** (SSVEPs) (Gulbinaite et al., 2019; Robertson et al., 2012)
 - **H2:** Baba és anya **agyi szinkronizációját** (SSVEP amplitúdóburkoló korreláció, Amplitude Envelope Correlations, AECs) baba és anya között (Gugnowska et al., 2022; Zamm et al., 2018, 2021)



Cichy et al., 2016

1. Kutatás

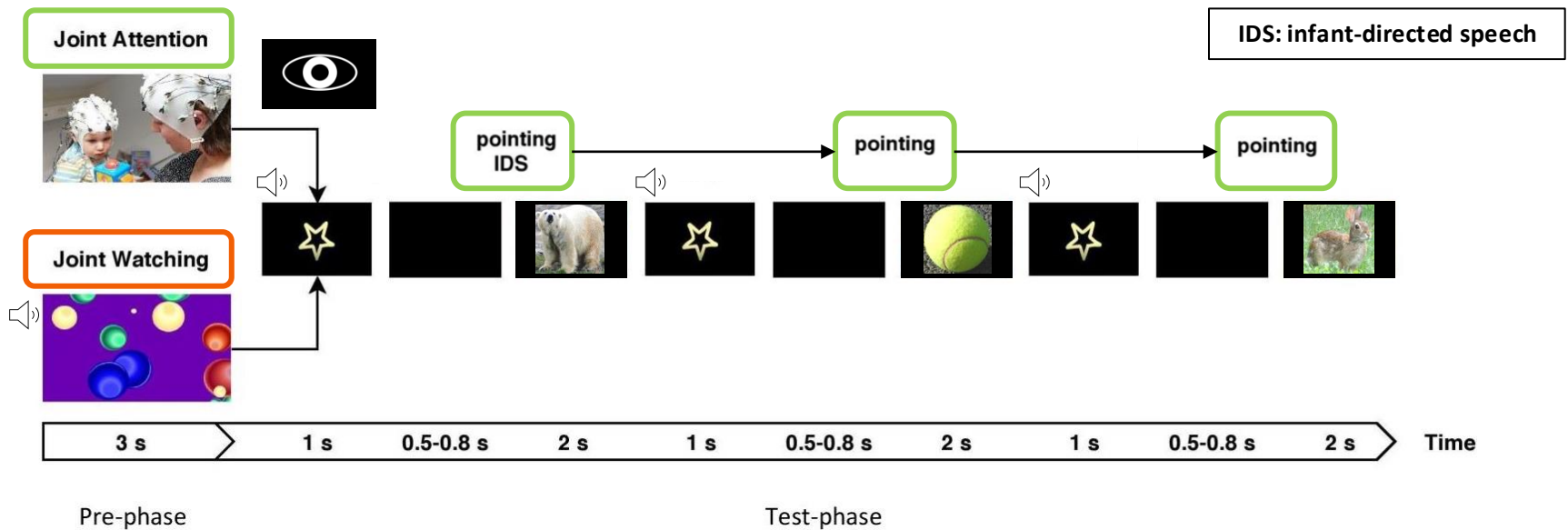
- Kutatási résztvevők: anya-baba párok ($n = 49$)
- Kísérleti ingerek: 4 Hz frekvenciával vibráló képek – theta agyhullám - EEG (Begus, 2020; Köster et al., 2019)
- Kísérleti feltételek: **Közös figyelem (JA)** / **Közös megfigyelés (JW)** – kiegyensúlyozott sorrend



1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

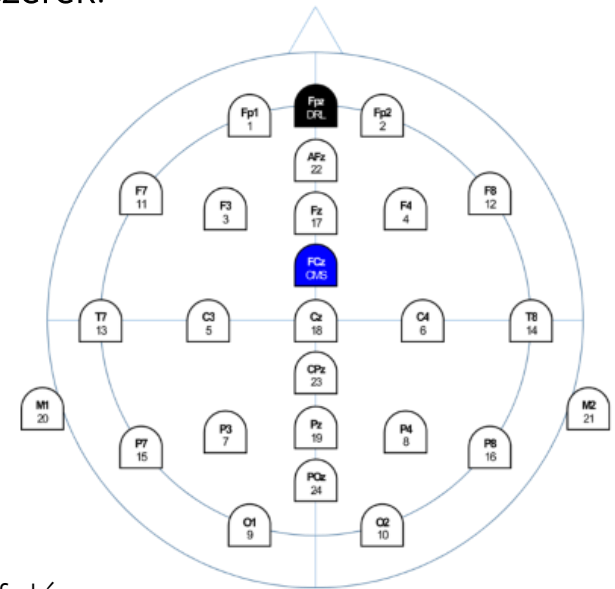
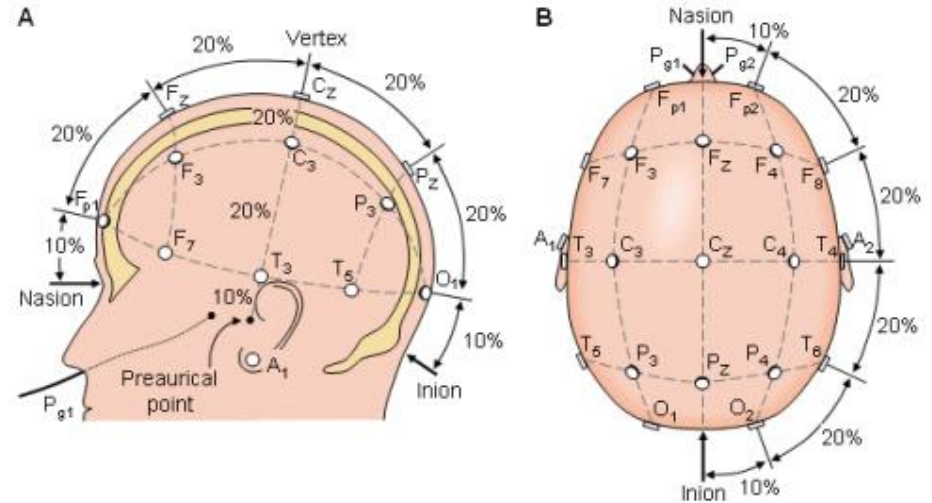
Kísérlet menete: próba felépítése



