

PD 124148 Záróbeszámoló

A projekten belüli kutatások a tervezetteknek megfelelően zajlottak. A publikációs vállalásnál (1-2 publikáció/év) jelentősen több teljesült: A projekthez kapcsolódó kutatásokból 21 tanulmány jelent meg peer-review nemzetközi folyóiratban (ezek közül 16 kiemelt szerzős), valamint 20 konferenciaszereplésre került sor.

Rövid összefoglaló a megvalósult kutatásokról:

Nyolc tanulmányban a procedurális tanulás (elsajátítás, konszolidáció és átírás) folyamatának illetve az elsajátított tudás jellemzőinek feltérkepezésére fókuszáltunk:

1-2) Először is, a korábbiaknál precízebb elemzési módszerek segítségével sikerült egy részletesebb képet feltárni arról, hogy pontosan milyen információk elsajátítása történik procedurális tanulás közben. Ezt két szempontból közelítettük meg: egyrészt az elsajátított információ komplexitására fókuszáltunk (Szegedi-Hallgató, Janacsek & Nemeth, 2019, PLoS ONE), másrészt pedig arra, hogy milyen csoporton belüli illetve csoportok közötti összefüggések vannak a tanulás mértéke és más, általános teljesítmény-mutatók között (Juhász, Nemeth, & Janacsek, 2019, PLoS ONE).

3-4) Másik két kutatásunkban a megosztott figyelem procedurális tanulásra, konszolidációra és a tudás előhívására kifejtett hatását teszteltük. Az egyikben a figyelem manipulálására úgy került sor, hogy a személyek egy részét informáltuk a feladatban rejlő szabályszerűségről, így a tanulás egy része explicit tudatosság mellett valósult meg, míg ezzel párhuzamosan más szabályszerűségeket elsajátítására spontán, implicit módon került sor. Az eredményeink azt mutatták, hogy a procedurális tanulás és konszolidáció robusztus, mindkét folyamat sikeresen végbement a megosztott figyelem ellenére (Horvath, Torok, Pesthy, Nemeth, & Janacsek, 2020, Scientific Reports). A másik tanulmányban kettős terhelésű feladatot alkalmaztunk a tudás előhívása során. Eredményeink alapján a kettős terhelés nem zavarta meg a tudás előhívását, ami szintén annak robusztusságára hívja fel a figyelmet (Vekony et al., 2020, PLoS ONE).

5) Megvizsgáltuk azt is, hogy hogyan hat a tanulásra, ha a teljesítményünk különböző aspektusaira, mint például a sebességre vagy a pontosságra, figyelünk inkább. Eredményeink alapján az elsajátított procedurális tanulás olyannyira stabil, hogy függetlenül attól, hogy a teljesítmény melyik aspektusára figyelünk, a tanulás ugyanolyan mértékben megvalósul és stabil marad késleltetett tesztelés során is (Vekony, Marossy, Must, Vecsei, Janacsek & Nemeth, 2020, Cerebral Cortex Communications).

6) Másik vizsgálatunkban azt teszteltük, hogy mennyire képesek a vizsgálati személyek átvinni az elsajátított tudást egy másik kontextusra procedurális tanulási helyzetben belül. Eredményeink azt mutatják, hogy az elsajátított tudásunk olyan stabillá válik már viszonylag kevés gyakorlás után is, hogy a tudást utána alkalmazni tudjuk egy olyan feladatban is, amiben már nincs is jelen a korábban elsajátított struktúra (Kóbor, Horvath, Kardos, Nemeth & Janacsek, 2020, Cognition).

7) Nagy mintán megvizsgáltuk azt is, hogy egyéni jellemzők, mint például a szubjektív alvásminőség hogyan hat a procedurális tanulás különböző aspektusaira szemben más kognitív folyamatokkal egyetemista populációban. Nagy mintán végzett robusztus elemzéseink alapján a szubjektív alvásminőség nincs hatással a procedurális tanulásra ebben a populációban (Zavec, Nagy, Galko, Nemeth & Janacsek, 2020, Scientific reports).

8) Egy további vizsgálatunkban a procedurális tudás különböző aspektusait teszteltük egy éves késleltetés során. Az eredményeink alapján az elsajátított statisztikai szabályszerűségek robusztusak: a kezdeti tanulás elég az elsajátított tudás hosszú távú rögzüléséhez további gyakorlás nélkül is (Tóth-Fáber, Janacsek & Nemeth, 2021, Scientific reports).

