

# Képességfejlesztési módszerek nyílt készségű sportágakban

*/Kognitív képességfejlesztési lehetőségek autóversenyzők körében/*

Doktori értekezés

**Horváth Dávid**

Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem  
Sporttudományok Doktori Iskola



MAGYAR TESTNEVELÉSI  
ÉS SPORTTUDOMÁNYI  
EGYETEM  
BUDAPEST

Témavezető: Dr. Rácz Levente PhD, tudományos főmunkatárs

Hivatalos bírálók:

Dr. Ihász Ferenc PhD, egyetemi tanár

Dr. Tóth László PhD, egyetemi tanár

Budapest

2025

# Tartalomjegyzék

Ábrák jegyzéke .....	4
Táblázatok jegyzéke .....	8
Rövidítések jegyzéke .....	9
<b>1.Bevezetés.....</b>	<b>11</b>
<b>2.Szakirodalmi áttekintés .....</b>	<b>15</b>
2.1 <i>Az autóversenyzők teljesítményét befolyásoló tényezők .....</i>	15
2.1.1 Az autó-motorsport demográfiai helyzete.....	17
2.1.2 Hő hatások, mint teljesítmény befolyásoló tényező.....	18
2.1.3 Hang és zaj hatások, mint teljesítmény befolyásoló tényezők....	21
2.1.4 G-hatások, mint teljesítmény befolyásoló tényezők .....	22
2.2 <i>Kondicionális képességek az autóversenyzésben .....</i>	25
2.3 <i>Kognitív képességek az autóversenyzésben .....</i>	29
2.3.1 Figyelem az autóversenyzésben .....	31
2.3.2 Munkamemória az autóversenyzésben .....	33
2.3.3 Anticipáció az autóversenyzésben .....	36
2.3.4 Válaszgátlás az autóversenyzésben.....	37
2.3.5 Reakcióidő az autóversenyzésben.....	39
2.3.6 Reaktív viselkedés az autóversenyzésben.....	40
2.4 <i>Kognitív képességek fejlesztése.....</i>	41
2.4.1 Komputerezált kognitív tréning .....	45
2.4.2 Motoros-kognitív tréning .....	49
<b>3.Célkitűzések .....</b>	<b>59</b>
3.1 <i>Hipotézisek.....</i>	60
3.1.1 Első kutatáshoz tartozó hipotézisek .....	60
3.1.2 Második kutatáshoz tartozó hipotézisek .....	61
<b>5. Anyag és módszer .....</b>	<b>62</b>
5.1 <i>Első kutatás anyag és módszer .....</i>	62
5.1.1 Első kutatás résztvevői .....	62
5.1.2 Első kutatás módszere .....	63
5.1.3 Első kutatás statisztikai elemzések.....	74
5.2 <i>Második kutatás anyag és módszer .....</i>	76

5.2.1 Második kutatás kutatás résztvevők.....	76
5.2.2 Második kutatás módszere .....	76
5.2.3 Statisztikai elemzés .....	87
<b>6. Kutatási eredmények .....</b>	<b>88</b>
6.1 <i>Első kutatás eredményei .....</i>	88
6.1.1 Agilitás edzésprogram eredményei .....	88
6.1.2 Kognitív felmérés eredményei .....	90
6.1.3 Antropometria mérések .....	92
6.1.4 Fiziológiai mérések .....	94
6.1.5 Kognitív mérések közepes intenzitású terhelés közben .....	95
6.2 <i>Második kutatás eredmények.....</i>	97
<b>7. Megbeszélés.....</b>	<b>104</b>
7.1 <i>Első kutatás megbeszélése .....</i>	104
7.2 <i>Második kutatás megbeszélése .....</i>	110
<b>8. Következtetések .....</b>	<b>115</b>
8.1 <i>Első kutatás következtetései.....</i>	115
8.2 <i>Második kutatás következtetései .....</i>	115
<b>9. Összefoglalás .....</b>	<b>117</b>
<b>10. Summary .....</b>	<b>119</b>
<b>11.Irodalomjegyzék.....</b>	<b>120</b>
<b>Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>153</b>
<b>Saját közlemények jegyzéke.....</b>	<b>154</b>
<b>Mellékletek.....</b>	<b>156</b>

## Ábrák jegyzéke

1. ábra: A motorsportban a 8 legjellemzőbb befolyásoló tényező. Az ember ábra bal oldala egy autóversenyzőt ábrázol, jobb oldala pedig egy szerelőt. A befolyásoló tényezőket tekintve a g-hatások csak az autóversenyzőre vonatkoznak, a többi tényező pedig az autóversenyzőt és a szerelőt egyaránt érinti (Reid és Lightfoot, 2019 nyomán).....	16
2. ábra: A versenyautóra ható gravitációs erők iránya (saját szerkesztésű kép).....	23
3. ábra: Autóversenyzés során használt izomcsoportokról. A bal oldali ábrán a pilóta körüli színek azokat az izomcsoportokat jelölik, amelyek a legaktívabbak a jobb ábrán azonos színnel jelölt szakaszokon (Reid és Lightfoot, 2019 nyomán).....	27
4. ábra: A munkamemóriához kapcsolódó sportpszichológiai keretrendszer, amelynek a központi mediátora a figyelem. A nyilak a hipotetikus kapcsolatot jelöli az egyes tényezők között (saját ábra Furley és Memmert, 2010 ábrája alapján).....	35
5. ábra A motoros-kognitív tréning (MCT) csoportosításának szemléltető ábrája (Herold et al., 2018).....	50
6. ábra: Az agilitás modellje (Serpell, Young és Ford, 2011 nyomán) .....	56
7. ábra: A kísérleti elrendezés sematikus ábrázolása. ANTR.: antropometriai mérések; B: edzés blokk; NYUG.KOGN.: kognitív mérések; LVT: vizuális keresési teszt; STROOP: Stroop teszt; VISGED: vizuális memória teszt; ZBA: idő- és mozgásirányt elővételezést mérő teszt DT: determinációs teszt; SP.ERG: fiziológiai mérések; ERG.KOGN.: kognitív mérések kerékpár ergométeren; WU: bemelegítés; HRR: pulzus megnyugvás; HRR-t az első, hatodik és tizenkettedik edzések során rögzítettük. ....	63
8. ábra: A Vienna Teszt Rendszer (VTS) beviteli válaszpanel és pedálok ( <a href="https://at-work.hu/hirek/muszeres-meres-a-vienna-test-systemmel/">https://at-work.hu/hirek/muszeres-meres-a-vienna-test-systemmel/</a> alapján saját szerkesztés)....	65
9. ábra: LVT teszt képernyőfotója (Schuhfried,2009).....	66
10. ábra: STROOP teszt képernyőfotója (Schuhfried, 2009) .....	67
11. ábra: VISGED teszt képernyőfotója (Schuhfried,2009).....	68
12. ábra: ZBA teszt képernyőfotója (Schuhfried, 2009) .....	69
13. ábra: DT képernyőfotója (Schuhfried, 2009) .....	70
14. ábra: <b>A:</b> a VTS válaszpanel; <b>B:</b> kerékpár ergométeren végzett kognitív tesztelés; <b>C:</b> STROOP teszt; <b>D:</b> ZBA teszt (saját szerkesztésű kép Schuhfried, 2009 alapján) .....	72
15. ábra: A Microgate Witty Sem eszköz elhelyezése az agilitás edzésprogram során (saját szerkesztés).....	73

16. ábra: A kutatási terv sematikusán van ábrázolva. A képzési program megkezdése előtt minden vizsgálati személynek 4 feladatból álló tesztet kellett teljesítenie. A 12 alkalomból álló képzési program során a vizsgálati személyeket három csoportra osztottuk, nevezetesen neuroMoon (nM), neuroMoon sham (kontroll kondicionált csoport, KKCS) és Neurotracker (NT) csoportokra. Az intervenciót követően a vizsgálati személyek újra teljesítették a felmérési protokollt. A felmérés a következő teszteket foglalta magába: Stroop teszt (STROOP), Task-Switching Test (SWITCH), determinációs teszt (DT) és fordított számterjedelem teszt (FSZT) (saját szerkesztés). 77

17. ábra: Az nM EEG fejpántról (alfa változat) készült ábra (A). Az nM készülék 4 EEG-elektrodájának elhelyezését az EEG-elektrodák elhelyezésére vonatkozó nemzetközi 10-20-as rendszer szerint alakították ki. A munkaelektrodák és a referenciaelektrodák késsel, illetve lilával vannak kiemelve (B). Az intervenció ábrázolása (C) (saját szerkesztés). 79

18. ábra: A FSZT mintája (saját szerkesztés) ..... 81

19. ábra: A SWITCH tesztnek képernyőfotója (Schuhfried, 2009) ..... 83

20. ábra: Az agilitás edzésprogram teljesítmény mutatója érintések számának vonatkozásában. Jelentősen javult az első edzésről a másodikra, a harmadikról a negyedikre és a 11. edzésről az utolsó. Továbbá, az autóversenyzők több érintést produkáltak az egyes edzéseken az első edzéshez képest. \* $p < 0,05$  a post hoc párosított mintás t-próba szignifikáns idő főhatás alapján. †Szignifikánsan különbözik az edzéshez képest ..... 89

21. ábra: Az agilitás edzésprogram teljesítmény mutatója az érintések átlag reakcióidejének (mp) vonatkozásában. Jelentősen javult az első edzésről a másodikra, a harmadikról a negyedikre és a 11. edzésről az utolsó. Továbbá, az autóversenyzők rövidebb RT-vel az egyes edzéseken az első edzéshez képest. \* $p < 0,05$  a post hoc párosított mintás t-próba szignifikáns idő főhatás alapján. †Szignifikánsan különbözik az 1. edzéshez képest ..... 90

22. ábra: Változások a STROOP eredményeiben közepes terhelés közben. BL, kiindulási érték, reakció értékek a EXP (piros és kék) és a CON (barna és zöld) a színmegnevezési kondíció (A) és szóolvasási kondíció (C). B, D reprezentálja a hibák számát %-ban kifejezve a kiinduló (PRE)- és utóértékek (POST) esetében. Kontrollcsoport (CON), kísérleti csoport (EXP). A boxplotok a mediánt, a felső és alsó kvartiliseket, valamint a csoportok min- és max-értékét mutatják. A boxplotban az „x” jelöli az átlagvonalat. \* $p <$

0,05 a poszt hoc párosított minták t tesztje a szignifikáns csoport × idő interakció alapján .....	97
23. ábra: A STROOP teszt eredményeinek változásai az intervenció hatására. A esőfelhő plot diagramokon az interferencia tendencia (A) kiindulási és beavatkozás utáni értékeit ábrázoljuk az egyes csoportokban (zöld és narancssárga), valamint a kiindulási és interferencia feltételek medián reakcióidejét a STROOP szóolvasási (B, C), esetében. A csoportok jelölése: nM (neuroMoon), NT (Neurotracker), CON (kontroll kondicionált csoport). A boxplotok a mediánt, a felső és alsó kvartiliseket, valamint a csoportok minimális és maximális értékeit mutatják. Az ábra azokat a kognitív méréseket mutatja be, amelyek szignifikáns időhatást mutattak ( $p < 0,05$ ). .....	98
24. ábra: A STROOP teszt eredményeinek változásai az intervenció hatására. Az esőfelhő diagramokon kiindulási és beavatkozás utáni értékeit ábrázoljuk az egyes csoportokban (zöld és narancssárga), valamint az alapkondíció és interferencia feltételek medián reakcióidejét a STROOP színmegnevezési feltételek (A,B) esetében. A csoportok jelölése: nM (neuroMoon), NT (Neurotracker), CON (kontroll kondicionált csoport). A boxplotok a mediánt, a felső és alsó kvartiliseket, valamint a csoportok minimális és maximális értékeit mutatják. Az ábra azokat a kognitív méréseket mutatja be, amelyek szignifikáns időhatást mutattak ( $p < 0,05$ ). .....	99
25. ábra: A SWITCH teszt eredményeinek változásai az intervenció hatására. Az esőfelhő diagramokat használtuk a kiindulási (Pre) és a beavatkozás utáni (Post) értékek szemléltetésére az egyes csoportoknál (zöld és narancssárga) a munkaidő (A), az inkongruens ingerek medián reakcióideje (B), az ismétlési feladat (C) és a váltási feladat (D) esetében. A csoportok jelölése: nM (neuroMoon), NT (Neurotracker), CON (nM kontroll kondicionált csoport). A boxplotok a mediánt, a felső és alsó kvartiliseket, valamint a csoportok minimális és maximális értékeit mutatják. Ez az ábra kiemeli azokat a kognitív méréseket, amelyeknél az idő szignifikáns főhatást mutatott ( $p < 0,05$ ). .....	100
26. ábra: A fordított számterjedelem teszt (FSZT) eredményeinek változásai az intervenció hatására Az esőfelhő-ábrákat használtuk a kiindulási (Pre) és a beavatkozás utáni (Post) értékek ábrázolására az egyes csoportokban (zöld és narancssárga) A csoportok jelölése: nM (neuroMoon), NT (Neurotracker), CON (nM kontroll kondicionált csoport). A boxplotok szemléletesen ábrázolták a csoportok központi tendenciáját (medián), szórását (felső és alsó kvartilis), valamint a tartományt (minimális	

és maximális értékek). Az ábra azokat a kognitív méréseket mutatta be, amelyek $p < 0,05$ szignifikanciaszinten az idő szignifikáns főhatását mutatták. ....	101
27. ábra: A determinációs teszt (DT) eredményeinek változásai az intervenció hatására. Az esőfelhő-ábrákat használtuk a kiindulási (Pre) és a beavatkozás utáni (Post) értékek ábrázolására az egyes csoportokban (zöld és narancssárga) a DT-ben a kihagyott és helyes válaszok száma, valamint a DSB pontszám tekintetében. A csoportok jelölése: nM (neuroMoon), NT (Neurotracker), CON (nM kontroll kondicionált csoport). A boxplotok szemléletesen ábrázolták a csoportok központi tendenciáját (medián), szórását (felső és alsó kvartilis), valamint a tartományt (minimális és maximális értékek). Az ábra azokat a kognitív méréseket mutatta be, amelyek $p < 0,05$ szignifikanciaszinten az idő szignifikáns főhatását mutatták.....	102
28. ábra: Korrelációs mátrixok a valódi és a kontroll kondicionált NF-csoportok EEG-mérőinek és játék pontszámainak korrelációs mátrixaihoz. (A) A korrelációs mátrix hőterképén az EEG-változók (SMR, T, SMR/T arány) és a játékpontszámok Pearson-féle korrelációs együttható ( $r$ ) értékei láthatók. A pozitív értékek piros színnel, a negatívak kékkel. Az érték $-1$ és $1$ között mozog, ahol $-1$ a változók közötti tökéletes negatív lineáris kapcsolatot, $1$ a változók közötti tökéletes pozitív lineáris kapcsolatot, $0$ pedig azt jelenti, hogy a vizsgált változók között nincs kapcsolat. (B) Az SMR és a T közötti szignifikáns pozitív összefüggések szórásdiagramja mind a valódi, mind a kontroll kondicionált NF-csoportokban .....	103

## Táblázatok jegyzéke

1.táblázat: Az értékek az egyes változók átlaga és alatta zárójelben a változók szórása. BL, kiindulási érték, CON, kontrollcsoport, EXP, kísérleti csoport, IF, interferencia hatás; LVT, vizuális keresés teszt; Post, utóérték; RT, medián reakcióidő; STROOP, stroop teszt, † jelentős csoport x idő interakció; * $p < 0,05$ poszt-hoc párosított minták t-próbája .....	91
2. táblázat: Az értékek az egyes változók átlaga és alatta zárójelben a változók szórása. DT, determinációs teszt, MDD, medián irány szórás; TA, idő anticipáció; VMP, vizuális memória teljesítmény; † jelentős csoport x idő interakció; * $p < 0,05$ poszt-hoc párosított minták t-próbája.....	92
3. táblázat: Antropometetria paraméterek az ISAK felmérés alapján. Az értékek az egyes változók átlaga és alatta zárójelben a szórása. TM, testmagasság; BL, kiindulási érték; TTM, testtömeg; CON, kontrollcsoport; EXP, kísérleti edzéscsoport; TZS, testzsír százalék; BI, becsült izomtömeg; † jelentős csoport x idő interakció; * $p < 0,05$ poszt-hoc párosított minták t-próbája.....	93
4. táblázat: Terhelésélettani paraméterek a futópados spiroergometria teszt alapján. Az értékek az egyes változók átlaga, alatta zárójelben a szórás értékek. BF, légzésfrekvencia; BL, kiindulási érték; BPM, légzés/perc; bpm, percenkénti ütések száma; CON, kontrollcsoport; EXP, kísérleti edzéscsoport; GETHR, pulzusszám a gázcsere küszöbértéknél; HR, pulzusszám; intenzitás, az elért futógépes csúcssebesség (km/h); Post, visszamérés érték; $VO_2max$ , relatív maximális oxigénfelvétel (ml/min/kg); VE, ventiláció. † jelentős csoport x idő interakció; * $p < 0,05$ poszt-hoc párosított minták t-próbája .....	95

## Rövidítések jegyzéke

ADC - Analóg-Digitális Átalakító (Analog-to-Digital Converter)

ANOVA: Varianciaanalízis

anovaRM - Ismételt mérések és kevert varianciaanalízis (Repeated-measures Analysis of Variance)

BDNF: Brain-Derived Neurotrophic Factor

BF: Légzési frekvencia

BI%: Becsült izomtömeg

CON - Kontrollcsoport (Control Group)

CPT II- Continuous Performance Test II

d - Hatásméret (Effect Size)

DRL- Driven right leg

DT - Determinációs teszt

EEG - Elektroencefalográfia (Electroencephalography)

EXP: Kísérleti csoport

FFT- Gyors Fourier Transzformáció (Fast Fourier Transform)

FSZT - Fordított számterjedelem teszt (Digit Span Backward Test - DSB)

GET: Gázcsere küszöb

GETHR: Gázcsere küszöb szívfrekvencia

HR: Szívfrekvencia

HRR: Megnyugvási szívfrekvencia

KKCS - Kontroll kondicionált csoport

LVT: Vizuális keresési teszt

NF - Neurofeedback

nM - NeuroMoon

NT - NeuroTracker

PCT – Perceptuális-kognitív tréning (Perceptual-cognitive training)

PSD - Teljesítménysűrűség (Power Spectral Density)

rmANOVA: Ismételt mérések varianciaanalízise

RSI- Válasz- inger intervallum

RT - Reakcióidő teszt (Reaction Time Test)

SART- Sustained Attention to Response Task

SMR – Szenzomotoros ritmus (Sensorimotor Rhythm)  
SPS - Mintavételezés/másodperc  
STROOP - Stroop teszt  
SWITCH - Task-Switching Test  
TM: Testmagasság  
TTM: Testtömeg  
TZS%: Testzsír százalék  
VCO2: Szén-dioxid leadás  
VE: Ventiláció  
VISGED: Vizuális memória teszt  
VO2: Oxigénfelvétel  
VO<sub>2</sub>max: Relatív maximális oxigénfelvétel (testtömeghez igazítva)  
VTS: Vienna Teszt Rendszer (Vienna Test System)  
ZBA: Idő- és mozgásirányt elővételezést mérő teszt  
 $\eta^2$  - Parciális eta-négyzet (Partial Eta-Squared)

## 1.Bevezetés

A nyílt készségű sportágak – mint például a labdajátékok, a küzdősportok vagy az autó-motorsport – olyan környezetben zajlanak, ahol a sportolóknak folyamatosan változó, dinamikus és kiszámíthatatlan ingerekre kell reagálniuk. Ezekben a sportágakban a siker nem kizárólag a fizikai képességeken múlik, hanem kiemelt jelentősége van a kognitív készségeknek is, mint a figyelem, a döntéshozatal, a munkamemória vagy az anticipáció. A sportpszichológiai kutatások egyre inkább hangsúlyozzák, hogy a kognitív képességek fejlesztése a teljesítményoptimalizálás egyik kulcstényezője a nyílt készségű sportágakban (*Heilmann, Weinberg és Wollny, 2022*).

Ezen sportágak közül különösen kiemelkedik az autó-motorsport, amely a 19. század végétől a 21. század elejéig milliókat tett a rajongójává. Az egyes szakágak versenyhétvégéit több százmillió ember követi televízión keresztül vagy a helyszínen, hogy szurkoljon kedvenc csapatának és versenyzőinek (*Ross, Ridinger és Cuneen, 2009; Aversa, 2015; Bell et al., 2016*). A rajongók ilyen széles körű részvétele jól mutatja az autósport tartós vonzerejét, amely a világ különböző sarkaiból vonzza az érdeklődőket, hogy tanúi legyenek a nagy sebességű versenyek izgalmának, és kifejezzék támogatásukat az általuk csodált sportolók iránt. A motorsport kulturális és sportszakmai jelentősége vitathatatlan, hiszen olyan közösségi élményt kínál, amelyben a versenyszellem és a technikai innováció egyaránt meghatározó szerepet játszik. Népszerűségével párhuzamosan az autósport gazdasági vonzata is folyamatosan növekszik, például a Formula–1 egy szezonjának átlagos költsége meghaladja a 250 millió amerikai dollárt (*Mourão, 2017*).

Hogy mi teszi olyan népszerűvé az autóversenyzést? A megjelenése óta különleges atmoszféra övezi az autóversenyzést. A versenyautók külleme, hangja, illata, sebessége és a versenyzés veszélyéből adódó adrenalinlöket mind hozzájárulnak a motorsport körüli izgalmakhoz.

A pozitívumok mellett több ellenérv is van a motorsporttal szemben. Többen támadják a negatív környezeti hatások, a közutakon való vezetési viselkedés negatív hatásai és az egészségre gyakorolt hatásai végett (*Yıldırım-yenier et al., 2016, Adavikottu et al., 2023*). Ezen visszhangok következtében is, a környezeti fenntarthatóság szempontjából elektromos versenyautó sorozatok indultak el, illetve az e-sport is egyre

nagyobb figyelmet kapott az elmúlt időszakban (*Tranter és Lowes, 2005; Liu és Fotouhi, 2020*). A vezetési biztonság növelése érdekében több autóversenyző is a közösségi médiában próbál példát mutatni és felhívni a figyelmet a közúti szabályok betartására. A szponzori reklám tartalmak is szabályozás alá kerültek, hogy ezzel az egészségre negatív hatással bíró termékek reklámozását korlátozzák.

A legtöbb esetben, amikor az autó-motorsportról beszélünk a Forma 1-es autó és a széria jut az eszünkbe, viszont ennél sokkal komplexebb a motorsport, hiszen maga a kifejezés sokkal több motorizált járművet és versenykategóriát foglal magába. A versenyeket globálisan tekintve megkülönbözteti a verseny lebonyolításának a helyszíne: versenypályán vagy terepen zajlik a verseny. Nagy követői bázisnak örvend a NASCAR, IndyCar az Egyesült Államokban, a Rally, a GT és a túraautó Európában. Az ázsiai országok körében is rengeteg kategória létezik (*Klarica, 2001; Fielden, 2007*).

A hatalmas közkezdveltség ellenére, a 2000-es évek elejéig több kutatásban és a közvélemény alapján is elterjedt az a sztereotípiá, hogy az autóversenyzők nem tekinthetők sportolóknak (*Dawson, 1979*). Egyesek azzal érvelnek, hogy az autósport bizonyos más sportágakhoz képest kevesebb fizikai megerőltetéssel jár, míg mások a mentális és technikai kihívásokat hangsúlyozzák, amelyekkel a versenyzőknek szembe kell nézniük. Az említett sztereotípiával részben egyet tudok érteni, hiszen ahhoz, hogy valaki versenyezzen nem kell sportolónak lenni, viszont a kiemelt kategóriákban, kimagasló teljesítmény eléréséhez előnyt jelenthet a fizikai- és mentális képességek magas szintű megjelenése.

Ezzel tisztában volt több legendás autóversenyző is, mint például Niki Lauda, aki 1976-os balesetének rehabilitációja után továbbra is folytatta az edzéseket az osztrák származású Willi Dungl-el. Alain Prost és Ayrton Senna mellett Josef Leberer dolgozott azon, hogy az edzettségi állapotuk a legjobb szinten lehessen a versenyeken. Igazán példamutató a fittség szempontjából az 1991-ben debütáló Michael Schumacher volt, aki nem csak a versenypályán, de azon kívüli edzettségben is a legjobb akart lenni. A fizikai felkészítés mellett nagy hangsúlyt fektetett indiai edzőjével, Balbir Singh-el a mentális egyensúly optimalizálására is, ezért a méltán híres autóversenyző edzés rutinjának szerves részét képezte a jóga és a tajcsi is. Ez a szemléletmód a versenyzőkön túl az őket körülvevő szakmai csapatra is áttért. Ferguson és munkatársai 2015-ös kutatásukban is kiemelik a szerelő csapatok teljesítményének a jelentőségét, hiszen a boxkiállások

hossza nagymértékben befolyásolhatják a versenyzők teljesítményét. Ezenfelül azt is taglalják, hogy a szerelői csapatok szerepkörei specifikusak, ezáltal egyénenként változhatnak a különböző motoros képességek és az antropometriai tulajdonságok (Ferguson et al., 2015).

Az autó-motorsportban megjelent tanulmányok többsége a mérnöki fejlesztésekre, beállításokra, elemzésekre irányult, hogy még biztonságosabbá és látványosabbá tegye a sportágat, illetve a motorsportot körülvevő szociológiai tényezőkre mint a fenntarthatóság, környezetre gyakorolt egészségügyi hatások (Dingle, 2009; Dias és Júnior, 2022). Az autó-motorsport versenyzők humán kutatásai ehhez képest és a többi sportághoz viszonyítva elenyésző számmal jelentek meg (Potkanowicz és Mendel, 2013; Filho, Tenenbaum és Yang, 2015; Potkanowicz, 2019). Reid és Lightfoot (2019) összegző tanulmányában 46 olyan kutatásról számol be, amely 1966 és 2019 között került publikálásra és az autóversenyzők fiziológiájával foglalkozott (Reid és Lightfoot, 2019). Az alacsony számú kutatás okának lehetséges magyarázatát a versenyzés közben való mérések a Nemzetközi Automobil Szövetség (Federation Internationale de l'Automobile, FIA) általi szabályozása és az autóversenyzés dinamikájának jellege adhatja (Arjunan és Baroutaji, 2021). Edzéselmélet és módszertan megközelítésében az autó-motorsportban is megfigyelhető az alap periodizációs struktúra, mint felkészülési időszak, verseny időszak és átmeneti időszak, viszont összehasonlítva más népszerű sportággal, mint például a labdarúgás elenyésző számú tanulmány és publikáció jelent meg a fizikai- és mentális felkészülés periodizációjával kapcsolatban (Jenkins, Pasternak és West, 2009; Issurin, 2010). A felkészítés során figyelembe kell venni a sportág általános- és specifikus követelményeit és felépítését (Ebben és Suchomel, 2012). A világon egyre több olyan szervezet alakult meg, amely az autó-motorsport versenyzők felkészítésével professzionális szinten foglalkozik. Ilyen például az Egyesült Államokban a FitPit, Olaszországban a Formula Medicine, Franciaországban a 3.2.1 Perform és Magyarországon 2012 óta működő Fit4Race.

A Fit4race szakmai csapata, melynek 2018-tól én is aktív tagja vagyok, azon dolgozik, hogy egy holisztikus megközelítésben vizsgálja és fejlessze a sportolókat. Edzőként így a mai napig az elsődleges feladatom az autóversenyzők motoros és kognitív képességeinek felmérése és az eredmények alapján ezen képességek optimalizálása. Ahhoz, hogy azonosítsuk az autóversenyzők magas szintű teljesítményének eléréséhez

nélkülözhetetlen képességeket, először meg kell határoznunk azokat a tényezőket, amelyek alapvetően befolyásolják a pilóták teljesítményét. Emellett szükséges meghatározni azokat a validált mérési és fejlesztési módszereket, amelyek lehetővé teszik az autóversenyzők képességeinek hatékony monitorozását és célzott fejlesztését.

## 2.Szakirodalmi áttekintés

A nyílt készségű sportágak olyan atlétikai tevékenységek, amelyekben a sportolóknak folyamatosan alkalmazkodniuk kell a kiszámíthatatlan környezethez és a dinamikus változó helyzetekhez. Ide sorolhatók például a csapatsportok, mint a labdarúgás vagy a kosárlabda, amelyekben a mozgások tervezése és végrehajtása magas szintű kognitív bevonódást és gyors döntéshozatalt igényel. E sportágak élesen megkülönböztethetők a zárt készségű sportoktól, ahol a mozgások jellemzően előre meghatározottak és ismétlődők. A nyílt készségű sportágak legfontosabb sajátossága a folyamatosan változó, dinamikus környezet, amelyben a sportolóknak gyorsan kell reagálniuk az ellenfelek mozgásaira és a környezeti tényezőkre (Chao et al., 2023). Ez a bizonytalanság kiemelt kognitív terhelést jelent, hiszen a sikeres teljesítmény olyan magasabb rendű kognitív funkciók hatékony működését feltételezi, mint a figyelem, az észlelés és a döntéshozatal (Lai et al., 2024).

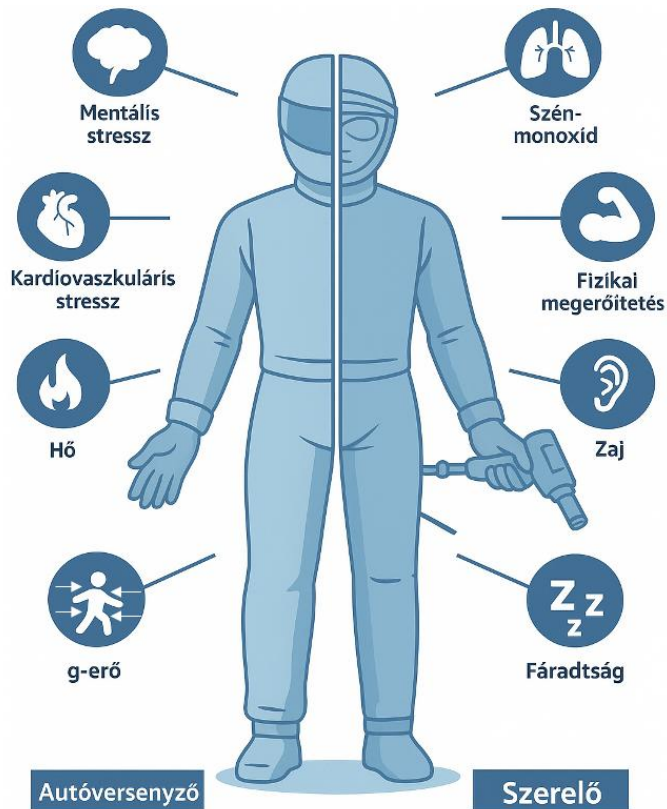
Ebbe a kategóriába illeszkedik a motorsport is, amely különböző versenyszerű tevékenységeket foglal magában, motorizált járművek részvételével szárazföldön vagy vízben. Ide tartoznak az autó- és motorkerékpárversenyek, valamint a motorcsónakversenyek, amelyek számos kategóriában – például országúti versenyek, rali vagy gyorsulási versenyek – jelennek meg (Trzesniowski, 2021). A motorsport tehát sajátos formában, de a nyílt készségű sportágakhoz hasonlóan a folyamatos alkalmazkodást, a gyors döntéshozatalt és a magas kognitív bevonódást helyezi a középpontba, amely megalapozza jelen kutatás fókuszát.

### 2.1 Az autóversenyzők teljesítményét befolyásoló tényezők

Az autóversenyzők teljesítményének optimalizálása érdekében elengedhetetlen a versenyzőkre ható tényezők alapos elemzése, amelyek közvetlen vagy közvetett módon befolyásolhatják a teljesítményt. Az irodalmi áttekintés célja egy átfogó és részletes kép kialakítása, különös tekintettel a versenyzőket érintő külső és belső tényezők összetett interakcióira.

A kutatási témám mentén a disszertációban kiemelt figyelmet szentelek a kognitív képességek vizsgálatának és a megjelent publikációk átfogó értelmezésének. Az autóversenyzők teljesítményét befolyásoló tényezőinek feldolgozásában Reid és

Lightfoot (2019) munkásságát vettem alapul. Kutatásuk célja az autóversenyzésben felmerülő elsődleges élettani tényezőket befolyásoló faktorok megvizsgálása és az adott sportágban részt vevő sportolókkal és a szerelő csapattal kapcsolatos meglévő ismeretek összefoglalása.



1. ábra: A motorsportban a 8 legjellemzőbb befolyásoló tényező. Az ember ábra bal oldala egy autóversenyzőt ábrázol, jobb oldala pedig egy szerelőt. A befolyásoló tényezőket tekintve a g-hatások csak az autóversenyzőre vonatkoznak, a többi tényező pedig az autóversenyzőt és a szerelőt egyaránt érinti (Reid és Lightfoot, 2019 nyomán)

Habár a járműrendszer-dinamika területe átfogó működési megértést ért el a versenyautókhöz kapcsolódó komplex dinamikáról, továbbra is jelentős hiány van az empirikus kutatásokban a versenyző érzékszervi és motoros fiziológiája mögött álló még bonyolultabb dinamikával kapcsolatban (Milliken és Milliken, 1995). Ennek legfőbb oka lehet a versenyek során történő adatgyűjtés jelentős biztonsági kockázata, ami komoly kihívás elé állítja az autósporttal foglalkozó kutatókat és versenyzőket egyaránt (Fuller, 2005). Ennek ellenére a biomérnöki technológiák fejlődése lehetővé tette a hordozható

elektrofiziológiai érzékelők biztonságos alkalmazását, amelyek révén a versenyzők valós időben értékelhetők (*Katsis, Katertsidis, Ganiatsas és Fotiadis, 2008*).