1. Kutatás

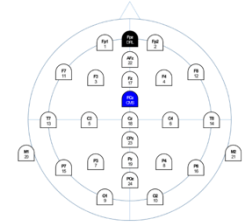
EEG koordinátarendszerek

- A csatornák számán alapuló különböző **elektrodakoordinátarendszerek**:
10/20 (<64 csatorna), 10/10 (>81 csatorna), 10/5 (>300 csatorna)
- Az elektródák egymástól való távolsága (%)
- Jobb oldal: páros, bal oldal: páratlan csatornaszámok
- F: frontális
- C: centrális
- P: parietális
- O: occipitalis
- T: temporális
- Magasabb csatornaszám: távolabb a középponttól (Cz) az oldalak felé



1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet



© EasyCap

EEG eredmények

- SSVEPs - 4 Hz ($n = 37$)

Babák:

- Centrális
- Occipitális
- Parietális

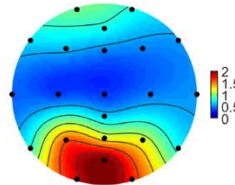
Anyák:

- Centrális
- Frontális
- Parietális

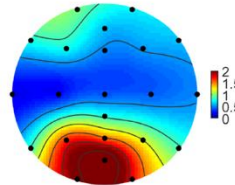
A

SSVEP (4 Hz) - Infants

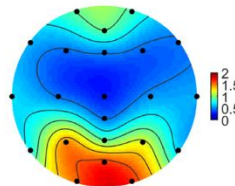
Grand mean (SNR)



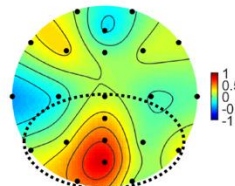
JA (SNR)



JW (SNR)



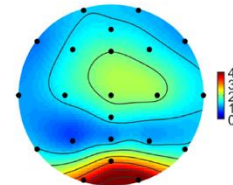
JA-JW (SNR)



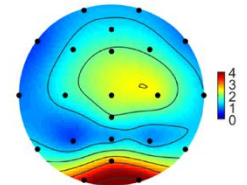
B

SSVEP (4 Hz) - Mothers

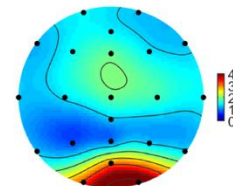
Grand mean (SNR)



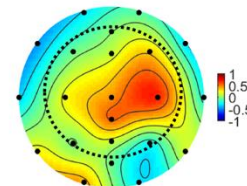
JA (SNR)



JW (SNR)



JA-JW (SNR)



EEG topográfiák. SSVEP power SNR epochok mentén: feltételek között (összesített átlag, Grand Mean: GM), egyes feltételeknél (JA, JW), és feltételek közötti különbségek esetén (JA-JW), az összes résztvevőn átlagolva. Az SNR a szomszédos frekvenciák (2, 3, 5, 6 Hz) aktivitása mint zaj felhasználása alapján került kiszámítása.

A feltételkülönbséget mutató csatornák jelölve vannak.

1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

EEG eredmények

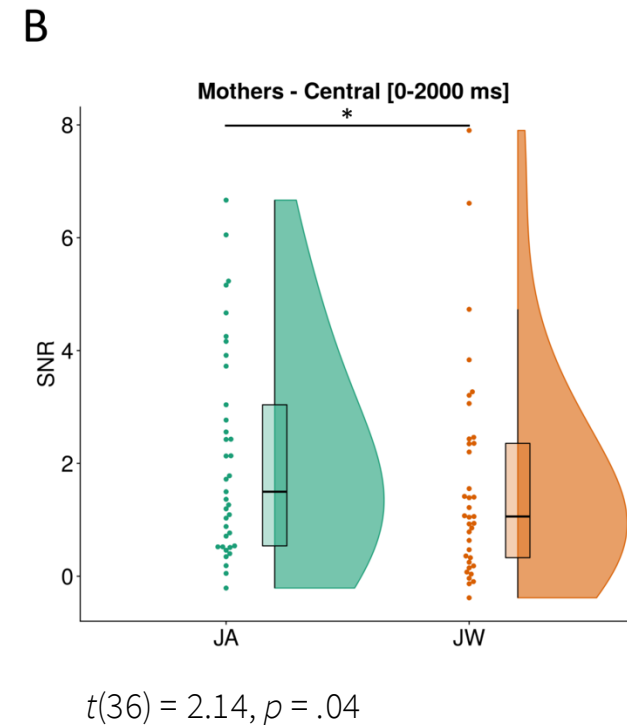
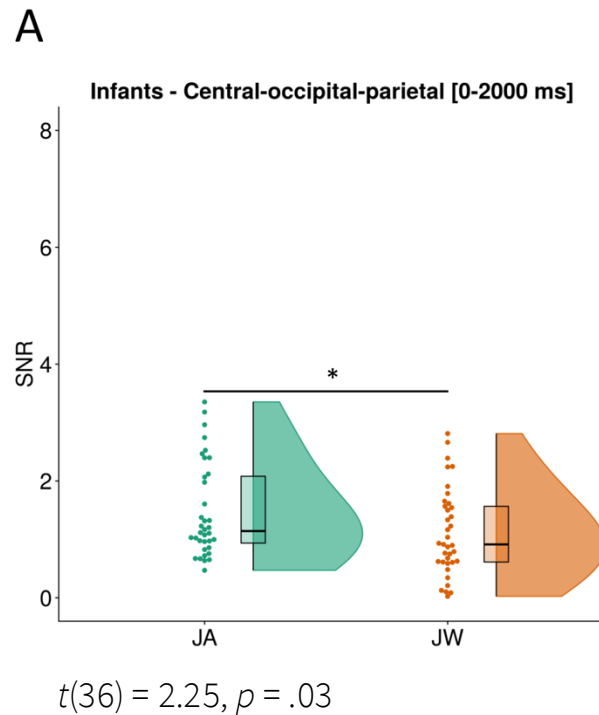
- SSVEPs - 4 Hz

