

Bimodális kognitív interakciók érzékenysége a mentális fáradtságra

- Záró beszámoló -

Tartalom

Általános célkitűzés.....	2
1. Bimodális 2-vissza feladat vizsgálata	3
1.1. Célkitűzés	3
1.3. Eredmények	4
1.4. Összefoglalás.....	5
2. Bimodális feladatváltás vizsgálata	6
2.1 Célkitűzés	6
2.2 Módszer	6
2.3 Eredmények	7
2.4 Összefoglalás.....	8
3. Bimodális GoNogo-típusú feladat vizsgálata.....	9
3.1 Célkitűzés	9
3.2 Módszer.....	9
3.3 Eredmények.....	10
3.4 Összefoglalás.....	10
4. Bimodális stroop-típusú feladat vizsgálata.....	11
4.1 Célkitűzés	11
4.2 Módszer	11
4.3 Eredmények	11
4.4 Összefoglalás.....	12
5. Cél-orientált mozgás vizsgálata.....	12
5.1 Célkitűzés	12
5.2 Módszer.....	13
5.3 Eredmények.....	15
5.4 Összefoglalás.....	16
6. A fájdalom észlelés fáradtság-érzékenységének vizsgálata.....	16
6.1 Célkitűzés	16
6.2 Módszertan.....	17
6.3 Eredmények.....	17
6.4 Összefoglalás.....	18
7. A testséma fáradtság-érzékenységének vizsgálata.....	18
7.1 Célkitűzés	18
7.2 Módszer.....	18
7.3 Eredmények.....	19
7.4 Összefoglalás.....	20
8. Fáradtság-detekció Szívritmus variabilitás adatok alapján gépi tanulási módszerrel.....	20
8.1 Célkitűzés	20
8.2 Módszer.....	21
8.3 Eredmények.....	21
8.4 Összefoglalás.....	23
Általános összegzés	23

Általános célkitűzés

A támogatott projekt általános célja az volt, hogy a mentális, vagy kognitív fáradtsággal kapcsolatos ismereteinket olyan vizsgálatokon keresztül bővítse, amelyek kilépnek a leggyakrabban tesztelt vizuális ingermodalitásból, és nyitnak az auditoros, és a szomatoszenzoros folyamatok fáradtság érzékenységének vizsgálata felé. Elképzelésünk szerint, ezzel a megközelítéssel természetesebb, az esetleges gyakorlati használhatóság szempontjából is értékes információt nyerhetünk.

Több kísérlet, amelyet a támogatott időszak során végeztünk, közvetlenül összehasonlította az eltérő (azaz a vizuális és az auditoros) modalitású feladatokban nyújtott teljesítményt. Vizsgálta, egyrészt tehát azt, hogy a vizuális, vagy az auditoros modalitású feladat során nyújtanak a fáradt, a feladatot hosszabb ideje végző személyek rosszabb teljesítményt. Másrészt, annak a kérdésnek a vizsgálatára is lehetőség nyílt, hogy egy adott feladaton belül egyszerre jelenlévő modalitások közötti konfliktus helyzetek (pl. inkongruencia a vizuális és az auditoros ingerek között) hogyan változnak a növekvő mentális fáradtsággal összefüggésben (lásd az első négy vizsgálat eredményét).

Vizsgálatsorozatunkban, több olyan vizsgálat is szerepelt, amely új kutatási iránynak tekinthető, illetve nagyon kevés hasonló kérdéssel foglalkozó korábbi tanulmányt ismerünk. Ilyen például a 4. vizsgálat, a bimodális feladatváltás vizsgálata, amely időészlelés szempontjából hasonlította össze a vizuális és auditoros modalitást, illetve a két modalitás közötti váltás nehézségét fokozódó fáradtság szint mellett. Új típusú vizsgálat a célorientált mozgás fáradtságérzékenysége is (5. vizsgálat), amely során ugyan egy nagyon egyszerű feladat típust vizsgáltuk, de a vizuális-motoros kognitív interakciók vizsgálata elhanyagolt terület a fáradtsággal kapcsolatban, és ez az egyszerű módszertan lehetőséget adott arra, hogy a mozgás tervezés, és mozgás végrehajtás fáradékonyságát összehasonlíthassuk. Végül, szinte teljesen új kérdésfelvetésnek tekinthető az, hogy az akut mentális fáradtság hogyan változtatja meg fájdalom érzékenységünket (6. vizsgálat), vagy éppen a testsémánkat (7. vizsgálat). Az utolsó, gépi tanulással foglalkozó vizsgálat, a konkrét alkalmazhatóság irányába szeretnénk volna nyitni.

Az alapszertan az összes vizsgálatban megegyezett. Azaz egy hosszabb ideig tartó kognitív feladatot kellett a résztvevőknek teljesíteniük. Szinte az összes vizsgálatban a pszichofizikai adatok mellett regisztráltunk pszichofiziológiai adatokat (pl. EKG, elektromiogramm, pupillográfia, szemmozgás, bőr ellenállás, bőr hőmérséklet). Az alábbiakban 8 vizsgálat eredményéről számolunk be.

1. Bimodális 2-vissza feladat vizsgálata

1.1. Célkitűzés

A vizsgálatnak két fő célkitűzése volt. Az első annak a kérdésnek a vizsgálatára vonatkozott, hogy egy hosszantartó, fáradtság induktív, 2-vissza memória feladat során (Gatekeeper feladat), hogyan változik az auditoros és a vizuális ingerek interakciója. A vizsgálat másik célja az autonóm idegrendszeri aktivitás vizsgálata szívritmus variabilitás (SzRV) elemzésén keresztül, különös tekintettel, azokra a SzRV változókra, amelyek a paraszimpatikus rendszer aktivitására (pontosabban, vagus ideg aktivációra) reflektálnak.

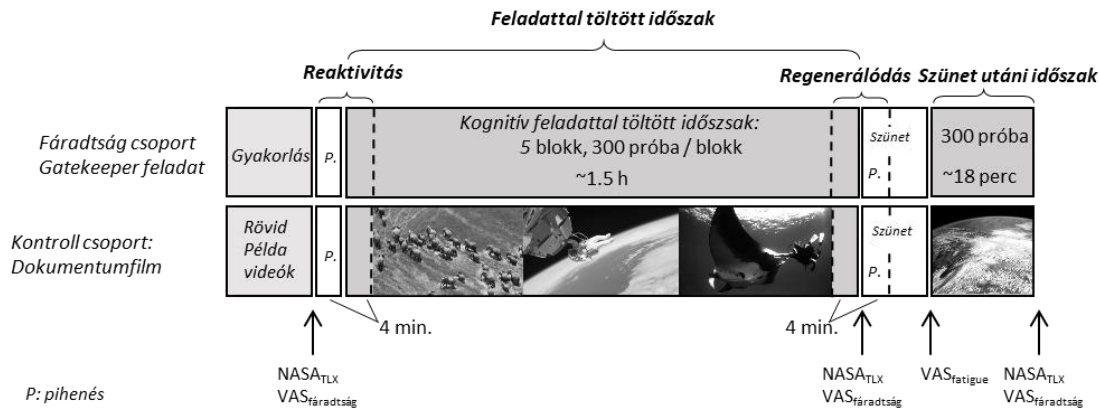
Az utóbbi célkitűzés számos szempontból volt adekvát. Egyrészt a korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a SZRV megbízható indikátora lehet a mentális fáradtságnak. Ugyanakkor nagyon sok olyan SzRV változó ismert, amelyeknek a pontos fiziológiai háttere még nincs feltárva, így a fáradtsággal való esetleges kapcsolatot nem, vagy csak nehezen helyezhetők biopszichológiai modellekbe. Így különösen kérdésessé vált a korábban szimpatikus idegrendszeri aktivációként azonosított komponensek valódi fiziológiai bázisa (pl. magas frekvenciájú SzRV). Korábbi módszertani vizsgálatok arra is utalnak, hogy csak azokat a SzRV komponenseket érdemes interpretálnunk, amelyek a paraszimpatikus rendszer aktivációjának változását követik (pl. RMSSD).

A támogatott vizsgálatnak számos olyan módszertani eleme volt, amely figyelembe vette a fenti javaslatot. Egyrészt több olyan SzRV változót elemeztünk, amelyek a paraszimpatikus, pontosabban vagus-specifikus, hatásváltozást követik. Eredményeink interpretációja is elsősorban ezekre a változókra vonatkozott. Mindemellett, strukturált kísérletes szerkezetet hoztunk létre, amelynek segítségével nyomon tudtuk követni az SzRV feladatfázisokhoz köthető flexibilitását: a hosszan tartó feladat során bekövetkező változáson kívül, elemeztük az SzRV változást a nyugalmi helyzetből, az aktív feladatvégzésbe történő váltáskor (reaktivitás), valamint a feladatvégzésből nyugalmi helyzetbe történő visszaállást követően (regeneráció) is. Mindemellett, nem csak kognitív feladathoz kötött változást mértük, hanem egy kontroll csoporton belül, ugyanilyen kísérleti struktúra mellett regisztráltuk az SzRV-t fáradtságot kisebb mértékben okozó dokumentumfilm nézési helyzetben (gyakori kontroll kondíció fáradtság-vizsgálatok esetén). A SzRV változással kapcsolatban a fő hipotézisünk az volt, hogy a vizuális SzRV növekszik (erősödik a paraszimpatikus hatás) a feladatra fordított idő függvényében, és nincs változás a kontroll csoportban.

1.2 Módszer

A mellékelt ábra a vizsgálat felépítését mutatja. A két-csoportos vizsgálatban, 20 személy (kognitív feladat csoport), illetve 21 személy (kontroll csoport) adatait elemeztük. A kognitív feladat egy játékos jellegű vizuális-auditoros 2-vissza feladat volt. A feladat játékos jellege a hosszán tartó feladatoknál általában hasznos a feladat-specifikus motiváció fenntartása érdekében. Négy ingerkondíciót dolgoztunk ki: vizuális-célinger, auditoros-célinger, bimodális-célinger, és célinger-nélküli helyzetek. Minden próba során, a vizsgált személyeknek két válaszadási lehetőségük volt. Az egyik gomb lenyomásával azt jelezheték, ha sem a vizuális inger, sem az auditoros inger nem egyezett meg a kettővel korábbi próbában bemutatott ingerekkel. A másik gomb lenyomása viszont arra vonatkozott, ha bármelyik inger megegyezett a kettővel korábbival. A reakcióidő és a hibaszámok regisztrációja mellett, a kísérlet teljes időszaka során EKG mérés történt. Az EKG adatokból 7 különböző SzRV mutatót számoltunk ki, amelyekből négy reflektált a paraszimpatikus rendszer aktivitására. Az SzRV mellett a kognitív feladatot végző csoportban azt is megvizsgáltuk, hogy a helyes és hibás válaszadást követően hogyan változik a szív működés (válaszadáshoz-kötött pulzusszám változás). Ez a mutató hiba-monitorozásra utal: amennyiben a helyes válaszok és a hibás válaszokat követően

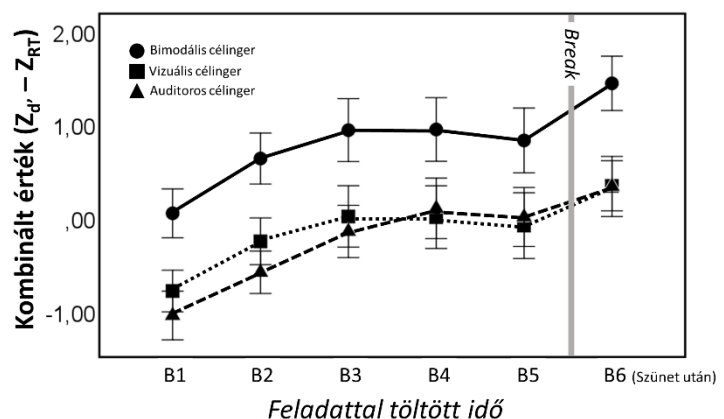
eltérő a szívfrekvencia az arra utal, hogy a vizsgált személy észreveszi, követi hibázásait és a hibák felismerésére autonóm idegrendszere is reagál. Hasonló mutatót számoltunk a reakcióidő adatokra is. Hasonló logika mentén, a hibás válaszokat, illetve a helyes válaszokat követő reakcióidőket is összehasonlítottuk, amely egy gyakran alkalmazott módszer a feladat-motiváció, illetve a hiba-monitorozás elemzéséhez. Szubjektív változókat is elemeztünk. Szubjektív mentális fáradtságot ($VAS_{\text{fáradtság}}$), és a feladat-terhelés ($NASA_{\text{TLX}}$) mértük fel a kísérlet során több alkalommal is (lásd mellékelt ábra).