A szimulációs versenykörnyezetben végzett kutatások főként a versenyzők pszichofiziológiai mutatóinak mérésére összpontosítottak. Ezen tényezők között szerepelnek a fiziológiai, pszichológiai és környezeti hatások mint a hő, a zaj, a g-hatások, a versenyzőket körülvevő megnövekedett szén-monoxid mennyiség, amelyek mind egyaránt fontosak a versenyzők optimális teljesítményének eléréséhez (*Edmonds, Tenenbaum, Mann, Johnson és Kamata, 2008; Mullen, Jones, Faull és Kingston, 2012*).

### 2.1.1 Az autó-motorsport demográfiai helyzete

A versenyzés globális terjedésével és fejlődésével elengedhetetlen a résztvevők demográfiai jellemzőinek megértése, hogy átfogó képet kapjunk a társadalmi kontextusról. Az életkor, nem, nemzetiség és társadalmi-gazdasági háttér mind hozzájárul a versenyközösség sokszínűségéhez. Ezen demográfiai jellemzők részletes feltárásával betekintést nyerhetünk a sporton belüli különböző csoportok kihívásaiba és lehetőségeibe, valamint a sokszínűség teljesítményre és kulturális megítélésre gyakorolt hatásába.

A motorsport történelmi fejlődése sokrétű és összetett, időben árnyalt és bonyolult módon bontakozik ki. Ez a Franciaországból kiinduló, magával ragadó sportjelenség gyorsan túllépte kezdeti határait, és Európa különböző régióira gyakorolt átható és befolyásos hatást. A motorsport történelmi kontinuumában egyik legjelentősebb periódusa az 1945 és 1981 közötti időszak volt. Ez a korszak a Nemzetközi Automobil Szövetség (FIA) működési módjának mélyreható átalakulásának volt tanúja, egy olyan intézményi újra kalibrálásnak, amely katalizálta a motorsport kereskedelmi jellegűvé válását, különösen a Forma-1 (F1) szintjén (*Haynes, 2020*). Az autóversenyzés tiszteletre méltó történelmét három világhírű autóverseny - a híres Indianapolis 500, az ikonikus Monacói Forma-1-es Nagydíj és a Le Mans-i 24 órás autóverseny - kitörölhetetlen hozzájárulása gazdagítja. Ezek az események mind lenyomatot képeztek az autósport izgalmas, kollektív történelmében, ezzel tanúsítva a sportág globális visszhangját (*O'kane, 2011*).

Az autóversenyzők heterogén közösséget alkotnak. A médiában gyakran kiemelt magas szintű versenyeken részt vevő pilóták általában 18-30 éves korosztályba tartoznak,

habár a motorsport ennél szélesebb korosztályt foglal magába. A demográfiai eloszlás az autóversenyzés területén általában a verseny szintjétől és a figyelembe vett versenyzés konkrét típusától függően változik. A fiataloknak már hatéves kortól lehetőségük van országos bajnoki versenyeken részt venni. Gyakran a versenyzést gokart szakágban vagy más hasonló junior kategóriákban való részvétel révén kezdik meg (*Chaldanbayev, 2022*). A motorsport hagyományosan férfi uralta terület volt, de egyre nőnek a lehetőségek a női versenyzők számára (*Huebner és et al., 2017; Howe, 2022*). A férfi dominancia oka egy megdőlni látszó sztereotípa is volt, miszerint a nők nem rendelkeznek olyan vezetői képességekkel, mint férfi társaik. Emellett a nemek közötti különbségek fokozatos csökkenése és a nők egyre nagyobb arányú részvétele hozzájárul a sportág sokszínűségének növekedéséhez. Ehhez a trendhez hozzátesznek az iparági kezdeményezések is, mint például a NASCAR Drive for Diversity programja, valamint a 2018-ban indított kizárólag női versenysorozat, a W Series. Ezek a programok a nők motorsportban való előrehaladását hivatottak támogatni (*Kochanek et al., 2021*). Az ilyen változások elősegítik a versenyzői bázis szélesítését és új perspektívákat hoznak a motorsport világába. A motorsport nemzetközi jellege továbbá biztosítja a különböző kultúrák és nemzetek képviselőinek részvételét, gazdagítva ezzel a sportág globális közösségét és hozzájárulva annak dinamikus fejlődéséhez.

### 2.1.2 Hő hatások, mint teljesítmény befolyásoló tényező

A hőhatás jelentős hatással van a szívfrekvencia dinamikájára és az autonóm idegrendszer működésére. Korábbi kutatások kimutatták, hogy a hőstressz a pulzusszám és a testhőmérséklet emelkedését eredményezi, ami egyidejűleg a szívfrekvencia variabilitásának (HRV) csökkenéséhez vezet (*Yamamoto et al., 2007; Bruce-Low et al., 2006*). Ezt a fiziológiai választ a paraszimpatikus aktivitás csökkenése jellemzi, valamint a szimpatikus idegrendszer fokozódása, amit a HRV magas frekvenciatartományú és alacsony frekvenciatartományú komponenseinek változásai jelzik (*Crandall et al., 2000*). Az emelkedett hőhatás emellett befolyásolja a pulzusszámot szabályozó baroreflex mechanizmusokat, és központi hipovolémiát eredményezhet, ezáltal veszélyeztetve az esszenciális szervek perfúzióját (*Crandall és Wilson, 2014*). Úgy tűnik, hogy a hőstresszre adott válasz kétfázisú módon alakul ki: a vagális tónus kezdeti visszavonása, amelyet a szimpatikus kiáramlás későbbi növekedése követ (*Frey és Kenney, 1979*). Ezek

a kardiovaszkuláris funkciók változásai korrelálnak a hőstressz fokozott szubjektív megnyilvánulásaival és a vizelet noradrenalin szintjének emelkedésével (*Yamamoto et al., 2007*). A pulzusszám folyamatos megfigyelését optimális módszernek ajánlották speciális környezetben a hőstressz értékelésére, mivel szoros összefüggésben áll a testhőmérséklet változásaival és a hővel kapcsolatos egészségügyi problémák előfordulásának megelőzésében (*Ruas et al., 2020*). Fontos ennek ellenére megjegyezni, hogy versenykörülmények között a különböző stresszorok integráltan hatnak a szervezetre, így tökéletesen nem izolálható a hőstressz értékelése pulzusméréssel. Ezért a bőr- és maghőmérséklet változásának detektálására javasolt kombinált módszerek alkalmazása (például a zero hőáram elvén alapuló hőmérséklet-érzékelők és a hőáramlás monitorozására szolgáló eszközök), amelyek pontosabb képet nyújthatnak a hőstressz fiziológiai hatásairól és az egyéni toleranciáról. Ezek a módszerek kiegészíthetik a pulzusmérés adatait, lehetővé téve a komplex stresszhatások pontosabb értékelését (*Teunissen et al., 2011; Ota et al., 2017; Hunt et al., 2019*).

Az emberek képesek elviselni a hőmérséklet jelentős ingadozásait. Kenefick és munkatársai (2006) szerint az emberi test képes ellenállni a  $-50^{\circ}\text{C}$  és  $100^{\circ}\text{C}$  közötti szélsőséges környezeti feltételeknek. Mindazonáltal az emberi tolerancia körülbelül  $4^{\circ}\text{C}$ -ra korlátozódik a belső hőmérséklet eltérései szempontjából, mielőtt mind a fizikai, mind a kognitív képességek csökkenését tapasztalná.

A túlzott hűtés kockázatának csökkentésére irányuló erőfeszítések ellenére az emberek kihívásokkal szembesülnek a túlmelegedés megelőzésében. Függetlenül attól, hogy a cél a hipotermia vagy a hipertermia elkerülése, hőszabályozó mechanizmusaink hatékonysága a hőegyensúly elvétől függ.

A magas hőviszonyok jelentős akadályt jelentenek az autóversenyzés területén. Számos atlétikai törekvéshez hasonlóan az anyagcsere hőtermelése az intenzív fizikai erőfeszítés elkerülhetetlen következménye. Az autóversenyzés során a hőelvezetés korlátozásokkal szembesül az ezen a területen rejlő megkülönböztető jellemzők miatt. Egy jelentős stressztényező a versenyautó belsejében tapasztalható hőmérséklet. A zárt versenyautó légköri körülményei, mint például a NASCAR, a WTCC, WRC esetében, jellemzően  $50^{\circ}\text{C}$  és  $65^{\circ}\text{C}$  között mozognak, időnként  $82^{\circ}\text{C}$ -on. A jármű területén, például a motor vagy a kipufogógáz közelében található környezet, valamint az alváz alkatrészei (beleértve a féket, gumiabroncsokat, kereket és felfüggesztést) meghaladhatják a  $100^{\circ}\text{C}$ -

ot. A versenypálya betonból vagy aszfaltból álló felületek, olyan anyagok, amelyek képesek elnyelni a napsugárzást és emelni a hőmérsékletet. Ez a jelenség nemcsak a környezeti hőmérsékletet növeli, hanem hozzájárul a résztvevők által érzékelt általános hőterheléshez is.

Emellett a versenyzőknek kötelező tűzálló ruházat viselése a versenyzés során. Ez a ruházat magában foglal hosszú alsóneműt és zoknit, többrétegű tűzálló ruhát, cipőt, kesztyűket, valamint maszkot és egy zárt védősisakot. A versenyző öltözete hőszigetelési értéke körülbelül 1,56 clo, következésképpen akadályozza a sportolók hőleadását, ami fokozott izzadáshoz vezet (*Cheung, McLellan és Tenaglia, 2000; Carlson, Ferguson és Kenefick, 2014*). Az autóversenyzők magas hőmérséklet, páratartalom és speciális ruházat miatti kompenzálatlan hőstressznek való kitettsége a bőr hőmérsékletének fokozatos emelkedését és a mag-bőr hőátadási gradiense csökkenését eredményezi (*Baroody és Thomason, 1975*). Carlson, Ferguson és Kenefick (2014) kutatásukban Nascar versenyzők mag- és bőr hőmérsékletét vizsgálták verseny megelőzően és a versenyt követően. A verseny előtti  $38,1 \pm 0,1$  °C-ról  $38,6 \pm 0,2$  °C-ra emelkedett a verseny után. Jelentős emelkedést figyeltek meg az összes bőrhőmérsékleten (mellkas, alkar, comb és lábszár) a verseny előtti  $36,1 \pm 0,2$  °C-ról  $37,3 \pm 0,3$  °C-ra emelkedett a verseny után, míg a maghőmérséklet és bőr hőmérsékleti gradiense a verseny előtti  $2,0 \pm 0,3$  °C-ról  $1,3 \pm 0,3$  °C-ra csökkent a verseny után. A bőséges izzadás kiszáradáshoz vezet, amint azt a testtömeg 3-4%-os csökkenése, a megnövekedett hematokrit szint és a magasabb vizelet ozmolaritása jelzi. A hőstressz és a kiszáradás versenyzőkre gyakorolt hatása termikus és fiziológiai stresszként nyilvánul meg (*Brearley és Finn, 2007*). Korábbi kutatás azt bizonyítja, hogy autóversenyzés során a fiziológiai terhelés nem különbözik a férfi és női sofőrök között, a terhelés intenzitása azonban magasabb lehet a zárt pilótafülkében és a menstruációs ciklus luteális fázisában (*Ferguson et al., 2019*). A hő stressz és a kiszáradás fokozott erőfeszítést és kényelmetlenséget, csökkent teljesítményt, kognitív diszfunkciót, hőségutát és eszméletvesztést is eredményezhet (*Jareño et al., 1987; Færevik et al., 2003*). A versenyzők csökkenthetik a hő hatásait akklimatizációs programmal, valamint egyéb hűtési technikákkal, technológiákkal (Walker, Dawson, Ackland, 2001).

### 2.1.3 Hang és zaj hatások, mint teljesítmény befolyásoló tényezők

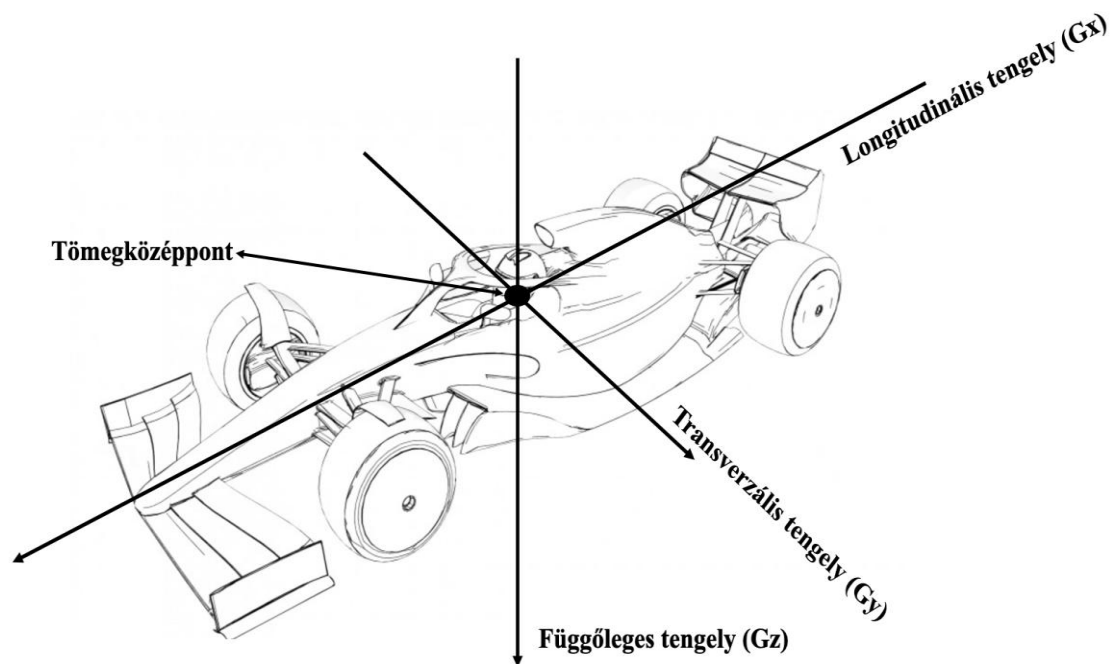
Számos tanulmány kimutatta, hogy a zaj, akár fiziológiai, akár pszichológiai, jelentős hatással lehet a sportolók teljesítményére (*Sridhar és Shanin, 2014; Hooda, 2015*). Ezeket a hatásokat sok esetben figyelmen kívül hagyják a sportolók és körülöttük dolgozó stábtagnak, pedig jelentős hatással lehet a sportoló teljesítményére (*Levak et al., 2008*). Thompson (1996) áttekintő publikációjában a zaj élettani hatásairól ír, ahol kiemeli az emelkedett vérnyomás, emelkedett kortizol és az idegrendszer szimpatikus tónusának emelkedett szintjét. Emellett az emésztési zavarokra és egyéb biokémiai változásokra mutat rá a magas zajszint hatására. A zaj pszichológiai hatása kiterjed a az érzelmi szabályozásra, az interperszonális viselkedésre és emeli a lehetőségét az alvászavaroknak (*Cohen és Weinstein, 1981; Basner et al., 2014*). A mentális zaj, különösen a belső monológ, olyan kulcsfontosságú elemként szerepel, amely befolyásolhatja az egyén teljesítményét, különösen a koncentrált figyelmet igénylő sportokban. A szurkolók és a nézők által generált stadion zaj jelenlétét olyan tényezőként azonosították, amely befolyásolja a futballisták átadási teljesítményét, ami gyorsabb időt eredményez, amikor hanginger van jelen (*Otte, Millar és Klatt, 2020*). Ezenkívül kimutatták, hogy a szurkolók által generált tömeg zaj a mérkőzéseken hatással lehetnek a játékosokon felül a mérkőzést vezető játékvezetők döntési hatékonyságára is (*Nevil, Balmer és Williams, 2002*).

Jelenleg a motorsportokban hiányoznak a kutatások a nézőzaj tribúnákon keresztüli szűrésének hatásairól. A legújabb kutatások rámutattak, hogy a zaj, különösen az alacsony frekvenciájú zaj, káros hatással lehet a kognitív teljesítményre, ami csökkent hallási figyelemhez és a munka hatékonyságához vezethet (*Babamiri et al., 2018*). Söderlund, Sikström és Smart (2007) azonban azzal érvelnek, hogy a mérsékelt zajszint javíthatja a kognitív teljesítményt, különösen az ADHD-s egyéneknél. Jafari és munkatársai tanulmánya (2019) tovább támogatja a zaj kognitív teljesítményre gyakorolt negatív hatását, ami csökkenti a mentális munkaterhelést és a figyelmet magasabb zajszint mellett. A zajra adott érzelmi válaszok súlyosbíthatják a zajhatás és a kognitív teljesítmény közötti kapcsolatot (*Zhang et al., 2024*). Ezenkívül a lakossági forgalmi zaj a szabadidős sporttevékenységektől való tartózkodás nagyobb valószínűségével jár, jelezve, hogy mind a belső, mind a külső környezeti zaj káros hatással lehet a sportteljesítményre (*Roswall et al., 2017*). Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a zaj, például a motor, a légáramlás és a gumibroncsok zaja, jelentősen befolyásolhatja az

autóversenyzők kognitív képességeit (Hadley, Milner és Harvey, 2006). A zajszint csökkentése érdekében a versenypályák átépítése, hangfogók kiépítése egyre gyakoribb, Fillery és Stephan (2001) cikkükben arról számolnak be, hogy a Donington Park pálya elrendezésének változásai minimális hatással voltak a szomszédos területek zajszintjére. Magrini és munkatársai (2007) hangsúlyozták a folyamatos monitorozás fontosságát a túlzott zajszint kimutatása és enyhítése érdekében, olyan lehetséges intézkedéseket javasolva, mint például az akusztikus akadályok és a pálya beállítása. A versenykörnyezetben a zaj kihívást jelent a sportolók hallása számára, különösen a hangos versenymotorok és felszerelések közvetlen közelében dolgozó versenyzők és csapattagok számára (Gwin et al., 2005). A 130-140 dB-t elérő környezeti zajszint meghaladja az Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Hivatal (OSHA) és az Országos Munkahelyi Biztonsági és Egészségügyi Intézet (NIOSH) által ajánlott határértékeket, ami halláskárosodáshoz vezethet, bár a fül dugók rendszeres használata és a korlátozott hanghatás segíthet megelőzni a zaj okozta halláskárosodást (Lindemann, 1985; Magara, Jansz és Bertolattia, 2016). Ezek az emelkedett zajszintek jelentősen befolyásolhatják a kommunikáció hatékonyságát, különösen a versenyzők és a csapattagok esetében (Kardous és Morata, 2010; Szalma és Hancock, 2011).

#### 2.1.4 G-hatások, mint teljesítmény befolyásoló tényezők

A gravitáció (G) olyan alapvető erő, amely a tárgyakat a Föld középpontja felé húzza. A legújabb kutatások szerint a gravitáció inkább tolóerő, mint húzóerő, amelyet a téridő felgyorsult áramlása okoz az objektumok ellen (Thalmn, 2024). A gravitációnak nagy jelentősége van a motorsportban, hiszen a versenyautó sebességének vagy irányának változása három tengely mentén pozitív és negatív G-hatásnak teheti ki a versenyző sportolót. Ezek az erők hatnak a longitudinális tengely (Gx) mentén előről-hátra, a transverzális tengely (Gy) mentén oldal irányú terhelés, a függőleges tengely (Gz) mentén fentről-lefele. A tengelyek mentén a G-hatás arányos a kanyar sugarával és az autó sebességével, a fékezés és a gyorsulás a hossz tengely mentén a sebességváltozás mértékével arányos G-erőt generál. A függőleges tengelyen a G-hatás a pálya konfigurációjának változásai idézik elő, például egy emelkedőre való felhajtás vagy egy döntött kanyarban való közlekedés.



2. ábra: A versenyautóra ható gravitációs erők iránya (saját szerkesztésű kép)

Az autóversenyzőre ható G-hatás nagysága jelentős. Az aerodinamikai lezorítóerőt fejlesztő autókban az oldalirányú erők kanyarodás és fékezés közben meghaladhatják az 5 G-t (Altmann, Benbow és Bouchard, 2011). A G-hatásnak való ellenállás a legnagyobb fizikai igénybevétel a vezető sportoló számára. A fej és a nyak különösen érzékeny az oldalirányú G-hatásra. A G-hatáson felül a versenyzők fejére további nyomást helyez a sisak is, mellyel együttesen átlagosan 6,4 kg-ot nyom a fej súlya. Erősebb fékezés (4G) vagy kanyarodás során a fej plusz a sisak 249 N effektív oldalirányú terhelést jelent, amelyet a nyak és a vállöv izmainak kell ellensúlyozniuk. A pilóták a vadászpilóták által kifejlesztett G-ellenes feszítő manővert alkalmazva megfeszítik a törzs izmait, és kanyarodás és fékezés közben visszatartják a légzést, hogy stabilizálják a testtartást, védjék a hasi zsigereket és megőrizték az agyi véráramlást (Harding, 1987). Ez utóbbi különösen fontos a lejtős versenypályákon, ahol a versenyzők a függőleges tengelyben tartós terhelésnek vannak kitéve, ami alattomos kockázatot jelent, és szédülést, sőt eszméletvesztést okozhat. Szélsőséges esetben azonban az anti-g manőverek hatástalanok lehetnek. Ez bebizonyosodott, amikor egy nagy teljesítményű versenysorozat egy meredek (24°-os) kanyarokkal rendelkező pályán próbált versenyezni, a versenyzők az 5G-t meghaladó függőleges terhelés miatt dezorientációról,

szédülésről és a perifériás látás elvesztéséről számoltak be. Egy csúcskategóriás drag-versenyzőnél a gyorsulás során kialakuló axiális g-erő meghaladhatja a 4 G-t. A versenyautók a gyorsulási utak lejtős kanyarjain hasonló nagyságú G-erőket fejthetnek ki a függőleges tengelyre. Például a NASCAR versenyzői Daytonában, Doverben és Bristolban 2G, 3G, 3,5G és 4G függőleges G-nek vannak kitéve (*Reid és Lightfoot, 2019*). Az IndyCar versenyzői a versenyautóban megnövekedett G-erőkkel is szembesülnek; az oldalirányú G-hatás a kanyarokban, míg a hosszirányú G-erők gyorsítás és fékezés közben jelentkeznek. Az ovális pályákon a függőleges G-erők (Gz) megnövekednek a pályák dőlésszöge miatt. A versenypálya felületének dőlése a versenyautó nagy sebességével kombinálva 2,5-4,5 Gz terhelést eredményez a vezetőre minden egyes kanyarban, ami a pálya hosszától függően a verseny során 30-45 másodpercenként fordulhat elő. Összehasonlításképpen, a Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal azt ajánlja, hogy az űrhajósok 15 percnél hosszabb ideig ne legyenek kitéve 3Gz-hatásnak, mivel a megnövekedett Gz a vér összegyűlését eredményezi a lábakban, és csökkenti a szív teljesítményét és a kognitív funkciókat (*Lightfoot, Febles és Fortney, 1989*). Tudományos bizonyítékok vannak arra vonatkozóan, hogy az emberi szervezet mekkora G-erőt képes elviselni. Például pozitív Gz-erőknek kitéve nehezzé válik a légzés, mivel a tüdő összehúzódik és kipréseli a levegőt. Továbbá nagyobb szív- és érrendszeri erőfeszítést kell tenni annak érdekében, hogy a vért az agyba pumpálják. Pozitív Gz-hatások jelenlétében a vér a fejből elszívódik, függetlenül attól, hogy a szív milyen keményen dolgozik. Ami a keringési problémákat illeti, a szemek keringési és szállítási szempontból 2-3G körül kezdenek gondot okozni. Először is, a perifériás látás megszűnik, ami az alagútlátás hatását kelti. Ha az állapot tartósan fennáll, a látás tovább romlik, színérzékelés romlik jelentősen majd eszméletvesztés következik be. A környezettől vagy a beállítástól függetlenül a tartós és túlzott G-hatás teljesítmény szempontjából problémás lehet. Egy másik fontos szempont a jelentős G-hatások által okozott különböző egészségügyi problémák (*Voshell, 2004*).

Egy korábbi tanulmányban kimutatták, hogy az IndyCar-balesetekben az  $\geq 50G$ -s ütközések az agyi traumás sérülések nagyobb kockázatával járnak együtt (*Weaver et al., 2006*). A járművezetők körében gyakoriak az izom- és csontrendszeri sérülések, különösen az ágyéki, a váll- és a nyaki régióban, a rezgéseknek és a G-erőknek való tartós kitettség miatt (*Koutras et al., 2014*).

Melvin és munkatársai (2006) az indianapolisi versenyautó-balesetek során gyűjtött adatok alapján vizsgálták az emberi szervezet gyorsulással szembeni biomechanikai tűrőképességét. Összesen 262 olyan esetet elemeztek, amelyekben a járművek fékezés következtében fellépő G-terhelése meghaladta a 20G-t. Ezen belül 143 esetben (az esetek 73%-ában) az észlelt terhelés meghaladta a 40G-t is. Vizsgálataik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy megfelelően rögzített versenyautó-pilóták képesek akár a 100G-t meghaladó deceleráció (negatív gyorsulás) túlélésére is súlyos sérülések nélkül, amennyiben a biztonsági utascella (cockpit) szerkezeti épsége nem sérül.

Az Indy-autók baleseteinek elemzése 53G-s átlagos csúcsterhelést mutatott ki az alvázon, egyes ütközések pedig elérték a 127 G-t. Ezek az eredmények rávilágítanak arra, hogy a versenyzés biztonságát tovább kell javítani, és hangsúlyozzák a vezető alkalmasságának fontosságát a nagy G-erőkkel járó kockázatok mérséklésében. A fizikai felkészültség döntő szerepet játszik a járművezetői teljesítményben, mivel olyan tényezők, mint az aerob kapacitás, a testösszetétel és a vércukorszint befolyásolják a G-erő toleranciát (*Ferguson és Myers, 2018*).

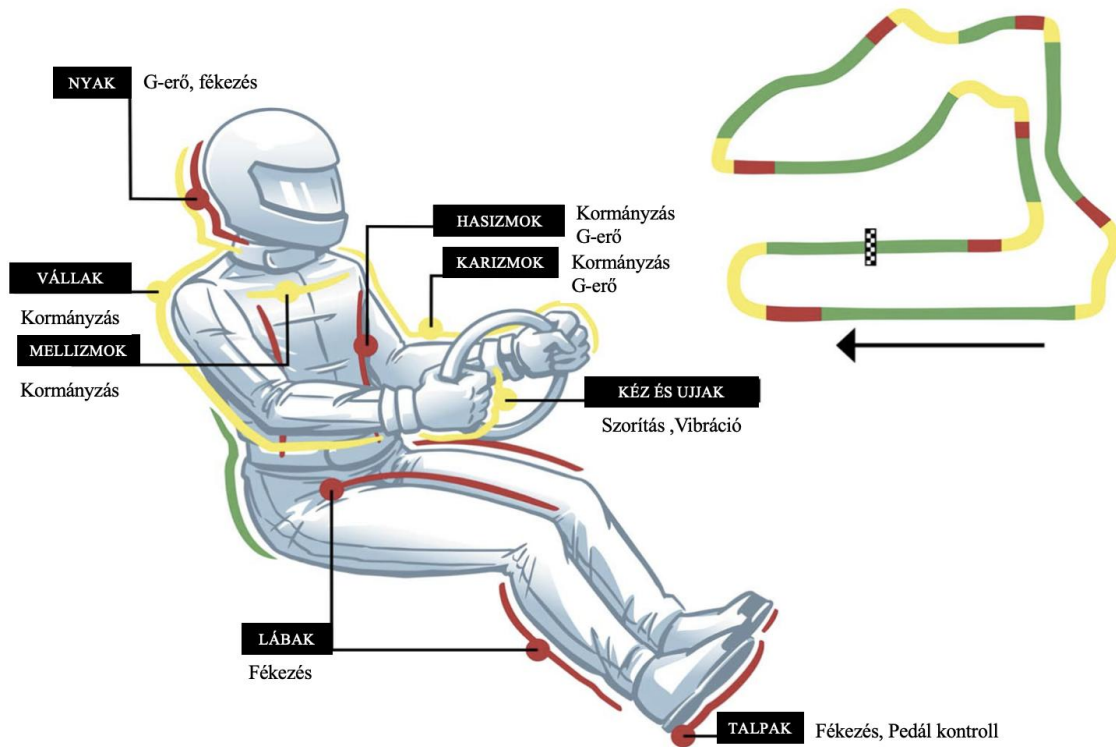
## 2.2 Kondicionális képességek az autóversenyzésben

Az autóversenyzés egy egyedülálló sport, amely intenzív fizikai és mentális kihívásokat ötvöz. A pilóták sokrétű fizikai igénybevételnek vannak kitéve, ami megmutatja, hogy milyen kihívások és motoros képességek szükségesek ahhoz, hogy ebben a nagy rizikókkal járó sportban kiemelkedő teljesítményt nyújtsanak (*Henderson, 1968*). Bár a figyelem gyakran a versenyautók technológiai aspektusára irányul, az emberi tényező továbbra is kulcsfontosságú (*Lavsi, 2023*). Az autóversenyzők elit sportolók, akik a testüket és az elméjüket a végsőkig feszítik a győzelem érdekében. Habár a versenyzők nem futnak és nem ugranak az autóversenyek során, hasonló, ha nem nagyobb fiziológiai stressznek vannak kitéve, mint a hagyományos sportolók (*Lighthall et al., 1990; Jacobs és Olvey, 2000; Jacobs et al., 2002*).

Az előző 3 alfejezetben kifejtettem, a különböző külső stresszorok hatását mint hő, zaj és g-hatások. Ezek a hatások a szervezet homeosztázisának felbomlásához vezetnek. Ahhoz, hogy a versenyzők a stresszhatásokkal sikeresen meg tudjanak küzdeni, magas szintű kondicionális képességekkel kell rendelkezniük. A képességeknek

a szükséges szintje szakáganként különbözhet, de az erő, a gyorsaság és az állóképesség egyaránt megjelenik a teljesítményleadás során. Mcknight és munkatársai (2019) kutatásukban F1, IndyCar, International Motor Sports Association sports car racing (IMSA GTD) és NASCAR pilóták testösszetételét, VO<sub>2</sub>max és nyakizom erejének eredményeit hasonlították össze egymással. A felmérések eredményei alapján megerősítést nyert hipotézisük, miszerint a különböző szakágak más fizikális igényszinttel rendelkeznek, ezáltal az erőnléti felkészülésben is szükséges a differenciálás és a célok meghatározása.

Az autóversenyzés jelentős erő igénybevételt jelent a versenyzők számára, különösen a felsőtest és a törzs ereje tekintetében. Ebben és Suchomel kutatásukban 40 NASCAR versenyzőn végeztek felmérést, hogy megvizsgálják a fizikai igénybevételt és felderítsék a leggyakoribb sérüléseket. Az eredményekből az állapíthatjuk meg, hogy a törzs és a felsőtest erejét állították a legfontosabb tényezőnek a versenyzők. Emellett 40 versenyzőből 36 kiemelte az állóképességet, azon felül is az erő-állóképesség jelentőségét a hosszantartó versenyek végett. Kutatásokban arra is felhívják a figyelmet, hogy fontos különbséget kell tenni az erő igénybevétel tekintetében azon szakágaknál ahol van szervókormányzás és ahol nincs. IndyCar mérnökök megállapították, hogy a kormánykerékre kifejtett erők egy közúti pályán kanyarodás során átlagosan 157 N volt, szervókormányzás nélkül. Az adott felmérés során a versenyzők 83 kört tettek meg, körönként 13 kanyarral, így összesen 1105 alkalommal kellett kifejtenünk átlagosan 157 N erőt a kormányra (*Ebben és Suchomel, 2012*).



3. ábra: Autóversenyzés során használt izomcsoportokról. A bal oldali ábrán a pilóta körüli színek azokat az izomcsoportokat jelölik, amelyek a legaktívabbak a jobb ábrán azonos színnel jelölt szakaszokon (Reid és Lightfoot, 2019 nyomán)

További kritikus eleme a versenyzésnek a fékezés. Kiemelt versenysorozatokban 600N és 1200N közöttire tehető, így nem meglepő, hogy az alsóvégtag izomzatának ereje az autóversenyzők körében az öt leginkább fontos terület közé tartozik. A nagy sebességű versenyautó vezetésével járó technikai elemek végrehajtása során a gravitációs erők következtében hatalmas erőbehatás éri az emberi testet. A különböző szíjazások, mint például a hans verseny nyakvédő csökkenti az ellenállást, amely akár meghaladhatja az 5G-t is, de ennek ellenére a versenyzők nyak izmainak megfelelő erőszinttel kell rendelkezniük az optimális teljesítmény elérése érdekében (Riedy és Mcquerry, 2003; Zerbo et al., 2021). Backman és munkatársai (2005) tanulmányukban nemzetközi szintű formaautó- és raliversenyzők neuromuszkuláris teljesítménybeli különbségeit vizsgálta keresztmetszeti kutatási módszerrel. A mintát 28 résztvevő alkotta. 9 formaautóversenyző, 9 raliversenyző és 10 fizikailag aktív férfi kontrollszemély. A résztvevők három tesztelési alkalom során gyorsasági, izomerő- és állóképességi felméréseken vettek részt. Az eredmények azt mutatták, hogy a raliversenyzők szignifikánsan nagyobb ( $p <$

0,05) fogáserőt, vállflexiót és boka plantarflexiót mutattak, mint a kontrollcsoport. A formaautó-versenyzők a kontrollcsoportot meghaladó ( $p < 0,05$ ) nyakerővel, fogáserővel, vállflexióval és térd extenziós erővel rendelkeztek. Összehasonlítva, a raliversenyzők nagyobb fogáserőt, plantarflexiót és törzsnyújtási erőt ( $p < 0,05$ ) mutattak a formaautó-versenyzőkkel szemben, míg a formaautó-versenyzők erősebbek voltak a nyak laterális hajlítása és nyújtása tekintetében ( $p < 0,01$ ). Ezek az eredmények különféle neuromuszkuláris alkalmazkodásokat sugallnak a formaautó- és raliversenyzők között, és gyakorlati következtetéseket is vonnak maguk után: a ralliversenyzőknek ajánlott a kéz, boka és törzs izmainak edzésére összpontosítani, míg a formaautó-versenyzőknek a nyak izmait kell hangsúlyosan erősíteniük, illetve az összes izomcsoportot egyenletesen fejleszteniük.