Babák:

- Centrális
- Occipitális
- Parietális

Anyák:

- Centrális



1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

EEG eredmények

- SSVEPs - 4 Hz

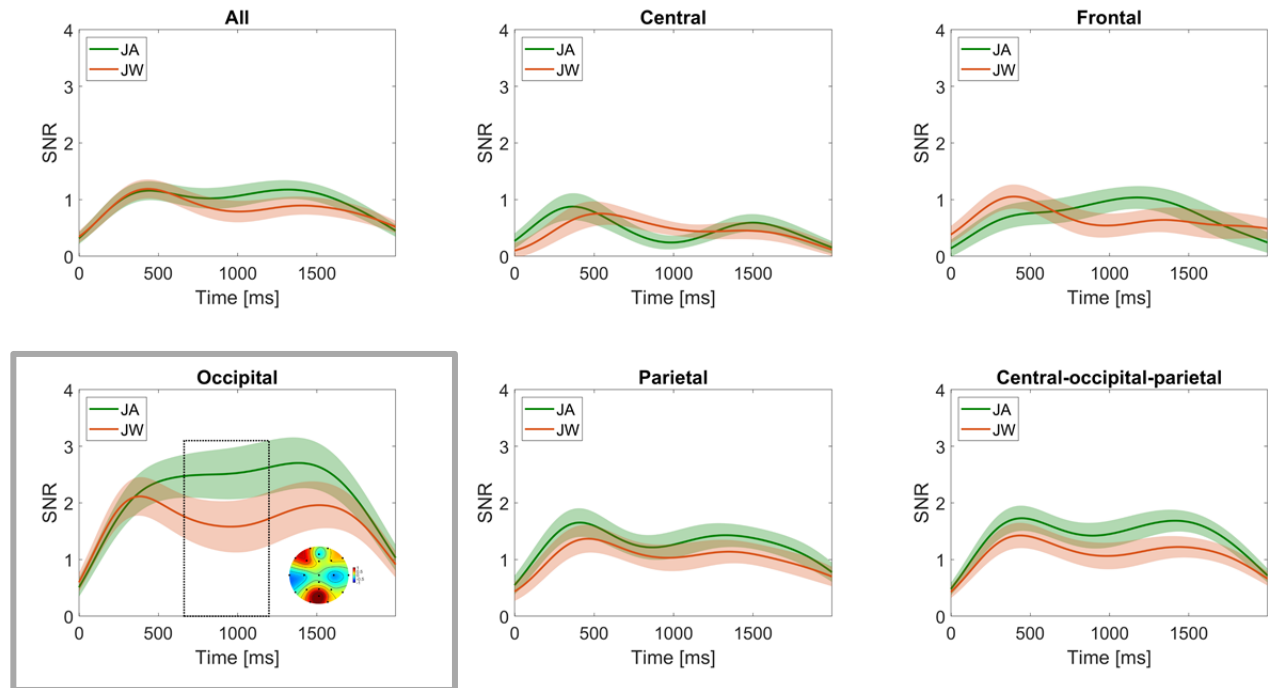
Permutációs teszt az idői dimenzió mentén:

Babák:

- Occipitális

662-1198 ms,
 $p = .04, t(\text{sums}) = 599.27$

SSVEP (4 Hz) - Infants



1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

EEG eredmények

- SSVEPs - 4 Hz

Permutációs teszt az idői dimenzió mentén:

Anyák:

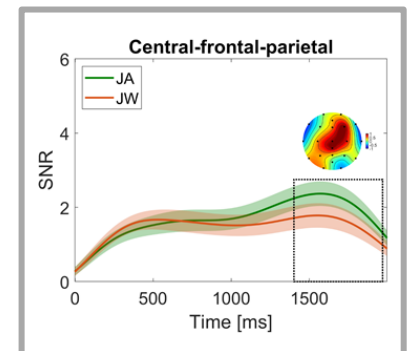
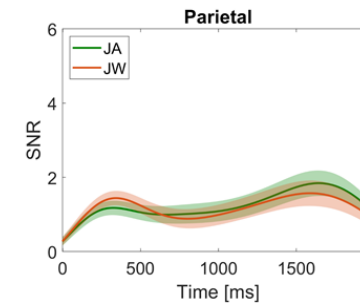
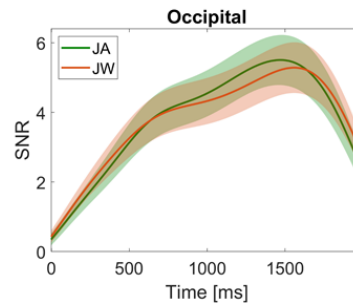
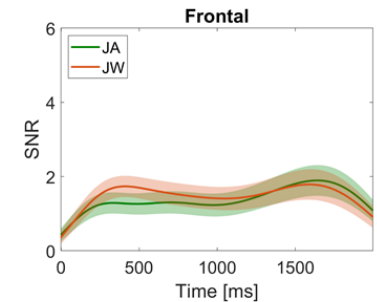
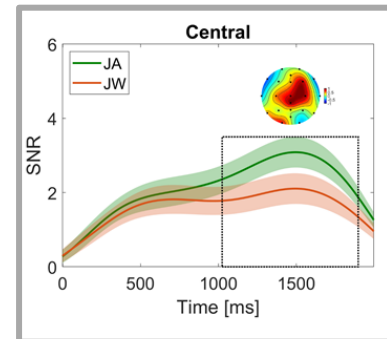
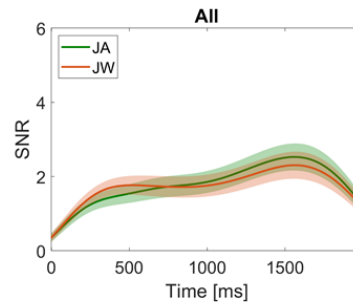
- Centrális