1.3 Eredmények

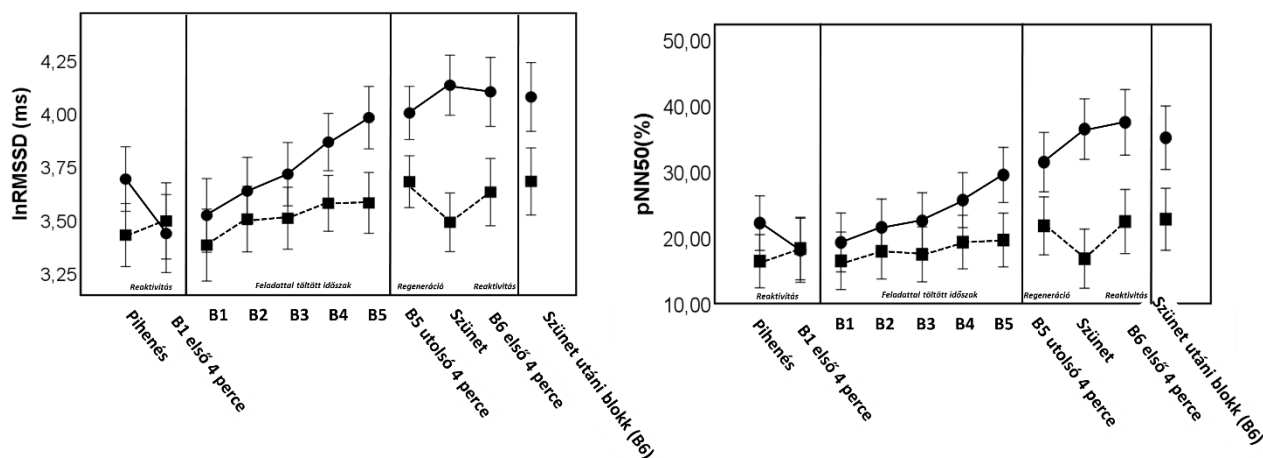
A szubjektív fáradtság és feladat-terhelés adatok elemzése azt mutatta, hogy a kognitív feladat fátaszóbbnak ($F(1,38) = 11.24, p < .01, \eta_p^2 = .23$), és megterhelőbbnek bizonyult, mint a kontroll csoportba tartozó személyek által végzett passzív dokumentum film nézés (mentális terhelés: $t(39) = 6.89, p < .001, d = 2.15$; frusztráció: $t(39) = 5.75, p < .001, d = 1.80$).

A kognitív feladatteljesítmény a Gatekeeper feladat teljesítése során szignifikánsan változott (Reakcióidő és diszkriminabilitás indexből számolt kompozit értékek; $F(4,38) = 9.57, p < .001, \eta_p^2 = .34$): a célingerekre mutatott teljesítmény javult az elsőtől a harmadik próba-blokkig, de utána már nem mutatott változást (blokk 1 vs. blokk 3: $p < .01$; blokk 3 vs. blokk 5: $p = 1.0$). Mindemellett a szünet utáni blokkban szignifikáns teljesítmény javulás volt megfigyelhető (lásd mellékelt ábra). Az első célkitűzésünk szempontjából egy fontos eredmény, hogy nem jelentkezett semmilyen, a fáradtsághoz, vagy a feladattal töltött időhöz köthető változás a vizuális és az auditoros célingerű ingerkondíciók különbségében. Más szavakkal, az inger modalitása nem befolyásolta a hosszú feladat végrehajtása során mutatott teljesítményt, és azt a javulást sem, amit a vizsgált személyek a szünet utáni próba-blokkban mutattak.



Az SzRV komponensek vizsgálata, számos különböző elemzés típust is alkalmazva, konkluzív, és a hipotézist támogató eredményeket hozott. Ezek a legfontosabbak, röviden felsorolva a következők (a mellékelt ábra két vagus-mediálta SzRV komponens változását mutatja).

- A vagus ideg mediálta SzRV komponensek csökkenést mutattak reaktivitáskor, utalva a csökkenő paraszimpatikus tónusra, a nyugalmi helyzetből, az aktív feladatvégrehajtásra történő váltás során (pl. $\ln\text{RMSSD}$: $F(1, 38) = 5.54$ $p = .02$, $\eta_p^2 = .13$).
- Különösen a vagus-mediálta komponensekben, a kognitív feladattal töltött idő szignifikánsan befolyásolta a SzRV szintet: Az SzRV szint növekedett a kognitív feladat csoportban, a kontroll csoporthoz képest (pl. $\ln\text{RMSSD}$: $F(4, 152) = 10.75$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .14$).
- A regenerációs időszakban szignifikánsan nőtt a vagus aktivitáshoz kapcsolódó SzRV komponensek szintje, amely erősödő paraszimpatikus aktivitásra utal a feladat befejezése után (pl. $\ln\text{RMSSD}$: $F(4, 152) = 8.19$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .18$).
- Mindemellett, a hibás válaszok után gyorsuló szívfrekvencia volt kimutatható a helyes válaszokat követő frekvenciához képest ($F(1,19) = 9.65$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .34$), ami ugyanakkor nem változott a feladattal töltött idővel ($F(4,76) = 1.13$, $p = .35$). Ez az eredmény megtartott, erősödő fáradtsági szint mellett sem változó, hiba-monitorozó, és feladat-motivációs szintre utal.



1.4 Összefoglalás

A vizsgálat nem mutatott ki különbséget a vizuális és auditoros modalitás között a fáradtságérzékenység szempontjából. Sem a vizuális, sem az auditoros modalitás nem vált domináns modalitássá a feladattal töltött idő során.

Összefoglalva a jelen vizsgálat főbb eredményeit a szívritmus változással kapcsolatban, kimutattuk, hogy a játékos-jellegű, bimodális kettős 2-vissza feladat hosszantartó végrehajtása megnövekedett szintű szubjektív fáradtsággal és ezzel párhuzamosan csökkent pulzusszámmal, valamint magasabb szintű SzRV-vel jár együtt. A kognitívan kevésbé megterhelő dokumentumnézési helyzethez képest, a vagus mediálta SzRV komponensek egyértelműen eltérő (növekvő) tendenciát mutattak, ami arra utal, hogy a relaxációs rendszerként funkcionáló autonóm idegrendszer paraszimpatikus ága fokozódó mentális fáradtság alatt fokozott aktivációt mutat. A vizsgálatból készült közlemény a Plos One folyóiratban jelent meg: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0238670>

2. Bimodális feladatváltás vizsgálata

2.1 Célkitűzés

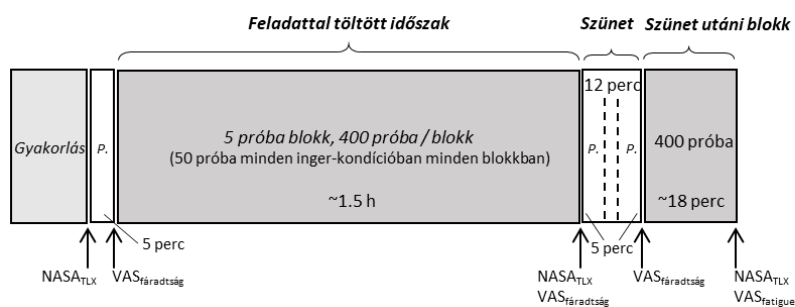
A címben említett feladattípussal a vizuális és auditoros modalitás közötti konfliktus helyzetet vizsgáltuk hosszan tartó feladatvégrehajtás során. Elméleti megközelítésünket a Welch és Warren (1980) által kidolgozott modalitási megfelelés hipotézisre alapoztuk. Ez a hipotézis azt feltételezi, hogy multimodális feladatkörnyezetben a perceptuális folyamatok előnyben részesíti azt az modalitást, amely megbízhatóbb feladat-releváns információt nyújt az aktuális feladat hatékony elvégzéséhez. A térbeli feladatokban tehát az egyének észlelését a vizuális információ határozza meg, míg jobb időbeli felbontásának köszönhetően, az auditoros információ dominálhatja azokat a feladatokat, ahol az időre vonatkozó ítéletek fontosabbak. A fáradtság-kutatás szempontjából a modalitás preferencia feladattól való függése azt a kérdést veti fel, hogy vajon mennyire tér el a különböző modalitások fáradtság-érzékenysége, amikor ugyanazon feladatkörnyezetben egyszerre különböző ingermodalitások vannak jelen. Ezt a kérdést, korábbi tanulmányok nem vizsgálták, így a támogatott vizsgálat volt az első ebben a kérdéskörben.

Számos korábbi tanulmány bebizonyította, hogy fáradtság hatására romlik a teljesítmény az olyan feladatokban, amelyek folyamatos figyelmi kontrollt, illetve figyelmi szelekciót igényelnek, mint például a gyakori feladat-váltást igénylő feladattípusok. Az a bimodális feladat, amelyet Lukas és mtsai (2014) használtak egyszerre terhelte mind a figyelmi váltás (valamikor az auditoros, valamikor a vizuális ingerre kell figyelni a próbák során), mind a figyelmi szelekció képességét (a vizuális és az auditoros ingerek kongruencia viszonyai alapján), ezért megfelelő alap- paradigmának tekintettük a fáradtság indukcióra, illetve arra, hogy vizuális és auditoros modalitások esetleges versengését növekvő fáradtság függvényében vizsgálhassuk. A Lukas-féle feladatot átvettük, de kisebb mértékben módosítottuk a jelen vizsgálat célkitűzéseinek megfelelően. Mivel a feladat során az aktuális inger időtartamáról kell döntést hozniuk a vizsgálat személyeknek, ezért azt feltételeztük, hogy az auditoros modalitásnak nagyobb perceptuális prioritása lesz, mint a vizuális modalitásnak, ezért ez a modalitás kevésbé válik érzékeny a hosszan tartó feladatvégrehajtás során növekvő fáradtságra. Mindemellett azt is feltételeztük, hogy az auditoros célingerekre adott válaszokat az inkongruens vizuális ingerek nem fogják fokozottan rontani a feladattal töltött idő növekedésével. Az ellenkező ingerkombináció esetén ugyanakkor feltételeztük, hogy a vizuális célingerre nagyobb interferáló hatással lesz az auditoros inkongruens inger, ahogyan feladat előrehalad, és a vizsgált személyek fáradtsága növekszik.

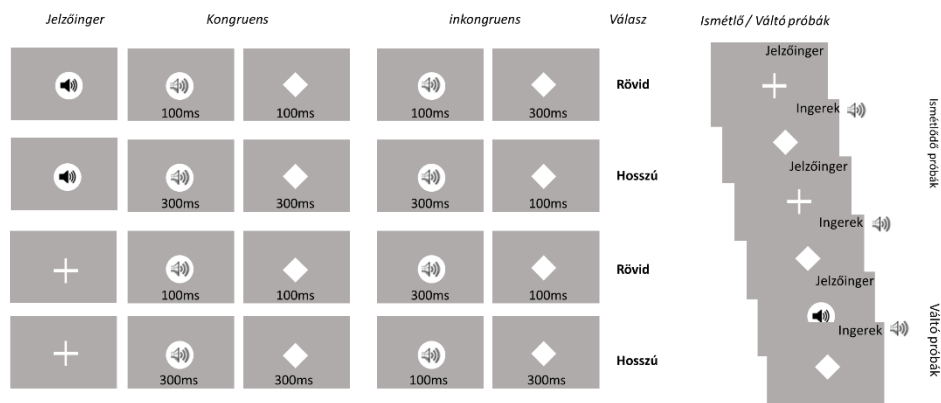
Ennél a kísérletnél is regisztráltunk EKG adatokat, és vizsgáltuk a szünethatását mind a szívritmus variabilitásra, és a kognitív teljesítményre nézve.

2.2 Módszer

Az alábbi ábra a kísérlet eljárását szemlélteti. A gyakorlás után, egy megközelítőleg 1,5 órás folyamatos feladatvégrehajtás következett, szünet nélkül. Ezt követően egy 12 percig pihentek a résztvevők (N = 25), majd a kísérletet egy újabb próba blokk zárta.



A végrehajtandó feladat egy bimodális időtartam becslés volt, ismétlődő és váltó próbák mentén, valamint kongruens, illetve inkongruens helyzetekben. Minden próba esetén vizuális, vagy auditoros jelzőinger jelent meg először jelezve azt, hogy az azt követő, együttesen megjelenő, vizuális és auditoros ingerek közül melyik inger időtartamára kell figyelni. Az így jelzett modalitású inger számított célingernek, és a másik modalitású inger pedig zavaróingernek. Minden esetben a célingerről kellett eldönteni, hogy hosszú (300ms), vagy rövid (100ms) ideig tartott-e. A célinger és a zavaróinger kongruens és inkongruens viszonyban lehetett egymással. Egy adott célinger modalitás ismétlődése az egymást követő próbák során kettő és öt között lehetett.