Az autóversenyzés megemelkedett anyagcsere folyamatokat indít be a versenyzőknél. Korábbi kutatások alapján ez 5,3 és 13 metabolikus ekvivalencia (MET) közötti skálára tehető. Ez az érték hasonló szinten van egyéb sportágakkal, mint a labdarúgás 10,0 MET, kosárlabda 8,0 MET és ökölvívás 12,8 MET (*Metaxas et al., 2005; Beckwith et al., 2012*). A korábbi években több kutatás is született az autóversenyzők terhelésélettani mutatóinak felméréséről verseny- és laboratóriumi környezetben (*Taggart és Gibbons, 1967; Baur et al., 2006; Baur et al., 2010; Beaune és Durand, 2011*). Azokat a kutatásokat emelném ki, melyek specifikusan versenyzés közben vizsgálták a versenyzőket. Ezen kutatások eredményei adhatnak számunkra támpontot az autóversenyzés fizikális igénybevételének megértésében. Tornaghi és munkatársai (2022) egy F1 pilóta pulzus eredményeit vizsgálták az időmérő és verseny során. Az időmérő során a versenyző átlag szívfrekvencia (HR átlag) a maximális szívfrekvencia (HRmax) 77% volt ( $154 \pm 29$  bpm). A legmagasabb pulzusszám HRmax 94-95%-a között mozgott. A verseny során a pulzus 74-82%-a között mozgott (148-163 bpm), a csúcserték a HRmax 92%-t érte el. Matsumura és munkatársai (2013) esettanulmányukban amatőr gokart versenyzők HR adatait vizsgálták és hasonlították össze versenyzés és edzés között. Eredményeikben a versenyzés mutatkozott magasabb intenzitásnak. Az első futam HR átlag  $170,8 \pm 2,6$  eredményt mutatott míg a második verseny  $169,7 \pm 6,0$  HR átlagot. Az edzés során a HR átlag  $142,5 \pm 8,0$  volt. Turner és Richards 2015-ben végzett vizsgálatuk során felmérték 4 rally versenyző és az őket segítő 4 navigátor pulzus eredményeit versenyzés közben. A pilóták pulzusa jelentősen magasabb átlag pulzussal

(152 ütés/perc) rendelkeztek versenyzés közben a mellettük ülő navigátorokhoz képest (113 ütés/perc). Schwabberger (1987) vizsgálatában a vér laktátkoncentrációjának statisztikailag szignifikáns emelkedését mutatta be a vezetési kihívások után, amelynek mintáját 20 pilóta biztosította. A kutatók dokumentálták a laktát növekedését az 1,56 mmol/L ( $\pm 0,39$ ) átlagos kiindulási szintről a vezetés utáni átlagosan 3,27 mmol/l ( $\pm 1,40$ ) szintre. A kutató ezt az eredményt a verseny okozta magas emocionális stressznek és vezetés során izometriás erő kifejtések sorozatának tulajdonította.

### 2.3 Kognitív képességek az autóversenyzésben

A motorsportban a versenyzők kognitív terhelése rendkívül magas, amit a magas sebesség, a kiszámíthatatlanság és a nagy tét tesz különösen intenzívvé. Ezek a kognitív követelmények, amelyek a fizikai és mentális kihívásokkal párosulnak, a motorsportot az egyik legnagyobb mentális felkészültséget igénylő sporttá teszik. A versenyzőknek folyamatosan fenn kell tartaniuk figyelmüket, hogy a különböző finom koordinációs technikai kivitelezés mellett a leggyorsabban tudjanak jó döntést hozni, hogy sikeresen teljesítsenek ebben a kiszámíthatatlan és magas kockázatú környezetben. Egy jó döntés a versenyen jobb pozíció elérése, de akár egy fatális baleset elkerülése érdekében is történhet, ami különösen emeli a versenyzőkre ható nyomást. A verseny során a pilótáknak folyamatosan helyesen kell reagálniuk a külső ingerekre, hogy optimális teljesítményt nyújtsanak. Ezek az ingerek nemcsak a gáz, a fék és a kormány helyes használatára korlátozódnak, hanem vizuális- auditív és van, hogy fizikális ingerekre is, hogy a járműből kihozzák a maximális teljesítményt. A versenyzőknek helyesen kell felmérniük a saját és a környezet helyzetét is (például a többi versenyautó, rázókö, úthibák) az egyes manőverek helyes és minél dinamikusabb kivitelezése érdekében. Kutatásukban van Leeuwen és munkatársai (2017) a specifikus vezetés technikai végrehajtások és a szemmozgásokban véltek felfedezni különbséget az autóversenyzők és a nem versenyző vezetők között, míg kognitív funkciókban nem találtak a két csoport között jelentős különbséget. Sok professzionális versenyautónak a kormánykereke vizuális információkat közöl a versenyzővel, például villogó fények formájában, amelyek gombnyomást vagy egy kar elfordítását igénylik. Például a Porsche 919-es, amely megnyerte a Le Mans-i 24 órás versenyt, több mint 100 különböző villogó fénykombinációt használt, amelyek mindegyike speciális reakciót követelt meg a

sofőrtől. Emellett a versenyzőknek képesnek kell lenniük kommunikálni a csapat menedzserrel, hidratálniuk a versenyek során. Rally versenyeken gyakran fordul elő az is, hogy a versenyzőknek nem csak a vezetésre kell koncentrálni, de egy technikai probléma esetén (például defekt) kereket kell cserélni. A szervizelés megfelelő végrehajtása is a versenyző készségei közé kell, hogy tartozzon. A versenyzők tehát nemcsak a járművet kell, hogy irányítsák, hanem folyamatosan figyelniük kell az autó által szolgáltatott visszajelzésekre, visszajelzést kell tudni adniuk, miközben villámgyorsan és pontosan hozzák meg döntéseiket, gyakran élet-halál helyzetekben. A versenyautóvezetés számos kognitív képességet igényel, amelyek fokozzák az információk gyors feldolgozását, a hatékony döntéshozatalt és a technikai elemek pontos végrehajtását jelentős nyomás közepette. Az alapvető kognitív funkciók magukban foglalják a figyelmet, a vizuális észlelést, a térbeli érzékelést, a döntéshozatal és a kognitív rugalmasságot. A hozzáértő járművezetőknek ügyesen kell értelmezniük és reagálniuk kell a változó ingerekre valós időben, empirikus tanulmányok azt sugallják, hogy a tapasztalt járművezetők fokozott vizuális észlelést és térbeli érzékelés mutatnak, kevésbé tapasztalt társaikkal szemben (*Klein, Vincent és Isaacson, 1998*). Bernardi és munkatársai (2014) tanulmányában mágneses rezonancia képalkotó eljárással (MRI) vizsgálták hivatásos autóversenyzők agyi aktivitását, miközben Forma-1-es versenyekről készült videókat néztek. Az eredmények azt mutatták, hogy a nem tapasztalt versenyzőkhöz képest a hivatásos versenyzők a motoros kontroll és a térbeli navigáció területeinek következetesebb rekrutációját mutatták, beleértve a premotoros/motoros kéreg, a striatum, az elülső és a hátsó cinguláris kéreg, a retrosplenialis kéreg, a prekuneus, a középső temporális kéreg és a parahippocampus területeit. Továbbá, ezen agyi régiók némelyikének, köztük a retrosplenialis kéregnek is megnövekedett a szürkeállomány sűrűsége a hivatásos autóversenyzőkben. Érdekes módon a retrosplenialis kéreg, amelyet korábban a megfigyelőtől független térbeli térképek tárolásával hoztak összefüggésbe, sajátos korrelációt mutatott az egyes versenyzők hivatalos versenyeken elért sikerével. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a hivatásos versenyzők hatékonyabb neurális hálózatot fejlesztettek ki a térbeli információk feldolgozására és a motoros mozgások koordinálására, ami hozzájárul a magasabb szintű vezetési teljesítményükhöz. Ezenkívül a kognitív rugalmasság, amely hozzájárul a versenyzők teljesítményéhez azzal, hogy minél dinamikusabban alkalmazkodjanak a

környezet változásaira, új stratégia kialakítására és végrehajtására (*Ohata, Ogawa és Imamizu, 2022*). Ezeknek a képességeknek a megértése elengedhetetlen nemcsak a versenyzők hatékonysága szempontjából, hanem az edzési protokollok és a biztonsági stratégiák végrehajtásához is a motorsport területén. Az irodalom ezen áttekintése összegzi a különféle kutatásokból származó meglátásokat, amelyek aláhúzzák az autóversenyzéssel kapcsolatos alapvető kognitív képességeket.

### 2.3.1 Figyelem az autóversenyzésben

A figyelem, egy alapvető kognitív mechanizmus, amely fontos szerepet játszik abban, hogy megkülönböztessük és rangsoroljuk a releváns információkat az általunk tapasztalt érzékszervi ingerek széles skálájából (*Sauce et al., 2014; Anirvan et al., 2016*). A figyelem kardinális kognitív képesség a motorsportban, mivel az autóversenyzőknek egyszerre számos érzékszervi ingert kell feldolgozniuk. A figyelem lokalizációja elsősorban a prefrontális kéregben és a hátsó parietális kéregben található. A prefrontális kéreg végrehajtó kontrollt biztosít, míg a parietális kéreg a vizuális tér reprezentációin keresztül irányítja a figyelem fókuszát (*Staines et al., 2014*).

A figyelem különböző aspektusai jól mérhetők valid, standardizált kognitív tesztekkel. A fenntartott figyelmet leggyakrabban a Conner féle Continuous Performance Test II (CPT II) és a Sustained Attention to Response Task (SART) segítségével vizsgálják, amelyek hosszabb időtartamú, monoton ingerfeldolgozás során mérik a figyelmi teljesítmény romlását (*Robertson et al., 1997; Hommack és Riccio, 2006*). A szelektív figyelmet klasszikusan a Stroop-teszt vagy a Flanker-feladat értékeli, melyek azt vizsgálják, hogy a résztvevő mennyire képes a releváns ingerekre összpontosítani, miközben figyelmen kívül hagyja a zavaró tényezőket (*Eriksen & Eriksen, 1974*). A megosztott figyelem mérésére a legelterjedtebbek a dual-task paradigmák, amelyek során a résztvevő egyszerre két különböző feladatot végez, így vizsgálható a több információforrás egyidejű feldolgozásának képessége (*Pashler, 1994*).

Az egyik legfontosabb képesség a fenntartott figyelem, amely a figyelem minél hosszabb ideig, teljesítményromlás nélkül való megtartása (*Kahneman, 1978*). Ez a képesség hosszabb ideig tartó versenyek során elengedhetetlen. Az autóversenyzőknek meg kell birkózni a mentális fáradtsággal (*Martins, Fernandes és Conte, 2021*). A versenyzőknek hosszú időn keresztül fenn kell tartaniuk a figyelmüket, és több kritikus

változót figyelembe kell venniük, miközben az egyes manővereket végrehajták (*Artifice, 2018; Lo, Chiu és Tseng, 2023*). Alább felsorolom a leggyakoribb tényezőket, melyek a versenyzők figyelmét lekötik.

A pálya és a környezet megfigyelése: A versenyzőknek folyamatosan figyelniük kell a pályát a potenciális veszélyek, például más autók, törmelékek vagy a pálya körülményeinek változásai miatt. Figyelemmel kell lenniük a többi versenyző pozíciójára és mozgására is, előre látva azok cselekedeteit, és ennek megfelelően kell kiigazításokat tenniük.

A jármű irányításának és teljesítményének kezelése: A versenyautó-vezetőknek pontosan kell irányítaniuk járművüket, a sebességet, a fékezést és a kormányzást kell koordinálniuk, hogy hatékonyan navigáljanak a pályán. A jármű teljesítményét is figyelemmel kell kísérniük, például a motor hőmérsékletét és a gumiabroncsok nyomását, és szükség esetén kiigazításokat kell végezniük.

A versenystratégia betartása, aktualizálása verseny során: A versenyzőnek a verseny során figyelembe kell vennie a csapat által felépített stratégiát, azt megfelelőképp végre kell hajtania, de ez versenyek során másodpercről-másodpercre változhat. A stratégia követéséhez a versenyző magasszintű éberségi állapotának a verseny egész ideje alatt szükség van (*Heilmeier, 2020*).

További fontos figyelmi képesség a szelektív figyelem vagy fókuszált figyelem, ami olyan alapvető kognitív funkció, amely lehetővé teszi az egyének számára, hogy a releváns információkra koncentráljanak, miközben figyelmen kívül hagyják a zavaró tényezőket (*Ziv, 2023*). A vezetés szempontjából ez egy olyan alapvető képesség, amely biztosítja a jármű biztonságos és hatékony teljesítményének felszínre hozását. A pilótáknak folyamatosan pásztázniuk kell a környezetüket, észlelniük kell a potenciális veszélyeket, és a gyűjtött információk alapján gyors döntéseket kell hozniuk. Ez a folyamat különösen megterhelő a motorsport nagy sebesség és idő nyomás alatt álló környezetében, ahol a járművezetők számtalan olyan kihívással szembesülnek, amelyek a szelektív figyelem fokozott szintjét teszik szükségessé (*Skaar et al., 2001; Montes et al., 2016; Grundler és Strasburger, 2020*).

A versenyzőknek a manőverek mellett különböző auditív ingerek gyors feldolgozására is szükség van, a navigátortól vagy versenymérnöktől kapott

információkra való technikai végrehajtás vagy szóbeli visszajelzéssel, mely tovább növeli a pilótára nehezedő mentális terhet (*Turner és Richards, 2015*).

A versenyzőnek fontos a különböző ingerek megfelelő sorrendű kiválasztása, melyben a szelektív figyelem megfelelő szintje szükséges.

A fent említett tényezők sok esetben egy időben történnek, amely a versenyző megosztott figyelmét veszik igénybe. Ez a képesség a több információforrásra való egyidejű koncentrációt és feldolgozást teszi lehetővé (*Duncan, 1979*). Vizsgálatok szerint a megosztott figyelemre vonatkozó feladatok jelentősen befolyásolhatják a reakcióidőt, az optimális ív megtartását és a fékezés teljesítményét vezetés során (*Mourant et al., 2001; Chen és Li, 2022*). Freydier és munkatársai (2013) kutatása kimutatta, hogy a szimulátorban történő vezetés közben megosztott figyelem feladatot végrehajtó résztvevőknél megnövekedett az optimális ív elhagyásának a mértéke és csökkent a másodlagos feladatokra adott válaszok pontossága. Hirano és munkatársai (2022) fokozott prefrontális kéreg aktivációt véltek felfedezni magasabb sebesség mellett történő további másodlagos tevékenység végrehajtása közben, mint abban az esetben, amikor a pilóta saját maga választhatott alacsonyabb sebességet a gyakorlatok végrehajtásához. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a megosztott figyelem igény negatívan befolyásolhatja a vezetési teljesítményt, különösen magas sebesség és időnyomás esetén.

További zavaró tényező lehet a fentebb említett rádió kommunikáció is a versenyző és a csapat között. Több esetben kéri is a pilóták, hogy a versenypálya egyes szakaszain a csapat rádióval való kommunikáció szüneteltetését, hogy csökkentsék azt az ingerhalmazt, ami alapján a legjobb döntést tudják meghozni a legrövidebb idő leforgása alatt.

### 2.3.2 Munkamemória az autóversenyzésben

Korábbi kutatások alapján kiemelt képesség a vezetési teljesítményt tekintve a munkamemória (*Guerrier, Manivannan és Nair, 1999; Ross et al., 2014, Louie és Mouloua, 2019*). Ez a képesség teszi lehetővé az információk átmeneti tárolását és egyidejűleg ezen információk feldolgozását és az információk hatására döntést hozni, valamint feladatot végrehajtani.

A munkamemória működésének egyik legismertebb elméleti kerete a Baddeley és Hitch (1974) által kidolgozott modell, amely szerint a munkamemória három fő komponensből áll: a központi végrehajtóból, a fonológiai hurokból és a téri-vizuális vázlattömbből, amelyeket később az epizodikus puffer egészített ki (Baddeley, 2000). A központi végrehajtó különösen fontos a vezetési teljesítmény szempontjából, mivel ez a rendszer felelős a figyelem irányításáért, a döntéshozatalért és az információáramlás szabályozásáért.

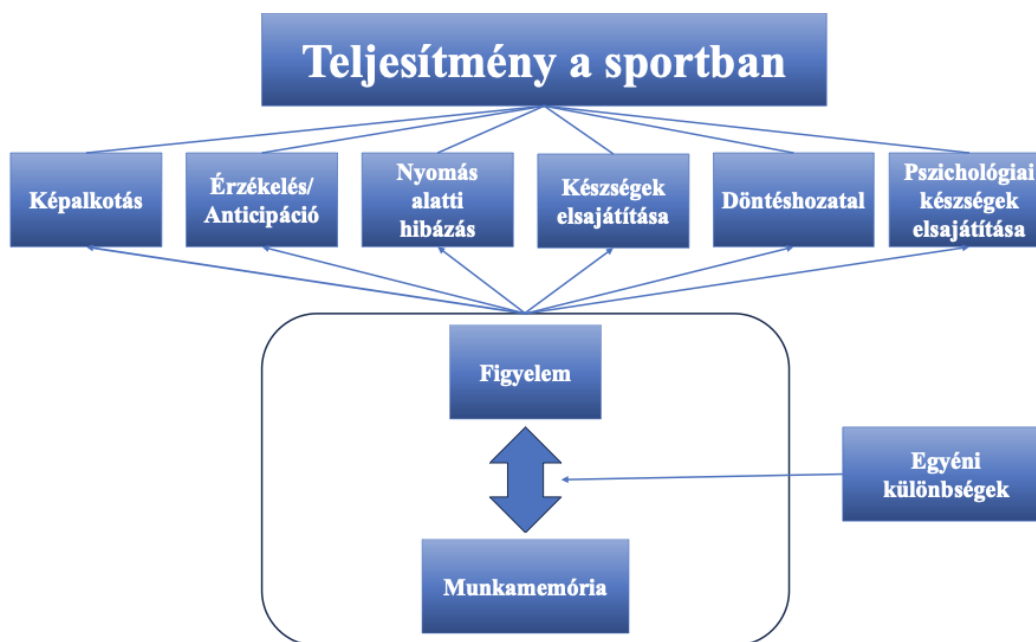
Ezzel szemben Cowan beágyazott folyamatok modellje más perspektívából közelíti meg a munkamemóriát: nem önálló rendszerként írja le, hanem a hosszú távú memória aktivált részhalmozaként, amelyből a figyelem szűk fókuszba emel ki bizonyos reprezentációkat. Ez a modell különösen hasznos lehet a versenyzők kognitív terhelésének értelmezésében, mivel rávilágít arra, hogy a munkamemória kapacitásának határai elsősorban a figyelmi fókusz szűkességéből fakadnak (Cowan, 1999, 2017).

A munkamemória nem egyetlen agyi struktúrához köthető, hanem egy elosztott, egymással összekapcsolódó agyterületi hálózatban reprezentálódik. Ennek fő részei a prefrontális kéreg, a parietális kéreg és az anterior cinguláris kéreg. A frontoparietális hálózat különböző komponensei eltérő munkamemória-funkciókért felelősek: például a verbális információ megtartása elsősorban a bal temporoparietális területhez, míg a vizuospatialis információ feldolgozása a jobb parietális és frontális régiókhoz kapcsolódik. Emellett számos szubkortikális struktúra, köztük a basalis ganglionok és a kisagy, szintén jelentős szerepet játszik a munkamemória működésében (Chai, Hamid AI és Abdullah, 2018).

A munkamemória kapacitását és hatékonyságát többféle standardizált kognitív teszt méri. Az n-back feladat a munkamemória frissítési mechanizmusát és terhelhetőségét vizsgálja, különböző modalitásokban (Jaeggi et al., 2010). A fordított számterjedelem teszt (FSZT) a verbális munkamemória kapacitását méri, míg a műveleti terjedelem teszt a tárolás és feldolgozás egyidejű terhelésének vizsgálatára szolgál (Turner és Engle, 1989; Wechsler, 2008). A VTS-ben a vizuális-téri munkamemória az alakzat-memória teszt és a vizuális memória teszt (VISGED) moduljai kínálnak standardizált mérési lehetőséget, a vizuális és verbális munkamemória teljesítményét, hibaarányát és reakcióidejét vizsgálva (Schuhfried, 2013).

A vezetést tekintve a munkamemórián belül két fő tényező kiemelkedő jelentőséggel bír, a téri-vizuális vázlattömb és a központi végrehajtó komponens (Zimmer, 2008). Az autóversenyzés összefüggésében ez a képesség alapvető fontosságúvá válik, mivel a versenyzőknek folyamatosan figyelniük kell a környezetüket, értékelniük kell a jármű teljesítményét, és gyors döntéseket kell hozniuk a beérkező érzékszervi információk alapján.

A kutatások kimutatták, hogy a hatékony munkamemória működése kulcsfontosságú a versenyzőket érő érzékelési adatok beáramlásának kezeléséhez, amely magában foglalja a versenytársak pozíciójának követését, a pálya körülményeinek értelmezését és a potenciális veszélyek előrejelzését. Guinosso és munkatársai (2016), illetve Eckardt és munkatársai (2020) kutatásukban kiemelik a szignifikáns kapcsolatot a vezetési teljesítmény, különösen a versenyautó vezetés és a munkamemória között. Kutatásukban F1-es versenyszimulátorban mért vezetési teljesítmény és a stroop teszt eredményei között találtak korrelációt.



4. ábra: A munkamemóriához kapcsolódó sportpszichológiai keretrendszer, amelynek a központi mediátora a figyelem. A nyilak a hipotetikus kapcsolatot jelöli az egyes tényezők között (saját ábra Furley és Memmert, 2010 ábrája alapján)

Adrian és munkatársai (2019) a vizuális ingerek minőségét és a munkamemória közötti kapcsolatot kutatták a vezetési teljesítmény tükrében. Kimutatták, hogy a monokuláris látás jelentősen rontotta a járművezetők képességét a hirtelen akadályokra való reagálásra, ezzel rávilágítva az ép vizuális munkamemória szükségességére a

situációs tudatosság fenntartásához a versenyek során. Ez a megállapítás hangsúlyozza, hogy a vizuális információk milyen mértékben integrálódnak a munkamemória folyamataiba, ami még inkább szemlélteti a járművezetőkkel szemben támasztott kognitív követelményeket.

Emellett a versenyzés fiziológiai igénybevételei tovább fokozzák a munkamemória kihívásait. Yanagida és munkatársai (2016) kutatást végeztek, amely jelentős összefüggést mutatott ki a pulzusszám és a vezetési teljesítmény között, és azt állította, hogy a megnövekedett pulzusszám, amely gyakran a versenyek során fellépő fokozott stressz és fizikai megterhelés eredménye, hátrányosan befolyásolhatja a kognitív funkciókat, beleértve a munkamemóriát is. Mivel a pilóták nagy sebességű körülmények között megemelkedett pulzusszámot tapasztalnak, a munkamemóriájukra nehezedő kognitív terhelés fokozódhat, ami a figyelem és az ítélőképesség elvesztéséhez vezethet.

### 2.3.3 Anticipáció az autóversenyzésben

Az anticipáció ugyancsak egy kiemelt kognitív tényező a motorsportban, amely magában foglalja azt a képességet, hogy az aktuális információk alapján megjósoljuk és felkészüljünk a jövőbeli eseményekre. Ide tartozik az érzékszervi bemenetek feldolgozása, a jelzések értelmezése, és az elővételezés készítése arra vonatkozóan, hogy az addigi tudásszintünk és meglévő tapasztalainak alapján várhatóan mi fog történni legközelebb.

Az anticipáció az agy több régiójának hálózatos működéséhez kapcsolódik: központi szerepe van a dopaminerg középagnak, a ventromediális prefrontális kéregnek, a hippokampusznak, valamint a striatumnak (nucleus accumbenssel együtt). Az insula a szubjektív élményhez járul hozzá, míg a frontális, mediális és poszterior kérgi területek a jövőbeli események időbeli reprezentációját biztosítják (*Apaydin et al., 2018; Lee, Aly és Baldassano, 2021*).

Az anticipáció mérésére gyakran alkalmazzák az idői kitakarás technikát, amely során a mozgásos vagy vizuális ingereket idő előtt megszakítják, és a résztvevő előrejelzési pontosságát értékelik (*Abernethy és Russell, 1987*). A térbeli kitakarás technika ezzel szemben a vizuális információ egy részét kitakarja, így mérve az anticipációhoz szükséges információk kiválasztását (*Jones és Miles, 1978*). Emellett a szemmozgáskövetéses vizsgálatok fixációs mintázatok és sakkádok elemzésével

nyújtanak pontos mérési lehetőséget az anticipációs stratégiák feltárásában (*Mann et al., 2007*). A VTS idő- és mozgásirány elővételezést mérő teszt (ZBA) az anticipációs és figyelmi képességeket méri, az ingerek felismerésének pontossága és reakcióideje alapján (*Schuhfried, 2013*).

Az előrejelzés döntő szerepet játszik a motorsportban nyújtott sikeres teljesítmény biztosításában, mivel lehetővé teszi a versenyzők számára, hogy hatékonyabban reagáljanak az állandóan változó körülményekre (*Chan et al., 2010; Huffman et al., 2021*).

A motorsportban az anticipáció különböző típusokba sorolható, amelyek mindegyike hozzájárul a vezető általános teljesítményéhez. A veszély-előrejelzés magában foglalja a pályán lévő potenciális veszélyek, például más autók, törmelékek vagy a pálya körülmények változásainak felismerését. Továbbá a versenyző érzékelhet egy változást a pálya felületén, például egy olajfoltot, víz átfolyást, amely előre jelezheti a tapadás elvesztését. Ez az észlelés a kognitív folyamatok láncreakcióját indítja el: a pilóta figyelmét a potenciális veszélyre irányítja, mérlegeli a különböző cselekvések kockázatait és előnyeit, és úgy dönt, hogy ennek megfelelően módosítja sebességét vagy a jármű irányát. A pálya előrejelzése egy adott pálya elrendezésének és jellemzőinek megértésére, a közelgő kanyarok előrejelzésére, azoknak a precíz végrehajtása miatt is kiemelkedően fontos. A pilótának tudnia kell, hogy egy adott sebességnél, mikor és mekkorát kell fékeznie ahhoz, hogy megfelelő pozícióba érkezen a kanyarba az optimális kigyorsítás végett. Az ellenfél előrejelzése magában foglalja a többi versenyző vezetési stílusának és stratégiájának megértését, az ő akcióik előrejelzését, és a saját stratégiájának ennek megfelelő módosítását (*Iqbal et al., 2016; Rong és Che, 2018*).

#### 2.3.4 Válaszgátlás az autóversenyzésben

A válszgátlás, egy alapvető kognitív folyamat, amely döntő szerepet játszik a gondolatok, érzelmek és viselkedés szabályozásában, különösen a nagy igénybevételt jelentő, koncentrált figyelmet és gyors döntéshozatalt igénylő helyzetekben. Ez a képesség lehetővé teszi a nem kívánt ingerekre adott elsődleges reakciók vagy nem megfelelő válaszok elfojtását. Ezáltal segít az önkontroll fenntartásában, impulzivitás csökkentésében és a tudatos, megfontolt döntések meghozatalában. A válszgátlást gyakran úgy fogalmazzák meg mint a cselekedeteink „fékjét”, amely lehetővé teszi

számunkra, hogy megállítsuk vagy felülbíráljuk az automatikus reakciókat (*Chikara, Lo és Ko, 2020; Shinozaki et al., 2023*). A gátló kontroll nem egy izolált kognitív funkció, hanem szorosan összefonódik más alapvető kognitív folyamatokkal. Például a munkamemóriával, amely lehetővé teszi számunkra az információk fejből tartását és manipulálását, döntő szerepet játszik a gátló kontroll támogatásában (*Hird et al., 2018*).

A válaszgátlás idegrendszeri lokalizációja főként a jobb inferior frontális kéregben és a pre-szupplementer motoros területen található, melyek a basalis ganglionokkal és a motoros kéreggel együttműködve szabályozzák a nem kívánt reakciók elnyomását. Az auditív rendszerben a válaszgátlás az agytörzsi hálózatok révén valósul meg, amelyek a precedenciahatás által biztosítják a figyelem irányítását az elsődleges hangforrásra (*de Bruin et al., 2014*).

A válaszgátlás klasszikus mérési módszerei közé tartozik a Stroop-teszt, amely a kognitív interferencia feldolgozását vizsgálja (*Stroop, 1935*). A Flanker-feladat az irreleváns ingerek figyelmen kívül hagyásának képességét méri (*Eriksen és Eriksen, 1974*). A Stop-jel feladat a válaszleállítási idő alapján számszerűsíti a gátló kontroll hatékonyságát (*Logan és mtsai, 1984*). A Folyamatos teljesítményteszt a tartós figyelem és a válaszgátlás együttes mérésére szolgál, széles körben használt neuropszichológiai eszközként (*Rosvold és mtsai, 1956*). A VTS éberségi tesztje és a STROOP tesztje a válaszgátlás vizsgálatára alkalmasak, különösen a hibaarány, reakcióidő és gátlási sikeresség alapján (*Schuhfried, 2013*).

Korábbi kutatások kimutatták, hogy magasabb szintű munkamemóriával rendelkező személyek válaszgátlás funkciójuk is hatékonyabb (*Grégoire et al., 2012; Pires et al., 2023; Tao et al., 2024*).

Ugyancsak erős kapcsolat figyelhető meg a gátló kontroll és a figyelem között, mivel a hatékony gátláshoz elengedhetetlen az a képességünk, hogy a releváns információkra összpontosítsunk és figyelmen kívül hagyjuk a zavaró tényezőket. Továbbá a gátló kontroll döntő fontosságú a döntéshozatalban, mivel lehetővé teszi számunkra a lehetőségek mérlegelését, a következmények mérlegelését és a tudatos döntések meghozatalát. Korábbi kutatások szerint a prefrontális kéreg, a magasabb szintű kognitív funkciókért felelős agyi régió kritikus szerepet játszik a gátló kontrollban (*Aron, Robbins és Poldrack, 2004; Foy, Runham és Chapman, 2016; Cipolotti et al., 2017*). Ez az agyi régió segít szabályozni gondolatainkat és cselekedeteinket, lehetővé téve

számunkra, hogy tudatos döntéseket hozzunk és kontrolláljuk impulzusokat. A vezetés, különösen összetett és kihívást jelentő környezetben, magas szintű gátló kontrollt igényel. A versenyautó vezetés a nagy sebességgel, szűk kanyarokkal és kiszámíthatatlan körülményekkel a kognitív képességek, köztük a gátló kontroll különösen megterhelő próbája. Kiemelt szerepet tölt be a válaszgátlás az előzési és védekező manőverek minél magasabb szintű kivitelezésében, hiszen egy kisebb impulzivitásból adódó helytelen mozdulatból sebességet veszíthet az autó vagy lecsúszik a megfelelő ívről, mely fontos versenypozíciókba kerülhet a versenyzőknek.

### 2.3.5 Reakcióidő az autóversenyzésben

A reakcióidőt az inger megjelenése és a válasz elindítása közötti időintervallumként határozzák meg. Abban az esetben, amikor egy inger megjelenésétől a reagálás megtörténik a szakirodalom ezt egyszerű reakcióidőnek nevezi, míg egynél több lehetséges ingerre adott válasz esetében választásos reakció időről beszélünk (*Schmidt és Lee, 2013*). A reakció a motoros képességek alapvető funkciója, ami különösen nagy szerepet tölt be olyan sportágakban, ahol az idő tört része alatt, gyorsan és pontosan reagálni. Ilyen sportág az autóversenyzés is, hiszen egy verseny során, már olykor a rajtnál eldől a verseny végkimenetele. Nagy előnyre tud szert tenni az a versenyző, aki jól kapja el a rajt pillanatát, gyorsan reagál a kialvó 5 piros lámpára. Hasonlóan fontos az egyszerű reakcióidő egy technikásabb kanyar kivitelezésénél, pl. a monzai pálya célegyenese végén az első kanyar is ilyen, amikor a F1-es versenyző olykor 320km/h feletti sebességgel megérkezve pontosan a kanyartól 100m-re lévő jelzőtáblánál taposson a fékbe, hogy megfelelő sebességgel érkezzen a sikanba. 2017-ben az Olasz Nagydíjon Lewis Hamilton a leggyorsabb körében (50.kör) több mint 330 km/h-val ment, mielőtt az 1-es kanyarba érve a fékre lépett, és több mint 260 km/h-t lassult és 70 km/h alatti tempóval vette be a kanyart.

