

Vplyv subjektívnej vizuálnej senzitivity na percepciu času

Alexandra Ružičková (1), Vojtěch Juřík (1), Lenka Jurkovičová (2, 3) a Jan Páleník (1)

1 Psychologický ústav, Filozofická fakulta, Masarykova univerzita, Arna Nováka 1, Brno

2 CEITEC Masarykova Univerzita, Kamenice 5, Brno

3 1. neurologická klinika, Lékařská fakulta, Masarykova univerzita, Pekařská 53, Brno

alexandra.ruzickova@mail.muni.cz, jurik.vojtech@mail.muni.cz, jurkovicova.lenka@mail.muni.cz,
jan.palenik@mail.muni.cz

Abstrakt

Subjektívne vnímaný čas môže byť skreslený vizuálnymi vlastnosťami podnetov, ktoré sledujeme. Predošlé výskumy dokázali, že nepríjemné podnety a podnety vyvolávajúce väčšiu neurálnu odpoveď spôsobujú expanziu subjektívne vnímaného času. Nejasné zostáva, či môže byť veľkosť tohto efektu rôzna s ohľadom na individuálnu senzoryckú citlivosť pri vnímaní vizuálnych podnetov. Pre objasnenie navrhujeme inovatívny výskumný design dvoch experimentov vo virtuálnej realite (VR). Metodologické a inštrumentálne aspekty diskutované v tomto príspevku majú potenciál viesť k tvorbe nového behaviorálneho nástroja na testovanie vizuálnej senzitivity. Výstup výskumu môže pomôcť skvalitniť dizajnovanie virtuálnych a reálnych prostredí.

1 Úvod

Ľudský mozog nedisponuje špecializovaným centrom pre vnímanie času tak ako je to v prípade spracovania zmyslových vnemov (napr. Gruber a spol., 2018). Za jadrový komponent pri vnímaní časovosti sa však pokladá insulárny kortex (Mella a spol., 2019), rovnako zodpovedný za integráciu informácií o telesnom diskomforte a bolesti (Lu a spol., 2016). Pravdepodobne preto spôsobujú nepríjemné a bolestivé podnety expanziu vnímaného času (Rey a spol., 2017). Okrem toho môže byť subjektívne plynutie času na úrovni sekúnd skreslené pozornosťou, pamäťou alebo tiež zmyslovým vnímaním (Matthews a Meck, 2016). Fyzikálne vlastnosti podnetov, ako napríklad zvýšená hlasitosť a jas, podporujú význačnosť (z angl. *saliency*) a tým predlžujú ich vnímané trvanie. Manipulovaním relatívnej význačnosti podnetov pozorujeme všeobecné skreslenia vo vnímaní času, no na individuálne rozdiely pri spracovaní význačnosti samotnej sa výskum dosiaľ nezameriaval.

2 Vnímanie času a vizuálna senzitivita

Relativita subjektívneho času býva v psychológii a neurovedách najčastejšie vysvetľovaná variovaním stupňa nabudenia (angl. *arousal*) a veľkosťou neurálnej odozvy príslušného mozgového centra na prezentovaný podnet či situáciu. Predmetom diskusií je, ktorý z týchto procesov má na skreslenie subjektívneho času významnejší dopad. Modernjšie pohľady smerujú k efektívite neurálneho kódovania informačného vstupu (Eagleman a Pariyadath, 2009). Zmyslové podnety aktivujúce obsiahlejšiu oblasť nervových sietí sú na úrovni subsekúnd vnímané ako dlhšie trvajúce (Cai a spol., 2015; Kruijne a spol., 2021; Matthews a Gheorghiu, 2016). Samotná veľkosť neurálnej odpovede na zmyslové podnety sa však medzi jednotlivcami líši (Ward, 2018).