1024-1898 ms,
 $p = .01$, $t(\text{sums}) = 1067.65$

- Centrális-frontális-parietális

1402-1970 ms,
 $p = .03$, $t(\text{sums}) = 691.79$

SSVEP (4 Hz) - Mothers

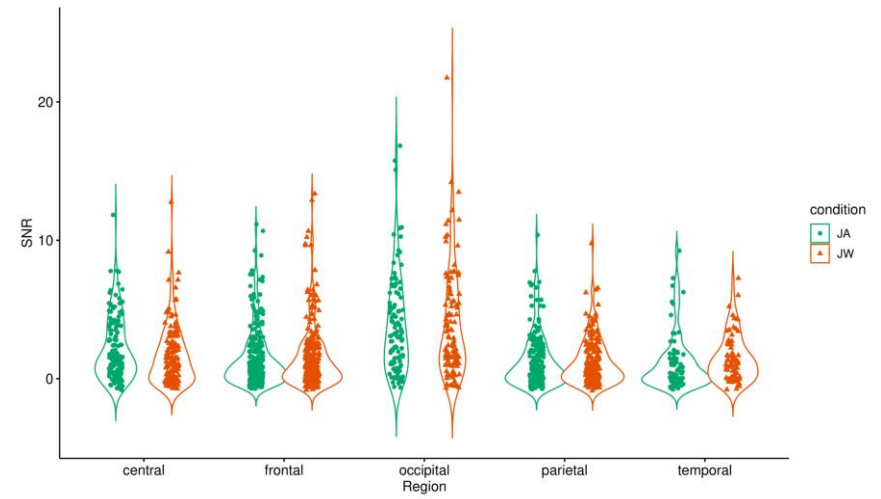
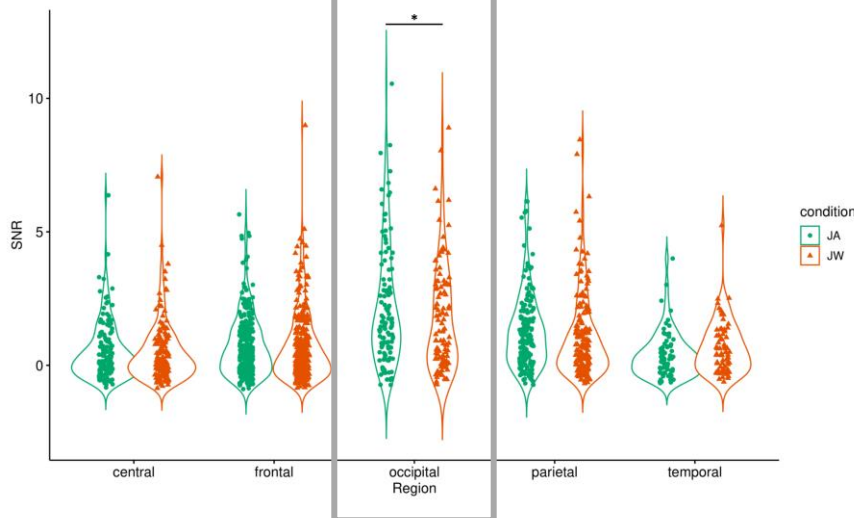


1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

EEG eredmények

- Lineáris kevert modell - Linear Mixed Model (LMM): $SNR \sim \text{feltétel} * \text{régió} + (1 | \text{részrtvevő})$
- Babák:
- Anyák:



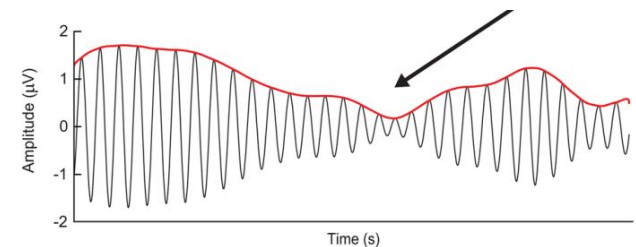
1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

SSVEP amplitúdóburkoló korreláció / amplitude envelope correlations (AECs)

- Amplitúdó burkológörbe: agyi oszcilláció Hilbert-Morlet-transzformációjának abszolút értéke
- Az időben szabályos események gyakoriságánál jelentkező aktivitásingadozásokat (a jelerősség változásait) tükrözi
- Két agyi jel amplitúdóburkológörbéi közötti korreláció: azt méri, hogy az amplitúdóingadozások milyen mértékben korrelálnak időben

Burns et al., 2000; Gugnowska et al., 2022; Hipp et al., 2012; Zamm et al., 2018, 2021, 2023