A reakcióidő mérésének legismertebb formája az egyszerű reakcióidő-feladat, amely egy ingerre adott válasz latenciáját méri (*Luce, 1986*). A választásos reakcióidő-feladat ennél komplexebb, hiszen több inger közötti döntést is igényel (*Kosinski, 2008*). A Simon-feladat az inger-válasz megfelelés és a feldolgozási konfliktusok hatását vizsgálja (*Simon és Rudell, 1967*). Emellett szimulátoros környezetekben végzett mérések ökológiai validitást biztosítanak, hiszen a reakcióidőt valóságú szituációkban rögzítik

(Brinkman és mtsai, 2016). A VTS reakcióidő tesztje (RT) kifejezetten a reakcióidő mérésére szolgál, különböző ingermodalitások mellett rögzíti az átlagos és szórásértékeket, valamint a hibaarányt (Schuhfried, 2013).

Baur és munkatársai (2006) kutatásában, ahol 8 elit autóversenyzőt és 10 nem versenyzőt, de fizikálisan aktív személy képességeit hasonlították össze, egyedül az egyszerű reakcióidőben vélték felfedezni különbséget a két csoport között. Számos kutatás felhívja a figyelmet arra, hogy a reakcióidőt, azon belül is a választásos reakcióidőt, további kognitív- és élettani tényezők is befolyásolják (Anstey et al., 2005; Li et al., 2017; Ju et al., 2019). Egyik legmeghatározóbb tényezőként az életkort említik több kutatásban is azzal az eredménnyel, hogy az életkor előrehaladtával a reakcióidő hossza jelentősen növekszik (Deary és Der, 2005). Emellett számos további paramétert is vizsgáltak, hogy megértsék a reakcióidő alakulását. Biomarkerként vizsgálták a szívfrekvencia variabilitást (HRV), az agyhullámok dinamikáját, különböző antropometriai paramétert (pl.: testzsír%, izomtömeg) (Jin et al., 2006; Bortkiewicz et al., 2016; Fahimi et al., 2018; Jha et al., 2020). A kognitív tényezők, beleértve a figyelmet, a memóriát és a döntéshozatali folyamatokat, kritikus szerepet játszanak az autóversenyzés közbeni reakcióidő alakulásában (Ruscio, 2014). Minél több tényező köti le egyszerre a versenyző figyelmét azzal együtt a reakcióideje növekszik. Továbbá befolyásolhatja a reakcióidő alakulását a versenyző személyesége, a fizikális fáradtság és a nem megfelelő alvásminőség is.

### 2.3.6 Reaktív viselkedés az autóversenyzésben

A legtöbb sport nagyfokú kognitív képességeket követel meg, és gyakran rendkívül stresszes környezetben zajlik (Williams és Ericsson, 2005). Robazza és Ruiz (2018) cikkükben tárgyalja, hogy az érzelmek, amelyek jelentősen befolyásolhatják a kognitív folyamatokat, kettős szerepet játszanak a sportban, többek között a versenyzésben a teljesítmény fokozásában vagy csökkentésében. A hatékony érzelmi önszabályozás lehetővé teszi a versenyzők számára, hogy fókuszban maradjanak és hatékonyan használják a munkamemóriájukat, még a versenyzés stresszorai közepette is. A reaktív viselkedés, amely a váratlan eseményekre és a változó körülményekre való gyors és hatékony reagálás képességéként definiálható, alapvető fontosságú az irányítás fenntartása és a balesetek elkerülése szempontjából (Halpin és Wagner, 2003).

A reaktív viselkedés jellemzően gátló kontrollt és gyors döntéshozatalt vizsgáló paradigmákkal mérhető. A Go/No-Go feladat a gyors válaszadás és a gátlási kontroll egyensúlyát méri (Donders, 1969), míg a Stop-jel feladat a válaszleállítási képességet vizsgálja, a stop-jel reakcióidő alapján (Logan és mtsai, 1984). Kiegészítésként sportpszichológiai kutatásokban videó-alapú döntési feladatok alkalmazhatók, amelyek komplex helyzetekben mérik a reaktív viselkedést (Williams és Ericsson, 2005). A VTS determinációs tesztje (DT) a vizuális és auditív ingerekre adott gyors, differenciált reakciókat méri, így standardizált környezetben teszi lehetővé a reaktív viselkedés vizsgálatát (*Schuhfried, 2013*).

A stressztolerancia, azaz a motorsportban rejlő intenzív fiziológiai és pszichológiai nyomás kezelésének és elviselésének képessége ugyanilyen fontos a tartós teljesítmény és a biztonságos vezetés szempontjából (*Reid, 2022*). A fiziológiai tényezőkre a legnagyobb hatást a szervezetre ható G-erők adják, emellett a magas külső hőmérséklet és a vezetéshez szükséges fizikai megerőltetés is hatással van az autóversenyzőkre (*Neg, van Leeuwen és Happee, 2019*). A fiziológiai kihívásokon túl a pilótáknak számos mentális és emocionális tényezővel is meg kell küzdeniük, amelyek befolyásolják stressztűrő képességüket. Az összpontosítás, a koncentráció fenntartása és a nyomás alatt meghozott jó döntések képessége kulcsfontosságú a siker és a biztonság szempontjából. Lavi (2023) áttekintő cikkében különböző stratégiákat vizsgált a az autóversenyzők stressztűrésének fokozására és magasabb teljesítmény elérése. A fizikai kondicionálást, mentális gyakorlatokat és szimuláción alapuló tréningeket tartalmazó képzési programok segíthetnek a versenyzőknek a stressz hatékony kezeléséhez szükséges készségek és ellenálló képesség kialakításában (*Rumbold, Fletcher és Daniels, 2012; Ong, 2017*).

## 2.4 Kognitív képességek fejlesztése

A sportolók minél magasabb teljesítményének kiaknázásában az elmúlt időszakban paradigmaváltás volt megfigyelhető. A motoros képességek csúcscrárajátása és megértése mellett egyre nagyobb figyelmet kap a sport világában, kutatók és szakemberek körében egyaránt a kognitív képességek és a sportteljesítmény kapcsolatának ismeretének minél mélyebb megismerése (*Belling és Ward, 2015; Ghasemzadeh és Saadat, 2023*). Ez az érdeklődés abból a felismerésből fakad, hogy a sportolói siker nem kizárólag a

kondicionális képességektől függ, hanem a fizikális és a mentális képességek komplex összjátékából (Yarrow et al., 2009; Walsh, 2014). A kogníció és az idegtudományok jelentősége az élsportolói teljesítmény megértésében, előrejelzésében és potenciális javításában az utóbbi években fokozott tudományos figyelmet kapott (Katwala, 2016). Ezt az állítást egy empirikus vizsgálat támasztja alá, amely szerint a sportolók kimagasló gyorsaságot és pontosságot mutatnak bizonyos kognitív feladatok végrehajtásában (Voss et al., 2010). Továbbá ezeket az eredményeket megerősítették azok a kutatások, amelyek azt mutatják, hogy alapszintkognitív képességek a későbbi sportolói siker előrejelzőjeként szolgálhatnak (Vestberg et al., 2012; Mangine et al., 2014). Egy korábbi metaanalízis kimutatta, hogy a professzionális szintű sportolók jobbak az észlelési-kognitív készségek terén, mint a nem profi sportolók, ami arra utal, hogy ezen készségek fejlesztése szükséges az elit sportban (Mann et al., 2007).

Kutatók megfigyelték, hogy a kognitív edzés hatására strukturális változások történtek az agy különböző területein. Az ilyen jellegű változásokat agyi plaszticitás fogalmával azonosítja a szakirodalom (Karbach és Schubert, 2013; Valkanova et al., 2014). Ez a dinamikus tulajdonság alapozza meg az agy azon képességét, hogy új készségeket tanuljon, alkalmazkodjon a változó körülményekhez és fenntartsa a kognitív funkciókat. Az öregedéssel azonban az agy plaszticitása csökkenhet, ami potenciálisan hozzájárulhat a kognitív hanyatláshoz. A kognitív edzés potenciálisan alkalmas lehet az agyi plaszticitás hanyatlásának sebességének csökkentésében (Nguyen, Murphy és Andrews, 2019). A kognitív tréningről kimutatták, hogy növeli a szérum Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) agyi fehérje szintjét és javítja a kognitív funkciókat (Damirchi, Hosseini és Babaei, 2018; Ledreux et al., 2019). A BDNF a neuronok növekedési faktoraként működő fehérje, kritikus szerepet játszik a neuronok túlélésében, növekedésében és az új szinapszisok kialakulásában (Angelucci, Caltagirone és Costa, 2015; Nicastri et al., 2022). A BDNF-szintet összefüggésbe hozták a különböző kognitív feladatokban nyújtott teljesítménnyel, beleértve a tanulást, a memóriát és a végrehajtó funkciókat. A vizsgálatok például kimutatták, hogy a magasabb BDNF-szinttel rendelkező egyének általában jobban teljesítenek a munkamemóriát, az epizodikus emlékezetet és a figyelmet igénylő feladatokban. Ezzel szemben a csökkent BDNF-szintet kognitív károsodással hozták összefüggésbe, különösen a neurodegeneratív betegségekkel összefüggésben (Azman és Zakaria, 2022; Ibrahim et al., 2022).

A sportteljesítmény javítására kognitív képességfejlesztés területén több módszertani megközelítés megjelent, melynek tárháza folyamatosan növekszik. A sportolók perceptuális, kognitív és/vagy motoros készségeinek edzésének különböző formái léteznek, amelyeket mind kutatási, mind a sportági környezetben alkalmaznak. A kognitív fejlesztés módszertanában két különböző megközelítés létezik a sportban. Az első megközelítés szerint a fejlesztésnek minél inkább sportág specifikusabbnak és kontextus specifikusnak kell lennie. Ennek tükrében, hogy tényleges sportteljesítmény javulás történjen, az edzésnek olyan ingereket kell tartalmaznia, ami az adott sportágban is megjelenik (pl. ellenfél mozgására reagálás, labda mozgása stb.) (*Baker, Côté és Abernethy, 2003; Williams et al., 2011*). Ez a módszertan Brunswikhoz (1956) vezethető vissza, amely a reprezentatív feladatok beépítését támogatja a kognitív funkciók fejlesztésére, amelyek során a kritikus elemei a sportágnak megjelennek az optimális tanulási transzfer fokozása érdekében. A másik megközelítés szerint a kognitív funkciók kontextuson kívül is fejleszthetőek (*Simons et al., 2016*). Ez a módszertan a már fent is említett neuroplaszticitás koncepcióval indokolja a relevanciáját (*Draganski et al., 2004*). Nokes-Malach és Mestre (2013) különbséget tesz a közeli transzfer között, amely a szorosan kapcsolódó területek közötti tudásátadásra vonatkozik (pl. a fogalmak átadása a geometriából a számtanba), és a távoli transzfer között, amely a csak lazán kapcsolódó területek közötti tudásátadást jelenti (pl. a latinból a földrajzba történő tudásátadás). Feltételezték, hogy a transzfer jelensége attól függ, hogy a két tartomány milyen mértékben mutat közös jellemzőket és kognitív konstrukciókat (*Woodworth és Thorndike, 1901; Anderson, 2005*). A szakirodalom alapján megkülönböztetünk közeli transzfert (“near transfer”), illetve távoli transzfert (“far transfer”) (*Gick és Holyoak, 1983*). Fontos kiemelni, hogy a kognitív tréningek a legnagyobb hatékonyságot akkor mutatták, amikor olyan csoportokon alkalmazták, ahol valamely kognitív terület sérült, csökkent, vagy a hanyatlás mérséklésére irányult a fejlesztés.

A megfelelő fejlesztő hatás elérése érdekében további tényezőket is figyelembe kell vennie a szakértőknek. Több korábbi kutatás is beszámolt arról, hogy a nemek közötti eltéréseket érdemes figyelembe venni a kognitív képességek tekintetében. Rena Li (2014) áttekintő cikkében arra következtet, hogy a férfiak jobban teljesítenek a térbeli mentális forgatásban és a tájékozódási feladatokban, míg a nők gyakran jobbak a tárgyak helyének felismerésében vagy azonosításában, valamint a verbális memóriát igénylő feladatokban.

Asperholm és munkatársai (2019) meta-analízisükben 617 kutatást vizsgáltak át 1973-tól 2013-ig. Az eredmények arra utalnak, hogy a férfiak térbeli előnyüket kihasználhatják a térben megterhelő epizodikus memóriafeladatok során, míg a nők jobban teljesítenek olyan epizodikus memóriafeladatokban, amelyek verbálisan kifejezhetők, illetve amelyek sem nem verbálisak, sem nem térbeliek – például arcok, szagok/ízlelés/színek megjegyzése esetén.

A pszichológiai készségek, így a kognitív képességek fejlesztése – hasonlóan a fizikai vagy technikai képességekhez – hosszú távú, egymásra épülő folyamat, amely során figyelembe kell venni a sportoló fejlődési szakaszait.

A kognitív fejlődés terén Piaget elmélete szerint a gyermekek kezdetben a világ felfedezésére és tapasztalatszerzésre összpontosítanak, ami a szenzomotoros szakasz. Ezt követően a gyermekek megtanulják felismerni a tárgyak állandóságát és tervezni mozgásukat a műveletek előtti szakaszban. A fejlődés következő szakaszában, a konkrét műveleti szakaszban, már logikusan gondolkodnak, mérlegelik tetteik következményeit. Végül eljutnak a formális műveleti szakaszhoz, amely lehetővé teszi az elvont gondolkodást, ideológiai problémák és jövőbeli kérdések vizsgálatát (*Piaget, 1954*).

Az érzelmi és pszichoszociális fejlődés Erikson modellje szerint is szakaszos: a gyermekek először megtanulnak bízni a felnőttekben (remény), majd kialakítják autonómiájukat (akarat) és önálló cselekvésre képesek (szándék). Később összehasonlítják magukat másokkal és kialakul bennük a kompetenciaérzés (kompetencia), végül pedig a saját identitásukat és gondolkodásmódjukat is megtalálják (hűség), ami megfelelő önismeretet biztosít számukra (*Erikson, 1959*).

A kognitív képességek fejlesztését tehát nemcsak a biológiai érettség és a tapasztalatszerzés, hanem az érzelmi biztonság, az autonómia és az identitás is befolyásolja. A sportolók esetében a kognitív edzés és tréning – például taktikai feladatok, koncentráció- és reakciógyakorlatok, problémamegoldó szituációk – fokozatosan építve, az életkoruknak és fejlődési szakaszaiknak megfelelően jelentősen hozzájárul a teljesítményük növeléséhez, a gyors döntéshozatalhoz és a stratégiai gondolkodás fejlesztéséhez.

A kognitív tréning jelentős potenciált rejt magában a motorsport versenyzők teljesítmény fokozásában azáltal, hogy a sikerhez hozzájáruló kulcsfontosságú kognitív készségeket célozza meg. Emellett a motorsport sportágspecifikus edzéseinek limitált

menyiségéből adódó képességfejlesztés kompenzációjaként rejlik a kognitív edzésekben nagy lehetőség.

#### 2.4.1 Komputerizált kognitív tréning

A kognitív funkciók szintjének fejlesztése és megőrzése az életminőség és a teljesítőképesség szempontjából releváns. Olyan eszközök és módszerek, melyek a kognitív funkciókat biztonságos és hatékony módon való fejlesztését hivatottak facilitálni egyre inkább elterjedtek a piacon, amely folyamatosan továbbra is bővül (Moreau, Morrison és Conway, 2015). A számítógépes kognitív tréning (computerized-cognitive training, CCT) ígéretes beavatkozásnak bizonyult a kognitív funkciók fokozására különböző területeken, beleértve az enyhe kognitív károsodásban szenvedőket, a rák túlélőit, a fogyatékkal élő gyermekeket és az idősebb munkavállalókat (Graessel et al., 2024; Kleinknecht et al., 2024). Cicerone és munkatársai (2020) cikkükben bizonyítékokon alapuló javaslatokat fogalmaztak meg CCT módszert illetően sztrók és egyéb agykárosodás rehabilitációjában. Konkrét ajánlások tehetők a nyelvi észlelés helyreállítására bal és jobb féltekei stroke után, illetve a figyelem, memória, kommunikáció és végrehajtó működés helyreállítására. Ezek az ajánlások segíthetnek meghatározni a hatékony kezelés paramétereit, amelyek hasznosak lehetnek a gyakorló klinikusok számára. Megfogalmazták, hogy rehabilitáció szempontjából a CCT hatékonyságát olyan tényezők befolyásolják, mint a tréning típusa, időtartama és a foglalkozások gyakorisága, amelyek jelentősen befolyásolhatják a kognitív eredményeket. Rehabilitáció mellett a sportolók teljesítmény fokozásában is potenciál mutatkozik a CCT-ben (Walton et al., 2018). Wilke és Vogel (2020) kutatásukban egy hathetes 10 feladatból álló számítógépes kognitív tréningprogramot vizsgáltak, amely többek között a gátlás, a memória, a reakcióidőt és a feldolgozási sebességet célozta meg, 44 résztvevő bevonásával (átlagéletkor  $26,4 \pm 3,7$  év; 17 nő és 27 férfi). Az eredmények azt mutatták, hogy az unilaterális alsó végtagi választási-reakciós teljesítmény javult a tréninget végző csoportban a kontroll csoporthoz képest ( $p = 0,04$ ,  $r = 0,31$ ). A bilaterális teljesítményben nem volt szignifikáns javulás ( $p > .05$ ). Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a kognitív tréning javíthatja a sportolók specifikus reaktív motoros készségeit is (Wilke és Vogel, 2020).

Az elmúlt 15 évben jelentős növekedés mutatkozott mind kereskedelmi, mind kutatási céllal a kognitív tréning területén. Egy korábbi szisztematikus áttekintésben különböző kereskedelmi kognitív fejlesztő eszközök összehasonlítását végezték. Górcső alá vették a Lumosity, a Posit Science, a Cognifit, a Cogmed, a Neurotracker, a Nintendo Brain Age és a Dynavision kereskedelmi kognitív fejlesztő eszközöket. Ezen eszközök csak korlátozottan támogatták a sport specifikus transzfer előnyeit, mivel a vizsgálatok legtöbb esetben nem a sportteljesítményre fókuszáltak (*Harris et al., 2018*). Több CCT eszköz már elérhető különböző okos eszközökön: tableten, okostelefonon vagy számítógépen, a tréninget gyakorlatilag bármilyen környezetben, bármikor elérhetővé téve a felhasználók számára. Ezek az eszközök nagyon könnyen elérhetőek, nincs szükség előzetes szaktudásra és oktatásra használatukhoz (*Klingberg, 2010; Krasich et al., 2016; Abou-Shay et al., 2023*). Több tudományos vizsgálat is igazolta a kereskedelmi CCT programok hatékonyságát, melyek során a kognitív képességek általános és specifikus teljesítményének javulását figyelték meg (*Shipstead, Redick és Engle, 2012; Főzer-Selmeci et al., 2019; Gates et al., 2019*).

Az utóbbi években egyre több kutatás fókuszált a komputerizált kognitív tréningek közül a háromdimenziós többobjektum-követésen (3D-MOT) alapuló módszerekre, mint például a NeuroTracker™ (NT, Faubert Applied Research Centre, University of Montréal, CogniSens Athletics Inc.), amely a sportolók mentális képességeinek fejlesztésében az egyik legelterjedtebb eszközzé vált (*Huang, Mo és Li, 2012; Parsons et al., 2016; Scharfen és Memmert, 2021*). Egy korábbi szisztematikus áttekintés arról számolt be, hogy kognitív képességek, mint például a munkamemória, a fenntartott figyelem, az információfeldolgozó képességek vagy a gátlás javulhat az NT tréninggel, azonban a tudományos bizonyítás a valós érzékelési-kognitív képességekre vonatkozóan még korai, mivel a közzétett tanulmányokban számos módszertani limitáció merült fel. Mindazonáltal az NT-t széles körben használják a profi klubok az NFL-ben, az NBA-ben és az NHL-ben, mi több az amerikai hadsereg is alkalmazza az NT-t a kognitív képességfejlesztésre (*Vater et al., 2021*). Romeas és munkatársai (2016) tanulmányában egyetemi szintű labdarúgó játékosokat vizsgáltak, akiket véletlenszerűen három csoportba osztottak: egy kísérleti csoportba ( $n = 9$ ), egy aktív kontroll csoportba ( $n = 7$ ) és egy passzív kontroll csoportba ( $n = 7$ ). Minden csoport előzetes és utólagos pályaszintű tesztelésen vett részt szabványosított kisjátékok során. Az eredmények

jelentős javulást mutattak a kísérleti csoport passzpontosságában, amely 3D-MOT tréninget kapott az előzetes és utólagos tesztek összehasonlításakor. Ez a javulás statisztikailag szignifikáns volt ( $F(1, 17) = 4,708, p = 0,044$ ). Nem találtak azonban szignifikáns különbségeket a cselezési döntéshozatali pontosságban ( $F(1, 14) = 3,628, p = 0,078$ ) és a lövéspontosságban ( $F(1, 13) = 0,210, p = 0,654$ ) a kísérleti és kontrollcsoportok között. Ugyanakkor a cselezési teljesítmény javulásának tendenciája megfigyelhető volt, bár ez nem érte el a statisztikai szignifikancia szintjét. Formenti és munkatársai (2019) tanulmányában huszonkét elit röplabda játékos vett részt egy 8 hetes perceptuális-kognitív tréning (PCT) programban, amely 3D-MOT fókuszált. Egy kontrollcsoport, amely huszonegy játékosból állt, a PCT beavatkozás nélkül, hagyományos labdás edzéseken vett részt. Mindkét csoportot a tréning előtt és után értékelték a 3D-MOT feladatban, négy közeli átvitelre vonatkozó kognitív teszten, valamint egy távoli átvitelre irányuló, röplabda-specifikus blokk tesztben. Az eredmények azt mutatták, hogy a beavatkozási csoport jelentős javulást ért el a 3D-MOT feladatban, valamint két közeli transzfer vonatkozó tesztben: a fenntartott figyelemben és az információfeldolgozási sebességben. Ugyanakkor a röplabdás tesztben nem voltak szignifikáns hatások, ami arra utal, hogy bár feladat-specifikus és közeli transzfer hatásra vonatkozó fejlődés megfigyelhető volt, a távoli transzfer hatásai nem voltak nyilvánvalóak.

A NT mellett hasonló népszerűségnek örvendenek a különböző biofeedback és neurofeedback (NF) alapú rendszerek, melyek már több, mint 20 éve alkalmazzák a sportban, és gyakran mutatott pozitív eredményeket a sportteljesítmény javításában (Hammond, 2011). A NF egy olyan technika, amely az agyi aktivitás valós idejű megjelenítését használja, leggyakrabban elektroencefalográfia (EEG) révén, hogy elősegítse az agyi funkciók önszabályozását. Ez a zárt hurkú módszer segít az egyéneknek az agykérgi aktivitásuk irányításában vagy módosításában tanult önszabályozás révén, amelynek célja az éberség javítása, a szorongás csökkentése, valamint a figyelem, a memória és a viselkedés mint kognitív képességek fejlesztése. A NF hatékonyságát alátámasztó szakirodalom egyre növekvő mennyiségben áll rendelkezésre, különösen a kognitív funkciók és a figyelemhiányos/hiperaktivitás-zavar (ADHD) területén (Arns, Heinrich és Strehl, 2014; Gevensleben, 2014).

A NF protokollok közül az egyik leghatékonyabbnak tűnik a szenzomotoros (SM) NF tréning, mivel a szenzomotoros ritmus (SMR) az integrált talamokortikális szomatoszenzoros és szomatomotoros pályák domináns frekvenciája, és ennek operáns kondicionálása javíthatja a rendszer feletti kontrollt, valamint modulálhatja a figyelmet (Dessy *et al.*, 2020; Sterman és Egner, 2006; Vernon *et al.*, 2003). A théta (T) ritmus (4–7 Hz) neurológiai és pszichológiai funkciókhoz kötődik a limbikus rendszerben, beleértve az arousal, az érzelmi állapotok és a mentális állapotok szabályozását, valamint a munkamemóriát is (Ros *et al.*, 2009). A SMR stimulálását és a T csökkentését célzó NF protokollokat már sikeresen alkalmazták korábbi kutatásokban.

Egy tanulmány szerint a SMR/T NF tréning javította az enyhe kognitív zavarban szenvedő idősök mentális teljesítményét, és növelte a célzott emlékezeti előhívás és a figyelmi feldolgozás pontosságát. Továbbá a SMR stimulálása a T aktivitás egyidejű növekedése nélkül csökkentette a téves válaszok számát, pozitív hatást gyakorolt az észlelési érzékenységre és a P300 eseményhez kötött potenciál amplitúdójára, valamint csökkentette a kihagyási hibákat és a reakcióidő ingadozását. Egy másik tanulmányban ez a módszer kedvező hatással volt a mikrosebészeti készségekre is. A T ritmus csökkentése hatékonynak bizonyult a táncosok teljesítményének javításában egy alfa/T NF paradigmával összefüggésben.

A sportteljesítmény-tréning területén a NF technikák ígéretes eredményeket mutattak a mentális munka sebességének és hatékonyságának növelésében, az önként jelentett elkötelezettség javításában, a gerendán végrehajtott gyakorlatok művészi minőségének és kivitelezési pontosságának fejlesztésében, valamint a tornászok energiaszintjének és önismeretének növelésében. Ezen túlmenően csökkentették az úszók szorongását, valamint az íjászok arousal-szintjét. Ezen ígéretes eredmények alapján feltételeztük, hogy az NF technika más sportolók esetében is hasznos lehet a kognitív teljesítményük javításában. Az NF programok hatékonyságát befolyásoló tényezők közé tartozik a foglalkozások gyakorisága. Domingos és munkatársai (2021) kutatásukban a különböző időközönkénti NF tréning hatékonyságát vizsgálták. Eredményeikből arra következtetnek, hogy a NF tréningek nagyobb sűrűsége nagyobb hatékonysággal fejlesztette a résztvevők kognitív képességeit.

A NF vizsgálatok többsége hagyományos EEG sapkát használ az adatrögzítéshez, de egyre több tanulmányban szerepelnek hordozható eszközök. A leggyakrabban használt

eszközök közé tartoznak az Emotiv EPOC, az InteraXon Muse és a NeuroSky MindWave headsetek. Ezek közös jellemzői közé tartozik a működő elektródák korlátozott száma (EPOC: 14, Muse: 5, MindWave: 1), valamint hogy az elektródák működéséhez nincs szükség további vezető anyagokra (legfeljebb sóoldatra). A könnyű EEG hardverek további kihívása, hogy hiányoznak a működő elektródák azok felett a területek felett, amelyek a leggyakrabban használtak az SMR/T NF eljárások során, különösen a Cz/Pz helyek felett.

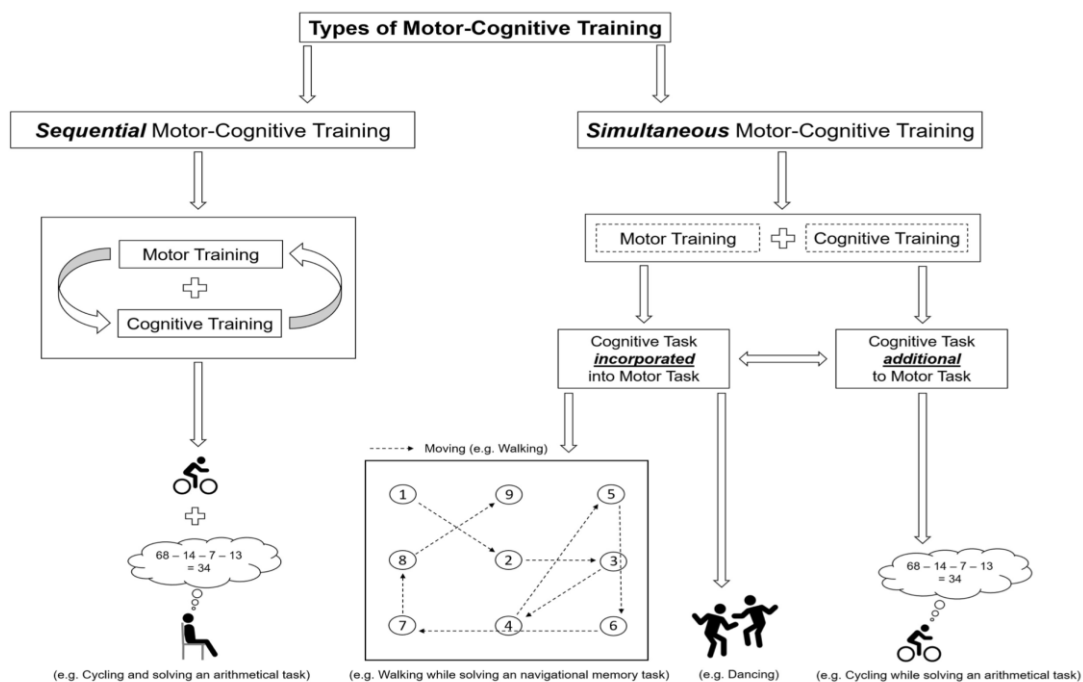
Az elülső területek felett mért jelek théta-béta aránya (TBR), azaz a 4–7 Hz és 13–30 Hz tartományok teljesítményének aránya kapcsolatban áll a figyelmi kontrollal, az érzelemszabályozással, a kitartással és a pontos időérzékeléssel, valamint negatívan a gondolati elkalandozással. Annak ellenére, hogy a nyakszirti területek nem a mozgástervezés vagy végrehajtás elsődleges helyszínei, az irodalom említi ezeket a motoros kontrollal és az SMR NF-fel összefüggésben. Egy motoros alkalmazkodási tanulási feladat során az egyik legjobb tanulási előrejelző az occipitális/parieto-occipitális területek feletti béta aktivitás volt. Egy másik tanulmány szerint a nyugalmi állapotú SMR teljesítmény a parieto-occipitális területeken előre jelezte az NF tréning sikerét. Emellett a nyakszirti théta agyhullámokat is összefüggésbe hozták egy generalizált szorongás enyhítését célzó NF eljárással.

#### 2.4.2 Motoros-kognitív tréning

A megtestesült kogníció paradigmája azt írja le, hogy a megismerés nem kizárólag absztrakt mentális folyamatokon keresztül történik meg, hanem összekapcsolva a testtel és annak a környezettel való kölcsönhatásaival (*Moreau, Morrison és Conway, 2015*). Ez a megközelítés kiemelten fontos a sportban, ahol a kognitív folyamatok folyamatosan összekapcsolódnak a motoros cselekvésekkel. Egy autóversenyző döntése a lehetséges manőverek közül a gyors helyzetfelismerésétől függ, beleértve a többi versenyző helyzetétől és a saját helyzetének függvényében. Ez a döntés nem izoláltan születik meg, hanem elválaszthatatlanul összekapcsolódva a versenyző kognitív és motoros folyamataihoz. A kognitív és motoros folyamatok zökkenőmentes integrációja elengedhetetlen a dinamikus sportkörnyezetben nyújtott gördülékeny és hatékony teljesítményhez.

A szakirodalomban számos elnevezés használatos a fizikális és kognitív edzés egyidejű alkalmazásának leírására. Többek között olyan kifejezések is előfordulnak, mint a neuromuszkuláris-kognitív tréning (neuromuscular-cognitive training, NCT), a motoros-kognitív tréning (motor-cognitive training, MCT), valamint a kombinált fizikális és kognitív tréning (combined physical and cognitive training, CPCT) (Johansson *et al.*, 2023; Porter *et al.*, 2023; Raichlen és Alexander, 2017). A szakirodalmi összefoglalás során a motoros-kognitív tréning (MCT) kifejezést fogom használni.

A MCT olyan speciális edzésmódszer, amely során mozgásos gyakorlatokban kognitív feladatok vannak integrálva (Griffin, 2003). Ez a megközelítés célja a sportteljesítmény fokozása a motoros képességek és kognitív funkciók egyidejű fejlesztése révén. Ezen elemek kombinálásával a sportolók jobb kondicionális-, koordinációs és mentális teljesítményt fejleszhetnek, amelyek elengedhetetlenek a versenysportban való eredmények elérésében (Lauenroth, Ioannidis és Teichmann, 2016).



5. ábra A motoros-kognitív tréning (MCT) csoportosításának szemléltető ábrája (Herold *et al.*, 2018)

Herold és munkatársai (2018) cikkükben a MCT strukturális felépítését is elemezték, amely során két különböző típusba sorolták időbeli sorrendje alapján (Lsd. 4.ábra). Az egyik fő kategória a szekvenciális motor-kognitív tréning, ahol a motoros és

kognitív feladatok külön időpontokban kerülnek elvégzésre, míg a másik a szimultán motor-kognitív tréning, ahol a két feladat egyidejűleg történik.

A szekvenciális MCT során a motoros és a kognitív edzés az adott nap különböző két időszakában történik egymástól különválasztva. Kiemelték, hogy jelenlegi tanulmányokban nincs pontosan meghatározva, hogy a kognitív- vagy a motoros fejlesztést priorizálják a nagyobb teljesítmény elérése érdekében, illetve felhívták a nagyobb időigényét is (*van Dongen et al., 2016; Hamacher et al., 2017*).

A szimultán MCT vagyis a motoros és kognitív feladatok egyidejű végrehajtása, ígéretesebb és időhatékonyabb megközelítést kínál a kognitív funkciók fejlesztésére. Ez az edzés módszer további két típusra osztható annak függvényében, hogy a kognitív feladat hogyan kapcsolódik a motoros feladathoz.

Az egyik típus hasonlóságot mutat a hagyományos kettős-feladat (dual-task) módszerrel, ahol a kiegészítő kognitív feladat a motoros tevékenység végrehajtásához nem releváns, mint egy hozzáadott ingerként szolgál, hogy a kognitív funkciók még magasabb terhelésnek legyenek kitéve (*Evans és Stanovich, 2013*). Például szobakerékpározás közben sudoku kitöltése.