A feladat-váltásos vizsgálatokban gyakran használt LISAS értéket számoltunk a reakcióidő és a hibázási adatokból ($LISAS = RI + SDRI/SDHiba \times Hiba$). A kísérlet során EKG-t is rögzítettünk, amelyből a Szívritmus Variabilitás két, vagus aktivitáshoz kapcsolható, komponensét számoltuk ki.

2.3 Eredmények

A főbb eredmények röviden összefoglalva a következők voltak. A szubjektív fáradtság ($F(3,66) = 23.82, p < .001, \eta_p^2 = .52$) és feladatnehézség (pl. mentális teher: $t(22) = -4.95, p < .001$) szignifikánsan nőtt a feladattal töltött idő alatt.

Hatás	df	LISAS érték		Pontosság		Reakcióidő	
		F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2
FTI (Blok 1-től Blok 5-ig)	4,88	8.79***	.28	6.05**	.22	11.68***	.35
Modalitás (vizuális vagy auditoros)	1,22	.94	.04	26.33***	.54	4.54*	.17
Modalitás -tranzíció (váltó vagy ismétlődő)	1,22	83.24***	.79	26.39***	.54	92.41***	.81
Kongruencia (inkongruens vagy kongruens)	1,22	60.54***	.73	75.95***	.77	56.30***	.72
Modalitás x Modalitás - tranzíció	1,22	22.92***	.51	.01	.00	36.39	.62
Modalitás x Kongruencia	1,22	12.92**	.37	27.10***	.55	8.22	.27
Modalitás x Modalitás-tranzíció x Kongruencia	1,22	.37	.02	.87	.04	1.15	.05
FTI x Modalitás	4,88	3.18*	.13	.87	.04	5.36**	.20
FTI x Modalitás - tranzíció	4,88	4.63**	.17	.26	.01	6.34**	.22
FTI x Kongruencia	4,88	2.32 ^m	.10	1.32	.06	2.68 ^m	.11
FTI x Modalitás x Modalitás- tranzíció	4,88	5.36**	.20	.32	.01	5.44**	.20
FTI x Modalitás x Kongruencia	4,88	3.86*	.15	.34	.01	1.68	.07
FTI x Modalitás - tranzíció x Kongruencia	4,88	1.04	.04	2.10	.09	.12	.00
FTI x Modalitás x Modalitás-tranzíció x Kongruencia	4,88	.39	.02	1.93	.08	.52	.02

FTI: Feladattal töltött idő

A kognitív teljesítmény modalitás specifikus változásával kapcsolatos eredményeket a fenti táblázatban tüntettük fel. A hipotézisek szempontjából a következő eredményeket érdemes kiemelni. Egyrészt, a feladattal töltött idővel fokozatosan romlott a teljesítmény, amely igazolja a paradigma fáradtság indukáló hatását. Másrészt, a hipotézisünkkel összhangban, a szignifikáns Feladattal töltött idő (FTI) x Modalitás forrása a reakcióidő és a LISAS értékek

esetében, hogy az auditoros modalitással, a vizuális modalitásban a teljesítmény szignifikáns romlást mutatott a kísérlet második felében, azaz a harmadik próba-bloktól kezdve. Ez alátámasztja azt a hipotézisünket, hogy a vizuális modalitás érzékenyebb a hosszantartó kognitív feladatok által okozott fáradtságra, abban az esetben, ha a feladat során az ingerek időtartamára kell figyelni.

Hasonlóképpen, a kongruencia hatással kapcsolatos hipotézisünk is támogatást nyert. Részletesebben fogalmazva, a szignifikáns FTI x Modalitás x Kongruencia interakciót tovább vizsgálva azt a következtetést fogalmazhattuk meg, hogy a vizuális céltingert próbák esetén az auditoros zavaróingerek interferencia hatása egyre jobban erősödik a feladattal töltött idő függvényében. Ez az eredmény is azt igazolja tehát, hogy a vizuális modalitás érzékeny a fáradtságra, és perceptuális prioritása csökken, ahogyan a feladatot végző személy fáradtabbá válik. A modalitás különbséget a kongruencia hatásban nem változtatta meg a szünet sem; a hatás fennmaradt a szünet utáni blokk során is

Mindemellett, érdekes eredményeket kaptunk a modalitás tranzíció típusa (Váltó típus, vagy ismétlődő típus) és az FTI összefüggésével kapcsolatban, de ennek részleteire, terjedelmi korlátok miatt itt nem térünk ki (a részletes eredményekkel kapcsolatban lásd az vizsgálat publikált változatát).

Az szívritmus variabilitás változásával kapcsolatban, a korábbi vizsgálatunk eredményét megerősítve, azt találtuk, hogy a vagus-mediálta SzRV változók növekvő szintet, azaz fokozód paraszimpatikus tónusra utaló változást mutatnak a feladattal töltött idővel.

2.4 Összefoglalás

A kapott eredmények a modalitás-specifikus változásokra, vagyis az auditoros modalitás előnyére fáradt állapotban összhangban vannak olyan korábbi elméletekkel, amelyek azt hangsúlyozzák, hogy a fáradtság stratégia váltást okoz a viselkedésben.

Ha az eredményeknek egy konkrét elméleti keretben történő elhelyezésében gondolkozunk, akkor a Hockey (1997, 2011) által kidolgozott kompenzációs kontroll modell tűnik a leginkább kézenfekvőnek. A modell szerint, a kognitív erőfeszítést és feladat-hatékonyságot monitorozó rendszer két alternatív döntési lehetőség közül választ fáradt állapotban: vagy megemeli a kognitív befektetés szintjét és ezzel megőrzi a feladat-végrehajtás általános hatékonyságát, vagy minimalizálja a befektetett erőforrásokat és ezzel vállalja a teljesítményromlás kockázatát. Ez utóbbi történhet úgy, hogy a figyelmi rendszer elsősorban azokra a feladatelemekre kezd fókuszálni, amelyek kevesebb erőforrást igényelnek, de végrehajtásukkal a teljesítmény szintje még egy elfogadott szinten maradhat. Értelmezésünk szerint, a jelen vizsgálat eredményei is hasonló stratégiai döntésre utalnak: a fontosabb, az időfeldolgozás szempontjából precízebb auditoros információ figyelme, a vizuális információ kisebb figyelemben vétele mellett egy hatékony döntésnek bizonyul, mert nem okoz fokozott teljesítményromlást. A befektetett erőforrások csökkenésére utalnak az SzRV eredmények is, vagyis, hogy a paraszimpatikus rendszer, nyugalmi rendszer fokozatos erősödése kíséri a hosszú ideig tartó feladatvégrehajtást. A vizsgálatból készült közlemény itt érhető el: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.02429/full>.

3. Bimodális GoNogo-típusú feladat vizsgálata

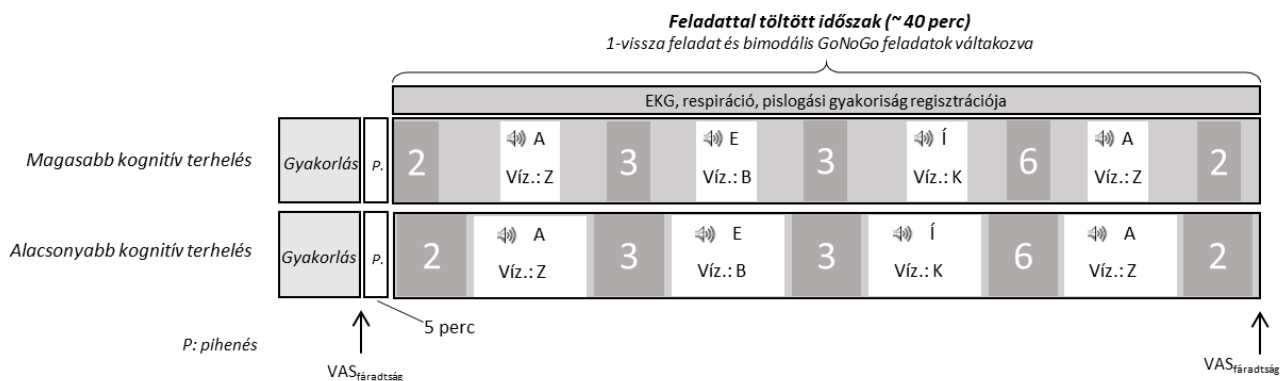
3.1 Célkitűzés

A vizsgálat fő célkitűzése az volt, hogy egy bimodális GoNoGo alapfeladat keretében vizsgáljuk a vizuális és az auditoros modalitások közötti konfliktust a modalitás-kongruencia változtatásával. Ezen az elképzelésen, illetve paradigmán annyiban módosítottunk, hogy egyrészt két különböző szintű kognitív terhelésű kondíciót teszteltünk, ahol az egyik helyzetben a feladat temporális terhelése nagyobb volt, mint a másik helyzetben. Ezt a módszertani kiegészítést egy újabb tanulmány alapján vezettük be (Borragán, és mtsai; 2017), amely kimutatta, hogy az ilyen típusú temporális manipuláció nagyobb mértékű mentális fáradtság kialakulásához vezethet, a téri inger-tényezők komplexitásának növeléséhez képest. Másrészt, változtattunk abból a szempontból is, hogy – ugyanebből a tanulmányból kiindulva – a GoNoGo feladattal váltakozva, egy 1-vissza alfeladatot is teljesíteniük kellett a vizsgált személyeknek. A végleges paradigma tehát összetettebb lett az eredeti elképzeléshez képest, de továbbra is választ tudott a fő kérdéseinkre, vagyis arra, hogy a vizuális és auditoros modalitások közötti konfliktus hogyan változik töltött idő függvényében, illetve a növekvő mentális fáradtság mellett.

3.2 Módszer

Az alkalmazott teszt alap struktúráját a fent említett Borragán, és mtsai (2017) által publikált paradigma jelentette ('TloadDback task'). A kísérlet eljárást az alábbi ábra vázolja. A kísérlet során a vizsgált személyek (N = 18) két alkalommal vettek részt a vizsgálatban. A két alkalom között a teszt nehézségében volt különbség. Az egyik feladat könnyebb, a másik nagyobb temporális terhelés (azaz rövidebb válaszadási időablak) mellett zajlott.

A feladat során, a vizsgált személyek egyszerre végeztek egy 1-vissza feladatot számokkal és egy audio-vizuális Go/NoGo feladatot betűkkel. A hangok mindig magánhangzók, a vizuális ingerek mindig mássalhangzók voltak. Négy különböző Go ingert használtunk. A két alfeladat alterálva jelent meg (lásd lenti ábra). A prezentációs idő (100ms – 1200ms) függött a feladatnehézségtől, illetve az egyéni kalibráció eredményétől.



Fontos eleme volt a módszertannak, hogy minden személynél adaptív teszttel mértük be a feladatnehézséget. Ez azt jelentette, hogy az ingerprezentáció gyorsasági személyenként eltért, de feladatnehézsége azonos minden személy esetében. A kalibráció folyamata során először 1200ms-os prezentációs idővel kezdtünk, amely teljesített „szint” után 100ms-mal csökkent. Egy-egy szintet 85%-on kellett teljesíteni. Az utolsó teljesített szint prezentációs idejét tekintettük a magas kognitív terhelésű kondíciónak, amelyből az alacsony terhelést úgy kaptuk meg, hogy 150 %-kal növeltük a magas terhelésű kondíció prezentációs idejét (azaz, ha 400 ms volt a magas temporális terhelés, akkor 600 ms volt az alacsony terhelés). A feladattal

töltötti idő megközelítőleg 40 perc volt. A pszichofizikai adatokon kívül rögzítettünk EKG-t, respirációt, és pislogási gyakoriságot.

3.3 Eredmények

A fáradtság-indukció mindkét kognitív nehézségi helyzetben sikeres volt. Pontosabban, mindkét kognitív terhelés esetén nőtt a szubjektív fáradtság mértéke (alacsony terhelés: $t(18) = 2.33$, $p < 0.05$; magas terhelés: $t(18) = 4.07$, $p < 0.01$). Mindemellett, az 1-vissza alfeladatot csökkenő pontossággal teljesítettek a vizsgált személyek mindkét terhelés esetén ($F(2,30) = 10.03$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.4$). A GoNoGo feladatban pedig nőtt a téves riasztások száma a feladat időtartamának függvényében ($F(2,30) = 4.14$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.22$).