Pri interakcii s okolitým svetom rozoznávame spektrum intenzít spracovania podnetov senzoryckými (t. j. zmyslovými) systémami, súhrnne označované ako senzorycká senzitivita (Aron a Aron, 1997; Robertson a Simmons, 2013). Pól hypersenzitivity sa vyznačuje nadmerne intenzívnymi reakciami napríklad na jasné svetlá, hlasné zvuky alebo výrazné pachy. Opakom je pocit nedostatočnej zmyslovej stimulácie u hyposenzitivity. Vyhranenosť na tomto spektre sa objavuje súčasne v oboch smeroch a naprieč viacerými zmyslami. Podmienka, pre ktorú je zvýšená senzorycká senzitivita ústredná je autizmus. Autistickí jedinci vykazujú väčšiu neurálnu odozvu na senzoryckú stimuláciu (Schwarzkopf a spol., 2014), ako aj distorzie vnímania plynutia času (Allman a Meck, 2012).

Rozsah aktivácie senzoryckých centier mozgu aký má určitý podnet potenciál vyvolať, tzv. kortikálna excitabilita, reflektuje senzoryckú senzitivitu jedinca (Jurkovičová a spol., 2023; Ward, 2018; Wilkins a spol., 1984). Excitabilitu vizuálneho kortexu a vizuálnu senzoryckú senzitivitu je v laboratórnych podmienkach možné študovať pomocou *Pattern Glare Testu* (PGT; Braithwaite a spol., 2013a; Braithwaite a spol., 2013b; Wilkins a spol., 1984). Podnetmi PGT sú rôzne priestorové frekvencie (f) čierne-bielych pruhovaných vzorov. Kritickým faktorom pre aktiváciu vizuálneho kortexu je potom miera ich deviácie ($1/f$) od štruktúr

vyskytujúcich sa v prírode (Penacchio a Wilkins, 2015).

Zrakový systém je optimalizovaný pre vnímanie prírodných prostredí, čo sa manifestuje neefektívnym neurálnym spracovaním neprirodzených štruktúr urbanistickej architektúry (Le a spol., 2017). Sledovanie urbanistických budov je oproti vystaveniu prírodným motívom vystriedané obsiahlejšou aktiváciou vizuálneho kortexu a výraznejším vizuálnym diskomfortom. Odchýlka od prírodnej štruktúry spôsobujúca takýto efekt vrcholí medzi 1 – 4 cyklami za stupeň (cpd; z angl. *cycles per degree*; Huang a spol., 2011; Juricevic a spol., 2010; O'Hare a Hibbard, 2011). V prípade PGT to je práve priestorová frekvencia 2 – 3 cpd, ktorá je považovaná za najviac averzívnu a sprevádzanú najmenej efektívnou neurálnou odpoveďou (Wilkins a spol., 1984).

Aaen-Stockdale a spol. (2011) skúmali pomocou rôznych priestorových frekvencií čierneho-bieleho pruhovania vplyv novosti podnetu na skreslenie subjektívneho času. Ukázalo sa, že priestorová frekvencia 2 cpd spôsobuje expanziu subjektívneho času bez ohľadu na to či je prezentovaná v repetícii alebo ako ojedinelý podnet (obvykle vyvolávajúci väčšiu neurálnu odozvu). Iná štúdia dokladá, že zvýšená koncentrácia kyseliny gama-aminomaslovej (GABA) vo vizuálnom kortexe má za následok kontrakcie subjektívneho času (Terhune a spol., 2014). To je nosné v kombinácii so zisteniami Jurkovičovej a spol. (v revízii), že koncentrácia GABA v okcipitálnom kortexe negatívne koreluje s počtom reportovaných vizuálnych distorzii pri PGT. Vyššia miera subjektívnych zrakových distorzii odráža hyperexcitabilitu vizuálneho kortexu (Fong a spol., 2019).

3 Výskumné ciele

Prehľad literatúry podnecuje úvahy o existencii rozdielov vo vnímaní krátkych časových intervalov (v rozpätí milisekúnd až sekúnd) na základe miery citlivosti vizuálneho systému jednotlivcov. V reakcii na to navrhujeme výskumný podklad dvoma paralelnými experimentmi vo VR.