A másik típusnál a gyakorlat végrehajtásához a motoros és kognitív komponens integrálva hozzájárul. Az ilyen jellegű gyakorlatokat a mozgás közbeni gondolkodással lehet jellemezni. Ez a típusú szimultán MCT-hez a leginkább életszerű, specifikus gyakorlatok tartozhatnak, ami különösen előnyössé teszi a közeli transzfer elérésében. Korábbi tanulmányok megvizsgálták azt, hogy az integrált edzés, amely egyaránt a motoros- és kognitív képességeket is igénybe veszi, nagyobb hatással vannak-e a motoros- és/vagy kognitív képességekre (*Shatil, 2013; Jung et al., 2021; Maeneja, Ferreira és Arun, 2024; Masahiro et al., 2024*). Chuang és munkatársai (2023) tanulmányukban 80 időszerű emberen vizsgáltak 4 különböző edzéstípust a kognitív képességek tekintetében. A csoportok kognitív-, fizikális-, szimultán motoros-kognitív és szekvenciális motoros-kognitív tréninget hajtottak végre. A szekvenciális és a szimultán MCT a vizuospeciális és a verbális memóriában is jobb javulást eredményezett, mint az izolált kognitív vagy fizikális tréning.

A MCT a sport 3 területén belül juthat jelentős szerephez:

1. Prevencióban
2. Rehabilitációban
3. Sportteljesítmény fokozásban

#### 2.4.2.1 A motoros-kognitív edzés szerepe a prevencióban

Az edzők és sportvezetők ráébredtek arra, hogy a legdrágább játékosok azok, akik valamilyen sérülés miatt nem tudnak a mérkőzéseken részt venni. Ez a felismerés is vezetett a sérülésmegelőző szemlélethez és a preventív programok alkalmazásához a sportban.

Avedesian és munkatársai (2022) szisztematikus áttekintésükben felhívják a figyelmet a neurokognitív teljesítmény és az alsó végtagi sérülések kapcsolatára. Megállapították azt, hogy a minél alacsonyabb neurokognitív teljesítmény megnövekedett alsóvégtagi sérülési rizikóra utal, valamint összefüggést mutatott az alsó végtag sérülés tényleges bekövetkezésével a legtöbb bevont tanulmányban. Korábbi tanulmányok kiemelik, hogy a reakcióidő mellett a legfontosabb mutató a vizuális érzékelés teljesítménye, mivel a látás irányítja a szenzomotoros integrációt elsősorban a mozgás közben. A vizuális feldolgozásban résztvevő különböző agyi területek neurális jelei összefüggésbe hozhatók az alsó végtagi sérülésekkel, ami azt sugallja, hogy a szenzomotoros beavatkozások a vizuomotoros hiányosságok célzott kezelésével csökkenthetik a sérülés kockázatát (*Diekfuss et al., 2019; Grooms et al., 2022; Culiver et al., 2023*). Sugimoto és munkatársai (2015) tanulmányukban a férfi sportolók biomechanikai és neuromuszkuláris jellemzőit vizsgálták az elülső keresztszalag (ACL) sérülések megelőzésének szempontjából. Kutatásuk alapján az ACL-sérülések gyakrabban fordulnak elő mérkőzéseken, mint edzéseken, ezért a megelőzési programoknak kiemelt figyelmet kell fordítaniuk a váratlan helyzetekre való reagálásra és a döntéshozatal képességének fejlesztésére.

Futsal játékosokon végzett 8 hetes MCT program vizsgálatának eredményéből arra következtetnek, hogy az intervenciós csoport tagjai, akik kettős feladat programot hajtottak végre, a program hatására kisebb dinamikus térd valgus helyzetet mutattak a kontroll csoporthoz képest a mélybeugrás teszt során (*Hamoongard, Hadadnezhad, & Abbasi, 2022*).

Myer és munkatársai (2011) az integrált neuromuszkuláris tréning (INT) preventív hatékonyságára hívják fel a figyelmet a sportteljesítmény növelő hatása mellett. Az INT az alap mozgásmintákra építve magába foglalja az ellenállással végzett gyakorlatokat, statikus és dinamikus egyensúlyi gyakorlatokat, pliometrikus gyakorlatokat. Ezek a feladatok a sportolók észlelési és kognitív képességeinek a fejlesztésére is összpontosít. Sañudo és munkatársai (2019) szisztematikus áttekintő tanulmányukban az INT hatékonyságát vizsgálták. Több területen is összefüggést találtak korábbi kutatások eredményeiben az INT sérülésmegelőzésre gyakorolt hatására. Kutatások eredményei azt bizonyították, hogy az INT szignifikáns javulást eredményezett a dinamikus egyensúly, az általános erőszint és koordinációs képességekben, mely hatással van a sérülések csökkent számára.

#### 2.4.2.2 A motoros-kognitív edzés szerepe a rehabilitációban

Az eredményorientáltság és nyomás az edzők és sportvezetők részéről a játékosok felé a mai napig fennáll. Ez sokszor oda vezet, hogy a játékos nem tudja végigcsinálni a teljes rehabilitációs folyamatot, rosszabb esetben nincs is semmilyen protokoll a játékos egészséges visszatéréséhez a pályára. Egy korábbi sérülés akár négyszeresére is emelheti a kockázatát az újrasérülésnek (*Fuller et al., 2007*). Ennek oka lehet a sérülés hibás diagnosztizálása, helytelen rehabilitáció, túl korai visszatérés a pályára. 2001-ben az UEFA kutatási projektet indított azzal a céllal, hogy csökkentse a futballban előforduló sérülések számát és súlyosságát, ezáltal növelve a játékosok biztonságát. A kutatók 11 szezonon keresztül vizsgálták a sérüléseket, 10 ország 30 elit európai labdarúgó klubjának részvételével. Az eredmények szerint egy profi csapat évente átlagosan 50 játékidő-kiesést okozó sérüléssel számolhat, ami játékosonként két sérülésnek felel meg. Ekstrand és munkatársai (2011) kutatása szerint a sérülések jelentős hatással vannak a csapat teljesítményére, mivel a szezon bármely időszakában átlagosan a keret 14%-a nem áll rendelkezésre sérülések miatt. Edzői aspektus mellett ki kell emelni a sportolók viszonyát a sérülésekhez és azok rehabilitációjához. A sportolók érzelmi reakciói jelentősen befolyásolhatják a sportsérülések rehabilitációján eredményeit. Az érzelmi szorongás, az újbóli sérüléstől való félelem korlátozhatja a protokollok minőségét, azok betartását. Ezt bizonyítja Genoese és munkatársai (2020) kutatása is, mely során a ACL sérüléshez kapcsolódó félelem és az alsó végtag vizuomotoros reakcióideje közötti kapcsolatot

vizsgálták ACL rekonstrukción átesett egyéneknél. Mérsékelt pozitív korrelációt véltek felfedezni a sérüléshez kapcsolódó félelem és az alsó végtag vizuomotoros reakcióideje között. Ezért a minél holisztikusabb megközelítés, például pszichológiai ellátás integrálása, hozzájárulhat a teljes felépülés a sportsérülésből (*Daley et al., 2021; Tamminen és Watson, 2022*).

A pályára való visszatéréshez és megfelelő teljesítményhez hozzájárul a kognitív képességek optimális szintje is, ezen képességek hiányos fejlesztése a rehabilitáció során akadályozhatja a sportolókat a gyors érzékelésben, észlelésben és döntéshozatalban. Kiemelik a kognitív képességek mérésének, fejlesztésének és visszamérésének jelentőségét a rehabilitáció során az alpesi síeléshez való minél kisebb rászérülési rizikóval való visszatéréshez (*Smith, Grooms és Bradley, 2024*).

Annak ellenére, hogy a MCT pozitív hatásának eredményei jelen vannak a szakirodalomban, a legtöbb kutatás a stroke és különböző agyi területet érintő problémák rehabilitációjának vizsgálatára irányulnak, míg a sporttudományi berkeken belül a kutatások még alacsony számban fellelhetőek (*Moreira et al., 2021*).

Smith, Grooms és Bradley (2024) kutatásukban hangsúlyozzák a kognitív képességek mérésének, fejlesztésének és visszamérésének kiemelkedő jelentőségét a rehabilitáció folyamatában, különös tekintettel az alpesi síeléshez való biztonságos visszatérésre, amely minimalizálja az ismételt sérülések kockázatát. A tanulmányban egy rehabilitációs protokollt mutatnak be ACL-sérülések kezelésére, amely négy különböző nehézségi szintet tartalmaz a kezdőtől a haladó szintig. A protokoll négy kulcsfontosságú tényezőre összpontosít: a propriocepció fejlesztésre, a reakcióidő és anticipáció javítására, a vizuális érzékelés fejlesztésére, valamint a környezeti változásokhoz való alkalmazkodás képességének fejlesztésére.

#### 2.4.2.3 A motoros-kognitív edzés szerepe a sportteljesítmény fokozásban

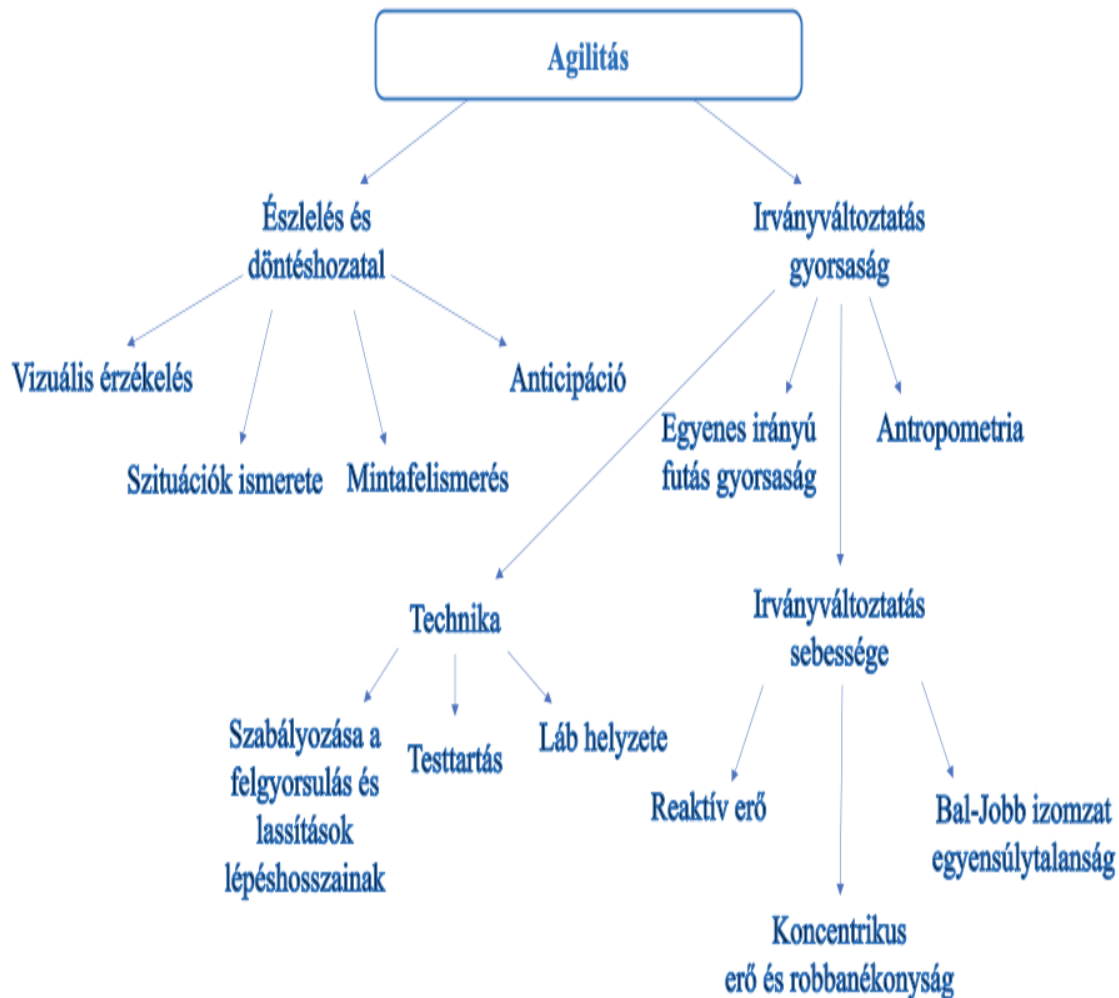
Minden olyan eljárás, edzéstípus, amely segít kiaknázni az emberi teljesítőképességet, kulcsszerepet játszik a sportolók fejlődésében és versenyeredményeik javításában.

A MCT programoknak hatékonyságát növelheti, ha a sportágnak a mozgásanyagához és kognitív igényeihez minél specifikusabban illeszkedik. Például, labdarúgó kapusoknak a specifikus mozgásukat figyelembe véve, mint a kapusokra jellemző alapálláshoz, a vetődéshez kapcsolt különböző reakcióidő feladat, szem-kéz

koordinációs gyakorlat vagy mozgás elővételezést fejlesztő gyakorlat (*Slimani et al., 2016*). Hasonlóan a kezdő sportolók esetében hatékonyak lehetnek a MCT programok, hogy felépítsenek egy minél szélesebb bázisát a kognitív képességeknek, míg az elit sportolók esetében a MCT programok leginkább a specifikus képességeket célozzák meg, hogy csúcsteljesítményt tudjanak elérni.

Az agilitás számos sportágban a teljesítmény egyik legfontosabb meghatározó tényezője (*Hojka et al., 2016; Morrison et al., 2022*). Az agilitás fogalma egy gyors, egész testet érintő, irányváltoztatással és/vagy sebesség változtatással járó mozgást jelöl, amelyet külső inger vált ki (*Sheppard és Young, 2006*). Az agilitás megannyi tényezőtől függ (lásd 7.ábra), hiszen befolyásolja a fizikális- és mentális képességek, tulajdonságok különböző szegmensei egyaránt. Az agilitást a szakirodalom megkülönbözteti az irányváltoztató képességtől. Az agilitás fejlesztése és tesztelése a sporttudományi kutatások körében egyre jobban elterjedt a kétezres évektől a nyílt készségeket is igénylő mivolta végett, amely miatt sportágspecifikusabb mozgásanyaga az inkább zárt készségeket igénylő hagyományos irányváltoztató tesztekhez képest (*Pojkic et al., 2018*).

A hagyományos sportágakban az edzők és kutatók fény alapú stimulációs eszközöket alkalmaznak külső ingerek előállítására, amelyekre a sportolóknak reagálniuk kell (*Oliver és Meyers, 2009; Lockie et al., 2014; Matlák et al., 2016*). Ezek az eszközök nemcsak a sportolók agilitásának felmérésére, hanem annak fejlesztésére is kiválóan alkalmasak.



6. ábra: Az agilitás modellje (Serpell, Young és Ford, 2011 nyomán)

Ahhoz, hogy a MCT minél inkább ingergazdagabb környezetben történjen, egyre több hordozható, könnyen alkalmazható sporteszköz terjedt el a sportolói közegben, mint a különböző fény alapú lámparendszerek (pl.: fitlight trainer, blazepod, reactionX stb.). Az eszközöket szívesen használják a fitness iparban is, de rengeteg sportágban is jelen vannak az edzéseken, hogy a szó nemes értelmében is színesítsék azokat. A nyílt készségű sportágakban, mint a labdajátékok a gyors információ feldolgozásnak és az irányváltóztatásnak nagy jelentősége van, így ezeknek a fejlesztése különösen nagy szerephez jut a sportolók felkészítésében. A lámparendszerek alkalmasak lehetnek a motoros- és kognitív képességek felmérésére is (Katanić et al., 2020; Béraud-Peigné, Perrot és Maillot, 2023). Mithobb a FitLight Trainer™ több kutatásban bizonyította alkalmasságát a végrehajtó funkciók hatékony fejlesztésében sportjátékosok körében

(Forni et al., 2022; Theofilou et al., 2022; Ballmann és Rogers, 2024). Badau és munkatársai (2022) 12 hetes MCT programot vizsgált, melyben a fitlight trainer eszközt alkalmazták az edzések során 30 perces blokként, és azt figyelték meg, hogy a reakcióidejük a sportolóknak jelentősen csökkent a számítógépes tesztek során.

Steff, Badau és Badau (2024) kutatásukban utánpótlás (U14 és U16 korosztály) kosárlabdázók tesztelésére agilitás és irányváltató képesség fejlesztésére is alkalmazták a FitLight Trainer™-t 18 hetes intervenciós programukban. Mérések során 6 tesztet alkalmaztak az agilitás és az irányváltató képesség felmérésére labdával és labda nélkül. A tesztekben a 2 intervenciós csoport jelentős javulást mutatott a tesztekben és jelentős különbség mutatkozott a 2 kontroll csoporthoz képest egyaránt.

Friebe és munkatársai (2024) amatőr labdarúgókon végzett kutatásukban a motoros-kognitív kettős feladaton alapuló agilitás edzésprogram hatásait vizsgálták az agilitásra és a labdarúgás-specifikus teljesítménymutatókra, és ezeket összehasonlították a hagyományos irányváltatói képességre (COD) és agilitásra irányuló edzésekkel. A hathetes edzésprogram előtt és után a következő teszteket végezték el: Loughborough Soccer Passing Test (LSPT), labdavezetési teszt kognitív feladattal/nélkül, Random Star Run (labdával/nélkül) és a módosított T-teszt. Az eredmények alapján a motoros-kognitív edzési módszerek hatékonyabbnak bizonyultak a labdarúgás-specifikus és összetett agilitási feladatok javításában, mint a hagyományos irányváltatóra (COD) összpontosító edzések. Míg a COD-edzések hatása főként az előre meghatározott forgatókönyveken alapuló tesztekre korlátozódott, addig a motoros-kognitív agilitásedzések jelentős fejlődést eredményeztek a döntéshozatal és multitaskingot igénylő feladatokban is. A Random Star Run (labdával és anélkül) és a labdavezetési teszt kognitív feladattal végzett változata kizárólag az agilitás- és kettős feladaton alapuló csoportokban mutatott fejlődést, ami kiemeli az ilyen edzések előnyét a sportágspecifikus közegben érvényes és játékhelyzetekhez közeli feladatokban. Ugyanakkor az LSPT nem mutatott szignifikáns változást, ami arra utalhat, hogy bizonyos labdarúgás-specifikus készségek esetében ezek az edzések kevésbé hatékonyak.

Az autósportban az autóversenyzők folyamatosan többféle külső ingerre reagálnak, hogy optimális teljesítményt érjenek el a verseny során. Ide tartoznak a megfelelő gáz-, fék- és kormányozdulatok, amelyek a jármű irányítását szolgálják, valamint számos vizuális inger, amelyek a jármű helyes működésének biztosításához

szükségesek. Ezen képességek fejlesztéséhez különböző technológiai eszközök és tréningek alkalmazhatók, amelyek a gyors döntéshozatalt és a precíz mozgáskoordinációt segítik elő.

A motoros-kognitív tréning ígéretes módszerként jelenik meg mind a fizikai, mind a kognitív teljesítmény fejlesztésében a sportteljesítmény terén. Ugyanakkor elengedhetetlen figyelembe venni az egyes sportágak specifikus követelményeit, valamint a sportolók egyéni szükségleteit és adottságait. A technológiai megoldások, például virtuális valóság vagy interaktív tréningeszközök, további lehetőségeket kínálnak a motoros-kognitív tréning hatékonyságának fokozására.

Fontos, hogy a kognitív terhelés és a fizikai igénybevétel közötti egyensúlyt gondosan szabályozzuk annak érdekében, hogy az edzések a legnagyobb hatékonysággal fejlesszék a sportolók teljesítményét és elkerüljük a túledzést. A jelenleg fellelhető kutatások módszertana jelentős variabilitás mutatnak, ez megmutatkozik az egyes intervenciók terhelési összetevőiben, de a programok hosszában is. Az egyes edzés alkalmak 6 perctől 60 percig is terjednek, míg a program periódusok 4 héttől 18 hétig (*Musculus és Raab, 2022; Forte et al., 2023; Lucia, Bianco és Di Russo, 2023*).

Ezen kívül érdemes olyan edzésprogramokat kialakítani, amelyek integrálják a sport-specifikus feladatokat és a kognitív kihívásokat, biztosítva a sporttevékenységre gyakorolt transzfer hatást. A technológiai megoldások, például virtuális valóság vagy interaktív tréningeszközök, további lehetőségeket kínálnak a motoros-kognitív tréning hatékonyságának fokozására.

### 3.Célkitűzések

Kutatásom fő témája az autóversenyzők kognitív képességének fejlesztésének lehetősége mozgásos és nyugalmi környezetben egyaránt. Fő célunk információt szerezni a kognitív fejlődés mértékéről sportolói mintán, különös tekintettel az autóversenyzők körében. Kutatásom célját képzí továbbá olyan módszerek kialakítása, amelyek támogathatják a jobb mentális teljesítmény elérését és fenntartását bonyolult környezetben, kihívást jelentő körülmények között.

Az első vizsgálatom célja az volt, hogy meghatározzuk egy hathetes, fényalapú ingereket alkalmazó agilitás edzésprogram hatását az autóversenyzők fiziológiai és kognitív képességeire. Az edzésprogramot úgy terveztük, hogy modellezze a motorsport versenyek komplex fizikai és kognitív követelményeit egy ellenőrzött laboratóriumi környezetben.

A második kutatásomban egy innovatív NF készülék, a neuroMoon (nM) megvalósíthatóságát és hatékonyságát vizsgáltam a kognitív képességekre vonatkozóan, összehasonlítva azt az egyik legszélesebb körben használt perceptuális-kognitív tréning (PCT) módszerrel mind sportolói, mind rehabilitációs kontextusban, a NeuroTrackerrel (NT). Kutatásunkban arra kerestük a választ, hogy lehetséges-e egy olyan rendszer megvalósítása, amely az elülső és a nyakszirti kérgék felett rögzített agyi jelek alapján működik.

## 3.1 Hipotézisek

### 3.1.1 Első kutatáshoz tartozó hipotézisek

**H1:** Feltételeztem, hogy javulni fog a vizsgálati csoport vizuális keresési teljesítménye a vizuális keresés teszten (LVT).

**H2:** Feltételeztem, hogy javulni fog a vizsgálati csoport reakcióideje a STROOP teszten.

**H3:** Feltételeztem, hogy nem történik változás a vizuális memória teljesítményben a vizuális memória teszten (VISGED).

**H4:** Feltételeztem, hogy nem történik változás az idő- és mozgáselőrejelzés teszt (ZBA) teljesítményében.

**H5:** Feltételeztem, hogy csökkenni fog a hibás válaszok aránya a vizsgálati csoportban a detereminációs teszten (DT).

**H6:** Feltételeztem, hogy nőni fog a helyes válaszok aránya a vizsgálati csoportban a DT teszten.

**H7:** Feltételeztem, hogy javulni fog a fiziológiai teljesítmény (HRmax, GETHR) a vizsgálati csoportban az agilitás tréningprogram hatására.

**H8:** Feltételeztem, hogy emelkedni fog a relatív maximális oxigénfelvétel szintje (VO<sub>2</sub>max) a vizsgálati csoportban.

**H9:** Feltételeztem, hogy csökkenni fog a testzsír százalék (Tzs%) a vizsgálati csoportban.

**H10:** Feltételeztem, hogy javulni fog a pulzusmegnyugvás (HRR) a vizsgálati csoportban.

**H11:** Feltételeztem, hogy nem történik változás a becsült izomtömegben (BI%) a vizsgálati csoportban.

### 3.1.2 Második kutatáshoz tartozó hipotézisek

**H1:** Feltételeztem, hogy javulni fog a munkamemória teljesítménye a nM csoportban a fordított számterjedelem teszten (FSZT) a KKCS-hoz képest, de a NT csoporthoz képest nem lesz különbség.

**H2:** Feltételeztem, hogy javulni fog a reakcióidő a nM csoportban a STROOP teszt szóolvasási- és színmegnevezési kondícióiban a KKCS-hoz képest, de a NT csoporthoz képest nem lesz különbség.

**H3:** Feltételeztem, hogy csökkenni fog a hibák száma a nM csoportban a STROOP teszt szóolvasási- és színmegnevezési kondícióiban a KKCS-hoz képest, de a NT csoporthoz képest nem lesz különbség.

**H4:** Feltételeztem, hogy csökkenni fog a kihagyott válaszok aránya a nM csoportban a DT teszten a KKCS-hoz képest.

**H5:** Feltételeztem, hogy nőni fog a helyes válaszok aránya a nM csoportban a DT teszten a KKCS-hoz képest, de a NT csoporthoz képest nem lesz különbség.

**H6:** Feltételeztem, hogy javulni fog a kognitív rugalmasság a nM csoportban a SWITCH teszten a KKCS-hoz képest, de a NT csoporthoz képest nem lesz különbség.

## 5. Anyag és módszer

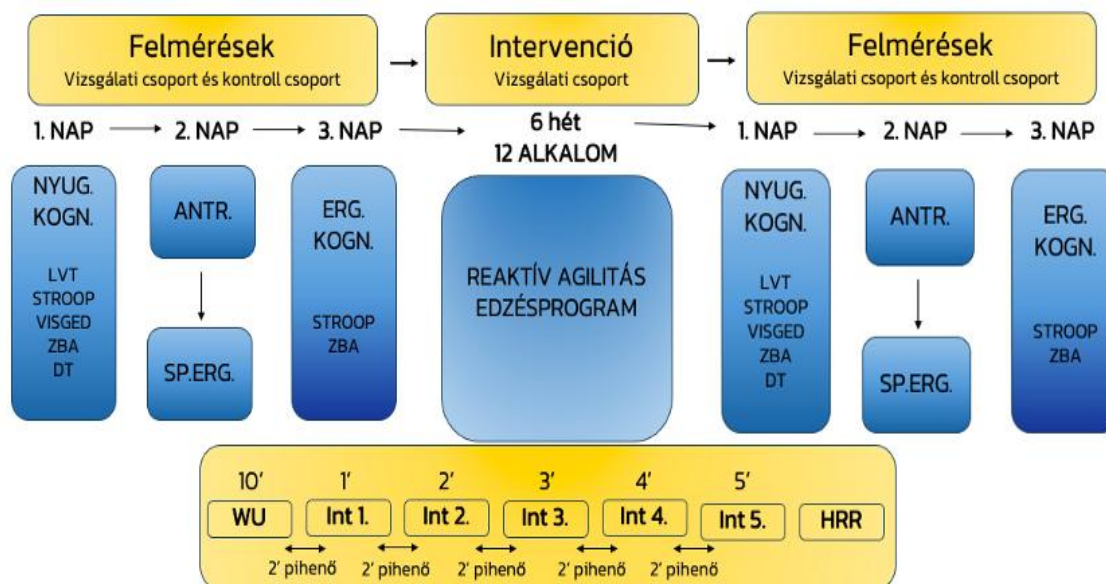
### 5.1 Első kutatás anyag és módszer

#### 5.1.1 Első kutatás résztvevői

A mintaméret kalkulációk (G\*Power 3.1.7) alapján legalább 20 résztvevő szükséges a szignifikáns különbségek kimutatásához a kísérleti (EXP) és kontrollcsoport (CON) között, közepes hatásméret mellett, 0,05-ös I. típusú hiba és 0,80-as statisztikai erő mellett (Faul, Erdfelder, Lang és Buchner, 2007). Ez a kutatás egy egyszeresen vak, randomizált kontrollált vizsgálat volt. A résztvevők toborzása a Fit4Race-en keresztül történt, amely 2014 óta foglalkozik versenyzők felkészítésével. Néhány résztvevő meglévő ügyfél volt; azonban soha nem végeztek olyan kognitív feladatokat vagy agilitási tréninget, amelyet a jelen kutatás alkalmazott. A részvételi lehetőséget a weboldalon hirdették meg, és azok az autóversenyzők, akik megfeleltek a kutatási kritériumoknak, meghívást kaptak a kutatási létesítménybe. A részvétel ingyenes volt, a résztvevők nem kaptak honoráriumot. Huszonnégy autóversenyző (rally: n=12; rallycross: n=4; túraautó: n=4; Formula 4: n=4) önként jelentkezett a tanulmányra, és véletlenszerűen osztották be őket az EXP (n=12; átlag±SD életkor=24,7±4,4 év; magasság=181,4±7,4 cm; tömeg=79,3±10,9 kg) vagy CON ( n=12; életkor=25,6±3,3 év; magasság=178,8±9,2 cm; tömeg=78,8±9,4 kg). A bevonási kritériumok a következők voltak: (1) legalább 5 év versenyzői tapasztalat, (2) nemzetközi bajnokságokon való részvétel az előző szezonban (2020) / a 2020-as magyar nemzeti bajnokság top 5 helyezését elérése, és (3) nincs jelentett neurológiai deficit vagy szenzomotoros károsodás. A kísérleti protokoll szóban és írásban történő magyarázata után a résztvevők aláírták a Helsinkai Nyilatkozatnak megfelelő beleegyező nyilatkozatot. A tanulmányt a Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetemi Etikai Bizottság ajánlásainak megfelelően végezték (engedélyszám: TE-KEB/No11/2020). A kutatás a CONSORT irányelveknek megfelelően készült.

### 5.1.2 Első kutatás módszere

A 8. ábra szemlélteti a kísérleti tervet. A résztvevők egyéni kísérleti eljárásokon vettek részt a Fit4Race budapesti kutatási létesítményében, amely motorsport versenyzők tesztelésére és edzésére specializálódott.



7. ábra: A kísérleti elrendezés sematikus ábrázolása. ANTR.: antropometriai mérések; B: edzés blokk; NYUG.KOGN.: kognitív mérések; LVT: vizuális keresési teszt; STROOP: Stroop teszt; VISGED: vizuális memória teszt; ZBA: idő- és mozgásirányt elővételezést mérő teszt DT: determinációs teszt; SP.ERG.: fiziológiai mérések; ERG.KOGN.: kognitív mérések kerékpár ergométeren; WU: bemelegítés; HRR: pulzus megnyugvás; HRR-t az első, hatodik és tizenkettedik edzések során rögzítettük.

A tesztek és az intervenció reggelente zajlottak, és ellenőrizték a Hawthorne-effektusokat (Adair, 1984; Holden, 2004). A spiroergometria tesztet terhelésélettani vizsgálatokra szakosodott szakember végezte el, a kognitív tesztelést pszichológus, míg az antropometriai méréseket ISAK (International Society for the Advancement of Kinanthropometry) licensszel rendelkező szakember bonyolította le. Az intervenciót a Fit4race edzői stábjának vezetésével történtek, melyet a kutatásvezetővel együtt felügyeltünk. Az alap- és utóteszteket három egymást követő napon kerültek lebonyolításra. A résztvevőktől azt kértük, hogy ne fogyasszanak alkoholt 24 órával a tesztelés előtt és alatt, és ne igyanak kávé a tesztelés reggelein. Az első napon a résztvevők számítógépen végeztek kognitív teszteket. A kognitív tesztek egy

autóversenyzők számára kifejlesztett specifikus teszt csomagot (SFMOTOR) tartalmaztak a Vienna Teszt Rendszer (VTS) beleértve a vizuális keresési tesztet (LVT), a Stroop-tesztet (STROOP), a vizuális memória tesztet (VISGED), az idő- és mozgásirányt elővételezést mérő teszt (ZBA) és a determinációs tesztet (DT). Az akusztikus jelek érzékelése érdekében a résztvevők fülhallgatót kaptak a kísérlet során. A kognitív tesztek után a résztvevők egy vita maxima spiroergometriai tesztet végeztek futópadon. A tesztet egy antropometriai mérés előzte meg, amely az ISAK által meghatározott és jóváhagyott nemzetközi szabványoknak megfelelően zajlott. Végül a harmadik napon a résztvevők a STROOP és ZBA teszteket végezték közepes intenzitású kerékpáros edzés közben a Torbeyns és munkatársai által végzett tanulmány alapján (*Tobeyns et al., 2016*). A következő héten az EXP csoport megkezdte a hathetes edzésprogramot, amely heti kétszer 60 perces edzést tartalmazott, 48-72 óra pihenővel az egyes edzések között. Mindkét csoport résztvevőit arra kértük, hogy ne végezzenek semmilyen kognitív vagy motoros képességfejlesztő tréninget a kutatás alatt, és ne változtassanak napi rutinjukon vagy étkezési szokásaikon. Az utóteszteket az utolsó edzést követően 2 nappal végezték, és azonosak voltak az alapmérésekkel.

### **1. Nap: Kognitív tesztek**

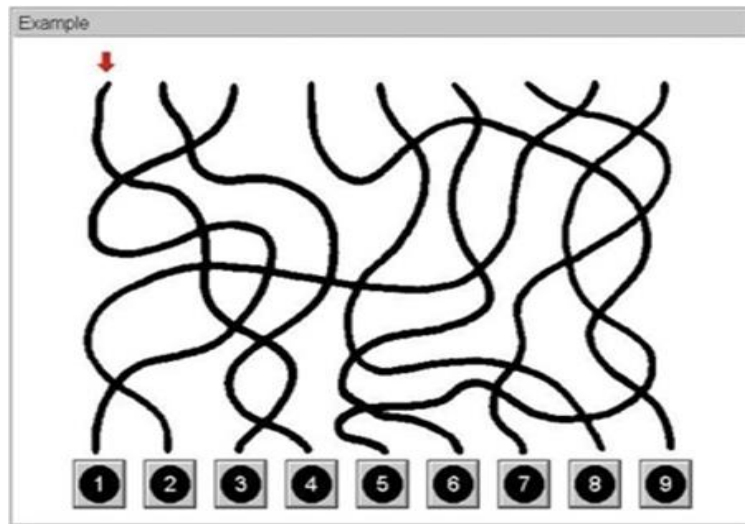
A VTS egy széles körben használt objektív mérési eszköz, amely különböző pszichés funkció mérésére alkalmas, és potenciálisan információt nyújt az egyes tényezők sportolói kognitív teljesítményre gyakorolt hatásairól (*Schuhfried, 2013*). A jelen tanulmányban a VTS kognitív tesztcsomagjából (SFMOTOR) öt tesztet választottunk ki és használtunk, amelyeket kifejezetten autósportolók számára javasolnak. Minden teszt előtt egy familiarizációs szakasz volt (az egyes tesztek megismerkedési próbáinak pontos számát lásd alább). A VTS rendszer visszajelzést adott a résztvevőknek helytelen válasz esetén, és nem engedte továbblépni a tesztelési szakaszra, amíg a helyes választ meg nem adták. A teszt eredményeket használtuk, hogy meghatározzuk a hathetes agilitási edzésprogram hatását az autóversenyzők kognitív teljesítményére.