A kérdésfeltevésünk szempontjából fontosabb alfeladat, a bimodális GoNoGo feladat, vonatkozásában a következő eredményeket kaptuk. A fent említett feladattal töltött idő hatásán kívül, több más szignifikáns hatást is azonosítottunk. A nehézségi szint szignifikánsan meghatározó volt: a nagyobb temporális terhelésű helyzetben rosszabbul teljesítettek a vizsgált személyek ($F(1,15) = 25.89$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.63$). A feladatban a kongruencia hatás működött: a vizuális és auditoros kongruencia esetén találtuk a legjobb teljesítményt, míg inkongruencia esetén pedig a legrosszabbat ($F(2,30) = 25.95$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.63$). Fontos eredmény ezzel kapcsolatban, hogy a vizsgált személyek akkor teljesítettek legrosszabbul, ha az auditoros modalitás volt a Go inger, és a vizuális modalitású inger pedig a NoGo inger. Ez az eredmény egyértelmű vizuális dominanciát jelez, ami ráadásul felerősödött a feladattal töltött idővel (Feladattal töltött idő x Kongruencia: $F(4,60) = 4.64$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.24$). A feladatnehézség x Modalitás-kongruencia x Feladattal töltött idő hármasszoros interakciója is szignifikáns volt ($F(4,60) = 3.95$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.21$). Ennek az interakciónak forrását az jelentette, hogy az alacsony feladatnehézségű helyzetben a két modalitás közötti konfliktus csökkent a feladat utolsó blokkjában, míg a nehezebb helyzetben a vizuális dominancia hatása végig megmaradt.

A szívritmus variabilitás adatok elemzése alátámasztotta a korábbi vizsgálatainkat: növekvő SzRV-t találtunk a feladattal töltött idő függvényében azoknál az SzRV komponenseknél, amelyek a paraszimpatikus rendszer aktivációjára érzékenyek ($F(2,26) = 3.45$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.20$). A pislogási adatok, és a respirációs adatok elemzése nem mutatott feladatspecifikus szignifikanciát.

3.4 Összefoglalás

Ennek a vizsgálatnak az eredményei azt mutatták, hogy a bimodális GoNoGo feladat egy olyan változatában, ahol a temporális nehézséget egyénileg minden személyre kalibráltuk, a vizuális modalitás előnye jelentkezik az auditorossal szemben. Ugyanakkor, alacsony temporális terhelésű helyzetben ez a konfliktus csökkenhet a feladattal töltött idő növekedésével, valószínűleg a gyakorlási hatásnak köszönhetően. A nagyobb temporális nehézség, vagyis egy gyorsabb feladat esetében, ez a tanulási hatás elmarad, és a feladat teljes időtartama során fennmarad a vizuális ingerek zavaró hatása.

4. Bimodális stroop-típusú feladat vizsgálata

4.1 Célkitűzés

A modalitások közötti konfliktusok eltérőek lehetnek attól függően, hogy milyen típusú konfliktust vizsgálunk. Például, korábbi vizsgálatok alapján, egy bimodális stroop-típusú feladat esetében, a modalitás-választási konfliktust (a kongruens és a semleges helyzetek összehasonlítása alapján) inkább dominálja az auditoros modalitás, míg a válasz-szelekció konfliktusa (inkongruens és kongruens helyzetek összehasonlítása alapján) esetén a vizuális információ meghatározóbb a döntés szempontjából. Ezzel a felvetéssel összefüggésben terveztük a jelen vizsgálatot, amelyben vizuális és auditoros ingereket egymással eltérő kongruencia viszonyban mutattunk be, egy bimodális szemantikai stroop feladat keretein belül. Arra voltunk kíváncsiak, hogy a fokozódó mentális fáradtság hogyan befolyásolja a modalitás-konfliktusok különböző típusait. Fontos megjegyezni, hogy a háttérben álló agyi működés szempontjából a funkcionális képző eljárások korábban erős átfedést találtak a különböző konfliktus helyzetek között. Így a konfliktus, illetve interferencia kontrollban szerepet játszó agyterületek különbségei alapján nem lehet egyértelmű hipotézist megfogalmazni egyes konfliktusok fáradtságérzékenységének szintjével kapcsolatban. A vizsgálatot összekötöttük EKG és elektromyogramm (EMG) mérésekkel is. Az EKG adatokból ismét szívritmus variabilitás számoltunk. Az EMG adatok elemzése során vizsgáltuk, hogy a tisztán válaszelőkészítő fázisban van-e különbség a különböző vizuális és auditoros konfliktus típusok szempontjából, és hogy ez az esetleges különbség hogyan változik a feladattal töltött idő növekedésével.

4.2 Módszer

Az általunk használt szemantikai típusú bimodális stroop feladatot Chen és Zhou (2013) tanulmánya alapján adaptáltuk a jelen kísérlethez. Részletesebben kifejtve, a feladat egy kétválasztásos és bimodális szemantikai kategorizációs feladat volt, Stroop paradigmában. A próbák során szimultán történő vizuális és auditoros ingerek (állatnevek) prezentációja. A vizuális ingerek a képernyő közepén jelentek meg (700 ms). Az szimultán elhangzó auditoros ingereket a hangszórókon játszottuk le (45 dB erősséggel, 700 ms). A kísérleti személyek ($N = 27$) feladata az volt, hogy szemantikai döntéseket hozzanak arról, hogy a hallott, vagy látott állatnév az emlősök, vagy a madarak szemantikai kategóriájába tartozik-e? Három kongruencia-kondíciót hoztunk létre. Kongruens próbák esetén a két inger pontosan ugyanazt az állatnevet jelölte. Semleges próbákban az állatok neve nem egyezett meg, de a szemantikai kategória igen. Az inkongruens próbákban pedig különböző szemantikai kategóriába tartozó állatneveket mutattunk be. A próba elején megjelenő jelzőinger (auditoros és vizuális) informálta a vizsgált személyt arról, hogy az adott próbában melyik modalításban megjelenő inger igényel választást. A feladat teljes hossza átlagosan 1,21 óra volt. A korábban már ismertetett eljárással, a kísérlet teljes ideje alatt regisztráltunk EKG-jeleket, amelyekből a szívritmus variabilitást számoltunk. Az elektromyogramm a válaszgombokat használó hüvelykujjon helyzetünk el elektrodákat.

4.3 Eredmények

Hasonlóan a korábbi vizsgálatokhoz, a feladatvégzés előtt, illetve azt követően is rögzítettük a szubjektív fáradtság szintjét (VAS) és az észlelt kognitív terhelés mértékét ($NASA_{TLX}$). Az elemzések alapján a kísérleti személyek szubjektív fáradtságérzete jelentősen megnőtt a feladatot követően ($t(26) = 7,81, p < 0.001$). Emellett a hosszantartó feladatvégzés során az észlelt kognitív terhelés mértéke annak három aspektusában növekedett (Mentális terhelés: $t(26) = 8,45, p < 0,001$; Fizikai terhelés: $t(26) = 6,37, p < 0,001$; Teljesítmény: $t(26) = 3,28, p < 0,01$; Erőfeszítés: $t(26) = 5,68, p < 0,001$; Frusztráció: $t(26) = 4,58, p < 0,001$).

A fentiekén kívül a fáradtságindukció sikerességét igazolta az is, hogy a feladattal töltött idővel mind a teljesítmény a hibaszámban ($F(2,52) = 6.69, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.2$) és a reakcióidőben is romlott ($F(2,52) = 4.43, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.15$). A modalitás hatása szintén szignifikánsan jelentkezett a reakcióidő tekintetében: az auditoros modalitású célinger, és vizuális modalitású zavaróinger esetében a vizsgált személyek általánosságban lassabban válaszoltak, mint a fordított modalitású helyzetben ($F(1,26) = 182.42, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.87$), és nagyobb mértékű válaszlassulást mutattak a feladattal töltött idő függvényében ($F(2,52) = 4.36, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.14$). Ugyanakkor az eredmények azt is mutatták, hogy a vizuális és az auditoros modalitás nem reagál eltérően a kongruencia viszonyokra. A különböző konfliktus, illetve interferencia típusokra ugyanúgy reagálta a kísérleti személyek a vizuális és az auditoros célingerek esetében is (Kongruencia x modalitás interakció: $F(2,52) = 1.07, p = 0.35, \eta_p^2 = 0.04$). Ez a hasonlóság a két modalitás között megmaradt a kísérlet teljes időtartamára, vagyis a növekvő időtartam, illetve mentális fáradtság sem okozott eltérést a két modalitás között a különböző konfliktus helyzetek tekintetében (Feladattal töltött idő x Kongruencia x Modalitás interakció: $F(4,104) = 0.21, p = 0.93, \eta_p^2 = 0.01$). Azaz mind például a modalitás-választás konfliktus, és a válasz-szelekciós konfliktus is hasonlóképpen működött a két modalításban a fáradt személyek esetében is. Az EMG adatok ugyanezt a következtetést támasztották alá, vagyis a reakcióidő nem-komponensének elemzése sem mutatott eltérést a két modalitás között (Feladattal töltött idő x Kongruencia x Modalitás interakció: $F(4,104) = 0.76, p = 0.55, \eta_p^2 = 0.03$).

A SzRV elemzés alátámasztotta a többi vizsgálatunkban által is kimutatott eredményt, hogy a hosszantartó kognitív feladatok során megnő a paraszimpatikus rendszer aktivitása (pl. RMSSD komponens: $F(2,52) = 5.51, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.17$).

4.4 Összefoglalás

A jelen vizsgálat nem támasztotta alá azt a hipotézist, amely szerint a vizuális és az auditoros modalitás közötti konfliktus függene a konfliktus típusától: a célinger modalitásától függetlenül hatása volta a bimodális próbahelyzeteknek. Az auditoros modalitású célinger esetén ugyanakkor lényegesen rosszabbul teljesítettek a vizsgált személyek, amely a feladattal töltött idő növekedésével egyre kifejezettebbé vált.

5. Cél-orientált mozgás vizsgálata

5.1 Célkitűzés

A konkrét hipotézis vizsgálatán kívül, ennek a vizsgálatnak az is jelentőséget ad, hogy nagyon kevés olyan korábbi tanulmány készült, amely a cél-orientált mozgás (pl. vizuális ingerre történő rámutató mozgás) fáradtság érzékenységét vizsgálta volna. Ezentúl, ez a vizsgálati téma olyan elemzési lehetőséget is nyújt, amely más módszertani megközelítés esetén nehezen megvalósítható: a cél-orientált mozgás vizsgálata során elkülöníthető egymástól a mozgás előkészítő és végrehajtó fázisa. Külön vizsgálható tehát az előkészítés (eltelt idő a perifériális inger megjelenése és a mozgás indítása között) és a végrehajtás (eltelt idő a mozgás indítása és az ingerre történő rámutatás között) fáradtság-érzékenysége.

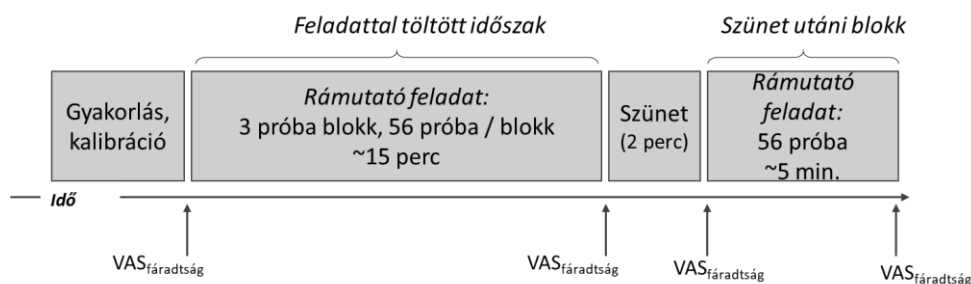
A fáradtság érzékenység szempontjából a vizsgálatot azért is éreztük megalapozottnak, mert korábbi vizsgálatok igazolták (pl. kettős feladat helyzettel), hogy egyszerűbb mozgás típusok is „költésesnek” tekinthetők a kognitív kapacitás szempontjából. A nagyobb kognitív kapacitás igénye elsősorban a mozgás előkészítő szakasza szempontjából merült fel. Ennek alapján, a vizsgálat egyik hipotézise az volt, hogy a mozgás előkészítése lelassul egy hosszú ideig tartó feladatvégzés, illetve növekvő fáradtság-szint mellett. Habár a mozgás végrehajtása

kevésbé tűnik kapacitásfüggőnek, mint annak tervezése, a végrehajtás esetében sem zártuk ki a fáradtság módosító hatását. A hipotézis felállításakor, Elliott és munkatársainak (2017) a modelljéből indultunk ki, amely szerint a mozgás végrehajtása jelentős mértékben az impulzivitás szabályozásnak a kontrollja alatt áll. Az impulzív cselekvés gátlása ugyanakkor romolhat mentális fáradtság alatt, azaz azt a feltételezést éreztük plauzibilisnek, hogy fáradtság hatására impulzívabb (gyorsabb, de hibásabb) mozgásvégrehajtás történik.