Experiment 1 bude založený na vizuálnej stimulácii modifikovaným PGT (Braithwaite a spol., 2015; Fong a spol., 2019; Wilkins a spol., 1984). Naše hypotézy sú:

(E1H1) Averzívna priestorová frekvencia 3 cpd bude spôsobovať väčšiu expanziu subjektívneho času ako vysoká (14 cpd) a nízka (0,5 cpd) priestorová frekvencia.

(E1H2) Subjektívne senzoričky senzitivnejšie ľudia budú vnímať väčšiu dilatáciu trvania averzívnej priestorovej frekvencie ako tí menej senzitivní.

(E1H3) Reportovaná kortikálna hyperexcitabilita bude pozitívne korelovať s dĺžkou subjektívneho času pri pozorovaní averzívnej priestorovej frekvencie.

V Experimente 2 budú podnetmi komplexné virtuálne prostredia – statické urbanistické alebo prírodné exteriéry. Hypotézy sú:

(E2H1) Vizuálne diskomfortná urbanistická scéna predĺži subjektívny čas významnejšie ako vizuálne komfortná prírodná scéna.

(E2H2) Vyššia subjektívna senzorička senzitivita bude spojená s najväčšou expanziou subjektívneho času v prípade sledovania diskomfortnej urbanistickej scény.

(E2H3) Subjektívne trvanie vizuálne diskomfortnej urbanistickej scény bude u jedincov reportujúcich vyššiu hyperexcitabilitu kortexu najdlhšie.

Dáta z oboch experimentov budú spracované samostatne, ale výskum na jednej vzorke nám umožní ich medzi sebou porovnať a preskúmať efekt komplexnosti podnetu. Okrem toho budeme v oboch experimentoch kontrolovať vplyv ďalších premenných, ktoré sú v úzkom vzťahu s tými študovanými – autistické črty (Haigh, 2018), spánková deprivácia (Meisel a spol., 2015), cybersickness (O'Hare a spol., 2018), biologické pohlavie a deň menštruačného cyklu (Jurkovičová a spol., v revízii; Rudroff a spol., 2020).

4 Metódy

4.1 Participanti

Výskumná vzorka bude pozostávať z neurotypických mladých dospelých (18 – 30 rokov) s normálnym alebo korigovaným videním, bez migrén alebo epileptických záchvatov v anamnéze. Pri odhadovanej veľkosti vzťahu premenných $\rho = 0,4$, požadovanej sile testu 0,9 a hladine významnosti 0,01 potrebujeme na identifikáciu signifikantného trendu približne 75 participantov. Tých oslovíme prevažne prostredníctvom sociálnych sietí a ich účasť bude dobrovoľná. Participantov tiež požiadame, aby aspoň 4 hodiny pred účasťou nepili kofeínové nápoje. Výskum bol schválený Etickým panelom Psychologického ústavu Filozofickej fakulty Masarykovej univerzity.

4.2 Materiály a podnety

4.2.1 Dotazníky

Okrem otázok na biologické pohlavie, deň menštruačného cyklu a počet hodín spánku za poslednú noc budú participanti vyplňať sériu validovaných dotazníkov zameraných na: senzoričku senzitivitu – *Glasgow Sensory Questionnaire* (GSQ; Robertson a Simmons, 2013), autistické črty – *Autism-Spectrum Quotient Short* (AQ-Short; Hoekstra a spol., 2011), kortikálnu hyperexcitabilitu – *Cortical Hyperexcitability index II* (Chi – II; Fong a spol., 2019) a cybersickness – *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ; Kennedy a spol., 2009) administrovaný štyrikrát.

4.2.2 Temporálna bisekcia

Úloha temporálnej bisekcie (angl. *Temporal Bisection Task*; TBT; Allan a Gibbon, 1991; Church a Deluty, 1977; Wearden, 1991; Wearden a Ferrara, 1995) je jedným z mnohých prístupov k študovaniu vnímania krátkych časových intervalov. V tréningovej fáze sú participanti požiadaní, aby sa naučili rozlišovať dve referenčné trvania – „Krátke“ (400 ms) a „Dlhé“ (1600 ms). V Experimente 1 budú po tieto doby prezentované čierne elipsy a v Experimente 2 tréningové virtuálne prostredie. Každý z dvoch intervalov prezentovaný 10 krát (20 prezentácií celkovo) sa objaví v pseudo-náhodnom poradí. Prvým desiatim prezentáciám bude predchádzať informácia o tom, ktoré z dvoch referenčných trvaní to bude. Ďalších desať prezentácií budú participanti kategorizovať sami. Po každom zatriedení intervalu obdržia spätnú väzbu. Odpoveď bude nasledovať tzv. medzistimulový interval (z ang. *inter-stimulus interval*; ISI). Zrakový fixačný bod v podobe bieleho štvorca bude miznúť iba pri zobrazení odpoveďového rozhrania.