8. ábra: A Vienna Teszt Rendszer (VTS) beviteli válaszpanel és pedálok (<https://atwork.hu/hirek/muszeres-meres-a-vienna-test-systemmel/> alapján saját szerkesztés)

### **1. Teszt: Vizuális Keresési Teszt (LVT)**

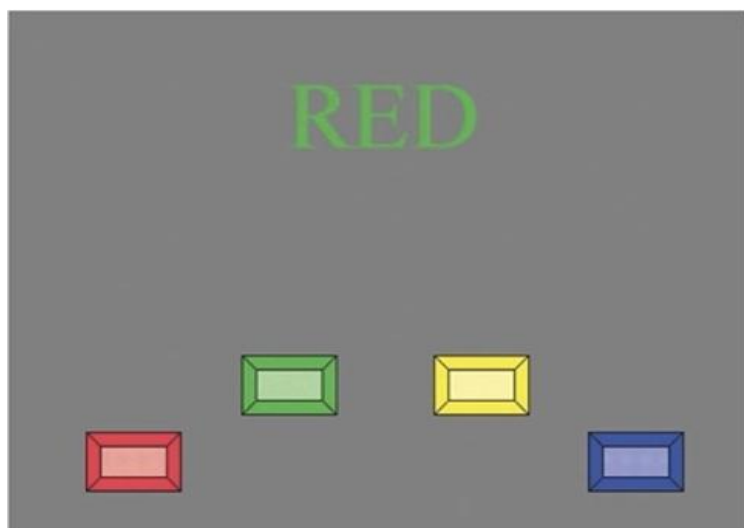
A vizuális keresési tesztet a vizuális orientációs teljesítmény és a szelektív vizuális figyelem vizsgálatára használták, az egyszerű elemek perceptuális minőségének meghatározásával egy összetett környezetben. Nyolc megismerkedési próba után a résztvevők megkezdték az LVT tesztet. Pontosabban a teszt leírása: egy nyíl jelent meg a kijelző tetején, amely egy a kilenc görbe közül az egyik teteje felé mutatott, és a feladat az volt, hogy a lehető leggyorsabban a vizsgálati személy jelezze a dobozon lévő számot, amelyhez az adott görbe kapcsolódott. A teszt körülbelül 3–10 percig tartott 40 ismétlés hajtottak végre a vizsgálati személyek. A tesztből nyert medián reakcióidő és a helyes válaszok százalékanak értékelése és a statisztikai elemzésre való felhasználása történt (*Schuhfried, 2013*).



9. ábra: LVT teszt képernyőfotója (Schuhfried,2009)

## 2. Teszt: Stroop Teszt (STROOP)

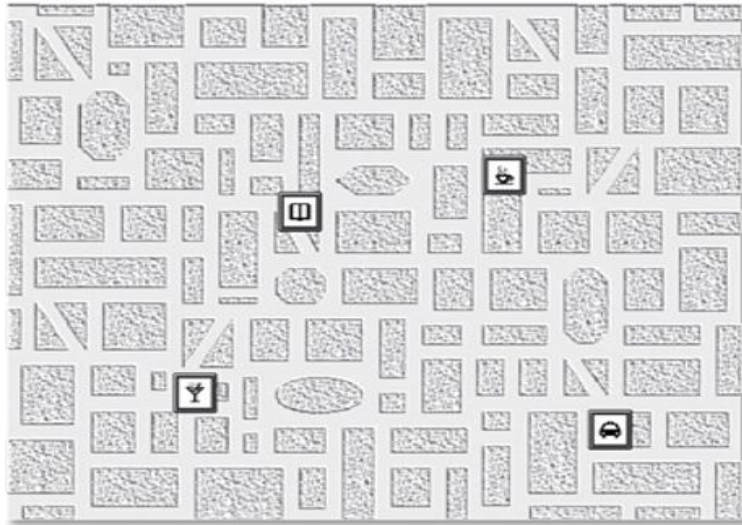
A Stroop tesztet a résztvevők kognitív rugalmasságának és gátlás képességének vizsgálatára használtuk. A teszt azon a feltételezésen alapul, hogy egy szín nevének olvasási sebessége lassabb, ha a szó más színű betűtípussal van írva. A teszt során két-zavaró hatásoktól mentes (kongruens ingerek) feladattal mérték fel az alap teljesítményt (BL). Ezeket az eredményeket két interferencia (IF) kondícióval hasonlítottuk össze, azaz (a) 'színnév zavarás' és (b) 'szóolvasás zavarás' (inkongruens ingerek). A résztvevők feladata az volt, hogy a lehető leggyorsabban megnyomják a megfelelő gombot a tesztpanelen (8. ábra). A teszt körülbelül 10 percig tartott, és 10-10 megismerkedési próbával előzte meg mindkét feltételt. Az olvasási- és névzavarás (az 'interferáló feltételek' és az 'alap' reakcióidők mediánjának különbsége) értékelése és a statisztikai elemzésre való felhasználása történt. A statisztikai elemzés az olvasás és a megnevezés okozta interferenciára, a reakcióidőre és a hibás válaszok százalékos arányára összpontosított ezen interferenciafeltételek során. A teszt Cronbach-alfa értéke  $r=0,85$  és  $r=0,99$  közötti értéket mutat (Schuhfried, 2013).



10. ábra: STROOP teszt képernyőfotója (Schuhfried, 2009)

### 3. Teszt: Vizuális Memória Teszt (VISGED)

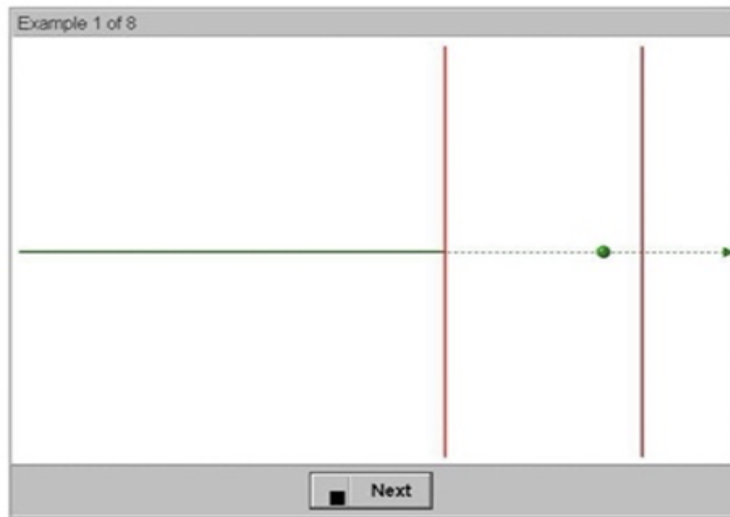
A vizuális memória tesztet a vizuális rövid távú memória teljesítményének meghatározására használtuk. Ennek értéke információt nyújthat arról, hogy a résztvevők hogyan orientálódnak a valós élet környezetben. Először öt megismerkedési próbát végeztek a résztvevők, majd meg kellett jegyezniük és utána vissza kellett emlékezniük a szimbólumok helyzetére egy várostérképen. Pontosabb teszt leírás: a résztvevő először egy várostérképet látott (12.ábra), amelyen négy különböző helyszínt jelöltek (összesen 15 szimbólum, pl. taxiállomás/kórház/iskola/templom stb.). A résztvevőknek meg kellett jegyezniük az egyes szimbólumok helyzetét, majd utána helyesen vissza kellett emlékezniük azokra. Ezt úgy tesztelték, hogy a várostérképet szimbólumok nélkül mutatták be, és arra kérték a résztvevőket, hogy jelöljék meg az egér használatával a VTS rendszerhez csatlakoztatott képernyőn, hogy hol volt az adott szimbólum. Amint a válaszadó egy helyet megjelölt a térképen, az adott szimbólum valódi helyzete megjelent, így a válaszadó visszajelzést kapott válaszána helyességéről. A teszt körülbelül 10–15 percig tartott. A teszten elért magasabb pontszám azt jelzi, hogy a résztvevő több információs elemet tudott megjegyezni (Schuhfried, 2013).



11. ábra: VISGED teszt képernyőfotója (Schuhfried,2009)

#### 4. Teszt: Idő- és Mozgásirányt Elővételezést MÉRŐ Teszt (ZBA)

A ZBA tesztet a résztvevők képességeinek meghatározására használták, hogy becsüljék meg egy objektum kijelölt pontba való érkezési idejét. A tesztet nyolc megismerkedési próba előzte meg. Egy zöld labda jelent meg a képernyőn, amely bizonyos irányban mozogva irányt változtatott. Egy kiszámíthatatlan időben a labda eltűnt és láthatatlanná vált, amíg két piros vonal meg nem jelent (13. ábra), ahol az első vonal jelölte a labda eltűnésének helyét. A résztvevők feladata az volt, hogy megjelöljék a labda második piros vonalon való áthaladásának várható helyzetét és idejét. A helyzetet a VTS panel piros és zöld gombjaival állították be, amelyek a kurzort a képernyőn függőlegesen (fel és le) és vízszintesen (balra és jobbra) mozgatták, míg az áthaladás időpontját a panel közepén található fekete téglalap alakú gomb megnyomásával határozták meg (8. ábra). A teszt gyakorlási szakaszában a résztvevők 10 elemből álló gyakorlást végeztek, amelyre visszajelzést kaptak. A feladat 48 elemet tartalmazott. A teszt során a résztvevők nem kaptak visszajelzést a válaszuk pontosságát illetően. A teszt körülbelül 25-30 percig tartott. A helyes pozíciótól való időbeli és helyzetbeli hiba eltérése került értékelésre, illetve a statisztikai elemzésre való felhasználása történt (Schuhfried, 2013).

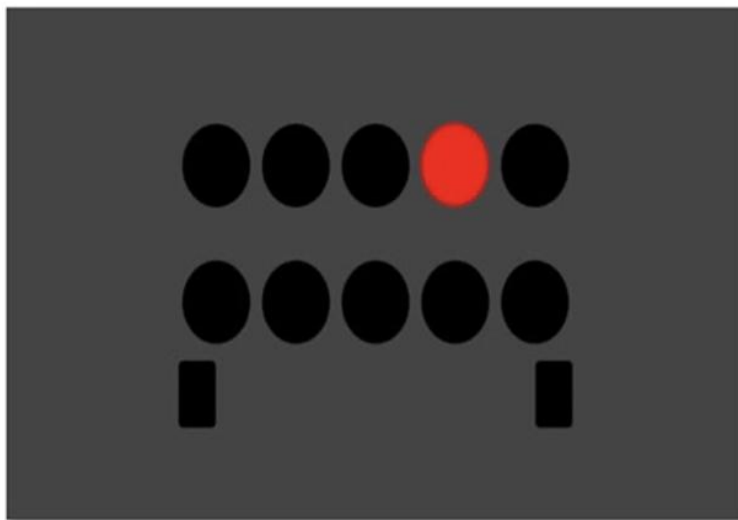


12. ábra: ZBA teszt képernyőfotója (Schuhfried, 2009)

### 5. Teszt: Determinációs Teszt (DT)

A DT (14. ábra) a résztvevők reaktív stressztűrő képességének, figyelemnek és reakció sebességének értékelésére használtuk olyan helyzetekben, amelyek folyamatosan gyors és változatos válaszokat igényelnek gyorsan változó vizuális és akusztikus ingerekre. A teszt előtt a résztvevők egy familiarizációs szakaszt teljesítettek, hogy megismerkedjenek a teszttel. A résztvevők színingereket és akusztikus jeleket kaptak, amelyekre a megfelelő gombok megnyomásával kellett reagálniuk a válaszpanelen (8. ábra). Pontosabban a színingereket a monitor öt különböző színű (fehér, sárga, piros, kék, zöld) kört mutató ábrázolásán keresztül mutatták be, amelyek a tíz kör egyikében jelenhettek meg vagy lábjelzésekkel (balra vagy jobbra), amelyekre a résztvevőknek a megfelelő színű gomb megnyomásával kellett reagálniuk a kézi panelen vagy a VTS lábpedálján. Az akusztikus ingerek magas és alacsony hangokból álltak, amelyeket a tesztrendszer felülete mutatott be, és amelyekre a résztvevőknek a VTS panel közepén lévő felső szürke vagy alsó fekete téglalap alakú gomb megnyomásával kellett reagálniuk. A DT stressz eleme az adaptivitásából származik, ahol a résztvevőknek folyamatosan gyors és változatos válaszokat kell adniuk a gyorsan változó ingerekre. Az adaptivitás azt jelenti, hogy a szoftver folyamatosan igazítja a kihívás szintjét az egyes résztvevők teljesítménye alapján, azaz minél jobb volt a résztvevő teljesítménye, annál gyorsabb volt az ingerek megjelenítési sebessége. A teszt körülbelül 6 percig tartott. A helyes, helytelen és

kihagyott válaszok számát értékelték és használtuk a statisztikai elemzéshez (Schuhfried, 2013).



13. ábra: DT képernyőfotója (Schuhfried, 2009)

## 2. Nap: Antropometriai és Terhelésélettani felmérés

### Antropometriai mérések

Az antropometriai mérések az ISAK által meghatározott és jóváhagyott nemzetközi szabványok szerint történtek. Pontosabban a magasságot, testtömeget, a mellkas szélességét és mélységét, a váll, könyök, csípő és térd szélességét, a test körméreteit (mellkas, hajlított felkar, középső felkar, középső alkar, csukló, kéz, comb, vádli, boka) és a bőrredőket (bicepsz, tricepsz, lapocka (subscapula), csípő (suprailiacalis), supraspinalis, hasi (abdominalis), comb és lábszár) határozták meg egy hitelesített szakértő által. A testtömeg (TTM), testmagasság (TM), becsült izomtömeg (BI%) és testzsír százalék (TZS%) értékének a számított eredményeit határozták meg.

Az antropometriai mérések során a relatív zsírtömeg (%) és a relatív izomtömeg (M%) számítása a nemzetközileg elfogadott, validált tapasztalati képletek alapján történt, amelyeket az ISAK (International Society for the Advancement of Kinanthropometry) által alkalmazott program is használ.

A zsírtömeg meghatározása Kerr (1988, 1991) módszere szerint történt, amely a testtömeget öt komponensre bontja: bőr, zsírszövet, csont, izom, valamint reziduális tömeg. A képlet az alábbiak szerint történik: zsírtömeg (kg) = testtömeg × zsírszövet százaléka / 100. A zsírszövet százalékos aránya Kerr táblázatai alapján történik, amelyet

a test különböző bőrredőinek méréseiből származtat a program. Az ISAK által alkalmazott algoritmus Kerr eredeti frakcionálási modelljén alapszik, melyet boncolással validáltak (a Kerr-féle testösszetétel-modellnél a kutatók boncolással ténylegesen megmérték az egyes szövetkomponensek – például zsírszövet, izomszövet, csont – tömegét, majd ezeket az értékeket hasonlították össze az antropometriai mérésekkel (pl. bőrredők, testkörfogatok) becsült adatokkal). Így biztosították, hogy a képletek valóban a valós testi arányokat tükrözik, nem csupán statisztikai becslések. Ez a fajta validálás az egyik legmegbízhatóbb módszernek számít a testösszetétel-kutatásban. A relatív izomtömeg (M%) meghatározása a Lee és munkatársai (2000) által kifejlesztett regressziós modell segítségével történt, amelyet mágneses rezonancia képalkotással (MRI) validáltak. A vázizomtömeg (Skeletal Muscle Mass, SMM) A felnőttekre vonatkozó képlet a következő:  $SMM (kg) = Ht \times (0.244 \times CAG^2 + 0.098 \times CTG^2 + 0.040 \times CCG^2) + 2.4 \times nem - 0.048 \times életkor + 0.123 \times testtömeg + 0.096 \times magasság - 9.15$  Ahol: • Ht: testmagasság méterben • CAG: felkar körfogat (corrected arm girth, cm) • CTG: comb körfogat (corrected thigh girth, cm) • CCG: vádli körfogat (corrected calf girth, cm) • nem: férfi = 1, nő = 0 A relatív izomtömeg (M%) ezek alapján:  $M\% = (SMM / testtömeg) \times 100$ .

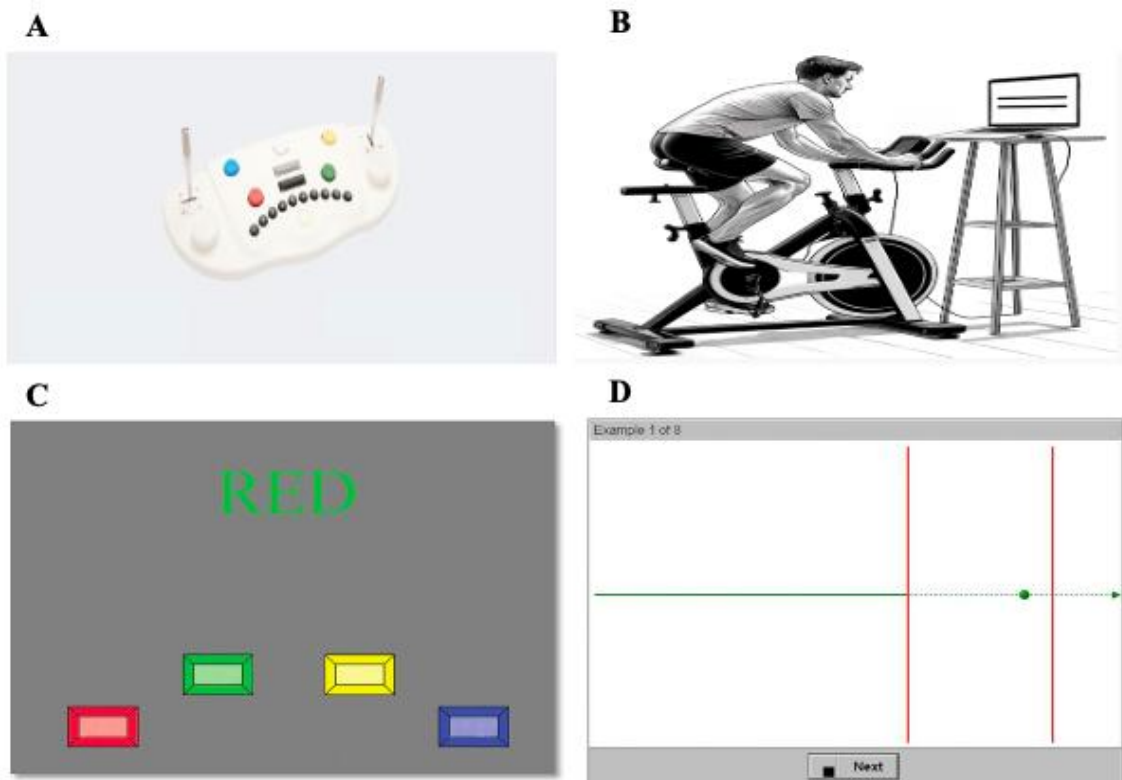
### **Terhelésélettani mérés**

A résztvevők teljes kimerülésig tartó vita maxima spiroergometriai futópad tesztet végeztek. A futópad (Life Fitness modell 90 T Schiller Park, IL) sebességét a következő módon növelték: a kezdő sebesség 5 km/h volt 0% dőlésszöggel, amelyet minden második percben lineárisan növeltek 10, 12, 14 és 16 km/h-ra. Ezután a dőlésszöget minden percben 3%-kal növelték a kimerülésig. A szívritmus monitor (Polar H10, Polar Electro, Kempele, Finnország) 1 Hz mintavételi frekvenciával és egy spirométerrel (Jaeger Oxycon Pro, Viasys Healthcare GmbH, Höchberg, Németország) használtunk a szívfrekvencia (HR), a ventiláció (VE), légzési frekvencia (BF), oxigénfelvétel (VO<sub>2</sub>) és szén-dioxid leadás (VCO<sub>2</sub>) mérésére. A VO<sub>2</sub>max értéket az oxigénfelvétel növekedésének hiánya alapján határozták meg a terhelés növekedésével. A V-slope módszerrel a VCO<sub>2</sub> és VO<sub>2</sub> egyenes vonalú kapcsolatainak elemzésével detektálták a gázcsere küszöböt (GET) a futópad teszt során (Beaver, Wassermann és Whipp, 1986).

A HR értéket az GET-nél (GETHR) is rögzítették a HR változásainak detektálására, amelyek a laktát küszöbnek felelnek meg.

### 3. Nap: Kognitív Tesztek Közepes Intenzitású Terhelés közben

A résztvevők a STROOP és ZBA teszteket végezték közepes intenzitású terhelés (a maximális HR 65–75%-án) közben egy Precor kerékpár ergométeren (Precor, Woodinville, WA, USA). A teszt protokoll 5 perces bemelegítő fázissal kezdődött, amely során a résztvevőknek el kellett érniük a kognitív tesztelés során beállított pulzustartományt. A VTS válaszpanelét rögzítettük az ergométeren, a laptop képernyőjét a résztvevők szemmagasságában állítottuk be (15.B ábra). A felmérés bemelegítéssel együtt körülbelül 35-40 percig tartott.

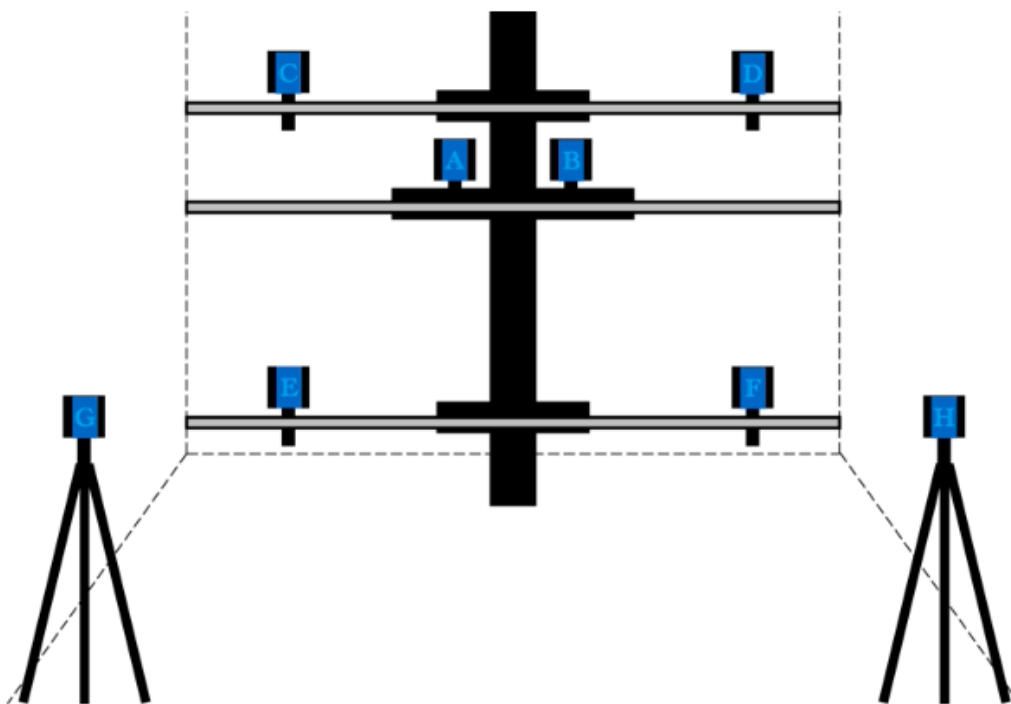


14. ábra: *A: a VTS válaszpanel; B: kerékpár ergométeren végzett kognitív tesztelés; C: STROOP teszt; D: ZBA teszt (saját szerkesztésű kép Schuhfried, 2009 alapján)*

### Agilitási edzésprogram a Microgate Witty Sem eszközzel

Az edzést végző kísérletvezetők tudatában voltak a résztvevők csoportos beosztásának. Az EXP csoport résztvevői heti kétszer 60 perces edzéseken vettek részt 6 héten keresztül. A résztvevők egy 10 perces bemelegítést végeztek, amely 2 perc sétából (5 km/h) és 3 perc kocogásból (8 km/h) állt a futópádon, majd 5 perc dinamikus nyújtás következett,

kombinálva törzs izom aktivációs gyakorlatokkal. Az agilitás edzés a Witty SEM© vizuális reakció teszt eszközzel végezték (Microgate, Bolzano, Olaszország). Az edzésprogram minden edzése egy elszigetelt szobában lett elvégezve, ahol az állandó hőmérsékletet (20 °C) hagyományos légkondicionáló szabályozta. A nyolc LED lámpát a programvezetők helyezték el egy 3×3 m sötét szobában az antropometriai mérések eredményei alapján. Az 'A' és 'B' lámpákat a vállcsúcsok magasságában, a 'C' és 'D' lámpákat a fej magasságában helyezték el, a 'E' és 'F' lámpákat a sípcsont középső magasságában, míg a 'G' és 'H' lámpákat a derék magasságában, 85°-os szögben a kezdő pozíciótól (+80 cm a kar elérésétől). A kezdő pozíciót +80 cm-re jelölték meg a lámpáktól, és szalaggal jelölték meg a padlón (60×60 cm négyzet). A teszt öt sorozatból állt, amelyek 1–5 percig tartottak, 2 perc pihenővel a sorozatok között.



15. ábra: A Microgate Witty Sem eszköz elhelyezése az agilitás edzésprogram során (saját szerkesztés)

Két szekvenciát programoztak előre a következő módon:

Szekvencia#1: A,D,B,G,A,H,E,C,F,G,D,A,B,F,E,G,B,H,C,G,H,F,A,E,D,B,F,E,H,E

Szekvencia #2: A,F,C,A,E,G,D,B,H,C,G,A,D,F,G,H,A,G,E,D,B,G,E,C,B,A,F,H,B,E

Az 1. szekvenciát használták az egy, három és öt perces blokkokhoz, míg a 2. szekvenciát a kettő és négy perces blokkokhoz. A szekvenciákat a blokkok végéig ismételték. A

résztevőket arra kérték, hogy a lehető leggyorsabban reagáljanak csak a megadott fotocellára, azaz az 1. blokkban: zöld 'B'; a 2. blokkban: kék '6'; a 3. blokkban: piros 'D'; a 4. blokkban: zöld '9'; az 5. blokkban: piros 'C'. A vizuális reakciók közötti generációs idő egy másodperc volt. A reakciók között a résztvevőknek vissza kellett mozogniuk a kiindulópályára jelző vonal mögé. Az lámpák megjelenési sorrendjét és helyzetét edzés alkalmanként megváltoztattuk, a szekvenciák implicit tanulásának a lehetőségének minimalizálása érdekében. Az agilitási teljesítményt az edzés során elért érintések számával és a reakcióidővel értékelték. A HR adatokat Polar V800 szívritmus monitorral és Polar H7 mellkaspánttal mérték (Polar Electro, Kempele, Finnország). A belső terhelési mutatók esetében az átlag és maximális pulzus eredményeket rögzítettük. Ezenkívül a paraszimpatikus reaktivációt az első, hatodik és tizenkettedik edzések után HRR alapján ülő helyzetben, a gyakorlat befejezésekor mért végső HR és a 60 másodperces regenerációs időszak alatt mért HR közötti abszolút különbség meghatározásával.

### 5.1.3 Első kutatás statisztikai elemzések

A statisztikai elemzéseket az SPSS Statistics Package (verzió 22.0, SPSS Inc., Chicago, IL) segítségével végeztük. Minden adat normális eloszlásának ellenőrzésére a Shapiro–Wilk tesztet alkalmaztuk. Azon esetben amikor a változók nem mutattak normál eloszlást, logaritmus-transzformációt alkalmaztunk az adatok esetében az elemzését megelőzően. A hathetes edzésprogram autóversenyzők fizikai és kognitív teljesítményére, valamint antropometriai adatokra gyakorolt hatásának statisztikai vizsgálatához egy sor csoport (EXP, CON) × idő (alap, utó) kevert varianciaanalízist (ANOVA) és post hoc teszteket végeztünk minden függő változó esetében. Külön csoport (EXP, CON) × idő (alap, utó) × feladat összetettség (nyugalomban, közepes intenzitású edzés közben) kevert ANOVA-kat végeztünk annak megállapítására, hogy a kognitív tesztek (STROOP, ZBA) eredményei különböznek-e nyugalomban vagy közepes intenzitású edzés közben végzett feladatok esetében. További ismételt méréses ANOVA-k (rmANOVA-k) és post hoc tesztek Bonferroni korrekcióval a több összehasonlítás esetén, ezzel vizsgálva az agilitási edzés teljesítményét, a reakcióidő és HR adatok (átlag HR, maximális HR, HRR) változásait az edzésprogram során. Minden ANOVA esetében az összetett szimmetriát a Mauchly teszttel értékeltük, és a Greenhouse–Geisser korrekciót használtuk, amikor az

adatok megsértették a sphericitás feltételezését, így amikor az Epsilon értéke kevesebb volt, mint 0,75 a Mauchly sphericitási tesztjében, a Greenhouse–Geisser korrekciót alkalmaztuk, és amikor az Epsilon értéke nagyobb volt, mint 0,75, a Huynh–Feldt korrekciót alkalmaztuk. Az ismétlési tényezők hatás méreteit részleges eta négyzet ( $\eta^2$ ) segítségével fejeztük ki. Kiegészítő post hoc elemzéseket (párosított mintás t-próbája) további Cohen-féle hatás méret (d) számításával végeztünk el indokolt esetben. A statisztikai szignifikancia szintje  $p < 0,05$  volt.

## 5.2 Második kutatás anyag és módszer

### 5.2.1 Második kutatás kutatás résztvevők

A mintanagyság-számítások (G\*Power 3.1.7) azt mutatták, hogy a kísérleti és a kontrollcsoportok közötti szignifikáns különbségek kimutatásához legalább 24 résztvevőre lenne szükség a kutatásban (Faul *et al.*, 2007). Ebben a kutatásban, amelyet párhuzamosan randomizált, egyszeres vak módon végeztünk, összesen 31 résztvevő vett részt (n=31), akik valamilyen nyílt készségű sportág aktív versenyzője volt (autóversenyző= 11 fő; labdarúgó= 8 fő; kézilabdázó= 4 fő; kosárlabdázó= 8 fő), véletlenszerűen osztottunk be a három csoport egyikébe: nM (n=11, átlagéletkor  $22,6 \pm 3,8$  év, 2 nő, 9 férfi), nM kontroll kondicionált csoport (KKCS, n=10, átlagéletkor  $20,3 \pm 1,2$  év, 1 nő, 9 férfi) vagy NT (n=10, átlagéletkor  $20,5 \pm 1,7$  év, 1 nő, 9 férfi). A vizsgálatban résztvevő személyek a részvételért semmilyen anyagi juttatásban nem részesültek. A vizsgálati személyeknek nem volt semmilyen bejelentett neurológiai betegsége vagy a szomatomotoros terület károsodása.

A vizsgálat kutatás etikai normáknak megfelelően zajlott. A résztvevők átfogó magyarázatot kaptak a kísérleti protokollról szóban és írásban, a Helsinki Nyilatkozatban foglalt elveknek megfelelően. Ezt követően a résztvevők a beleegyezési nyilatkozat aláírásával hivatalosan is elismerték beleegyezésüket. Fontos megjegyezni, hogy minden kísérleti protokoll alapos értékelésen esett át, a Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem Kutatás Etikai Bizottsága TE-KEB/No36/2022 hivatkozási számmal jóváhagyta.

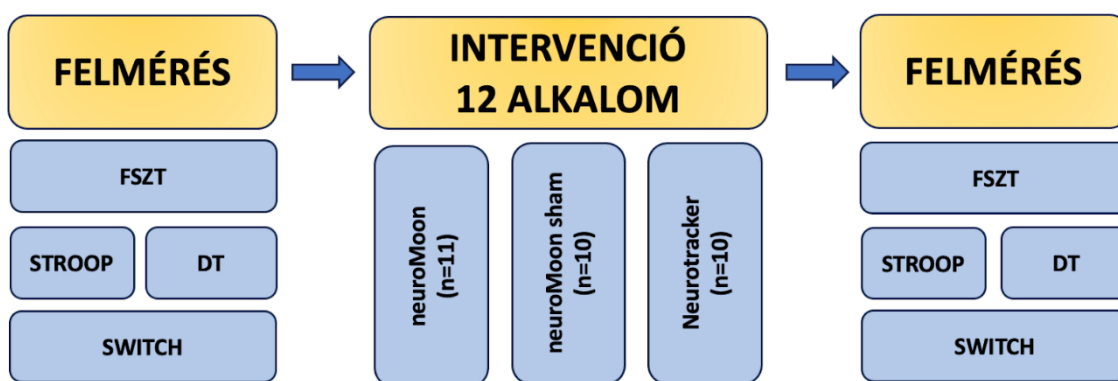
Kutatótársam Rác Melinda az ÚNKP-23-3-II-SE-84 Új Nemzeti Kiválóság Program keretében támogatást kapott a Kulturális és Innovációs Minisztériumtól, amelyet a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap finanszíroz. Továbbá Rác Melinda elnyerte az SE 250+ Kiválósági Doktori Ösztöndíjat, amelyet az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00009 számú, "Tudományos műhelyek fejlesztése az orvostudomány, az egészségtudományok és a gyógyszerészet területén" című projekt támogat. Ezek a támogatások biztosították a kutatás létrejöttét.