Azért, hogy a fenti hipotéziseket teszteljünk három kísérletet végeztünk el. Mindhárom kísérletben a vizuális periférián jelentek meg egyszerű vizuális ingerek, amelyekre a kurzorral kellett rámutatniuk a vizsgált személyeknek a képernyő közepén elhelyezkedő indulási ponttól kiindulva. A mozgást jellemző adatokon kívül, a személyek szemmozgását is rögzítettük. Az első két kísérletben csak vizuális ingerek szerepeltek, és a két kísérlet között az volt a döntő különbség, hogy míg az elsőben sokkal variábilisabb volt célingerek elhelyezkedése, amely próbáról próbára változatosabb mozgási útvonalat igényelt. A második kísérlet, ezzel szemben, egyszerűsített, kiszámíthatóbb célinger lokalizációra épült. A harmadik kísérletben, vizsgáltuk auditoros jelzőingerek szerepét, pontosabban azt a kérdést, hogy az ingerek lokalizációját előre jelző auditoros ingeres hatása hogyan hat a célorientált mozgásra, illetve, hogy a jelzőingerek szerepe változik-e a növekvő fáradtságszint hatására.

5.2 Módszer

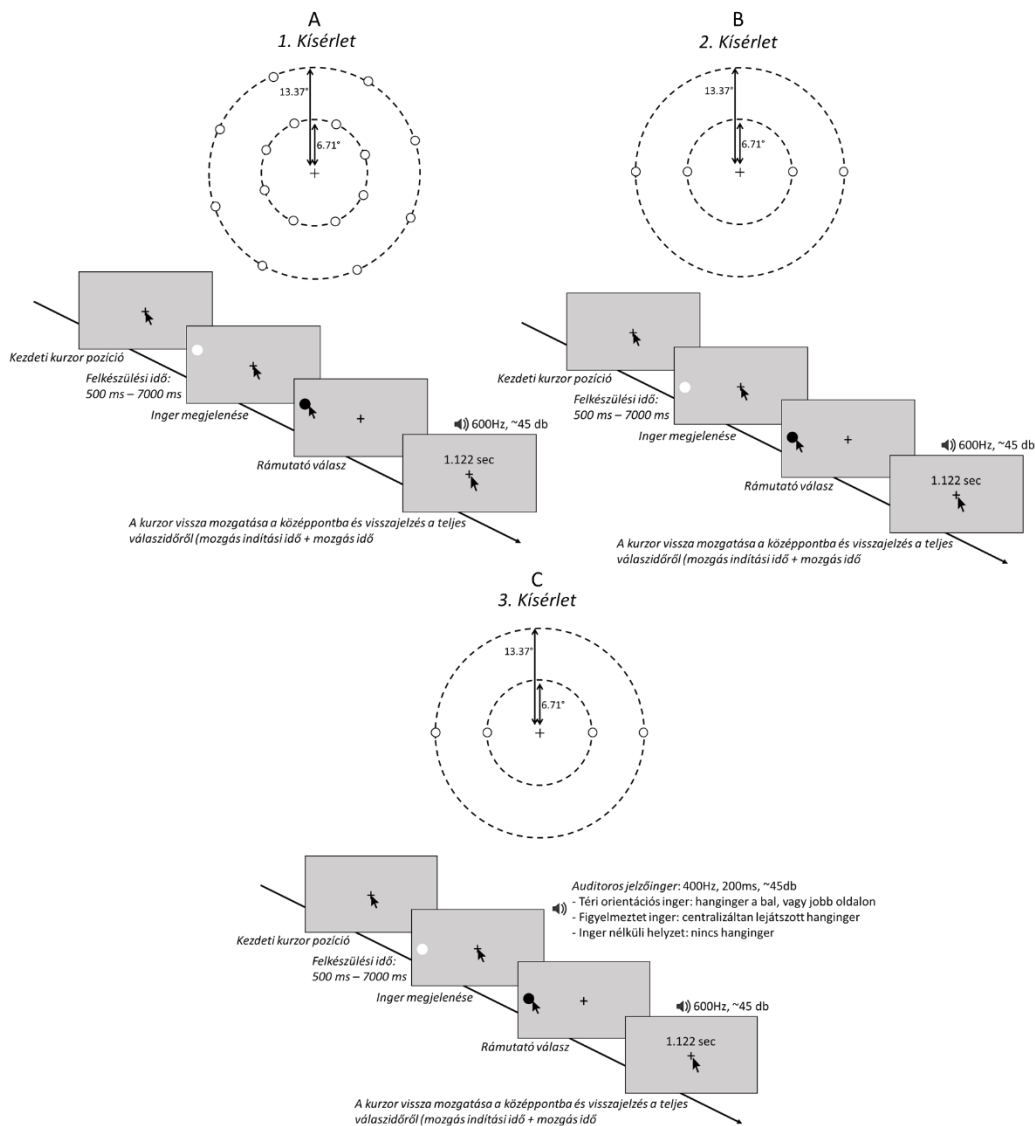
A kísérletek főbb szakaszait, eljárását az alábbi ábra foglalja össze. Mind a három kísérletben (első kísérlet: N = 31; második kísérlet: N = 30; harmadik kísérlet: N = 27) az egyes próbák során egyszerű rámutatás-feladatot kellett végezniük: monitor középpontjából a kurzort át kellett irányítani – *olyan gyorsan és precízen ahogyan lehet* – a vizuális periférián megjelenő egyszerű vizuális ingerre. Ezt követően a kurzort vissza kellett irányítani a középpontba, ahol egy a személy visszajelzést kapott arról, hogy a rámutató mozgást milyen gyorsan hajtotta végre. A feladat fáradtságot elsősorban a fenntartott figyelem terhelésén keresztül növelte. A fenntartott figyelem terhelése a viszonylag hosszú feladatvégrehajtási idő miatt (15 perc), és a széles tartományban változó felkészülési idő miatt nőtt. A fáradtság indukciós módszer tehát elsősorban vigilancia-redukciós módszernek tekinthető. Fontos megjegyeznünk, hogy a kísérlet feladattal töltött időszaka azért volt rövidebb, mint a többi vizsgálat esetében, mert, egyrészt, ki akartuk zárni a fizikai fáradtság növekedését, másrészt a vigilancia-redukciós paradigmák általában rövid idő alatt (gyakran 5 perc alatt is) egyértelmű fáradtságot tudnak kiváltani. Az első két kísérletben egy rövid utáni időszakot is teszteltünk. A harmadik kísérletben ez elmaradt, mert szignifikáns szünet hatást az első két kísérletben nem sikerült azonosítanunk, és a hipotézisek szempontjából sem volt különösebb jelentősége a szünet utáni esetleges változás elemzésének.



Ahogy az a következő ábra is szemlélteti az első kísérletben több ingerpozíciót használtunk; a vizuális cél-inger számos pozícióban jelenhetett meg, ezzel egy kiszámíthatatlanabb feladathelyzetet eredményezve. A második kísérletben, a kurzor egyszerű horizontális mozgásával el lehetett érni a célingereket, amelyek mindössze 4 különböző helyen jelenhettek meg. A harmadik kísérlet elsődleges kérdése az volt, hogy a figyelmi orientáció hatékonysága megváltozik-e fáradtságot okozó rámutató feladat során. Ebben a

kísérletben auditoros ingerek előre jelezték, hogy a vizuális célingerek a monitor bal, vagy jobb oldalán jelennek-e meg (orientációs ingerek), illetve szerepelhettek egyszerű figyelmeztető ingerként az inger megjelenésének irányára nem utalva. Kontrollként előjelző inger nélküli helyzetet is teszteltünk.

A rámutató kurzormozgást több változó mentén elemeztük. Vizsgáltuk az iniciációs időt (az inger megjelenése és a mozgás indítása között eltelt időt), a mozgás időt, az eltérést az optimális egyenesvonalú kurzorpályától (ezt tekintettük mozgási hibának), és a kurzor mozgás csúcs-sebességét. Az impulzivitás vizsgálatához fontos indexet jelentett a mozgás időnek és a mozgási hibának az aránya (MI / MH arány), amely csökkenő érték esetén utalt a fokozódó impulzív (azaz gyors, de kevésbé precíz) feladatvégrehajításra.



A szemmozgás regisztrálását a fixáció ellenőrzéséhez, és szakkádikus latencia értékek kiszámolásához használtuk. A szemmozgást akkor tekintettük érvényes szakkádnak, amikor a sebessége meghaladta a $30^\circ/s$ -ot, a gyorsulása nagyobb volt, mint $8000^\circ/s^2$, és a távolság meghaladta a $0,5^\circ$ -ot. Mindemellett pupilla dilatációt is regisztráltuk, és a szimpatikus idegrendszeri aktiváció indexeként interpretáltuk.

5.3 Eredmények

A három kísérlet eredményeit az alábbi táblázatok foglalják össze. Mivel a három kísérlet eredményeinek részletes bemutatása nagy terjedelmet venne igénybe, és jelentősen csökkentené a többi vizsgálat bemutatásának lehetőségét, ezért az alábbiakban csak a legfontosabb eredményeket foglaljuk össze. Támogatva az első hipotézist, mindhárom kísérlet eredményei azt mutatták, hogy a mentális fáradtság lassabb mozgásindítást eredményez. Ezen túlmenően, az első és a második kísérlet egyértelműen alátámasztja a második hipotézist is, vagyis, hogy növekvő fáradtság, illetve feladattal töltött idő mellett a vizsgált személyek impulzívabb mozgásvégrehajtást mutattak, azaz gyorsabban, de több mozgási hiba mellett hajtották végre a mutató feladatot. A harmadik kísérlet az auditoros ingerek erősödő hatásával kapcsolatban hoz szignifikáns bizonyítékot, de elsősorban a centrális, figyelmeztető hatású jelzőingerek befolyásolták a mozgást, az orientációs ingerek hatását a feladattal töltött idő nem befolyásolta.

Az első kísérlet eredményei (rANOVA)

Változók	Fő hatások és interakciók					
	Feladattal töltött idő (FTI)		Cél-távolsága (CT)		FTI x CT	
	F _(2,50)	η^2	F _(1,25)	η^2	F _(2,50)	η^2
Iniciációs idő	12.87***	.34	.89	.03	1.74	.06
Mozgási idő (MI)	5.98**	.19	487.16***	.95	.02	.00
Csúcs sebesség	.66	.03	268.91***	.91	3.11 ^m	.11
Mozgási hiba (MH)	.41	.02	205.00***	.89	.71	.03
MI/MH arány	5.28**	.17	20.58***	.45	.13	.00
Szakkadémikus latencia	.12	.01	6.86*	.21	.68	.03

A második kísérlet eredményei (rANOVA)

Fő hatások és interakciók		Változók					
		Iniciációs idő	Mozgási idő (MI)	Csúcs sebesség	Mozgási hiba (MH)	MI / MH arány	Szakkadémikus latencia
Feladattal Töltött Idő (FTI)	F _(2,46)	4.27*	3.37*	1.08	.62	2.36	.47
	η^2	.16	.13	.04	.03	.09	.02
Cél-távolság (CT)	F _(1,23)	3.29	663.08***	232.78***	64.29***	12.67**	16.52***
	η^2	.12	.97	.91	.74	.35	.42
Jelzőinger (JI)	F _(2,46)	575.93***	.95	.20	2.14	.58	210.03***
	η^2	.96	.00	.01	.08	.02	.09
FTI x CT	F _(2,46)	.04	1.86	.11	1.38	.94	.17
	η^2	.00	.07	.00	.06	.04	.01
FTI x JI	F _(2,46)	2.84*	1.91	1.39	2.47*	3.22*	.83
	η^2	.11	.08	.06	1.00	.12	.04
CT x JI	F _(2,46)	1.36	1.82	.96	.75	.88	1.35
	η^2	.06	.07	.04	.01	.04	.06
FTI x CT x JI	F _(4,92)	.31	.31	1.01	.23	.44	1.03
	η^2	.01	.01	.04	.01	.20	.04

A harmadik kísérlet eredményei (rANOVA)

Változók	Fő hatások és interakciók					
	Feladattal töltött idő (FTI)		Cél-távolsága (CT)		FTI x CT	
	F _(2,48)	η^2	F _(1,24)	η^2	F _(2,48)	η^2
Iniciációs idő	6.27**	.21	.58	.02	1.24	.05
Mozgási idő (MI)	2.97 ^m	.11	340.21***	.93	.27	.01
Csúcs sebesség	.98	.04	679.57***	.97	.52	.02
Mozgási hiba (MH)	3.48*	.13	64.18***	.73	.23	.01
MI/MH arány	7.11**	.23	9.02**	.27	.10	.00
Szakkadémikus látencia	2.37	.09	7.16*	.23	2.35	.09

5.4 Összefoglalás

A három kísérlet eredményei egyrészt általánosságban is igazolják, hogy az egyszerű cél-orientált mozgások végrehajtása romolhat fáradtság hatására. Másrészt, az eredmények azt mutatják, hogy a fáradtság hatása disszociatív a mozgás különböző szakaszainak vonatkozásában. Azaz, míg a mozgástervezés lassulása figyelhető meg hosszabb ideig tartó feladatvégrehajtás által okozott fáradtság mellett, a mozgás végrehajtását inkább egy fokozódó impulzivitás jellemzi. Ezek az eredmények egyértelműen újnak tekinthetők az témára vonatkozó korábbi tanulmányok körében. Fontos azt az indirekt következtetést is kiemelni, hogy az egyszerű cél-orientált mozgások fáradtságérzékenysége egyben arra is utal közvetve, hogy a mozgás tervezés és végrehajtás, még egészen egyszerű formájában is kognitív kontrollt igényel, és nem válik annyira automatikussá, hogy egy hosszabb feladatidő alatt ne romolhatna egyes mozgásszakaszoknak a hatékonysága.