Počas testovacej fázy sa k referenčným trvaniam pridá päť ďalších medzilahých intervalov (400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 ms). Ako podnety sa v Experimente 1 použijú pruhované disky modifikovaného PGT (Braithwaite et al., 2015; Fong et al., 2019; Wilkins et al., 1984). Priestorové frekvencie achromatických pruhov vyplňajúcich elipsoidy zodpovedajú 0,5 cpd (nízka frekvencia pruhovania), 3 cpd (kritická, averzívna priestorová frekvencia) a 14 cpd (vysoká frekvencia), keď je pozorovacia vzdialenosť 80 cm. Tie naše budú proporčne korešpondovať so vzdialenosťou 2,5 metra od virtuálnej steny, teda so štandardnou vzdialenosťou pre celý experimentálny beh. V Experimente 2 budú podnetmi štyri virtuálne exteriéry – 2 urbanistické a 2 prírodné – vybrané participantmi prípravnej štúdie. Z oboch kategórií zahrnieme vždy tie hodnotené ako vizuálne najviac a najmenej komfortné.

Podnety testovacej fázy budú prezentované každý osemkrát v pseudo-náhodnom poradí, čo je celkovo 392 prezentácií (E1: 7 trvaní x 3 podnety x 8 prezentácií; E2: 7 trvaní x 4 podnety x 8 prezentácií). Participanti budú podnety kategorizovať ako skôr „Krátky“ alebo skôr „Dlhý“, tentokrát bez údajov o správnosti. Odpoveď bude vyžadovaná okamžite po zmiznutí podnetu a ISI bude opäť 1000 ms.

4.3 Procedúra

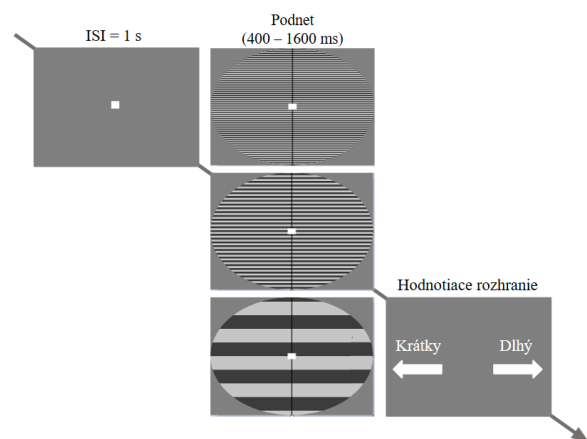
Úvodom participantom zhrnieme priebeh experimentálneho behu a upozorníme na riziko cybersickness spojené s využívaním náhlavných displejov (z angl. *head-mounted displays*; HMDs) pre naše výskumné účely (O'Hare a spol., 2018). Zdôrazníme dobrovoľnosť účasti a možnosť odstúpenia. Následne participanti podpíšu informovaný súhlas.

Expozícii vo VR bude predchádzať zodpovedanie otázok na biologické pohlavie, deň menštruačného cyklu, počet hodín spánku, počítačovej úrovne cybersickness (SSQ1) a test FrACT (Bach, 1996; 2006) ohľadom normality vnímania kontrastu. Počas expozície budú participanti sedieť na stoličke za stolom s klávesnicou, pomocou ktorej budú značiť svoje odpovede. Medzi oboma experimentami bude prestávka určená na zmiernenie novej cybersickness. Tento čas využijeme na administrovanie dotazníkov v poradí: SSQ2, AQ-Short, Chi – II, SSQ3. Následne participanti podstúpia druhý experiment vo VR. Na konci oboch experimentov vyzveme participantov k jednorázovému ohodnoteniu každého zo stimulov na škále vizuálneho komfortu: -5 („Veľmi diskomfortný“), 0 („Ani komfortný ani diskomfortný“), 5 („Veľmi komfortný“).