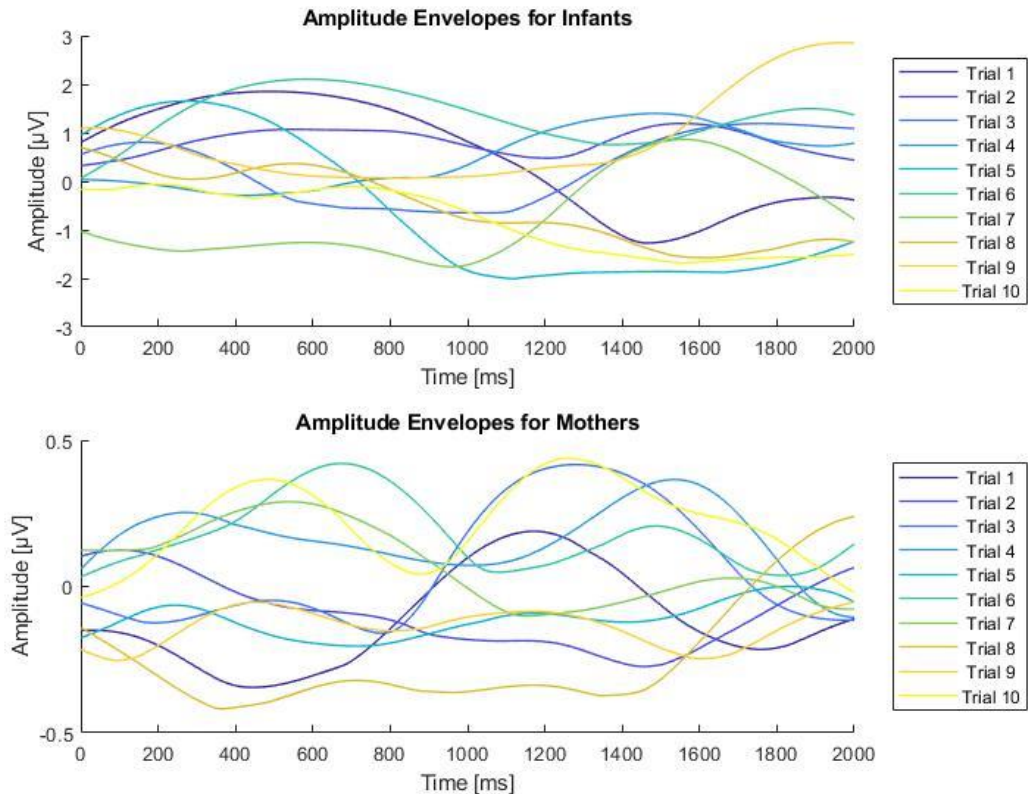
Adaptáció: Zamm et al., 2018

1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

EEG eredmények

- AECs - 4 Hz



1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

EEG eredmények

- AECs - 4 Hz
- LMM – AEC minden elektródán
- Elektródapáronként:
permutációs teszt ($p > .05$)

Results of LMM for epoch-level AECs on all channels

Fixed Effects

Estimates

Term	Estimate	SE	df	t	p
Intercept	0.008	0.02	798	0.38	0.71
Condition (JA)	-0.006	0.02	798	-0.26	0.8

Results of LMM for epoch-level AECs on all channels

Estimated Marginal Means

Condition	Estimate	SE	95% CI	
			Lower	Upper
Intercept	0.003	0.03	-0.06	0.07
Condition (JA)	0.014	0.03	-0.05	0.07

1. Kutatás

RVS mérés: anya-baba közös figyelmi helyzet

Diszkusszió

- A kommunikatív jelzések fokozzák az anya–baba párok tárgyakra irányuló figyelmét (4 Hz-en mért agyi válaszok).
- A kommunikatív jelzésekkel kísért közös figyelem támogatja a 12 hónapos babák vizuális információfeldolgozását neurális szinten, valamint fokozza az anyák figyelmét és szociális-kommunikatív bevonódását
- A kommunikatív jelzések azonban nem növelték az amplitúdóburkoló-korrelációval (AEC) mért anya-baba agyi szinkronizációt.
- **RVS:** ígéretes eszköz a szülő-baba párok agyi dinamikájának vizsgálatára mindennapos közös figyelmi interakciók során.
- További kutatások szükségesek: kommunikatív jelzések hatása az agyi szinkronizációra



© Wiener Kinderstudien

2. Kutatás

Cross-cultural differences in visual object and background processing in the infant brain

Moritz Köster^{a,b,c}, Anna Bánki^a, Daiki Yamasaki^b, Masaharu Kato^a, Shoji Itakura^{b,e,*}, Stefanie Hoehl^{d,*}

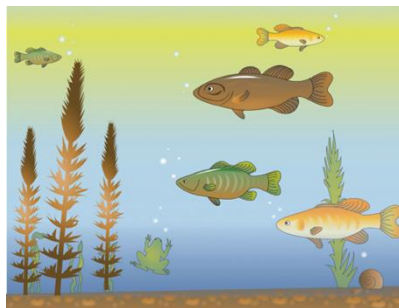
RVS mérés: kulturális különbségek babák vizuális figyelmében

- Résztvevők: babák ($n = 49$ Ausztria; $n = 46$ Japán)
- Háttér: kulturális különbségek a kontextus-érzékenységben

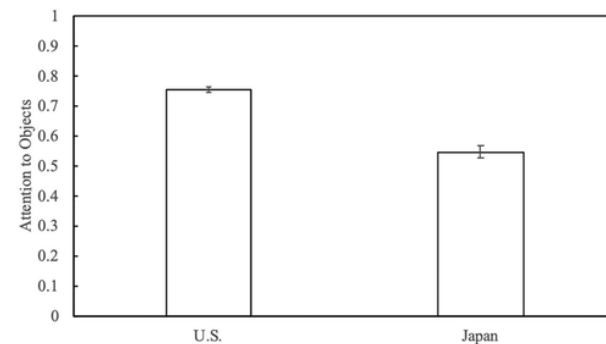
(Imada et al., 2013; Masuda & Nisbett, 2001; Senzaki et al., 2025; Senzaki & Shimizu, 2022)