### 5.2.2 Második kutatás módszere

A 17. ábra a kísérleti terv sematikus ábrázolása. A vizsgálati személyek a Fit4Race edzőközpontjában vettek részt a felméréseken (Fit4Race Kft., Budapest, Magyarország),

amelyet elsődlegesen a motorsportolók értékelésére és edzésére alakítottunk ki. A tesztelés előtt és annak során a vizsgálati személyeket arra kértük, hogy 24 órán keresztül tartózkodjanak az alkoholfogyasztástól, valamint a tesztelés reggelén kerüljék a kávéfogyasztást. A felmérési protokoll magában foglalta a fordított számterjedelem teszt (FSZT) elvégzését, valamint a Vienna Teszt Rendszer (VTS) 3 kognitív teszt feladatát (*Schuhfried, 2013*). Az auditív jelzések minél jobb befogadásának érdekében a kísérlet során fejhallgatót biztosítottunk a vizsgálati személyek részére a VTS teszt folyamán.

A felméréseket követő héttől kezdődtek meg a vizsgálati személyek négyhetes kognitív tréningprogramja, amelyet hetente háromszor végeztek, az egyes alkalmak között 48-72 órás pihenőidővel. A vizsgálati személyeket arra kértük, hogy a kutatás időtartama alatt ne vegyenek részt semmilyen kognitív-képességfejlesztő tréningben, valamint arra, hogy tartsák fenn a szokásos napi rutinjukat és étkezési szokásaikat. A négyhetes programot követően a tesztek két nappal az utolsó tréning után végeztük el a fejlesztési programot megelőző felméréssel azonos sorrendben. A tesztfelvétel azonos időszakban, azonos környezeti feltételek mentén történtek.



16. ábra: A kutatási terv sematikusan van ábrázolva. A képzési program megkezdése előtt minden vizsgálati személynek 4 feladatból álló tesztet kellett teljesítenie. A 12 alkalomból álló képzési program során a vizsgálati személyeket három csoportra osztottuk, nevezetesen neuroMoon (nM), neuroMoon sham (kontroll kondicionált csoport, KKCS) és Neurotracker (NT) csoportokra. Az intervenciót követően a vizsgálati személyek újra teljesítették a felmérési protokollt. A felmérés a következő tesztek foglalta magába: Stroop teszt (STROOP), Task-Switching Test (SWITCH), determinációs teszt (DT) és fordított számterjedelem teszt (FSZT) (saját szerkesztés)

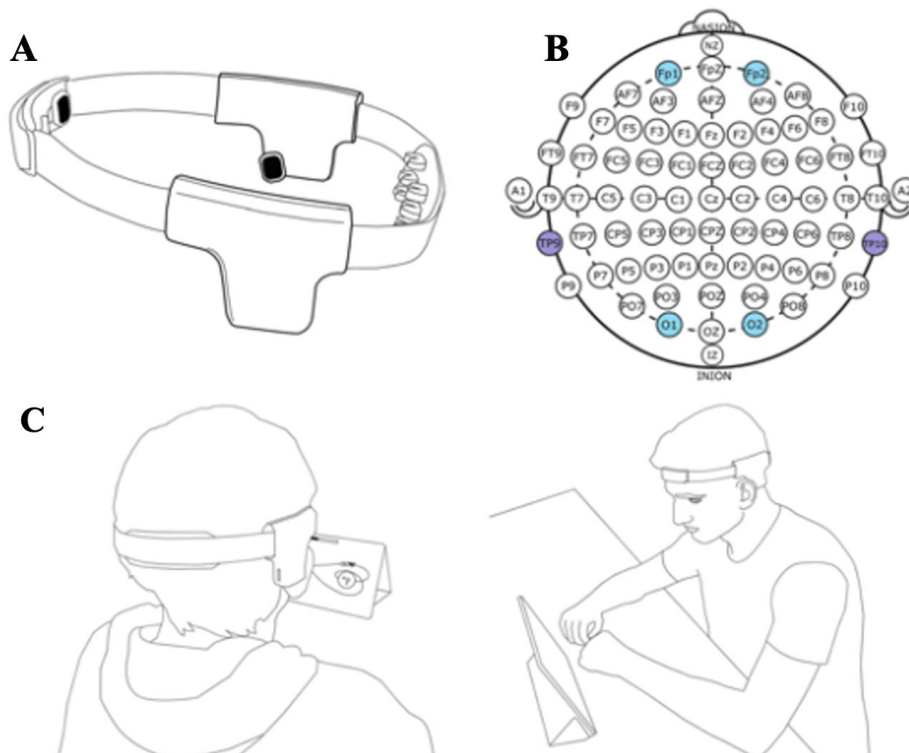
## **NeuroMoon rendszer**

A MindRove által készített nM készülék egy EEG-alapú NF eszköz prototípusa (18A. ábra). A megbízhatóságának és pontosságának biztosítása érdekében a MindRove ugyanazt a nyomtatott áramköri panelt használta, amelyet a kereskedelmi forgalomban kapható EEG-készülékekben is alkalmaznak (<https://mindrove.com/arc/>). A készülék egy csúcsmínőségű EEG-chipet használ. Ez a chip egy 24 bites, 8 csatornás analóg-digitális átalakító (ADC), amelyet kifejezetten EEG és egyéb biopotenciál mérési alkalmazásokhoz terveztek. Az eszköz mintavételi sebessége 250 mintavételezés/másodperc (SPS), és 12-es erősítéssel rendelkezik. Ezenkívül magas a bemeneti impedanciája és alacsony zajt bocsájt ki, ezáltal garantálja a kiváló minőségű adatok rögzítését. Továbbá ez a chip híres a magas közös módusú elnyomás és az alacsony bemeneti bias-ról, amely tulajdonságai hozzájárulnak az EEG-jelek zajának és interferenciájának csökkentéséhez. A készüléket egy újratölthető LiPo akkumulátor táplálja, amelynek üzemideje 4-6 óra.

A 4 EEG-elektroda elrendezése az nM fejpánton az EEG-elektrodák elhelyezésére vonatkozó nemzetközi 10-20-as rendszer szerint történik. Az nM készüléket úgy tervezték, hogy rugalmas és állítható legyen a használók fejméretéhez. Az nM fejpántba négy merev komponens van integrálva, amelyek magában foglalják a frontális, nyakszirti, referencia- és DRL- elektrodákat, az elektronikát és az akkumulátort. Az eszköz elején található komponens olyan elektrodákat tartalmaz, amelyek érintkeznek a viselő homlokával, lehetővé téve ezzel az EEG-mérések felvételét az Fp1 és Fp2 helyekről, a 10-20-as rendszerrel összhangban (18B. ábra). A 10-20-as rendszer standardizációt biztosít az elektrodák fejbőrön történő elhelyezéséhez, ezáltal biztosítja az EEG-jelek felvételének következetes és jól meghatározott helyeit. A készülék hátsó része olyan elektrodákat tartalmaz, amelyek kifejezetten úgy vannak kialakítva, hogy áthatoljanak a hajon és érintkezzenek a fejbőrrel, lehetővé téve ezzel az EEG-mérések elvégzését az O1 és O2 helyekről (18C. ábra). A készülék harmadik komponense az elektronikát és a referenciaelektrodát (TP10), míg a negyedik komponens az akkumulátort és a DRL-elektrodát (TP9) tartalmazza.

Az elektrodákat platina-irídium huzallal fűzött konduktív szövet borítja, amely a felhasználó bőrével érintkezve minimalizálja a kontakt impedenciát. A platina-irídium huzal nagy elektromos vezetőképességgel rendelkezik, ami szintén hozzájárul az

érintkezési impedancia csökkentéséhez. Ez az elektróda kialakítás javítja a jel-zaj arányt és biztosítja a jó minőségű EEG-jelek felvételét, amelyek elengedhetetlenek a NF alkalmazásához. Fontos megjegyezni, hogy az alkalmazott elektródák száraz elektródák, így nincs szükség géll vagy paszta használatára. Az egyszerűségükről és kényelmükről ismert száraz elektródák gyorsan és könnyedén felhelyezhetők a bőrre, anélkül, hogy további előkészítésre lenne szükség.



17. ábra: Az nM EEG fejpántról (alfa változat) készült ábra (A). Az nM készülék 4 EEG-elektrodájának elhelyezését az EEG-elektrodák elhelyezésére vonatkozó nemzetközi 10-20-as rendszer szerint alakították ki. A munkaelektrodák és a referenciaelektrodák késsel, illetve lilával vannak kiemelve (B). Az intervenció ábrázolása (C) (saját szerkesztés)

### Felmérési protokoll

A kognitív képességeket a FSZT és a különböző pszicho-motoros képességek széles körben használt objektív mérőeszközével a VTS (12. ábra) segítségével mértük fel, amely képes betekintést nyújtani a sportolók kognitív teljesítményére gyakorolt specifikus tényezők hatásába (Ong, 2015). Ez az autóversenyzők esetében is érvényes (Horváth et al., 2022). Ebben a vizsgálatban a VTS átfogó kognitív tesztcsomagjából választottunk ki és alkalmaztunk 3 tesztet, hogy megvizsgáljunk egy 12 alkalomból álló kognitív

tréningprogram NT, nM vagy nMsham (KKCS) használatával a résztvevők kognitív teljesítményére gyakorolt hatását.

Minden teszt felvétele előtt a résztvevők egy gyakorló fázison mentek végig. A tesztek először írásban ismerték meg, majd gyakorlatban. A VTS a familiarizáció során hibás válasz esetében azonnali visszajelzést adott a vizsgálati személy részére a helytelen válaszról, ezzel facilitálva a megfelelő szabályrendszer megértését. A gyakorló folyamat csak akkor folytatódott, ha a következő választ helyesen adta meg. Többszöri helytelen válaszadás után a familiarizációs folyamat automatikusan megszakadt, és hibaüzenetet küldött. Hibaüzenet esetén a vizsgálat vezetője újraindította a tesztet, és először szóban, majd a gyakorlat során ellenőrizte a vizsgálati személy szabályismeretét.

### **1. Teszt: Fordított számterjedelem teszt (FSZT)**

Az FSZT feladat a komplex munkamemória kognitív képességét vizsgálja (*Richardson, 2007*). A feladat során a vizsgálatvezető egyszámjegyű számok sorozatát olvassa fel, az egyes számok között egymásodperces szünettel. A vizsgálati személy feladata, hogy a számsorozatot a számok eredeti sorrendjével ellentétes módon, visszafelé artikuláltan és jól érthetően ismétlje el. Ahhoz, hogy a következő szakaszba léphessen, a résztvevőnek a négy próbálkozásból legalább kétszer helyesen kell visszamondania a számsorrendet. Helyes válasznak csak a teljesen pontos végrehajtás fogadható el. Hibának számít a teszt során a számsorból egy szám vagy számok kihagyása, illetve a számsor két számának felcserélése. A számsort legalább 3 szám, illetve legfeljebb 9 szám alkothatta a teszt során. A teszt 1-től 9-ig terjedő egész számokat foglalja magába. Minden számsor esetében egy szám legfeljebb egyszer szerepelhetett. A vizsgálati személy eredményét az utolsó helyesen kivitelezett számsorrend blokk hossza adta meg.

FSZT	
3	1 - 8 - 4
	7 - 8 - 1
	9 - 7 - 1
	2 - 5 - 9
4	6 - 2 - 3 - 8
	7 - 9 - 8 - 6
	1 - 6 - 2 - 5
	9 - 4 - 2 - 1
5	6 - 5 - 7 - 3 - 2
	3 - 5 - 9 - 4 - 8
	6 - 2 - 7 - 3 - 1
	5 - 6 - 3 - 9 - 4
6	6 - 1 - 8 - 4 - 5 - 3
	3 - 9 - 2 - 4 - 8 - 7
	7 - 1 - 8 - 3 - 9 - 5
	2 - 7 - 5 - 4 - 3 - 1
7	9 - 5 - 7 - 1 - 2 - 6 - 8
	1 - 4 - 9 - 7 - 8 - 3 - 6
	5 - 6 - 3 - 1 - 9 - 4 - 2
	7 - 4 - 1 - 8 - 3 - 5 - 6
8	8 - 5 - 9 - 1 - 2 - 4 - 6 - 7
	2 - 7 - 3 - 9 - 8 - 1 - 5 - 4
	1 - 9 - 5 - 3 - 8 - 6 - 4 - 2
	3 - 2 - 7 - 5 - 4 - 1 - 9 - 8
9	8 - 7 - 5 - 3 - 9 - 2 - 6 - 4 - 1
	3 - 1 - 7 - 9 - 5 - 2 - 4 - 8 - 6
	3 - 1 - 8 - 5 - 6 - 2 - 9 - 7 - 4
	2 - 9 - 1 - 5 - 3 - 7 - 4 - 6 - 8

18. ábra: A FSZT mintája (saját szerkesztés)

## 2. Teszt: Stroop Teszt (STROOP)

A résztvevők kognitív rugalmasságát, gátlás képességét a Stroop teszt segítségével vizsgáltuk. A teszt átfogó magyarázata megtalálható és az első kutatásunk anyag és módszertani leírásában (*Schuhfried, 2013; Lsd. 62-63. oldal*). Összefoglalva, a teszt két - zavaró hatásoktól mentes (kongruens ingerek) - körülményből állt össze az alapteljesítmény (BL) megállapítása érdekében. Ezeket a feltételeket két interferencia (IF) kondícióval hasonlítottuk össze, nevezetesen a "szín megnevezési interferenciával" és a "szó olvasási interferenciával" (inkongruens ingerek). A résztvevőknek a lehető leggyorsabban kellett megnyomniuk a helyes gombot a tesztpanelen. A teszt teljes időtartama körülbelül 12 perc volt, és egy familiarizációs fázis előzte meg, amely minden feltétel esetében 10-10 próbát tartalmazott. A statisztikai elemzés az olvasás és a megnevezés okozta interferenciára, a reakcióidőre és a hibás válaszok százalékos arányára összpontosított ezen interferenciafeltételek során.

A teszt Cronbach-alfa értéke  $r=0,85$  és  $r=0,99$  közötti értéket mutat.

### **3. Teszt: Determinációs teszt (DT)**

A DT a résztvevők reaktív stressztűrő képességét, figyelmét és választásos reakcióidejét méri fel olyan helyzetekben, amelyek folyamatos, gyors és ingadozó reakciókat igényelnek a gyorsan változó vizuális (szín) és akusztikus (magas- és mély tónusú hanginger) ingerekre (Horváth *et al.*, 2022). A familiarizációt követően a vizsgálati személyeknek az ingerekre a válaszpanel megfelelő gombjának megnyomásával kell reagálniuk. A vizsgálati személyeknek a gyorsan változó ingerekre adott folyamatos, gyors és folyamatosan változó válaszok állapotát kellett fenntartaniuk. Ez a teszt adaptív jellegű, mivel a szoftver folyamatosan módosítja a nehézségi szintet az adott vizsgálati személy egyéni teljesítménye alapján. A teszt időtartama körülbelül 6 perc volt. A helyes, a helytelen és a kihagyott válaszok mennyiségét vettük alapul a statisztikai elemzésben. A teszt átfogó magyarázata megtalálható és az első kutatásunk anyag és módszertani leírásában (Schuhfried, 2013; *Lsd.* 65-66. oldal).

### **4. Teszt: Task-Switching Test (SWITCH)**

A VTS SWITCH tesztje, amely e vizsgálat egyik részét képezte, kifejezetten a végrehajtó funkciók részeként a rugalmas feladatváltás képességét értékelte. A 12 perces teszt során a monitoron különböző fényerejű (világos vagy sötétszürke) körök és háromszögek jelentek meg. A vizsgálati személyeknek a VTS tesz panelen lévő, megfelelő gomb megnyomásával kellett reagálniuk az ábra alakjára vagy fényerejére. A feladatváltás gyorsasága és pontossága volt a későbbi statisztikai elemzésben felhasznált alapvető paraméter. Minden egyes inger maximum 5000 milliszekundumig volt jelen, és eltűnt, amint a résztvevő választ adott. Az egymást követő próbák közötti válasz-inger intervallumot (RSI) 750 milliszekundumban állapítottuk meg. A résztvevőket arra utasítottuk, hogy minden második ingert követően váltsák a figyelmüket az alak és a szín között (alak-alak-szín-szín-szín-alak-alak-alak-szín-szín-szín, és így tovább). A familiarizációs fázisban a helytelen válaszok esetén a képernyőn javító visszajelzés jelent meg, és a helyes válasz megadása után a teszt folytatódott. A teszt során összesen 560 inger pszeudorandomizált módon került bemutatásra, hozzájárulva a kognitív rugalmasság átfogó értékeléséhez. Ez a teszt megbízható eszköz, amely a teszt különböző aspektusaira vonatkozóan 0,81 és 0,98 közötti változó mérőszámokat biztosít (Schuhfried, 2013).



19. ábra: A SWITCH tesztnek képernyőfotója (Schuhfried, 2009)

## **Intervenciós protokoll**

### **NeuroMoon**

Az alkalmazott NF protokoll fő célja a szenzomotoros ritmus és a théta (SMR/T) közötti arány növelése. Az SMR-sáv, amelyet alacsony béta komponenseknek is neveznek, 12 és 15 Hz közötti frekvenciákat foglal magában, míg a T-sáv 4 és 7 Hz közötti frekvenciákat foglal magában (Egner és Gruzelier, 2004). Amint ez az arány növekszik, a felhasználó megerősítő visszajelzést kap. Az SMR/T tréninghez az EEG-jeleket az FP1-2 és O1-2 csatornákról vettük fel, a nemzetközi 10-20 rendszer szerint. A protokoll elsődleges célja az SMR/T arány növelése, ezáltal az SMR-hullámok stimulálása, miközben a T-hullámok csökkennek. Az alacsony frekvenciájú zajok és elektromos interferenciák kiküszöbölésére egy 0,5 Hz törésponti frekvenciájú felüláteresztő szűrőt és egy 50 Hz-es középfrekvenciájú sávzáró szűrőt alkalmaztak. A mintavételi frekvenciát 250 Hz-re állították be.

Az EEG-jelek feldolgozásában az egyik döntő lépés a beérkező jelek rendszerezése és vizsgálata. Minden egyes tétel négy másodperces intervallumból áll, amely alatt 1000 EEG-mintát gyűjtenek. A zökkenőmentes és folyamatos átmenetek biztosítása érdekében 100 minta átfedést vezettek be az egymást követő tételek között. A négymásodperces időtartam lehetővé teszi a jelek részletes vizsgálatát és a jelek teljesítményének későbbi kiszámítását a megadott frekvenciatartományokon belül, ami a játékok fejlesztésének egyik kulcsfontosságú eleme.

A kód a Welch-módszert alkalmazza, amely egy széles körben elismert technika az idősoros adatok, például az EEG jelek teljesítményspektrális sűrűségének (PSD) becslésére, szegmentálás és későbbi elemzés céljából. A spektrális szivárgás mérséklése érdekében a Welch-módszer az EEG-jelet átfedő szegmensekre osztja egy előre meghatározott ablakozási függvény, a Hann-ablak alkalmazásával. Minden egyes szegmentált epochára periodogram van számolva. Ezt úgy érik el, hogy először a

kiválasztott ablakot -esetünkben Hann-ablak- alkalmazzák a szegmensre, majd kiszámítják annak gyors Fourier-transzformáltját (FFT). Az FFT művelet végzi az EEG jel időtartományból frekvenciatartományba történő átalakítását. Ez az átalakítás hatékonyan megmutatja, hogy a jel teljesítménye hogyan oszlik meg a különböző frekvenciákon. Az összes szegmensből kapott periodogramokat ezután átlagolják, hogy a PSD konzisztens becslését hozzák létre.

A PSD becslése után a frekvenciasávok teljesítményének kiszámítása következik. A Simpson-módszer kulcsfontosságú elemű megközelítés a frekvenciasávok kalkulációja során, mivel a PSD becslések alapján kiszámítja a kívánt frekvenciatartományon belüli összteljesítményt. Ezt a PSD értékek Simpson-szabállyal történő integrálásával érik el, amely a szokásos összegzési technikákkal összehasonlítva pontosabb közelítést biztosít (*Hahn és Valentine, 2017*). Ha a Welch-módszert a PSD becslésére és a Simpson-integrációt a teljesítményszámításhoz együttesen veszik figyelembe, akkor ezek az EEG jelek átfogó jellemzését biztosítják. A pontos differenciálása az egyes frekvenciasávoknak elősegíti a játékfejlesztési applikáció finomhangolását, ezzel lehetővé téve a felhasználó EEG adatain alapuló valós idejű alkalmazkodóképességet.

A NF képzési módszere egy digitális játék formájában valósul meg, amely egy Android táblagépen működik. A játék használata közben a felhasználó egy űrhajót lát a képernyőn, amely két égitest körül kering egy előre meghatározott pályán. Az űrhajó alapértelmezett sebességgel rendelkezik, amelyet az SMR/T arány megváltoztatásával lehet növelni az alapértelmezett sebességhez képest, ezáltal biztosítva NF-et felhasználónak. Az űrhajó sebességének növelését vizuálisan a kijelzőn megjelenő előrehaladási sáv mutatja. A NF tréning egy 30 másodperces kalibrációs fázissal kezdődik, amelyet 3 egymást követő, egyenként 210 másodperces NF folyamat követett. Az egyes tréning blokkok között 60 másodperc szünet volt. Az egyes résztvevők neurális aktivitásának megállapítása érdekében alapszintű méréseket végeztek, amelyek referenciapontként szolgáltak a későbbi NF tréningekhez. Ezek a mérések az EEG jelek rögzítését jelentették, miközben a résztvevő nyugalmi állapotban volt. A nyugalmi állapot és a kalibráció optimalizálása érdekében a tréningen résztvevőket kényelmes ülőhelyzet felvételére kértük.

Az űrhajó sebességét egy olyan matematikai kifejezés segítségével határoztuk meg, amely magában foglalja az űrhajó alapértelmezett sebességét, az újonnan kapott SMR/T arányértéket és a kalibrációs fázis során kapott kalibrált értéket:

$$v = v_{default} \left( 1 + 2 \frac{x - x_{cal}}{x_{cal}} \right)$$

Ebben az összefüggésben az  $x_{cal}$  az SMR és a T arányából származtatott PSD-nek átlag értékét jelenti, amelyet a kalibrációs fázis során számítanak ki. Az  $x$  változó az SMR/T arány PSD-ét jelöli, amelyet a nem funkcionális időszak alatt, egy adott időintervallumban számoltak ki. A  $v$  jel az úrhajó valós sebességét, míg a  $v_{default}$  az úrhajó előre meghatározott sebességét jelöli.

### **Kontroll kondicionált csoport (KKCS)**

A KKCS protokollt az nM eszközzel végzett NF tréning nem specifikus hatásainak kiküszöbölése érdekében hoztuk létre. Nagyon hasonlított az nM protokollhoz, kivéve az úrhajó sebességének meghatározási módját. Az SMR/T arány és a kalibrációs érték használata helyett véletlenszerű értékeket alkalmaztunk. A tréningek során a sebességhez véletlenszerűen egy értéket rendeltünk a három tartomány egyikéből, ismétlődő mintázatban.

$$v \in \{ [0.1 \dots 0.2], k \bmod 11 = 0, 1, \dots 5 [0.2 \dots 0.5], k \bmod 11 = 6, 7, 8 [0.5 \dots 0.7], k \bmod 11 = 9, 10 \}$$

Az úrhajó tényleges sebességét, amelyet  $v$ -vel jelölünk, egy szoftveres számlálóval együtt mérjük, amelyet  $k$ -val jelölünk. Minden egyes alkalom és vizsgálati személy esetében kiszámítottuk az SMR, a T és az SMR/T arány változásait a négy csatornán. Ezeket az adatokat felhasználtuk a statisztikai elemzésekben mind a KKCS és nM csoportok esetében.

### **Neurotracker**

A kanadai Montrealban található CogniSens Athletics Inc. által kifejlesztett Neurotracker egy olyan tréningprogram, amely több tárgy követését jelenti egy háromdimenziós térben. Ezeket a gyakorlatokat általában 3D MOT (Multiple Object Tracking) feladatoknak nevezik (*Meyerhoff, Papenmeier, Huff, 2017*). Az NT témájával foglalkozó egyik legkorábbi tudományos cikk a program egyes próbáit négy különböző fázisra bontja fel (*Parsons et al., 2016*). Ebben a feladatban a résztvevőknek a képernyőn lévő központi zöld pontra kell irányítaniuk a figyelmüket, és a perifériás látásukkal nyolc sárga gömb mozgását kell megfigyelniük. Ezt a fázist követően a négy célgömb, amelyet a

résztevőnek követnie kell, két másodpercig piros színnel van kiemelve, majd visszatér az eredeti sárga színük. A harmadik fázisban a gömbök egy lineáris pályán kezdenek mozogni a kockán belül, és nyolc másodpercen keresztül. Amikor valamelyik gömb akadályba ütközik, akkor lepattan az akadályról, és tovább halad az új pályáján. Végül, a negyedik fázis során a gömbök megállnak, minden gömbhöz egy számot rendel a program 1-től 8-ig terjedő skálán. A résztvevőknek a kurzor segítségével kellett kiválasztaniuk a négy gömböt. A négy fázis 20 alkalommal ismétlődött a tréning során. A NT feladatokat különböző eszközökön keresztül lehet megtapasztalni, beleértve a fejre szerelt kijelzőt (HMD), egy nagy lapos képernyőt 3D szemüveggel vagy 3D projektorral. A virtuális kocka jellemzően körülbelül  $42^\circ$  és  $48^\circ$  közötti látómezőt fed le. A nagy vizuális mezőn, sztereoszkópikus megjelenítéssel bemutatott MOT-rendszernek ez a kombinációja feltehetően javítja a kognitív készségeket, például a figyelmet, beleértve a fenntartott, megosztott és szelektív figyelmet, valamint a gátlást. A gyártó honlapja szerint a NT tréning a sportolóknak is segít a "kulcsfontosságú játéklehetőségekre" való összpontosításban, az érzékszervi zavaró tényezők kiszűrésében, az éleslátás fenntartásában nagy nyomás alatt, valamint a különböző körülmények között több lehetőség felismerésében. A Frangala és munkatársai által végzett tanulmány szerint a teszt-reteszt megbízhatósága 0,77 volt tizenkét egészséges idősebb felnőtt körében, hét hetes intervallumban (*Fragala et al., 2014*). A gömbök sebessége a résztvevő teljesítménye alapján, lépcsőzetes eljárás segítségével állítja be magát. Ha minden célpontot sikeresen azonosítottak, a sebesség a következő kísérletben nő, ellenkező esetben csökken. A vizuális követési sebességek átlaga a vizsgálati személy profiljában rögzítésre került.

### 5.2.3 Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzéseket az SPSS statisztikai csomag (28.0 verzió, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) segítségével végeztük el. Minden adatot a Shapiro-Wilk teszttel és a hisztogramok vizuális vizsgálatával értékeltünk. A nem normális eloszlást mutató változók esetében logaritmikus transzformációt alkalmaztunk. Az elemzéseket a transzformált adatokon végeztük el, azonban minden változót eredeti, nem transzformált formában, átlag  $\pm$  szórás (SD) formában mutatunk be. A 12 alkalomból álló számítógépes kognitív tréningprogram kognitív képességekre gyakorolt hatásának vizsgálatára ismételt mérésekkel végzett varianciaanalízist (anovaRM) alkalmaztunk, külön idő (PRE, POST)  $\times$  csoport (nM, NT, KKCS) alkalmazásával. Tervezett post hoc tesztek alkalmaztunk Bonferroni korrekcióval a többszörös összehasonlításokra. Ezenkívül anovaRM-et alkalmaztunk az EEG-metrikák (SMR, T, SMR/T) eltéréseinek értékelésére az ülések között. Adott esetben kiegészítő post hoc elemzéseket (párosított mintás t-tesztek) alkalmaztunk. Adott esetben a Cohen-féle hatásméretet (d) is kiszámítottuk. Ezenkívül a független változók hatásméreteit a parciális eta-négyzet ( $\eta^2$ ) metrikájával mértük (Peat *et al.*, 2008). A NF tréning hatékonyságának értékelésére Mann-Whitney U tesztet alkalmaztunk a NF-et kapó valódi és kontroll kondicionált csoportok közötti különbségek összehasonlítására. Ezenkívül a viselkedési és EEG-változások közötti kapcsolat megállapítása érdekében átfogó korrelációs elemzést végeztünk. A statisztikai szignifikancia szintet  $p < 0,05$ -nél határoztuk meg. A grafikonokat a JASP szoftver (0.17.1 verzió) segítségével készítettük (Love *et al.*, 2019).

## 6. Kutatási eredmények

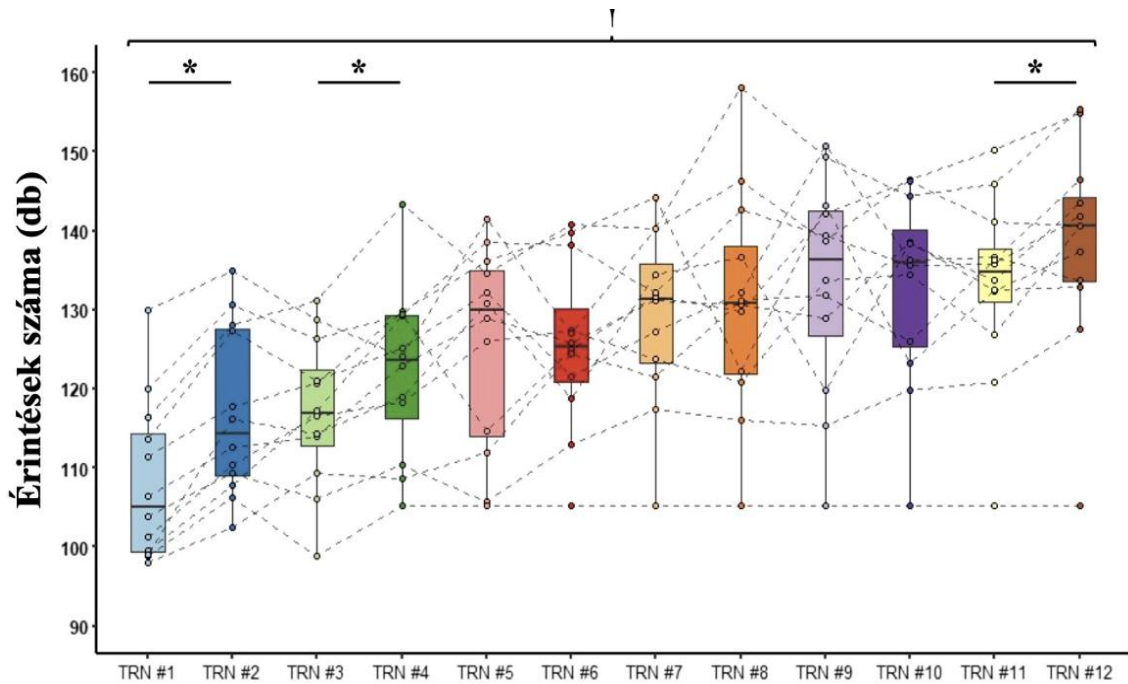
### 6.1 Első kutatás eredményei<sup>1</sup>

#### 6.1.1 Agilitás edzésprogram eredményei

A teljesítménymutatókat és a fiziológiai méréseket egyaránt befolyásolta a hathetes program során végzett agilitás tréning. A statisztikai elemzések mind az edzés ( $F_{1,49} = 22,4$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,67$ ), mind az egyes szettek ( $F_{1,49} = 1225,2$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,99$ ) főhatásait kimutatták, valamint egy edzés x blokk interakciót is ( $F_{44,484} = 8,3$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,43$ ) az agilitás teljesítményben. Az edzésre vonatkozó ismételt méréses post hoc rmANOVA elemzés kimutatta, hogy a résztvevők szignifikánsan javultak az 1. és a 2., valamint a 11. és a 12. edzés között ( $p < 0,001$ ). Továbbá, azzal együtt, hogy a 3. edzés kivételével, az autóversenyzők minden edzésen magasabb agilitási teljesítményt mutattak az első edzéshez képest ( $p < 0,001$ ), függetlenül az edzési blokkoktól. Figyelembe véve, hogy minden blokk egy perccel hosszabb volt, mint az előző, nem meglepő, hogy a résztvevők folyamatosan növelték az agilitási teljesítményüket egyik blokkról a másikra ( $p < 0,001$ ), függetlenül az edzés szakaszától. Az agilitás tréningprogram változásokat idézett elő a reakcióidőben, amelyet az edzés ( $F_{1,49} = 30,3$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,73$ ) és a blokk ( $F_{1,49} = 6,4$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,37$ ) főhatásai, valamint egy edzés x blokk interakció ( $F_{1,49} = 1,5$ ,  $p = 0,027$ ,  $\eta^2 = 0,12$ ) jeleztek. Az edzésre vonatkozó ismételt méréses post hoc rmANOVA elemzés kimutatta, hogy a résztvevők szignifikánsan javultak az 1. és a 2., a 3. és a 4., valamint a 4. és az 5. edzés között. A résztvevők reakcióideje rosszabb volt a 11. edzésen, és hasonló volt a 8. edzéshez ( $1,36 \pm 0,12$  ms vs.  $1,36 \pm 0,11$  ms). Ennek ellenére az autóversenyzők minden edzés során rövidebb reakcióidőt mutattak az első edzéshez képest ( $p < 0,001$ ), beleértve az utolsó, 12. edzést is, függetlenül az edzési blokkoktól, ami a reakcióidő javulását jelzi az agilitási feladat végrehajtásakor (21. ábra). Emellett a résztvevők eredményei minden blokkban javultak az első blokkhoz képest ( $p < 0,001$ ), függetlenül az edzés szakaszától (22. ábra).