Na záver prebehne administrácia dotazníkov SSQ4 a GSQ a debriefing. V rámci debriefingu nás bude tiež zaujímať vnímanie paobrazov a ich možný prekryv s ďalšími podnetmi. Celá účasť zaberie zhruba hodinu a pol.

4.3.1 Experiment 1

Participanti sa budú na prostredie VR adaptovať vo virtuálnej obývacej izbe. V žiadnej fáze experimentálneho behu nebudú môcť s VR interagovať. Experiment 1 bude prebiehať v prázdnej, tmavej miestnosti so sivými stenami, v ktorej bude participant sedieť. Inštrukcie a podnety (viz Obr. 1) mu odprezentujeme na virtuálnej stene vzdialenej zhruba 2,5 metra pred ním.



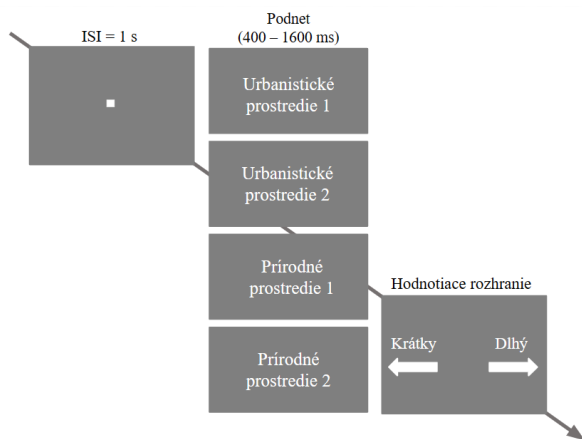
Obr. 1: Postupnosť priebehu jedného testovacieho úseku Experimentu 1.

4.3.2 Experiment 2

Pre účely Experimentu 2 zrealizujeme prípravnú štúdiu. Jej cieľom je výber predlôh pre vymodelovanie piatich virtuálnych prostredí (1 tréningové a 4 testovacie). Fotografie všeobecne neznámych urbanistických (N=25) a prírodných (N=25) prostredí budú pochádzať

z rôznych častí sveta. Pôjde o náhľady miest Google Maps. Kritériami selekcie stanovujeme najväčší vizuálny komfort prírodnej a urbanistickej scény a najväčší vizuálny diskomfort scén oboch kategórií. Tréningové prostredie získa indiferentné hodnotenie.

Adaptácia na prostredie VR bude v Experimente 2 umožnená zasadením do tréningového prostredia. Toto prostredie ďalej poslúži na memorovanie referenčných intervalov. ISI a všetky hodnotenia budú v rámci druhého experimentu prebiehať v rovnakej virtuálnej miestnosti a rovnakým spôsobom ako v Experimente 1. Priebeh jedného experimentálneho úseku je zhrnutý Obrázkom 2.



Obr. 2: Postupnosť priebehu jedného testovacieho úseku Experimentu 2.

4.4 Analýza dát

Priama reprezentácia subjektívneho času sa v TBT určuje lokalizáciou bodu temporálnej indiferencie (z angl. *temporal indifference point*; TIP). Je to trvanie podnetu, ktoré je s rovnakou pravdepodobnosťou kategorizované ako „Krátke“ alebo „Dlhé“. TIP sa počíta individuálne pre každého účastníka a pre každý druh podnetu. Všetky odpovede sú prevedené na proporcie dlhých intervalov a zakreslené do grafu ako psychometrická funkcia o siedmich bodoch. Posunutie psychometrickej funkcie oproti objektívnym dátam, tzn. skutočným trvaniam podnetov indikuje skreslenie vnímania času. Expanziu subjektívneho času reprezentuje ľavostranné posunutie psychometrickej funkcie.