Összességében, ezekben a kutatásokban kapott eredmények felhívják a figyelmet a szokások háttérében álló procedurális memória stabilitására és robusztusságára mind egyének között, mind egyéneken belül, különböző kondíciókban.

További 13 tanulmány a procedurális tanulás agyi háttérének feltárására fókuszált pszichofiziológiai, neuropszichológiai és egyéb idegtudományi módszerek segítségével:

9-10) Két EEG kutatásunkban azt vizsgáltuk, hogy milyen kiváltott potenciál markerei vannak a procedurális tanulásnak, amikor az explicit/tudatos (Kóbor et al., 2018, Biological Psychology) vagy implicit/nemtudatos (Kóbor et al., 2019, Memory & Cognition) módon történik meg. Az eredményeink azt mutatják, hogy a tanult ingerszekvenciában egyszerre több, különböző komplexitású szabályszerűséget is ki tudunk vonni, és ez a tudás megjelenik mind az N2 és a P3 markerekben is.

11) Egy további tanulmányunkban azt is teszteltük a korábban gyűjtött EEG adatok újraelemzésével, hogy a procedurális tanulás során elkövetett manuális hibákat hogyan dolgozzák fel a vizsgálati személyek. Ebben a tanulmányunkban azt találtuk, hogy a tudatos illetve automatikus hibafeldolgozás megtörténik a procedurális tanulás során, azonban ez nem specifikus az elsajátított struktúrára (Horváth et al., 2021, Journal of Psychophysiology).

12) Egy további kutatásunkban megvizsgáltuk a procedurális memória két aspektusának (szekvencia- és statisztikai tudás) konszolidációját is, amelyben alvós és nem alvós csoportokat hasonlítottunk össze, és közben EEG-vel mértük a konszolidáció agyi korrelátumait (Simor et al., 2019). A fő eredményeink alapján a frontális elektródákon mért theta frekvencia ereje összefügg a szekvenciatudással, viszont nem a statisztikai tudással.

13) Funkcionális agyi képalkotó eredményeken végzett meta-analízisünk tesztelte, hogy mely agyterületek játszanak következetesen szerepet a procedurális tanulásban. Az eredmények igazolták frontális és kisagyi területeken túl a bazális ganglionok kiemelt szerepét ebben a tanulási formában (Janacsek, Shattuck, Lum, Tagarelli, Turkeltaub & Ullman, 2020, Neuroimage).

14-15) Két további tanulmányunkban non-invazív agyi stimulációt használtunk, hogy jobban megértsük a dorzolaterális prefrontális kéreg szerepét a procedurális tanulásban és konszolidációban. Eredményeink alapján a prefrontális kéreg transzkraniális mágneses stimulációval történő gátlása a tanulás során segítette a későbbi konszolidációt (Ambrus, Vékony, Janacsek, Trimborn, Kovács & Nemeth, 2020, Journal of Memory and Language).

Másik nem-invazív agyi stimulációs vizsgálatunkban a theta oszcillációk szerepét teszteltük transzkraniális váltóáram-stimuláció segítségével, és azt találtuk, hogy ez a típusú stimuláció nem modulálta a tanulást (Zavec, Horváth, Solymosi, Janacsek & Németh, 2020, *Behavioural Brain Research*).

16) A prefrontális kéreg és a hozzá kapcsolódó hálózatok procedurális tanulásban betöltött pontosabb szerepének megértésére kiváló lehetőséget nyújtott egy olyan kísérleti design is, amelyben stressz indukciót végeztünk az irodalomban széleskörben elfogadott protokoll szerint. A kapott eredményeink azt mutatják, hogy a stressz következtében a prefrontális kéreghez kapcsolódó funkciók háttérbe szorulnak és helyettük inkább a leginkább striátumhoz (bazális ganglionokhoz) kapcsolódó automatikus válaszok kerülnek előtérbe, amik a szokások alapját is képezik. A stressz hatásában disszociációt találtunk: a statisztikai szabályszerűségek elsajátítását segítette a stressz, míg a szekvenciák elsajátítását nem (Tóth-Fáber, Janacsek, Szöllösi, Kéri, & Nemeth, 2021, *PLoS ONE*).

17) További tanulmányaink neuropszichológiai módszerek segítségével járultak hozzá annak feltérképezéséhez, hogy a frontostriális hálózatoknak milyen szerepe van a procedurális tanulásban. Ezek közül az egyik tanulmány depresszióval diagnosztizált vizsgálati személyeknél tesztelte a procedurális tanulást és az elsajátított tudás konszolidációját (Janacsek et al., 2018, *Progress in Neuropsychopharmacology & Biological Psychiatry*). Összhangban az ebben a csoportban korábban kimutatott frontostriális deficittel, a vizsgálati személyek gyengébb tanulást és konszolidációt mutattak a kontroll személyekhez képest.