© perplexity.ai



Masuda & Nisbett, 2001

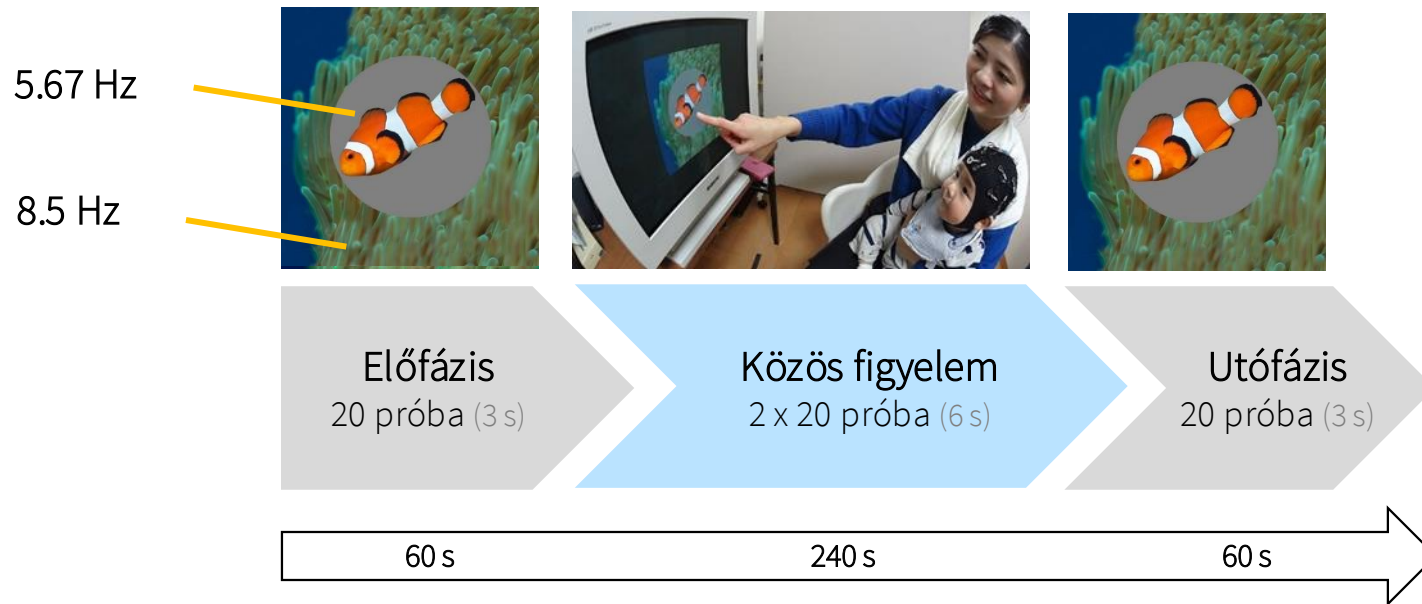


Senzaki & Shimizu, 2020

2. Kutatás

RVS mérés: kulturális különbségek babák vizuális figyelmében

Kísérlet menete

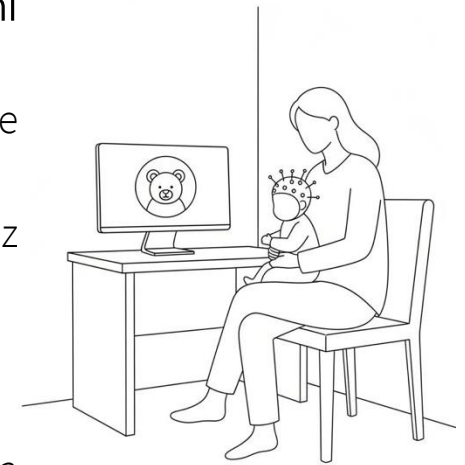


2. Kutatás

RVS mérés: kulturális különbségek babák vizuális figyelmében

Hipotézisek

- H1: Az anyai figyelemirányítás hatással van a babák vizuális figyelmi stílusára
 - Magasabb SSVEP agyi válaszok a megmutatott képi elemre (tárgy/háttér) vs. nem megmutatott elemre
 - A tárgyra/háttérre adott SSVEP agyi válasz változása az előfázis és az utófázis között
- H2: Kultúra-specifikus figyelemirányítás (Masuda & Nisbett, 2001)
 - Az anyai figyelemirányítás kultúra-specifikusan eltér, amely kihat a babák SSVEP agyi válaszára



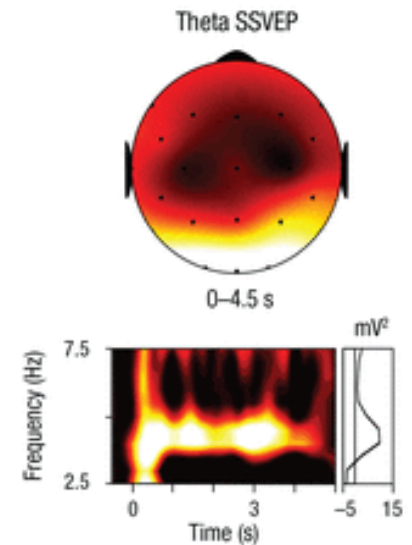
© perplexity.ai

2. Kutatás

RVS mérés: kulturális különbségek babák vizuális figyelmében

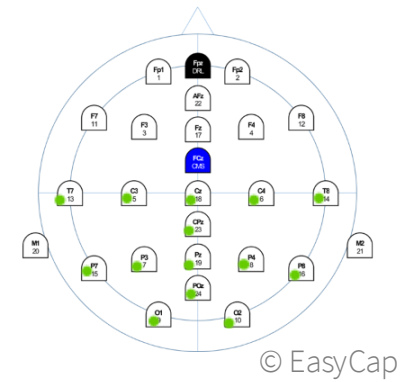
SSVEP amplitúdó

- Próbák EEG adatainak átlagolása/feltétel: eseményhez kötött potenciál, **event-related potential (ERP)** →
- **Idő-frekvencia elemzés:** komplex Morlet transzformáció
- Hogyan változik az amplitúdó (v. teljesítmény) az idő függvényében a különböző frekvenciákon
- **Amplitúdó, evoked spectral power** kiszámítása