Végül, az auditoros jelzőingerekkel kapcsolatos eredmények azt mutatják, hogy az auditoros ingerek hatása nem változik általánosságban egy vizuális célfeladat végrehajtása során. Az auditoros ingerekre csak specifikus helyzetben, azaz alacsonyabb kognitív szinten, figyelemzavaró jellegű funkció esetén találtuk meg erősödő hatását. Magasabb szintű, pontosabban téri orientáló szerepük nem változott a feladattal töltött idővel. A vizsálatból készült kézirat jelenleg a Quarterly Journal of Experimental Psychology folyóirat küldte vissza revízióra. A kézirat letölthető innen:

<https://data.mendeley.com/datasets/8kdkmxxw5/draft?a=927350a8-4ed9-4041-a39a-3f5ccb63e13e>

6. A fájdalom észlelés fáradtság-érzékenységének vizsgálata

6.1 Célkitűzés

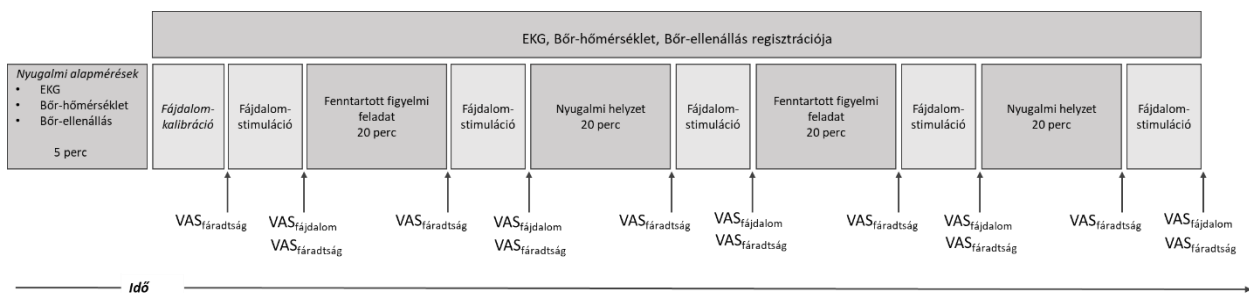
A jelen támogatott kísérlet célja az volt, hogy megvizsgálja az akut mentális fáradtság hatását a rövid ideig tartó akut fájdalomtapasztalatra. A vizsgálat célkitűzése egyértelműen új megközelítésnek tekinthető, mert amit előzményként tudni lehet a fájdalompercepció és a fáradtság kapcsolatáról, azt elsősorban a krónikus fájdalommal élő személyek megnövekedett fájdalomérzékenysége alapján tudunk. A fájdalom és a fáradtság jelensége számos ponton fiziológiai, illetve pszichológiai ponton kapcsolódhat, amely erősíti a kérdésfeltevés adekvátságát, ugyanakkor nehezíti az esetleges kapcsolat pontos háttérmechanizmusának megértését. Mind a fáradtság, mind a fájdalom jóval több mint szenzoros jelenség, jelentős

mértékben befolyásolja mindkét tapasztalatot a magasabb szintű kognitív funkcionalitás, és az affekció.

A mentálisan fáradt, akuttan alacsonyabb kognitív szinten funkcionáló személy fájdalomérzékenysége két okból is megváltozhat. Az egyik ok, a kognitív kontroll, illetve az ahhoz kapcsolódó ön-kontroll csökkent működése, amelyeket számos korábbi vizsgálat feltételez a fáradtság legmarkánsabb következményeinek. Mivel a kognitív kontroll jelentős szerepet tölt be a fájdalom percepcióban is - általában magasabb szintű kontroll alacsonyabb szintű fájdalomintenzitással jár együtt – ezért feltételezhető, hogy a magasabb fáradtság szint intenzívebb fájdalom tapasztalattal jár együtt. Ezzel szemben, ha fáradtságnak az arousalt csökkentő hatásából indulunk ki, akkor egy másik hipotézis szintén plauzibilis: a fáradtság által okozott csökkenő arousal, illetve a paraszimpatikus relaxációs rendszernek a fokozott aktivitása alacsonyabb szubjektív fájdalom intenzitásban manifesztálódhat. A jelen vizsgálat során olyan módszertani paradigmát állítottunk össze, amely szerintünk megbízhatóan teszteli mindkét hipotézist.

6.2 Módszertan

Eredeti módszertani elképzelésünk egy két alkalmas vizsgálat volt, ahol a vizsgált személyek az egyik alkalommal a fáradtság indukciós helyzetbe kerülnek, a másik alkalommal pedig egy kontroll helyzetbe, ahol nem kell fárasztó kognitív feladatot végezniük. A Covid járvány okozta leállás, illetve a részleges nyitás után is fennmaradó tesztelési nehézségek miatt egy-alkalmas eljárás mellett döntöttünk. A kísérleti eljárást az alábbi ábra vázolja. Az kísérlet során a nyugalmi helyzet és a fenntartott figyelmi helyzetek alterálva követték egymást. Az ábra nem jelöli, de kísérleti személyek egyik fele fenntartott figyelmi feladattal, a másik fele pedig a nyugalmi helyzettel kezdett.



A fájdalom stimulációra, enyhe hőfájdalmat használtunk, valid, biztonságos és számos publikált tanulmányban alkalmazott eszköz segítségével. A fájdalom-inger által okozott fájdalom intenzitását mérsékelt fájdalom szintjére (60-as érték, egy 0-100-ig terjedő skálán) kalibráltuk be minden személyre külön-külön. A kísérlet során minden fájdalom stimulációs helyzetben két egymást követő fájdalom ingert kaptak a vizsgált személyek (alkar, 7-es dermatóma). Az ingerek között 1 perc telt el, és az egyes blokkok előtt, illetve után más mindig más pontokat ingereltünk az alkaron (az ingerlési pontok között 2 cm volt). Az észlelt fájdalmat egy vizuális analóg skálán jelölték a vizsgált személyek. A szubjektív fájdalom mellett, szubjektív fáradtságot is regisztráltunk, az ábrán látható formában, számos alkalommal a kísérlet során. Mindemellett EKG, bőrellenállás, és bőr hőmérséklet regisztrációja történt a kísérlet teljes időtartama alatt. A kognitív feladat egy vizuális fenntartott figyelmi feladat volt.

6.3 Eredmények

A jelen beszámolóban csak a szubjektív fáradtság, illetve fájdalom tapasztalatokkal kapcsolatos eredményekről tudok beszámolni. Mivel még a beszámoló előtt közvetlenül is mértünk személyeket, ezért fiziológiai adatok elemzésére még nem volt idő.

Az eredmények értelmezése szempontjából fontos, hogy a fáradtságot fokozó és a nyugalmi helyzetek között szignifikáns különbséget találtunk a szubjektív fáradtságban ($p < 0.01$) igazolva, hogy a fáradtság-indukció szubjektív szinten működött. A két kísérleti kondíció a szubjektív fájdalomra is eltérő hatást gyakorolt. Az eredmények azt mutatják, hogy a fáradtságot okozó blokkokat követően, a blokkot megelőző értékekhez képest kevésbé nőtt meg az észlelt fájdalom intenzitása, mint a nyugalmi helyzeteket követően ($p < 0.05$).

6.4 Összefoglalás

Az eredmények interpretációja, akkor válik majd teljessé, ha a fiziológiai változók eredményét is tudjuk. Hasonlóan az előbbi vizsgálatokhoz ebben az esetben is szívritmus variabilitást fogunk számolni, annak érdekében, hogy a paraszimpatikus rendszer aktivációjáról képet kapjunk. Ezen túl a szimpatikus aktiváció tekintetében a bőr-ellenállás adatok adják majd a főbb interpretációs bázist. Ugyanakkor az elemzések jelenlegi fázisában a szubjektív fájdalom intenzitást adatokat az arousal hipotézist támogatják a kognitív kontroll hipotézissel szemben. Ennek megerősítéséhez mindenképpen szükséges azonban a fiziológiai változók eredményeinek a figyelembevétele.

7. A testséma fáradtság-érzékenységének vizsgálata

7.1 Célkitűzés

Ennek a vizsgálatnak a fő kérdése az volt, hogy a testi tudatosságot alapvetően meghatározó testsémát milyen mértékben befolyásolja egy mentálisan fáradtabb állapot. A feltételezett összefüggés a fáradtság és a testséma között azért tekinthető plauzibilisnek, mert a testsémát az elsődleges szomatoszenzoros területeken kívül, egy multiszenzoros integrációs folyamat, illetve számos magasabb szintű asszociatív terület komplex interaktív működése hozza létre. Ennek az összetett szabályzórendszernek integrált részét alkotják olyan magas szintű kognitív kontroll folyamatok (pl. figyelmi kontroll) is, amelyeknek csökkenő hatékonyságát a növekvő fáradtság mellett már számos esetben igazolták.

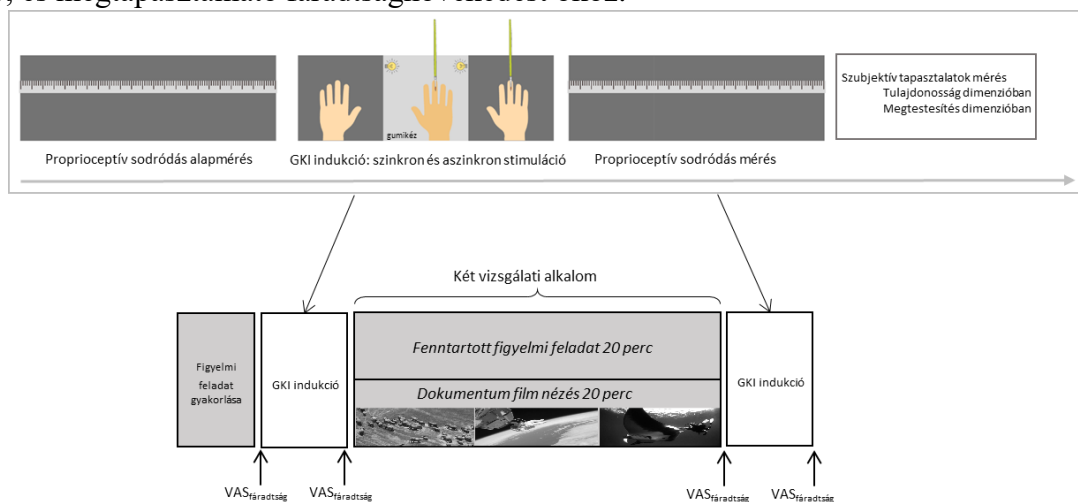
A kísérletes pszichológiában a testséma-vizsgálat operacionalizálására a Gumikéz illúzió (GKI) az egyik leggyakrabban alkalmazott mérési eljárás. Az illúziót kiváltó „klasszikus” helyzet során a vizsgált személy egyik kezéhez, egy anatómiailag valós, és a kísérleti személy számára látható pozícióban, egy mesterséges kezét helyeznek el. Az ingerlési helyzet során, szinkronizáltan, azaz egyszerre érintik meg a vizsgált személy saját, eltakart kezét, és a mesterséges kezét. Az inger leggyakrabban ecset érintéssel kiváltott enyhe taktilis inger. A folyamatos ingerlés hatására viszonylag rövid időn belül a személyek jelentős része számol be olyan élményről, mintha az taktilis érintést azon a helyen érezné, ahol a mesterséges kezét látja, illetve érzi esetleg úgy, hogy a mesterséges kéz a saját keze lenne. A GKI-hoz kapcsolódó élményt azzal magyarázzák, hogy az agyunk feloldani a taktilis és a vizuális tapasztalatok közötti ellentmondást és egy integrált képzetet létrehozni. Ennek az integratív folyamatnak számos kognitív eleme van, és az egyik alapvető kérdés, hogy illúzió kialakulásában elsősorban a korai szenzoros észlelés, vizuális–taktilis tapasztalatok integrációja (bottom-up folyamatok), vagy inkább a magasabb kérgi területektől érkező visszacsatolás (top-down folyamatok) vesz részt. Amennyiben a magasabb szintű folyamatok dominálnak elsősorban a jelenség kialakulása során, akkor feltételezhető, hogy a GKI megváltozik növekvő mentális fáradtság hatására.