18-19) Emellett két tanulmányunkban a procedurális tanulást és konszolidációt Tourette-szindrómával diagnosztizált személyeknél vizsgáltuk, mivel ebben a szindrómában a frontostriális hálózatok túlműködése várható (Takács et al., 2018, *Cortex*; Tóth-Fáber, Tárnok, Takács, Janacsek & Nemeth, 2021, *Frontiers in Human Neuroscience*). Ennek megfelelően jobb procedurális tanulást (azon belül a statisztikai szabályszerűségek elsajátítását) találtuk ebben a populációban a tipikusan fejlődő kontrollokhoz képest.

20-21) Végül pedig két összefoglaló tanulmányunkban a procedurális tanulás pszichológiai és agyi hátterét tekintettük át, és tárgyaltuk a szerepét különböző fejlődési zavarokban. A tanulmányok azt is tárgyalják, hogy a procedurális tanulási folyamatok és azok agyi hátterének jobb megértése hogyan segíthet e zavarok diagnosztizálásában és esetleges fejlesztésében (Farkas, Tóth-Fáber, Janacsek & Nemeth, 2021, *Frontiers in Human Neuroscience*; Ullman, Earle, Walenski & Janacsek, 2020, *Annual Review of Psychology*).

Összességében ezek a kutatások segítenek jobban megérteni, hogy milyen agyi hálózatok involválódnak a procedurális tanulás különböző szakaszaiban, és milyen neurális markerei vannak a tanulásnak.

A projekthez kapcsolódó lektorált angol nyelvű folyóiratközlemények (* kiemelt szerző):

A pályázati azonosító mindegyik közleményben feltüntetésre került.

Ambrus, G. G., Vekony, T., Janacsek, K.*, Trimborn, A-C., Kovacs, G., & Nemeth, D. (2020). When less is more: enhanced statistical learning of non-adjacent dependencies after disruption of bilateral DLPFC. *Journal of Memory and Language, 114*, 104144.

- Farkas, B. C., Tóth-Fáber, E., Janacsek, K.*, & Nemeth, D. (2021). A process-oriented view of procedural memory can help better understand Tourette's syndrome. *Frontiers in human neuroscience*, *15*, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.683885>
- Horvath, K., Kardos, Z., Takács, Á., Csépe, V., Nemeth, D., Janacsek, K., & Kóbor, A. (2021). Error Processing During the Online Retrieval of Probabilistic Sequence Knowledge. *Journal of Psychophysiology*, *35*(2), 61-75.
- Horvath, K., Torok, C., Pesthy, O., Nemeth, D. & Janacsek, K.* (2020). Divided attention does not affect the acquisition and consolidation of transitional probabilities. *Scientific reports*, *10*(1), article number: 22450, 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79232-y>.
- Janacsek, K.*, Borbely-Ipkovich, E., Gonda, X., & Nemeth, D. (2018). How can the depressed mind extract and remember predictive relationships of the environment? Evidence from implicit probabilistic sequence learning. *Progress in Neuropsychopharmacology & Biological Psychiatry*, *81*, 17-24.
- Janacsek, K.*, Shattuck, K. F., Lum, J. A. G., Tagarelli, K. M., Turkeltaub, P. E. & Ullman, M. T. (2020). Sequence learning in the human brain: A functional neuroanatomical meta-analysis of SRT studies. *NeuroImage*, *207*, 116387.
- Juhász, D., Nemeth, D., & Janacsek, K.* (2019). Is there more room to improve? The lifespan trajectory of procedural learning and its relationship to the between- and within-group differences in average response times. *PLoS ONE*, *14*(7), e0215116.
- Kóbor, A., Horvath, K., Kardos, Z., Nemeth, D., & Janacsek, K.* (2020). Perceiving structure in unstructured stimuli: Implicitly acquired prior knowledge impacts the processing of unpredictable transitional probabilities. *Cognition*, 104413, <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104413>.
- Kóbor, A., Horváth, K., Kardos, Z., Takács, A., Janacsek, K., Csépe, V., & Nemeth, D. (2019). Tracking the implicit acquisition of nonadjacent transitional probabilities by ERPs. *Memory & Cognition*, 1-21, doi.org/10.3758/s13421-019-00949-x.
- Kóbor, A., Takács, A., Kardos, Z., Janacsek, K., Horváth, K., Csépe, V., & Nemeth, D. (2018). ERPs differentiate the sensitivity to statistical probabilities and the learning of sequential structures during procedural learning. *Biological psychology* *135*, 180-193.
- Simor, P., Zavecz, Z., Horvath, K., Elteto, N., Török, C., Pesthy, O., Janacsek, K.* & Nemeth, D. (2019). Deconstructing Procedural Memory: Different Learning Trajectories and Consolidation of Sequence and Statistical Learning. *Frontiers in Psychology*, *9* (2708).
- Szegedi-Hallgató, E., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2019). Different levels of statistical learning- Hidden potentials of sequence learning tasks. *PloS ONE*, *14*(9), e0221966. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221966>.
- Takács, A., Kóbor, A., Chezan, J., Elteto, N., Tarnok, Z., Nemeth, D., Ullman, M. T., & Janacsek, K.* (2018). Is procedural memory enhanced in Tourette syndrome? Evidence from a sequence learning task. *Cortex*, *100*, 84-94.
- Tóth-Fáber, E., Tárnok, Z., Takács, Á., Janacsek, K.*, & Németh, D. (2021). Access to procedural memories after one year: evidence for robust memory consolidation in Tourette syndrome. *Frontiers in human neuroscience*, 458. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.715254>.
- Tóth-Fáber, E., Janacsek, K.*, Szollosi, A., Keri, S., & Nemeth, D. (2021). Regularity detection under stress: Faster extraction of probability-based regularities. *Plos ONE*, *16*(6), e0253123.
- Tóth-Fáber, E., Janacsek, K.*, & Németh, D. (2021). Statistical and sequence learning lead to persistent memory in children after a one-year offline period. *Scientific reports*, *11*, 12418.
- Ullman, M. T., Earle, S., Walenski, M., & Janacsek, K.* (2020). The neurocognition of developmental disorders of language. *Annual Review of Psychology*, *71*, 389-417.