Okrem výpočtu TIP dokážeme pomocou Weberovej frakcie určiť mieru citlivosti s akou účastníci čas pri TBT vnímali. Weberova frakcia je smerodajná odchýlka vydelená hodnotou TIP. Rozdiely medzi proporciami odpovedí „Dlhý“ u menej a viac vizuálne komfortných podnetov sú zachytávané indexom zvaným *d*-skóre. Pozitívna hodnota *d* vypovedá o predĺžení vnímaného trvania vizuálne diskomfortného podnetu, kým negatívne *d*-skóre svedčí o kontrakcii subjektívneho času.

Analýzou proporcií odpovedí „Dlhý“ pre trvanie každého typu podnetu porovnáme ako sa líšilo vnímané trvanie týchto podnetov navzájom. Následne budeme skúmať vzťahy medzi TIP, WF, *d*-skóre a skóre z dotazníkov na sensorickú senzitivitu a kortikálnu hyperexcitabilitu. Tieto dotazníky by mali korelovať s vizuálnym komfortom reportovaným v závere oboch experimentov pre každý typ podnetu. Vzťah očakávame za predpokladu kontroly vplyvu biologického pohlavia a počtu hodín spánku. Skreslenie vnímania času zväzíme aj z hľadiska možného efektu cybersickness. Dotazník na autistické črty a test FrACT poslúžia na vyradenie jedincov sporne spĺňajúcich kritériá zahrnutia do datasetu.

Finálne výsledky osobitných analýz dát z oboch experimentov budú môcť byť porovnané medzi sebou. Predbežne predpokladáme ich ekvivalenciu. Dáta budeme analyzovať s využitím najnovšej verzie programu R.

5 Záver

Špecifiká jednotlivca môžu mať ďalekosiahly dopad na jeho fungovanie vo svete. Sensorická senzitivita spôsobuje alterácie zmyslového vnímania premostujúce do behaviorálnych prejavov (Robertson a Simmons, 2013). Tie dokresľujú naše predstavy o takých podmienkach akou je napríklad autistické spektrum (Haigh, 2018; Robertson a Simmons, 2013). Samotné prežívanie je však vždy podkladom akéhokoľvek správania. Výskum navrhnutý v tomto príspevku je preto zameraný na rozšírenie poznatkovej základne o aspektoch prežívania sveta sensoricky senzitivnými ľuďmi.

Popisovaný výskumný dizajn poskytne dátové výstupy s potenciálom objasniť ako môže sensorická senzitivita súvisieť s vnímaním času. Dva experimenty túto otázku ďalej rozlíšia podľa úrovne komplexnosti zmyslového podnetu. V prípade že by sa po zrealizovaní výskumu naše hypotézy potvrdili, je možné jeho implikácie ďalej rozvíjať. Ak sa ukáže, že individuálne rozdiely v subjektívnom čase odkazujú k výške sensorickej senzitivity, zamýšľame v budúcnosti túto logiku otočiť a testovať mieru vizuálnej sensorickej senzitivity rýdzo behaviorálnym testom. Nasledovalo by teda štúdium jemnejších nuancií vizuálneho komfortu skresľujúceho subjektívny čas.

Inou oblasťou na ktorú by malo potvrdenie hypotéz dopad je dizajnovanie virtuálnych a skutočných prostredí. Vizuálny komfort priestorových usporiadaní by totiž dostal nový rozmer – časový. Nakoniec je vizuálny diskomfort aj najväčším limitom tohto výskumného návrhu. Hrozí, že spôsobí nadmernú experimentálnu mortalitu a tým zabráni dosiahnutiu stanovených výskumných cieľov. Napriek tomu sa však domnievame, že nami navrhnuté postupy sú realizovateľné a vedúce k experimentálnemu uchopeniu psychologickému času.

Pod'akovanie

Špeciálne pod'akovanie za rady ohľadom analýzy dát patrí Edite Chvojkovej. Za pripomienky súvisiace s realizáciou experimentov vo VR ďakujeme Pavlovi Ugwitzovi.