7.2 Módszer

A paradigma tervezésekor számos szempontot vettünk figyelembe. A GKI indukció kiváltása a „klasszikus” eljárásokkal (lásd részletesebben fent) lassú folyamat, és a kiváltó helyzet elrendezése nem teszi könnyen lehetővé a gyors feladatváltást egy kognitív feladat és az illúzió

kiváltását szolgáló helyzet között. Ezért olyan GKI paradigma adaptációt kerestünk, amelyet egyrészt a korábbi tanulmányok már használtak, és ugyanakkor a kísérleti elrendezés lehetővé teszi a gyors feladatváltást a GKI és a kognitív feladat között. Végül, David, Fiori, és Aglioti, (2014) által alkalmazott módszer mellett döntöttünk. Az eljárás központi eleme – amelyet külön ehhez a kísérlethez gyárttattunk – egy detektív tükörrel felszerelt, három rekeszű doboz (lásd az alábbi képet), amelybe a vizsgált személy mindkét kezét behelyezi, a középső részbe pedig a gumikéz kerül. A doboz fölé egy centiméter skála van elhelyezve a propriocéptív sodródás mérésére, amelynek a tükörképe a tükörződik a tükörben, abban az esetben ha a villany nem ég a dobozon belül.

A GKI paradigma rugalmassága mellett, a módszernek egy további fontos eleme volt a többszörös szubjektív fáradtság mérés. Vagyis, a GKI indukció előtt és után is mértünk, annak érdekében, hogy biztosak lehessünk abban, hogy a sok lépcsős illúziós folyamat végére is a vizsgált személyek ($N = 30$) még fáradt állapotban maradtak. A kísérlet során vizsgált 30 személy két alkalommal vett részt a kísérletben. Mindkét alkalommal két GKI indukció történt, amelyek között pontosan 20 perc telt el. Ezt a 20 percet vagy fenntartott figyelmi feladat (pszichomotoros vigilancia feladat) végrehajtásával töltötték, vagy egy jóval kevésbé fárasztó dokumentum filmet néztek. A 20 perces, viszonylag rövid fáradtság indukciót az tette lehetővé, hogy az alkalmazott fenntartott figyelmi feladat egészen rövid időn belül (5-10 perc alatt is) mérhető, és megtapasztalható fáradtságnövekedést okoz.



7.3 Eredmények

Az eredmények azt mutatták, hogy a fent vázolt paradigma hatásosnak bizonyult mind a fáradtság, mind a GKI indukció szempontjából. A fenntartott figyelmi feladat végére a vizsgált személyek reakcióideje szignifikánsan nőtt ($F(3,87) = 10.77, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.27$), illetve nagyobb mértékű szubjektív fáradtságról számoltak be, mint a kontroll – dokumentum film – helyzetben ($F(3,87) = 10.60, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.27$). A GKI paradigma sikerességére utal, hogy a proprioceptív sodródási adatok (a stimulált kéz észlelt helyzetének eltolódása a működő irányába) megfeleltek azoknak az értékeknek, amelyek az adott GKI paradigmát közlő tanulmányban szerepeltek (David, Fiori, és Aglioti, 2014).

A fáradtság növekedése ugyanakkor nem befolyásolta a gumikéz illúzió mértékét. Sem az objektív proprioceptív sodródási értékek, sem a szubjektív tapasztalatokra adott válaszok nem mutattak szignifikáns különbséget a két alkalom között. Az alábbi táblázat mutatja be a legfontosabb eredményeket, vagyis az Indukció típusa (Kognitív feladat vs. Film) és az indukció előtt, valamint után mért GKI értékek között interakciót.

GKI változók	rANOVA (interakció)		
	F(1,29)	p	η_p^2
<i>Szinkron helyzet</i>			
Proprioceptív sodródás	1.00	0.32	0.03
Szubjektív tapasztalatok			
Sz1	0.01	0.94	0.00
Sz2	0.69	0.41	0.02
Sz3	0.77	0.40	0.02
Sz4	0.54	0.47	0.02
<i>Aszinkron helyzet</i>			
Proprioceptív sodródás	0.16	0.69	0.01
Szubjektív tapasztalatok			
Sz1	0.55	0.46	0.02
Sz2	1.17	0.29	0.04
Sz3	0.28	0.61	0.01
Sz4	0.03	0.85	0.00

7.4 Összefoglalás

A vizsgálat eredményei tehát egyértelműen azt a konklúziót támogatják, hogy a fenntartott figyelmi paradigmával indukált mentális fáradtságnak nincs hatása egy olyan testséma illúzióra, amelynek háttérében komplex multiszenzoros integrációt feltételeznek. A fáradtság hatásának elmaradása ugyanakkor támogathatja azt az elképzelést, hogy a GKI-t jelentős mértékben befolyásolják (bottom-up) szenzoros folyamatok, amely nélkülözhetik a magasabb szintű kognitív kontrollt, kialakulásuk alapvetően automatikus, és nem érzékenyek olyan kognitív kapacitás csökkenésre, amelyet a megemelkedett fáradtság okozhat. Ugyanakkor egy második kísérlet során érdekes lehetett volna egy még intenzívebb fáradtságot (pl. hosszabb fáradtság indukcióval) kiváltani, vagy még magasabb szintű kognitív funkciót (pl. szelektív figyelem, munkamemória) terhelő fáradtság paradigmát használni. A támogatott kutatási tervbe nem volt második kísérlet tervezve, és a Covid járvány sajnos nem is tette ezt végül lehetővé.

8. Fáradtság-detekció Szívritmus variabilitás adatok alapján gépi tanulási módszerrel

8.1 Célkitűzés

A járvány okozta kísérletezési nehézségek miatt, a támogatott kutatási időszak során úgy döntöttünk, hogy olyan kutatást is végzünk, amely addigi kísérleteink adatait integrálja. Erre az integrációra kiváló lehetőséget ad a gépi tanulás módszertana, amellyel egy olyan kérdést tudunk vizsgálni, hogy a különböző kísérleteink során számolt szívritmus variabilitás adataink megfelelő bemenő változót jelentenek-e a mesterséges algoritmusok számára ahhoz, hogy a növekvő szubjektív fáradtságot detektálják. A kérdésfelvetés azért adekvát, mert azokban vizsgálatainkban, ahol EKG regisztráció történt mindig szignifikáns változást találtunk az szívritmus variabilitás (SzRV) és a feladattal töltött idő között (néhány esetben a szubjektív fáradtság is szignifikáns korrelációt mutatott az SzRV-vel). Ezzel összhangban, korábbi tanulmányok esetében is sokszor bizonyult az SzRV a fáradtság megbízható biomárkerének.

Viszonylag kevés olyan korábbi vizsgálat ismert, amelyek gép tanulás módszerét használja az SzRV alapú fáradtság-detekcióra. Ezek a vizsgálatok ugyanakkor elég alacsony elemszámmal ($N = 13 - 35$) alapján végeztek méréseket, és általában csak egy kognitív feladattípushoz kapcsolódóan. Mindezek olyan limitációk, amelyek egyértelműen rontják az eredmények általánosítását. A jelen vizsgálatban, mi nagyobb elemszámmal, és számos különböző kognitív feladatban mért SzRV alapján végeztünk elemzéseket. Mindemellett – valószínűleg elsők között – össze tudtuk hasonlítani a gépi tanulás hatékonyságát mind nyugalmi és mind feladat közben regisztrált SzRV adatokon. Összefoglalva a jelen kutatásnak

kettős célja volt: a fáradtság detektálása, illetve fáradtság előrejelzése gépi tanulási algoritmusok segítségével.

8.2 Módszer

Három – a fentiek során már bemutatott - kísérlet adatait használtuk fel az elemzésekhez: A bimodális 2-vissza, bimodális Stroop, és bimodális feladatváltás kísérletek adatait elemeztük. Az adatbázist 85 személy adatai alkották.

A *fáradtság detekcióhoz* osztályozó algoritmusokat használtunk. Az osztályozó algoritmusok előkészítését és tanítását, valamint a jellemző-kiválasztást Python nyelvben, a scikit-learn modul funkcióival végeztük el. A cél az volt, hogy az algoritmusok, az előre megadott osztálycímkék („Fáradt” és „Nem-fáradt”) alapján a lehető leghitelesebben tudják detektálni a fáradtságot. Két fajta tanulási feladatot különítettünk el. Az egyik a nyugalmi a másik a kognitív feladatvégzés alatti SzRV alapján történő tanulás volt. Az első feladat során a fáradtság-indukció előtti adatok kapták a „Nem-fáradt” címkét, és a fáradtság indukció utáni nyugalmi időszak SzRV adatai pedig a „fáradt” címkét. A második tanulási feladat során a kognitív feladatok első („Nem fáradt”) és utolsó négy („Fáradt”) perce során mért SzRV-t kellett az algoritmusnak összehasonlítania. A túlllesztés elkerülése, valamint a komputációs idő redukálásának céljából jellemző-kiválasztást végeztünk. A jellemzők kiválasztása után tanuló (70%) és teszt mintákra (30%) osztottuk az adatokat. Négy különböző tanuló algoritmussal végeztük el az osztályozást: szupport vektor géppel (support vector machine, SVM), a k-legközelebbi szomszédok módszerével (k-nearest neighbours, KNN), logisztikus regresszióval és döntési fával.

A *fáradtság előrejelzéséhez* a regressziós módszereket használtunk (Python, scikit-learn modul). A kimeneti változó a feladat által okozott szubjektív fáradtság változása volt. Ebben az esetben is jellemző-kiválasztással szelektáltuk ki a legjobb prediktor változókat. Az osztályozási feladatokhoz hasonlóan, az adatbázist felosztottuk tanuló-, (80%) és tesztmintákra (20%). Az algoritmusokat 5-szörös keresztvalidációval optimalizáltuk. Ezt követően, a korábban a tesztelő minta adatait próbáltuk bejósolni a modellek segítségével. Kiszámoltuk a jósolt és a valós értékek közötti Pearson korrelációs együtthatót, az abszolút négyzetes eltérést (mean squared error, MSE), és az abszolút négyzetes eltérések négyzetgyökét (RMSE).

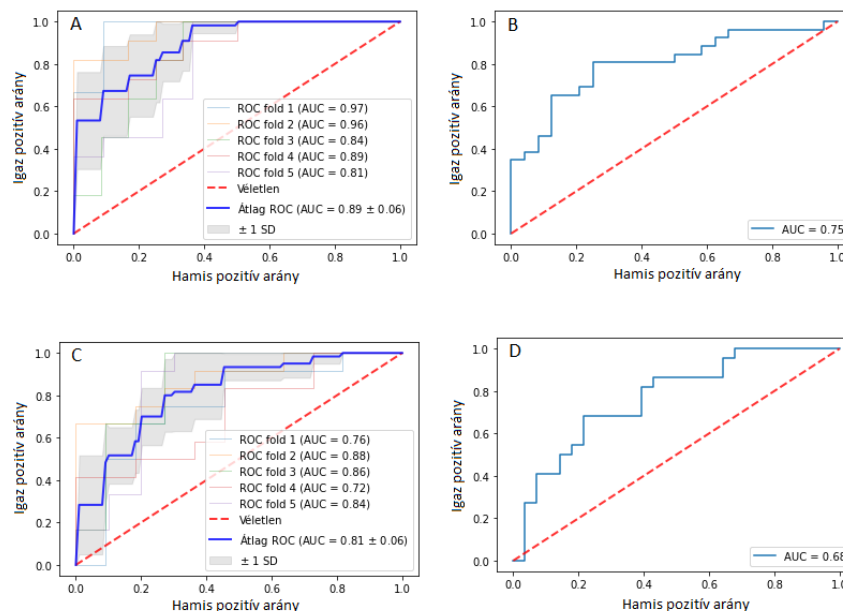
8.3 Eredmények

A jelen beszámoló csak egy rövid összefoglalóját nyújtja az eredményeknek. A nyugalmi, illetve a feladat alatti SzRV adatokon tanított osztályozó algoritmusok teljesítményét az alábbi táblázat foglalja össze. A feladat alatti SzRV-n alapuló algoritmusok összességében hatékonyan detektálták a fáradtságot. A legjobb teljesítményt a SVM modell nyújtotta ($C = 100$, $\gamma = 10^{-2}$; lásd mellékelt táblázat és ábra). Ezzel szemben a nyugalmi adatokon alapuló modellek alacsonyabb teljesítményt mutattak, és nem tudták szignifikáns valószínűséggel detektálni a fáradtságot.