- Vekony, T., Torok, L., Pedraza, F., Schipper, K., Pleche, C., Toth, L., Janacsek, K.*, & Nemeth, D. (2020). Retrieval of a well-established skill is resistant to distraction: evidence from an implicit probabilistic sequence learning task. *PLoS One*, *15*(12), e0243541.
- Vekony, T., Marossy, H., Must, A., Vecsei, L., Janacsek, K.*, & Nemeth, D. (2020). Speed or accuracy instructions during skill learning do not affect the acquired knowledge. *Cerebral Cortex Communications*, *1*(1), <https://doi.org/10.1093/texcom/tgaa041>.
- Zavecz, Z., Galkó, A., Nemeth, D., & Janacsek, K.* (2020). The relationship between subjective sleep quality and cognitive performance in healthy young adults: Evidence from three empirical studies. *Scientific reports*, *10* (1), 1-12, article number: 4855.
- Zavecz, Z., Horváth, K., Solymosi, P., Janacsek, K.*, & Nemeth, D. (2020). Frontal-midline theta frequency and probabilistic learning: A transcranial Alternating Current Stimulation study. *Behavioural Brain Research*, *393*, 112733.

A kutatásokhoz kapcsolódó konferenciaszereplések:

- Berta, K., Madura, Zs., Tass, A., Tóth-Fáber, E., Szöllősi, Á., Kéri, Sz., Janacsek, K. & Németh, D. (2019). Az akut stressz hatása a procedurális tanulásra. A Magyar Pszichológiai Társaság XXVIII. Országos Tudományos Nagygyűlése. 05.30-06.01., Debrecen, Magyarország.
- Gergely, A., Guttenger, A., Miko, K., Solymosi, P., Horvath, K., Nemeth, D., & Janacsek, K. (2019). The role of inhibitory control in behavior change. *XXVIIIth Congress of the Hungarian Psychological Association*, 30 May - 1 June, Debrecen.
- Guttenger, A., Horvath, K., Solymosi, P., Gergely, A., Miko, K., Nemeth, D. & Janacsek, K., (2019). Inhibitory control hinders the rewiring of habit-like procedural knowledge. *21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology (ESCOP)*, 25-28 September, Tenerife, Spain.
- Horvath, K., Solymosi, P., Abel, G., Petrencsik, L., Guttenger, A., Nemeth, D., & Janacsek., K. (2018). The role of inhibitory control and learning processes in overwriting procedural knowledge. *48th Annual meeting of Society for Neuroscience*, 3-7 November, San Diego, USA.
- Horvath, K., Gergely, A., Guttenger, A., Miko, K., Solymosi, P., Nemeth, D. & Janacsek, K., (2019). Inhibitory control hinders the rewiring of implicit statistical knowledge. *Interdisciplinary Advances in Statistical Learning 2019*, 27-29 June, San Sebastian, Spain.
- Horvath, K., Nemeth, D. & Janacsek, K. (2019). The effect of intention to learn on the acquisition and consolidation of statistical and sequence knowledge. *21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology (ESCOP)*, 25-28 September, Tenerife, Spain.
- Horvath K., Kardos Zs., Takács Á., Janacsek K., Németh D., Kóbor A. (2019). A procedurális tanulás EEG korrelátumai. A Magyar Pszichológiai Társaság XXVIII. Országos Tudományos Nagygyűlésén elhangzott szimpózium előadás, Debrecen.
- Janacsek, K., Shattuck, K. F., Tagarelli, K. M., Lum, J. A. G., Turkeltaub, P. E. & Ullman, M. T. (2018). Revealing the neural basis of sequence learning by a series of coordinate-based activation likelihood estimation meta-analyses. *48th Annual meeting of Society for Neuroscience*, 3-7 November, San Diego, USA.