Literatúra

- Aaen-Stockdale, C., Hotchkiss, J., Heron, J., & Whitaker, D. (2011). Perceived time is spatial frequency dependent. *Vision Research*, *51*(11), 1232–1238.
- Allan, L. G., & Gibbon, J. (1991). Human bisection at the geometric mean. *Learning and motivation*, *22*(1-2), 39-58.
- Allman, M. J., & Meck, W. H. (2012). Pathophysiological distortions in time perception and timed performance. *Brain*, *135*(3), 656–677.
- Aron, E. N., & Aron, A. (1997). Sensory-Processing Sensitivity and Its Relation to Introversion and Emotionality. *Journal of Personality and Social Psychology*, *73*(2), 345–368.
- Bach, M. (1996). The Freiburg Visual Acuity Test—Automatic Measurement of Visual Acuity. *Optometry and Vision Science*, *73*(1), 49.
- Bach, M. (2006). The Freiburg Visual Acuity Test—Variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, *245*(7), 965–971.
- Braithwaite, J. J., Brogna, E., Bagshaw, A. P., & Wilkins, A. J. (2013a). Evidence for elevated cortical hyperexcitability and its association with out-of-body experiences in the non-clinical population: New findings from a pattern-glare task. *Cortex*, *49*(3), 793–805.
- Braithwaite, J. J., Brogna, E., Brincat, O., Stapley, L., Wilkins, A. J., & Takahashi, C. (2013b). Signs of increased cortical hyperexcitability selectively associated with spontaneous anomalous bodily experiences in a nonclinical population. *Cognitive neuropsychiatry*, *18*(6), 549-573.
- Braithwaite, J. J., Mevorach, C., & Takahashi, C. (2015). Stimulating the aberrant brain: Evidence for increased cortical hyperexcitability from a transcranial direct current stimulation (tDCS) study of individuals predisposed to anomalous perceptions. *Cortex*, *69*, 1–13.
- Cai, M. B., Eagleman, D. M., & Ma, W. J. (2015). Perceived duration is reduced by repetition but not by high-level expectation. *Journal of Vision*, *15*(13), 19.
- Church, R. M., & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *3*(3), 216–228.
- Eagleman, D. M., & Pariyadath, V. (2009). Is subjective duration a signature of coding efficiency? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1525), 1841–1851.
- Fong, C. Y., Takahashi, C., & Braithwaite, J. J. (2019). Evidence for distinct clusters of diverse anomalous experiences and their selective association with signs of elevated cortical hyperexcitability. *Consciousness and Cognition*, *71*, 1–17.
- Gruber, R. P., Smith, R. P., & Block, R. A. (2018). The Illusory Flow and Passage of Time within Consciousness: A Multidisciplinary Analysis. *Timing & Time Perception*, *6*(2), 125–153.
- Haigh, S. M. (2018). Variable sensory perception in autism. *European Journal of Neuroscience*, *47*(6), 602–609.
- Hoekstra, R. A., Vinkhuyzen, A. A. E., Wheelwright, S., Bartels, M., Boomsma, D. I., Baron-Cohen, S., Posthuma, D., & van der Sluis, S. (2011). The Construction and Validation of an Abridged Version of the Autism-Spectrum Quotient (AQ-Short). *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *41*(5), 589–596.
- Huang, J., Zong, X., Wilkins, A., Jenkins, B., Bozoki, A., & Cao, Y. (2011). fMRI evidence that precision ophthalmic tints reduce cortical hyperactivation in migraine. *Cephalalgia*, *31*(8), 925–936.
- Juricevic, I., Land, L., Wilkins, A., & Webster, M. A. (2010). Visual Discomfort and Natural Image Statistics. *Perception*, *39*(7), 884–899.
- Jurkovičová, L., Sakálošová, L., Kudlička, P., Páleník, J., Ružičková, A., Juřík, V., Mareček, R., Roman, R., Braithwaite, J. J., Sandberg, K., Near, J. P., Brázdil, M. (v revízií). *Resting GABA and glutamate concentrations in primary visual cortex and right anterior insula predict subjective visual sensitivity* [Manuskript odoslaný na publikovanie].
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (2009). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The international journal of aviation psychology*, *3*(3), 203-220.
- Kruijne, W., Olivers, C. N. L., & Rijn, H. van. (2021).