A regressziós modellek értékelését az alábbi táblázat mutatja. A legpontosabban az elasztikus háló regresszióval tudtuk bejósolni a fáradás mértékét a teszt mintán (kezdeti szubjektív fáradtság, a feladat időtartama, valamint a nyugalmi SD2 és az átlagos nyugalmi R-R távolság változók alapján; $\alpha = 0,002$). A bejósolt és a valós adatok korreláltak egymással ($r = 0,495$). Ezen kívül, hatékonyan jelezte előre a fáradás mértékét a lasso regresszió is ($\alpha = 0,024$).

Osztályozó modellek	Kiértékelési mutatók		
	AUC	Pontosság	p
<i>Feladat alatti SzRV</i>			
Döntési fa	0,72	70%	0,04
KNN (k=18)	0,73	72%	0,02
Logisztikus regresszió	0,71	70%	0,07
SVM	0,75	74%	0,03
<i>Nyugalmi SzRV</i>			
Döntési fa	0,65	62%	0,14
KNN (k=7)	0,68	66%	0,05
Logisztikus regresszió	0,65	62%	0,12
SVM	0,68	70%	0,05

Rövidítések: AUC = görbe alatti terület; KNN = legközelebbi szomszédok módszere; SVM = szupport vektor gép; p = permutációs teszten (n=1000) alapuló kétoldalas p-érték



Ábra: A legjobb teljesítményt mutató SVM algoritmusok tanítása és tesztelése feladat alatti-, illetve nyugalmi HRV adatokon. (A) Az algoritmus tanításának folyamata a tanuló mintán, feladat alatti HRV adatokon; (B) A modell tesztelése a korábban nem látott teszt mintán, feladat alatti HRV adatokon; (C) Az algoritmus tanításának folyamata a tanuló mintán, nyugalmi SzRV adatokon; (D) A modell tesztelése teszt mintán, nyugalmi SzRV adatokon.

Regressziós modellek	Kiértékelési mutatók			
	R^2	MSE	RMSE	p
Elastikus háló	0,21	255,90	16,00	0,01
Lasso	0,19	261,92	16,18	0,02
Véletlen erdő	0,03	256,44	16,01	0,34

Rövidítések: MSE: átlagos négyzetes eltérés; RMSE: az átlagos négyzetes eltérés négyzetgyöke; p: permutációs teszten (n=1000) alapuló kétoldalas p-érték

8.4 Összefoglalás

A vizsgálat eredményeit röviden összefoglalva, a fáradtság detekció szempontjából azt találtuk, hogy az általunk alkalmazott algoritmusok a teljesítménye hasonlóan bizonyult a korábbi tanulmányokban közölt eredményekkel. Fontos ugyanakkor megjegyeznünk, hogy a jelen vizsgálatban úgy értük el ezt a detekciós teljesítményt, hogy az adatok változatos forrásból származtak: más-más jellemzőkel (pl. a feladat időtartama, kognitív feladat típusa stb.) rendelkező feladatok idézték elő a fáradtságot. Ezt és a magas elemszámot figyelembe véve, azt a következtetést fogalmazhatjuk meg, hogy az általunk tanított algoritmusok hatékony működését többféle helyzetre általánosíthatjuk, vagyis a fáradtságot másfajta, akár mindennapi helyzetekben is precízebben detektálhatják. Módszertani szempontból egy fontos eredménye a vizsgálatnak, hogy hatékonyabbnak bizonyultak azok a modellek, amelyek feladat alatti SzRV adatok alapján tanultak, így megfogalmazhatjuk azt a módszertani ajánlást, hogy a jövőben ilyen típusú adatokon célszerű tanítani az algoritmusokat, amennyiben a magasabb pontosság elérése a cél.

A fáradtság előrejelzését is hatékonyan oldották meg a regressziós alapú modellek. Ezek közül, két regressziós modell, az elasztikus háló-, és a lasso regresszió hatékonyan bizonyult abban, hogy négy változó, az RMSSD, az SD2 SzRV komponensek, a feladat időtartama és a kezdeti szubjektív fáradtság alapján bejósolják a szubjektív fáradtság változását hosszantartó kognitív feladatokat követően.

Általános összegzés

A támogatott vizsgálat sorozat az előzetes terveknek megfelelően haladt, leszámítva, az utolsó 1 évet, amikor a járvány miatt bevezetett korlátozó intézkedések következtében a kísérletekre egyáltalán nem, vagy csak nagyon korlátozott körülmények között nyílt lehetőség.

A vizsgálat sorozat eredményeit röviden összegezve a következő általános megállapításra jutottunk. A vizuális és auditoros ingermodalitással kapcsolatos vizsgálatok eredményeinek összehasonlítása alapján azt következtetést tudjuk megfogalmazni, hogy ennek a két modalitásnak egymással való konfliktusa elsősorban a temporális feladatok során - a modalitás váltásoknál egy időészlelési feladatban, vagy a növekvő temporális terhelés mellett egy bimodális GoNoGo feladatban – volt kimutatható. Ezzel szemben, a két modalitás szimultán prezentációja a munkamemória, és a Stroop feladattípusok esetén nem okozott erős modalitás-konfliktust, illetve nem erősödött fel a növekvő mentális fáradtság ellenére sem. A szomatoszenzoros témakörben végzett két vizsgálat közül, a Gumikéz illúzióval tesztelt testsémára vonatkozó vizsgálat eredménye alapján egyértelműnek tűnik testséma inszenzitivitása a kognitív feladatok által okozott mentális fáradtságra. Az akut fájdalom esetében a fáradtság módosító hatása ugyanakkor kimutatható volt.

Számos olyan eredményünk van, amely a mentális fáradtság általános hatásával, illetve annak háttérmechanizmusával kapcsolatban nyújt új, érdekes információt. Így a fiziológia háttérmechanizmus tekintetében erős bizonyítékot találtunk több vizsgálatban is a paraszimpatikus rendszer aktivációjának fokozódására (a szívritmus variabilitás vizsgálata alapján). Az autonóm idegrendszer paraszimpatikus ágának fáradtság-függő aktivációja összhangban van azokkal a modellekkel, amelyek a fáradtságot nem elsősorban mentális stresszként azonosítják, hanem olyan biopszichológiai folyamatként, amely egy relaxációs, regenerációs pszichológiai törekvést indít el, és számos esetben növeli a feladattól való eltávolodás motivációját. A gépi tanulási algoritmussal végzett elemzéseink pedig arra hívják fel figyelmet, hogy a paraszimpatikus rendszer aktivációját jelző fiziológiai folyamatok fáradtság detekcióra, illetve fáradtság előrejelzésre is alkalmazhatók. Kifejezetten új, és a

fáradtsághoz kapcsolódó szempontjából fontos eredménynek tekinthetjük azt a vizsgálati eredményt, hogy az egyszerű, vizuálisan irányított cél-orientált mozgások esetében a fáradtságnak disszociatív hatása van a mozgás tervezésére és annak végrehajtására. Vizsgálatunk alapján úgy tűnik, hogy míg a mozgástervezés fázisa lassul, a mozgásvégrehajtás növekvő impulzivitást mutat, azaz gyorsul, de ugyanakkor eltér az optimális ívű mozgástól.

Bár vizsgálatunk alapvetően felfedező kutatás, mégis több olyan eredményünk is született, amelyek alkalmazott irányú kutatások szempontjából is fontos információt hordozhatnak. Ilyen például az általunk több vizsgálatban megfigyelt szünet-hatás. A vizsgálatunk eredményei azt mutatják, hogy a rövid idejű szünetek elsősorban a hosszú időtartamú munkamemóriát terhelő feladatok esetén lehetnek kedvező hatásúak. A többi kognitív feladat esetén a rövid ideig tartó szünetek nem, vagy csak alig javították a kognitív teljesítményt. A hasznosság szempontjából egy további érdekes eredményünk a cél-orientált mozgással foglalkozó vizsgálat 3. kísérletéhez kapcsolódik. Ebben a kísérletben, többek között, azt találtuk, hogy az inger előtt megjelenő felhívó jellegű ingereknek kedvezőtlen hatása jelentkezhet a fáradt személyek feladatvégzése során. Az alkalmazhatóság szempontjából, ez az eredmény arra utal, hogy a különböző figyelmeztető szignálok, amelyeket gyakran használnak egyes munkakörökben a fáradtság és álmoság szintjének csökkentésére (pl. autóvezetők fáradtsága és álmosága esetén) néha kifejezetten hátrányos is lehet. Nem csak azért, mert a nem optimalizált (pl. túlzottan szembetűnő) jelek akár meg is ijeszthetik a munkát végző fáradt személyt, de azért is, mivel ezek a jelzések lecsökkenthetik a cselekvések tervezési és előkészítési időszakát, ami különösen egy fáradt személy esetében hosszabb ideig tarthat. A figyelmeztető szignálok miatt lerövidülő előkészítő fázis pedig rosszabb teljesítményhez, vagy akár veszélyhelyzetet okozó hibákhoz is vezethet. Az eredményeink felhívják a figyelmet a fáradtság-csökkentő szignálok optimalizálásának fokozott szükségességére. Végül, az utolsó, tanulási algoritmusokkal végzett vizsgálatunk egyértelműen az alkalmazhatóság irányába mutat azzal, hogy számos tanulási algoritmust összehasonlítva, több kognitív feladathoz kapcsolódóan, mind nyugalmi, mind feladat közben regisztrált szívritmus variabilitás adatsoron vizsgálta a gépi fáradtság-detekció, és fáradtság előrejelzés hatékonyságát.

A támogatott időszak lejártja után, a jelen vizsgálatok eredményei alapján, új vizsgálatokat tervezünk. Így, például a 3. vizsgálat során kidolgozott EMG elemzési módszert további vizsgálatokban szeretnénk alkalmazni, ahol a fő kérdés az, hogy a válaszadás előkészítését és végrehajtását milyen intenzitású motoros folyamatok kísérik fáradt állapotban. Ezen kívül, a jelen vizsgálatok szereplő, az akut fájdalom – akut fáradtság kapcsolatával foglalkozó a vizsgálatnak is a folytatását tervezzük. Mindemellett, elkezdtünk egy funkcionális képalkotó vizsgálatot is, amely mentális fáradtság alatt vizsgálja az agyi hálózatok működését.

A *publikációs folyamat* jelenlegi állása a következő. A támogatott téma szempontjából eddig három publikáció született:

Massar, S. A., Csathó, Á., & Van der Linden, D. (2018). Quantifying the motivational effects of cognitive fatigue through effort-based decision making. *Frontiers in Psychology*, 9, 843.

Matuz, A., Van der Linden, D., Topa, K., & Csathó, Á. (2019). Cross-modal conflict increases with time-on-task in a temporal discrimination task. *Frontiers in Psychology*, 10, 2429.

Matuz, A., van der Linden, D., Kisander, Z., Hernádi, I., Karádi, K., & Csathó, Á. (2021). Enhanced cardiac vagal tone in mental fatigue: Analysis of heart rate variability in Time-on-Task, recovery, and reactivity. *Plos One*, 16(3), e0238670.

A cél-orientált mozgással kapcsolatos vizsgálatunk eredményeiből összeállított kéziratot ('Visually Guided Movement with Increasing Time-on-Task: Differential Effects on Movement Preparation and Movement Execution') a *Quarterly Journal of Experimental Psychology*-nak nyújtottuk be és kaptuk vissza átdolgozásra. Jelenleg az kézirat revízióján dolgozunk (a revízió beküldési határideje: 2021. április 8). A kézirat jelenlegi formája letölthető erről az oldalról:

<https://data.mendeley.com/datasets/8kdkmxvxw5/draft?a=927350a8-4ed9-4041-a39a-3f5ccb63e13e>

Végül, jelenleg kidolgozás alatt álló kéziratunk a gépi tanulással végzett vizsgálat eredményeit összegezi.

A vizsgálat sorozatból készült – vizsgálatban részt vállaló hallgatók részéről – egy szakdolgozat és egy PhD disszertáció is.