- Janacsek, K., Juhasz, D. & Nemeth, D. (2019). Is there more room to improve? The lifespan trajectory of procedural learning and its relationship to the between- and within-group differences in average response times. *21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology (ESCOP)*, 25-28 September, Tenerife, Spain.

- Janacsek, K. & Nemeth, D. (2019). Procedural learning in neurodevelopmental disorders with basal ganglia abnormalities. *International Congress on Psychological Science*, 7-9 March, Paris, France.
- Kiss, M., Nemeth, D., & Janacsek, K. (2019). The role of extended practice in procedural learning. *21th Conference of the European Society for Cognitive Psychology (ESCOP)*, 25-28 September, Tenerife, Spain.
- Kiss, M., Nemeth, D., & Janacsek, K. (2019). The dynamic nature of learning: Evidence from extended practice on an implicit probabilistic sequence learning task. *Interdisciplinary Advances in Statistical Learning*. 26-28 June, San Sebastian, Spain.
- Kóbor, A., Horváth, K., Kardos, Z., Zavecz, Z., German, B., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2019). Structure detection in pseudorandom sequences: Implicit memory transfer of transitional statistics. *International Conference on Interdisciplinary Advances in Statistical Learning*, 24-27 June, San Sebastian, Spain.
- Nemeth, D., & Janacsek, K. (2019). Different learning trajectories in statistical and sequence learning – from neurodevelopment to stress induction. *Interdisciplinary Advances in Statistical Learning 2019*, 27-29 June, San Sebastian, Spain.
- Park, J., Janacsek, K., Nemeth, D., & Jeon, H. (2018). Role of the Executive Functions in Statistical Learning. *48th Annual meeting of Society for Neuroscience*, 3-7 November, San Diego, USA.
- Szegedi-Hallgató, E., Janacsek, K., & Németh, D. (2019). Different levels of statistical information in the Alternating Serial Reaction Time Task. *Interdisciplinary Advances in Statistical Learning*, 24-27 June, San Sebastian, Spain.
- Tóth-Fáber, E., Janacsek, K., Szöllösi, A., Kéri, S., & Nemeth, D. (2019). Dissociation within procedural learning under stress: boosted statistical learning but unaffected sequence learning. *21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology (ESCOP)*, 25-28 September, Tenerife, Spain.
- Tóth-Fáber, E., Janacsek, K., Szöllösi, Á., Kéri, Sz. & Németh, D. (2019). Stress Boosts Statistical Learning but Not Sequence Learning. *International Convention of Psychological Science*, 7-9 March, Paris, France.
- Zavecz, Z., Simor, P., Janacsek, K., Cohen, M.X., & Nemeth, D. (2019). Similarity of brain activity patterns during on-line and off-line periods of procedural learning predicts memory consolidation. *21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology (ESCOP)*, 25-28 September, Tenerife, Spain.
- Zavecz Z., Simor, P., Janacsek K., & Nemeth, D. (2019). Brain dynamics during the consolidation of procedural learning in quiet rest vs. sleep. *27th Annual Meeting of Israel Society for Neuroscience*, 6-8 January, Eilat, Israel.