- Neural Repetition Suppression Modulates Time Perception: Evidence From Electrophysiology and Pupillometry. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 33(7), 1230–1252.
- Le, A. T. D., Payne, J., Clarke, C., Kelly, M. A., Prudenziati, F., Armsby, E., Penacchio, O., & Wilkins, A. J. (2017). Discomfort from urban scenes: Metabolic consequences. *Landscape and Urban Planning*, 160, 61–68.
- Lu, C., Yang, T., Zhao, H., Zhang, M., Meng, F., Fu, H., Xie, Y., & Xu, H. (2016). Insular Cortex is Critical for the Perception, Modulation, and Chronification of Pain. *Neuroscience Bulletin*, 32(2), 191–201.
- Matthews, W. J., & Gheorghiu, A. I. (2016). Repetition, expectation, and the perception of time. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 110–116.
- Matthews, W. J., & Meck, W. H. (2016). Temporal cognition: Connecting subjective time to perception, attention, and memory. *Psychological Bulletin*, 142(8), 865.
- Meisel, C., Schulze-Bonhage, A., Freestone, D., Cook, M. J., Achermann, P., & Plenz, D. (2015). Intrinsic excitability measures track antiepileptic drug action and uncover increasing/decreasing excitability over the wake/sleep cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(47), 14694–14699.
- Mella, N., Bourgeois, A., Perren, F., Viaccoz, A., Kliegel, M., & Picard, F. (2019). Does the insula contribute to emotion-related distortion of time? A neuropsychological approach. *Human Brain Mapping*, 40(5), 1470–1479.
- O'Hare, L., & Hibbard, P. B. (2011). Spatial frequency and visual discomfort. *Vision Research*, 51(15), 1767–1777.
- O'Hare, L., Sharp, A., Dickinson, P., Richardson, G., & Shearer, J. (2018). Investigating Head Movements Induced by 'Riloid' Patterns in Migraine and Control Groups Using a Virtual Reality Display. *Multisensory Research*, 31(8), 753–777.
- Penacchio, O., & Wilkins, A. J. (2015). Visual discomfort and the spatial distribution of Fourier energy. *Vision Research*, 108, 1–7.
- Rey, A. E., Michael, G. A., Dondas, C., Thar, M., Garcia-Larrea, L., & Mazza, S. (2017). Pain dilates time perception. *Scientific Reports*, 7(1), 1–6.
- Robertson, A. E., & Simmons, D. R. (2013). The Relationship between Sensory Sensitivity and Autistic Traits in the General Population. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(4), 775–784.
- Rudroff, T., Workman, C. D., Fietsam, A. C., & Kamholz, J. (2020). Response Variability in Transcranial Direct Current Stimulation: Why Sex Matters. *Frontiers in Psychiatry*, 11, 585.
- Schwarzkopf, D. S., Anderson, E. J., de Haas, B., White, S. J., & Rees, G. (2014). Larger Extrastriate Population Receptive Fields in Autism Spectrum Disorders. *Journal of Neuroscience*, 34(7), 2713–2724.
- Terhune, D. B., Russo, S., Near, J., Stagg, C. J., & Kadosh, R. C. (2014). GABA Predicts Time Perception. *Journal of Neuroscience*, 34(12), 4364–4370.
- Ward, J. (2018). Individual differences in sensory sensitivity: A synthesizing framework and evidence from normal variation and developmental conditions. *Cognitive neuroscience*, 10(3), 139–157.
- Wearden, J. H. (1991). Human performance on an analogue of an interval bisection task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B*, 43(1b), 59–81.
- Wearden, J. H., & Ferrara, A. (1995). Stimulus spacing effects in temporal bisection by humans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48(4), 289–310.
- Wilkins, A., Nimmo-smith, I., Tait, A., Mcmanus, C., Sala, S. D., Tilley, A., Arnold, K., Barrie, M., & Scott, S. (1984). A neurological basis for visual discomfort. *Brain*, 107(4), 989–1017.