Köster et al., 2019

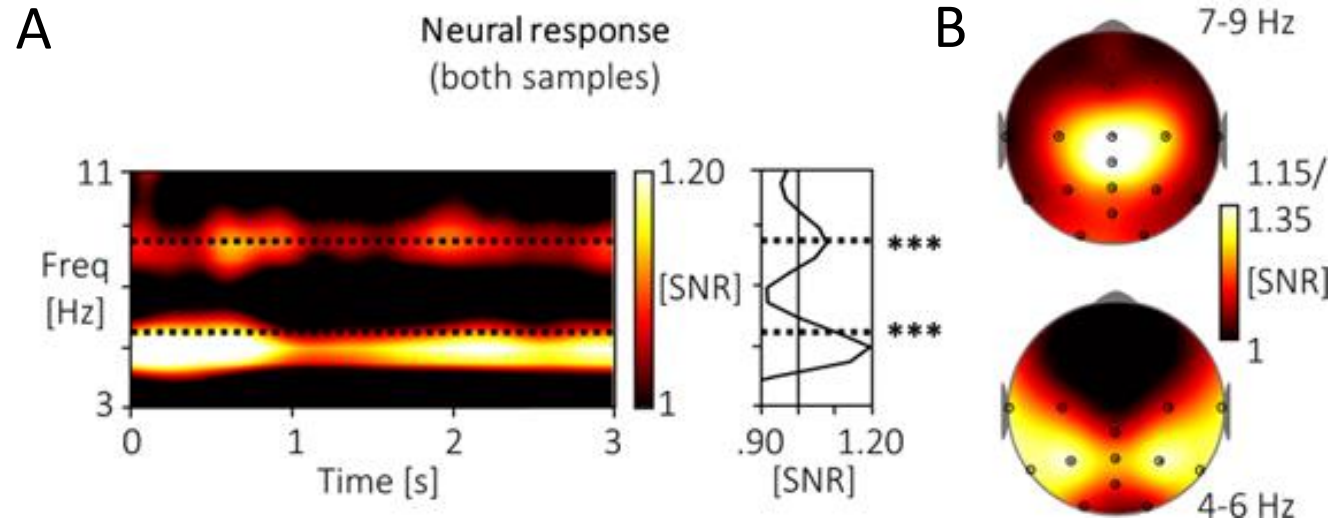
Choi et al., 2020; Csibra & Johnson, 2007; Kaspar et al., 2010; Köster et al., 2017, 2019; Tallon-Baudry et al., 1996



2. Kutatás

RVS mérés: kulturális különbségek babák vizuális figyelmében

EEG eredmények



(A) Frekvenciatagelés: SSVEP signal-to-noise ratio (SNR) szignifikánsan nagyobb min 1 mindkét frekvencián, $p < .001$, zaj: szomszédos frekvenciák alapján, -2, -1, +1, +2 Hz.

(B) Legerősebb SNR centrális, parietális, temporális, occipitális elektródákon.

2. Kutatás

RVS mérés: kulturális különbségek babák vizuális figyelmében

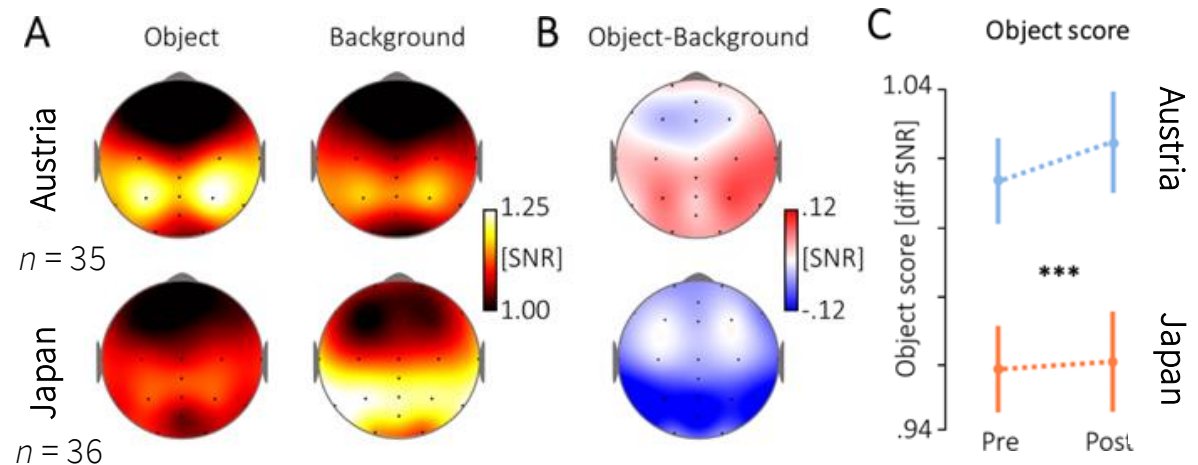
EEG eredmények (H1)

- Kultúra-specifikus vizuális figyelem

◦ Köster et al., 2017

EEG topográfiák agyi válaszok a (A) tárgy, háttér és (B) a tárgy-háttér különbség esetében. SNR elő- és utófázis átlaga.

(C) Magsabb relatív aktivitás a tárgyra (O) mint a háttérre (B), $p < .001$) Ausztriában vs Japánban, fázistól függetlenül.



2. Kutatás

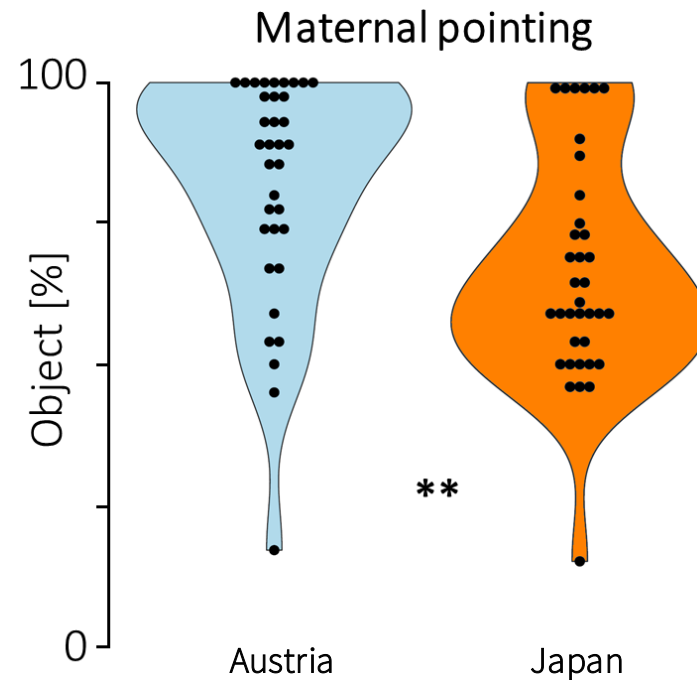
RVS mérés: kulturális különbségek babák vizuális figyelmében

Viselkedési eredmények (H2)

- Kutúra-specifikus anyai figyelemirányítás

- Senzaki & Shimizu, 2022; Jurkat et al., 2021

Tárgyra mutates gyakorisága (%). Ausztriai anyák ($n = 35$) gyakrabban irányítják a babák figyelmét a tárgyra, mint a japán anyák ($n = 36$), $t(69) = 3.27$, $p = .002$, $d = .78$





© Anna Bánki

2. Kutatás

RVS mérés: kulturális különbségek babák vizuális figyelmében

Diszkusszió

- A vizuális figyelem kultúraspecifikus különbségei már 12 hónapos korban megjelennek, korábban mint ahogy eddig ismert (Imada et al., 2013; Köster et al., 2017), RVS használatával igazolva
- A vizuális figyelem kulturális különbségei vélhetően a korai társas interakciók verbális figyelemirányításnak köszönhetőek, amely megváltoztathatja az agyműködés dinamikáját (Astor et al., 2022; Emberson et al., 2015; Jurkat et al., 2021, 2024; Köster et al., 2020)
- Jelen kutatásban az anyai figyelemirányításnak nincs egyértelmű hatása a babák vizuális figyelmére
 - Alternatív magyarázatok – környezeti hatások, pl., kultúraspecifikus képeskönyvek (Kuwabara et al., 2025; Kuwabara & Perez, 2025); genetikai faktorok (Senzaki et al., 2025)
 - További vizsgálatok, pl. longitudinális tanulmányok szükségesek

Összegzett eredmények

• RVS a fejlődési idegtudományi kutatásban

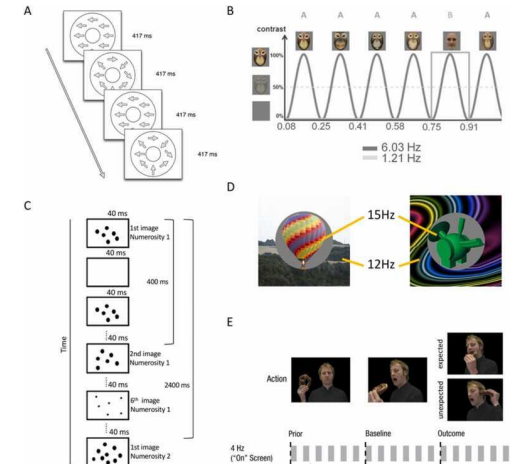
- Áttekintés & előnyök
- Elméleti kihívások & nyitott kérdések

• RVS a közös figyelem mérésére korai interakciókban (1. kutatás)

- A kommunikatív jelzések fokozzák a 12 hónapos babák és anyák vizuális-társas figyelmét
- Fokozott agyi válaszok tárgyakra kommunikatív jelzéseket követően; melyek az agyi szinkronizációt nem befolyásolták

• RVS kulturális különbségek mérésére a babák vizuális figyelmében (2. kutatás)

- 12 hónapos korban már megfigyelhetőek a vizuális figyelem terén
- Kulturális különbségek az anyai figyelemirányításban; nincs közvetlen hatása a babák figyelemstílusára(?)



© lena.org



© Anna Bánki

Perspektíva

- RVS mérés...

- Babák vizuális figyelme
- Közös figyelem társas interakciókban
- Agyi szinkronizáció



© pixabay.com



© Wiener Kinderstudien

- RVS mint eszköz...

- Szociális interakciók & agyi folyamataik mérése
- Ritmusalapú intervenciók (Haegens & Zion Golumbic, 2018; Hoehl et al., 2025)
 - Szelektív figyelemzavar (Zhang et al., 2022; Slater & Tate, 2018)
 - Autizmus spektrumzavar (Beker et al., 2021; Janzen & Thaut, 2018)
 - Diszlexia (Colling et al., 2017; Leong & Goswami, 2014)



© stock.adobe.com

Köszönet:

Vienna Children Studies
Wiener Kinderstudien

Témavezetés & kollaboráció:

Prof. Dr. Stefanie Höhl

Prof. Dr. Dr. Moritz Köster

Dr. Alicja Brzozowska

Dr. Markus Tünte

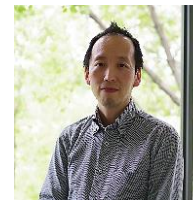
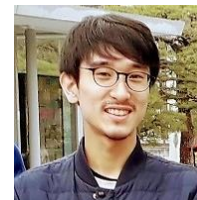
Dr. Emma K. Ward

Prof. Dr. Radoslaw Cichy

Prof. Dr. Shoji Itakura

Ass.-Prof. Dr. Daiki Yamasaki

Ass.-Prof. Dr. Masaharu Kato



Kutatói asszisztensek: Gamze Altas, Gizem Akel, Tina Duric, Chisato Fukuda, Melanie Huber, Rea Katsavou, Hannah Lunzer, Sophie Mandl, Fabian Ottolin, Sarah Paul, Isabella Röglersperger, Marlies Schermann, Franziska Stecher, Emma von Seth, Dóra Szalai, Mary Toma, Simge Türe, Lucie Zimmer

Babák & Családok