---

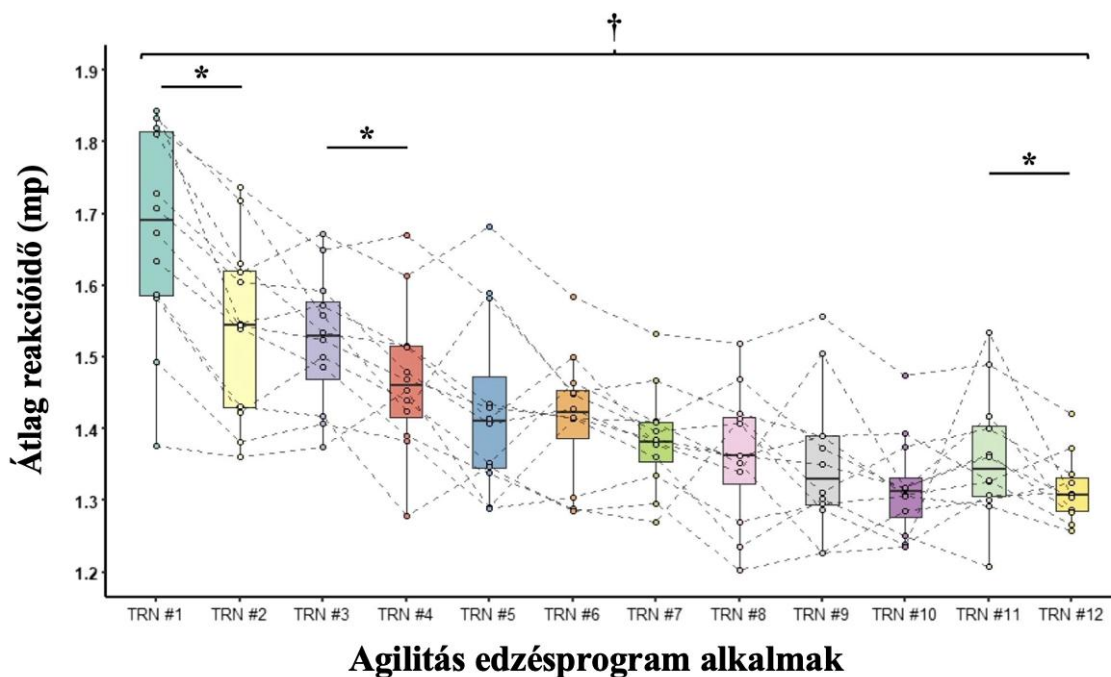
<sup>1</sup> A felmérés adatok a disszertáció mellékletében megtalálhatóak az 5-8sz. mellékletben.



### Agilitás edzésprogram alkalmak

20. ábra: Az agilitás edzésprogram teljesítmény mutatója érintések számának vonatkozásában. Jelentősen javult az első edzésről a másodikra, a harmadikról a negyedikre és a 11. edzésről az utolsóra. Továbbá, az autóversenyzők több érintést produkáltak az egyes edzéseken az első edzéshez képest. \* $p < 0,05$  a post hoc párosított mintás t-próba szignifikáns idő főhatás alapján. †Szignifikánsan különbözik az edzéshez képest

Bár a HRátlag és a HRmax változatlan maradt az edzésprogram során, a HRR esetében edzés ( $F_{1,49} = 5,7$ ,  $p = 0,010$ ,  $\eta^2 = 0,34$ ) és blokk ( $F_{1,49} = 3,9$ ,  $p = 0,034$ ,  $\eta^2 = 0,26$ ) főhatásokat találtunk. A post hoc elemzések kimutatták, hogy az autóversenyzők jobb HRR értéket értek el a 6. ( $46,0 \pm 7,2$  bpm) és a 12. edzésen ( $47,6 \pm 7,2$  bpm) az 1. edzéshez képest ( $40,92 \pm 7,8$  bpm), függetlenül az edzés szakaszától.



21. ábra: Az agilitás edzésprogram teljesítmény mutatója az érintések átlag reakcióidejének (mp) vonatkozásában. Jelentősen javult az első edzésről a másodikra, a harmadikról a negyedikre és a 11. edzésről az utolsóra. Továbbá, az autóversenyzők rövidebb RT-vel az egyes edzéseken az első edzéshez képest. \* $p < 0,05$  a post hoc párosított mintás t-próba szignifikáns idő főhatás alapján. †Szignifikánsan különbözik az 1. edzéshez képest

### 6.1.2 Kognitív felmérés eredményei

Az 1. táblázat összefoglalja az LVT és STROOP kognitív mérés változásait. Pontosabban, idő főhatást találtunk az LVT reakcióidő ( $F_{1,22}=4,3$ ,  $p=0,05$ ,  $\eta^2=0,16$ ) és az LVT helyes válaszok esetében ( $F_{1,22}=7,8$ ,  $p=0,011$ ,  $\eta^2=0,26$ ), a post hoc elemzések csökkent RT-t és több helyes választ mutattak az intervenció után, függetlenül a csoporttól. Emellett csoport  $\times$  idő interakciót is találtak az LVT esetében ( $F_{1,22}=5,2$ ,  $p=0,033$ ,  $\eta^2=0,19$ ). A post hoc elemzés szerint az LVT reakcióidő csökkent az EXP csoportban ( $p=0,038$ ,  $d=0,61$ ), de változatlan maradt a CON csoportban ( $p=0,800$ ,  $d=0,05$ ), ami azt sugallja, hogy az agilitási edzésprogram javította az autóversenyzők vizuális orientációs teljesítményét és szelektív vizuális figyelmét. A kevert ANOVA csoport $\times$ idő interakciót mutatott mind a reakcióidő ( $F_{1,22}=8,7$ ,  $p=0,007$ ,  $\eta^2=0,28$ ), mind a helytelen válaszok ( $F_{1,22}=10,6$ ,  $p=0,004$ ,  $\eta^2=0,32$ ) esetében a STROOP színnév feltételénél, a post hoc teszt kissé megnövekedett RT-t mutatott a CON vs. EXP csoportban ( $p=0,048$ ,  $d=0,05$ ) és

csökkent helytelen válaszokat az EXP vs. CON csoportban ( $p < 0,001$ ,  $d = 0,96$ ). A szóolvasási feltételnél jelentős interakciót találtak a reakcióidőben ( $F_{1,22} = 8,3$ ,  $p = 0,009$ ,  $\eta^2 = 0,27$ ), a post hoc teszt szerint a reakcióidő csökkent az EXP csoportban ( $p = 0,028$ ,  $d = 0,60$ ), de változatlan maradt a CON csoportban ( $p = 0,134$ ,  $d = 0,56$ ). Emellett jelentős idő főhatást ( $F_{1,22} = 4,7$ ,  $p = 0,041$ ,  $\eta^2 = 0,18$ ) és csoport $\times$ idő interakciót ( $F_{1,22} = 6,8$ ,  $p = 0,016$ ,  $\eta^2 = 0,24$ ) találtak a helytelen válaszok esetében. A post hoc elemzés csökkentett hibaszámot mutatott a CON csoportban ( $p = 0,021$ ,  $d = 1$ ), míg az EXP csoportban változatlan maradt ( $p = 0,819$ ,  $d = 0,09$ ), valószínűleg a nagy egyéni variabilitás miatt az alpmérések során. A STROOP interferenciahatást sem a színnév, sem a szóolvasás feltételénél nem figyeltük meg ( $p > 0,05$ ).

*1. táblázat: Az értékek az egyes változók átlaga és alatta zárójelben a változók szórása. BL, kiindulási érték, CON, kontrollcsoport, EXP, kísérleti csoport, IF, interferencia hatás; LVT, vizuális keresés teszt; Post, utóérték; RT, medián reakcióidő; STROOP, stroop teszt, † jelentős csoport  $\times$  idő interakció; \*  $p < 0,05$  poszt-hoc párosított minták t-próbája*

	LVT		STROOP					
			Színnév olvasás			Szóolvasás		
	RT <sup>†</sup> (mp)	helyes (%)	RT <sup>†</sup> (mp)	helytelen <sup>†</sup> (%)	IF (mp)	RT <sup>†</sup> (mp)	helytelen <sup>†</sup> (%)	IF (sec)
<b>EXP</b>	*		*			*		
<i>BL</i>	3.83 (1.31)	95.8 (5.8)	0.77 (0.17)	4.6 (2.6)	0.13 (0.09)	0.81 (0.16)	2.9 (1.9)	0.15 (0.09)
<i>Post</i>	3.19 (0.38)	100.0 (0.0)	0.68 (0.08)	2.2 (2.3)	0.10 (0.08)	0.72 (0.09)	1.5 (1.4)	0.13 (0.06)
<b>CON</b>			*			*		
<i>BL</i>	3.80 (0.58)	96.5 (4.2)	0.72 (0.10)	2.7 (1.8)	0.10 (0.06)	0.76 (0.08)	3.1 (2.4)	0.14 (0.05)
<i>Post</i>	3.80 (0.41)	97.3 (2.9)	0.76 (0.10)	3.3 (2.3)	0.13 (0.09)	0.83 (0.13)	3.3 (2.1)	0.21 (0.15)

A 2. táblázat összefoglalja a VISGED, ZBA és DT mérési eredményeit. Nem találtunk idő főhatást vagy csoport $\times$ idő interakciót a VISGED és ZBA tesztekben ( $p > 0,05$ ), ami azt jelzi, hogy az agilitási edzésprogram nem idézett elő változásokat a résztvevők vizuális memória teljesítményében és idő/mozgás előrejelzésében. Ugyancsak nem

véltünk felfedezni változást ezen tesztek eredményeiben a CON-nál. Azonban idő főhatást ( $F_{1,22}=6,4$ ,  $p=0,019$ ,  $\eta^2=0,22$ ) és csoport $\times$ idő interakciót ( $F_{1,22}=18,5$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,46$ ) találtunk a DT helyes válaszokban, a post hoc teszt megnövekedett helyes válaszok pontszámát mutatta az EXP csoportban ( $p=0,05$ ,  $d=0,77$ ), de csökkent pontszámot a CON csoportban ( $p=0,04$ ,  $d=0,12$ ) az alapértékekhez képest ( $267,3\pm 32,9$ ,  $265,3\pm 48,1$ , ill.). Emellett az EXP, de nem a CON csoport alacsonyabb kihagyott válaszok pontszámot is mutatott, amit csoport $\times$ idő interakció ( $F_{1,22}=8,9$ ,  $p=0,007$ ,  $\eta^2=0,29$ ) és post hoc párosított minták t-próbája jelzett (EXP:  $p=0,034$ ,  $d=0,78$ ; CON:  $p=0,087$ ,  $d=0,23$ ).

2. táblázat: Az értékek az egyes változók átlaga és alatta zárójelben a változók szórása. DT, determinációs teszt, MDD, medián irány szórás; TA, idő anticipáció; VMP, vizuális memória teljesítmény; † jelentős csoport  $\times$  idő interakció; \*  $p < 0,05$  poszt-hoc párosított minták t-próbája

	VISGED	ZBA		DT		
	VMP (pontszám)	TA (mp)	MDD (pixelek)	helyes† (db)	helytelen (db)	kihagyott† (db)
<b>EXP</b>				*		*
<i>BL</i>	2.46 (1.05)	1.06 (0.49)	75.9 (35.0)	267.3 (32.9)	31.1 (15.3)	20.3 (6.1)
<i>Post</i>	3.04 (0.80)	1.17 (0.67)	72.2 (22.8)	288.8 (35.0)	23.5 (9.0)	15.5 (8.8)
<b>CON</b>				*		
<i>BL</i>	1.92 (1.90)	1.03 (0.48)	72.2 (19.8)	265.3 (48.1)	23.5 (12.8)	15.5 (7.9)
<i>Post</i>	1.84 (2.01)	1.11 (0.43)	72.4 (16.8)	259.7 (46.1)	26.3 (12.1)	17.2 (8.2)

### 6.1.3 Antropometria mérések

A 3. táblázat összefoglalja az antropometriai mérések változásait az agilitási edzésprogram hatására. A statisztikai elemzés szerint a testtömeg (TTM) csökkent az EXP csoportban ( $79,3\pm 10,9$ -ről  $77,2\pm 10,3$  kg-ra), de növekedett a CON csoportban ( $78,8\pm 9,4$ -ről  $79,7\pm 9,4$  kg-ra), amit csoport $\times$ idő interakció ( $F_{1,22}=21,9$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,50$ ) és post hoc tesztek ( $p=0,004$ ,  $d=0,20$ ;  $p=0,004$ ,  $d=0,10$ , ill.) jeleztek.

Nyilvánvalóan a testmagasság (TM) változatlan maradt mindkét csoportban ( $p > 0,05$ ). Bár nem találtak változást a becsült izomtömegben (BI%) ( $p > 0,05$ ), idő főhatást ( $F_{1,22}=47,3$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2=0,68$ ) és csoport $\times$ idő interakciót ( $F_{1,22}=70,4$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2=0,76$ ) találtak a testzsír százalék (TZS%) esetében. A post hoc elemzés alacsonyabb intervenció utáni TZS% értékeket mutatott az EXP csoportban ( $p < 0,001$ ,  $d=0,57$ ), de magasabb TZS% értékeket a CON csoportban ( $p=0,041$ ,  $d=0,05$ ).

3. táblázat: Antropometriai paraméterek az ISAK felmérés alapján. Az értékek az egyes változók átlaga és alatta zárójelben a szórása. TM, testmagasság; BL, kiindulási érték; TTM, testtömeg; CON, kontrollcsoport; EXP, kísérleti edzéscsoport; TZS, testzsír százalék; BI, becsült izomtömeg; † jelentős csoport  $\times$  idő interakció; \*  $p < 0,05$  post-hoc párosított minták t-próbája.

<b>Antropometriai paraméterek</b>				
	TTM† (kg)	TM (cm)	BI (%)	TZS† (%)
<b>EXP</b>	*			*
<i>BL</i>	79.3 (10.9)	181.4 (7.4)	43.9 (3.2)	18.6 (5.8)
<i>Post</i>	77.2 (10.3)	181.5 (7.4)	44.7 (2.3)	15.4 (5.5)
<b>CON</b>	*			*
<i>BL</i>	78.8 (9.4)	178.8 (9.2)	46.0 (3.4)	15.8 (5.5)
<i>Post</i>	79.7 (9.4)	179 (9.2)	45.7 (2.8)	16.1 (5.6)

#### 6.1.4 Fiziológiai mérések

Az 4. táblázat összefoglalja az agilitási edzésprogram hatásait a fiziológiai mérésekre. Mind a HRmax, mind a GETHR idő főhatást ( $F_{1,22}=7,2$ ,  $p=0,014$ ,  $\eta^2=0,25$ ;  $F_{1,22}=17,0$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,44$ , ill.) és csoport $\times$ idő interakciót ( $F_{1,22}=22,1$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,50$ ;  $F_{1,22}=30,5$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,58$ , ill.) mutattak. A post hoc teszt magasabb intervenció utáni HRmax értékeket mutatott a maximális fokozatos kardiorespiratorikus teszt során az EXP csoport résztvevőinél ( $p=0,002$ ,  $d=0,45$ ) és alacsonyabb értékeket a CON csoportban ( $p=0,033$ ,  $d=0,40$ ). Emellett a GETHR is magasabb volt az EXP csoportban az alapértékekhez képest ( $p<0,001$ ,  $d=1,2$ ), de változatlan maradt a CON csoportban ( $p=0,086$ ,  $d=0,24$ ). Kevert ANOVA idő főhatást ( $F_{1,22}=25,4$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,53$ ) és csoport $\times$ idő interakciót ( $F_{1,22}=43,1$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,66$ ) mutatott a VE esetében, a post hoc elemzés magasabb VE értékeket mutatott az EXP csoportban ( $p<0,001$ ,  $d=1,62$ ), amely nem változott a CON csoportban ( $p=0,057$ ,  $d=0,28$ ). Bár a BF változatlan maradt ( $p>0,05$ ), idő főhatást ( $F_{1,22}=28,3$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,56$ ) és csoport $\times$ idő interakciót ( $F_{1,22}=41,5$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,65$ ) találtak a VO<sub>2</sub>max esetében. A post hoc elemzés szerint a VO<sub>2</sub>max növekedett az EXP csoportban ( $p<0,001$ ,  $d=0,85$ ), de csökkent a CON csoportban ( $p=0,029$ ,  $d=0,17$ ).

4. táblázat: Terhelésélettani paraméterek a futópados spiroergometria teszt alapján. Az értékek az egyes változók átlaga, alatta zárójelben a szórás értékek. BF, légzésfrekvencia; BL, kiindulási érték; BPM, légzés/perc; bpm, percenkénti ütések száma; CON, kontrollcsoport; EXP, kísérleti edzéscsoport; GETHR, pulzusszám a gázcsere küszöbértéknél; HR, pulzusszám; intenzitás, a futási csúcsebesség (km/h); Post, visszamérés érték; VO<sub>2</sub>max, relatív maximális oxigénfelvétel (ml/min/kg); VE, ventiláció. † jelentős csoport x idő interakció; \* p < 0,05 poszt-hoc párosított minták t-próbája

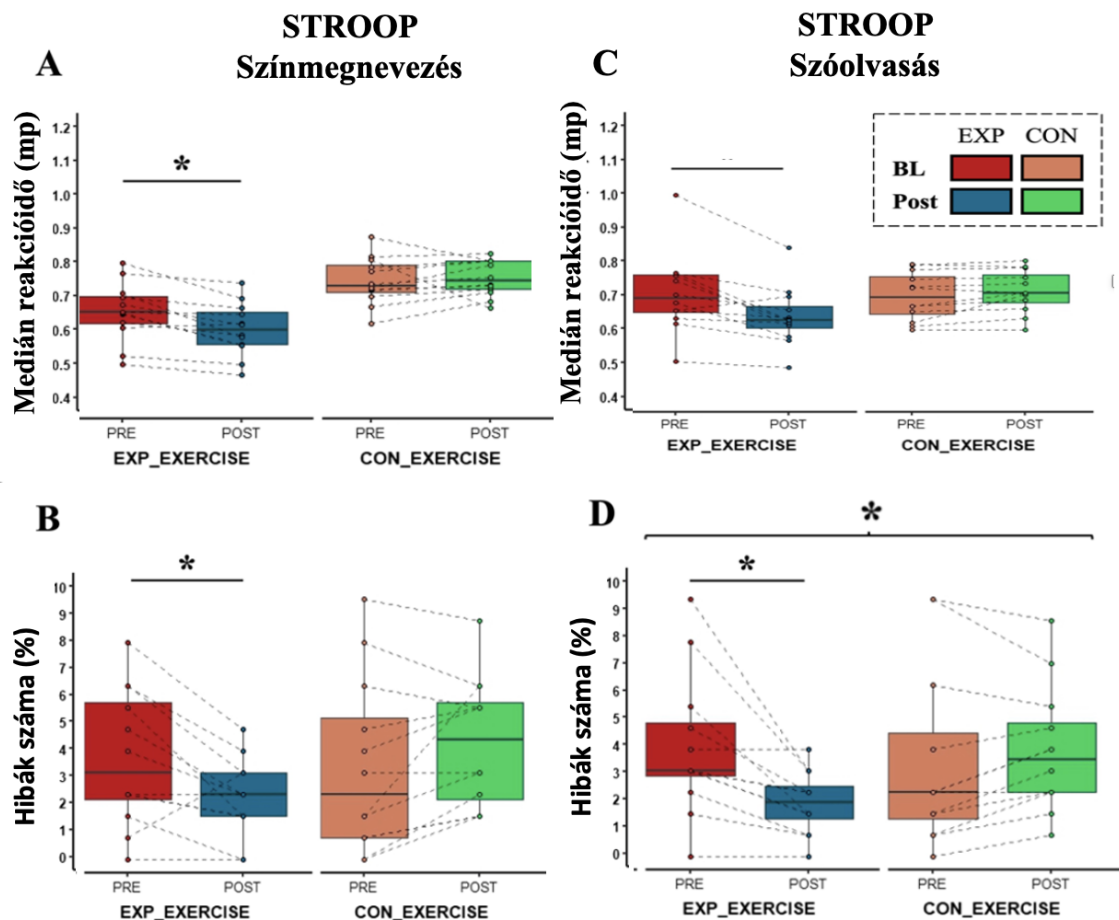
	Terhelésélettani paraméterek					
	HR <sup>†</sup> (max bpm)	VE <sup>†</sup> (l/min)	BF (BPM)	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/m in)	GETHR <sup>†</sup> (bpm)	Futási csúcsebesség (km/h)
<b>EXP</b>	*	*		*	*	
<i>BL</i>	194.3 (6.6)	129.3 (11.9)	55.8 (8.0)	49.9 (6.2)	170.9 (6.3)	15.5 (0.9)
<i>Post</i>	197.3 (5.9)	148.2 (11.4)	53.8 (7.6)	54.6 (4.7)	177.8 (5.7)	16.0 (0.0)
<b>CON</b>	*			*		
<i>BL</i>	195.0 (2.4)	126.6 (10.0)	51.8 (6.1)	50.3 (3.1)	172.9 (4.6)	15.3 (1.0)
<i>Post</i>	194.2 (1.5)	124.3 (8.1)	51.8 (6.1)	49.8 (2.8)	171.9 (3.7)	15.3 (1.0)

#### 6.1.5 Kognitív mérések közepes intenzitású terhelés közben

Az agilitási edzésprogram változásokat idézett elő a résztvevők kognitív teljesítményében, amikor azt közepes intenzitású edzés közben végezték kerékpáron, azaz a STROOP minden változója javulást mutatott az EXP csoportban, amit csoport×idő

interakciók és post hoc elemzések jeleztek. Pontosabban idő főhatást ( $F_{1,22}=5,6$ ,  $p=0,027$ ,  $\eta^2=0,20$ ) és csoport $\times$ idő interakciót ( $F_{1,22}=9,6$ ,  $p=0,005$ ,  $\eta^2=0,30$ ) találtak a színnév feltétel reakcióidőjében a STROOP-ban. A post hoc teszt rövidebb reakcióidőt mutatott az EXP csoportban ( $p=0,002$ ,  $d=0,75$ ), ami változatlan maradt a CON csoportban ( $p=0,634$ ,  $d=0,01$ ). Emellett a helytelen válaszok százaléka is csökkent az EXP csoportban, amit csoport $\times$ idő interakció ( $F_{1,22}=11,5$ ,  $p=0,003$ ,  $\eta^2=0,34$ ) és post hoc párosított minták t-próbája ( $p=0,015$ ,  $d=0,69$ ) jelzett, de nem változott a CON csoportban ( $p=0,084$ ,  $d=0,33$ ). A szóolvasási feltételre vonatkozó beavatkozás-indukált változások esetében a kevert ANOVA idő főhatást ( $F_{1,22}=8,8$ ,  $p=0,007$ ,  $\eta^2=0,29$ ) és csoport $\times$ idő interakciót ( $F_{1,22}=22,3$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,50$ ) mutatott a reakcióidőben, a post hoc teszt rövidebb reakcióidőt mutatott az EXP csoportban ( $p=0,001$ ,  $d=0,66$ ), de változatlan maradt a CON csoportban ( $p=0,063$ ,  $d=0,24$ ). Az eredmények összhangban voltak a színnév feltétellel, az autóversenyzők az EXP csoportban nagyobb pontossággal végezték a szóolvasási feladatot (kevesebb hibás válasz), amit mind idő főhatás ( $F_{1,22}=5,5$ ,  $p=0,028$ ,  $\eta^2=0,20$ ), mind csoport $\times$ idő interakció ( $F_{1,22}=13,8$ ,  $p=0,001$ ,  $\eta^2=0,39$ ) és post hoc teszt ( $p=0,004$ ,  $d=1$ ) jelzett; azonban a hibás válaszok száma nem változott a CON csoportban ( $p=0,224$ ,  $d=0,16$ ) (3. táblázat). STROOP interferencia interakció hatást egyik feltételben sem figyelték meg ( $p>0,05$ ), bár idő főhatást találtak a szóolvasási feltételben ( $F_{1,22}=4,7$ ,  $p=0,041$ ,  $\eta^2=0,18$ ) csoporttól függetlenül. Nem találtak idő főhatást vagy csoport $\times$ idő interakciót a ZBA változóban ( $p>0,05$ ), ami azt jelzi, hogy az agilitási edzésprogram nem idézett elő változásokat az autóversenyzők idő/mozgás előrejelzésében csoporttól függetlenül.

Jelentős különbséget a STROOP és ZBA teljesítményben nyugalomban és közepes intenzitású terhelés közben nem találtunk. Csoport $\times$ idő $\times$ feladat összetettség vagy idő $\times$ feladat összetettség interakció hatásokat egyik kognitív feladat mérésében sem ( $p>0,05$ ), ami azt jelzi, hogy a kognitív feladat teljesítmény javulása nem különbözött nyugalomban vagy közepes intenzitású terhelés közben végzett feladatok esetében az edzésprogram hatására. Azonban egy jelentős feladatösszetettség főhatást ( $F_{1,22}=8,0$ ,  $p=0,010$ ,  $\eta^2=0,27$ ) találtunk a szóolvasási feltétel pontosságában, a post hoc elemzés több hibás választ mutatott, amikor a feladatot nyugalomban végezték, szemben a közepes intenzitású edzéssel ( $d=1,75$ ).

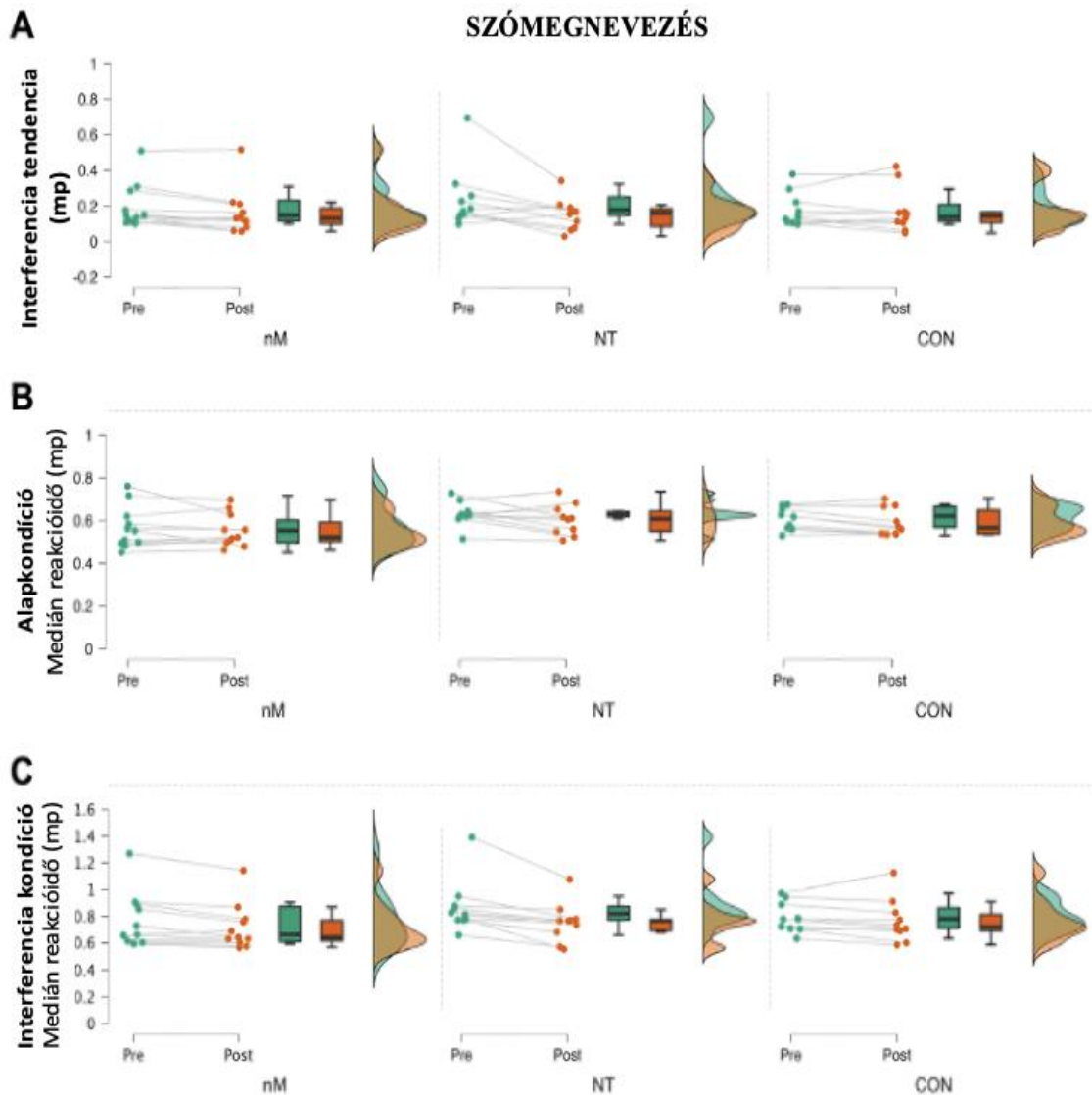


22. ábra: Változások a STROOP eredményeiben közepes terhelés közben. BL, kiindulási érték, reakció értékek a EXP (piros és kék) és a CON (barna és zöld) a színmegnevezési kondíció (A) és szóolvasási kondíció (C). B, D reprezentálja a hibák számát %-ban kifejezve a kiinduló (PRE)- és utóértékeket (POST) esetében. Kontrollcsoport (CON), kísérleti csoport (EXP). A boxplotok a mediánt, a felső és alsó kvartiliseket, valamint a csoportok min- és max-értékét mutatják. A boxplotban az „×” jelöli az átlagvonalat. \* $p < 0,05$  a poszt hoc párosított minták t tesztje a szignifikáns csoport  $\times$  idő interakció alapján

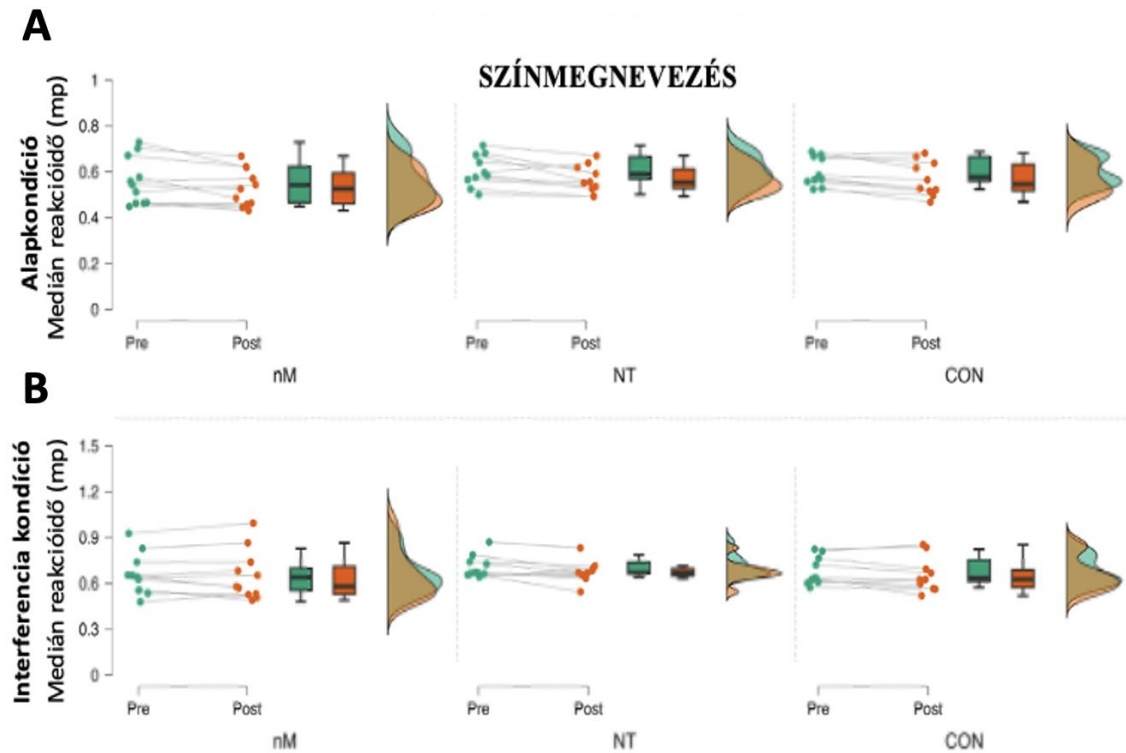
## 6.2 Második kutatás eredmények

Az idő szignifikáns főhatását figyeltük meg az interferencia (IF) tendenciában ( $F_{1,28} = 10,943$ ,  $p = 0,003$ ,  $\eta^2 = 0,281$ ) és a medián reakcióidőben mind a kongruens (BL) ( $F_{1,28} = 6.390$ ,  $p = 0,017$ ,  $\eta^2 = 0,186$ ) és az inkongruens (IF) feladat ( $F_{1,28} = 8,045$ ,  $p = 0,008$ ,  $\eta^2 = 0,223$ ) esetében is a STROOP feladat szóolvasási feltételében. A felmérés és a visszamérés összehasonlítása gyorsabb interferencia tendenciát jelzett (elő:  $0,204 \pm 0,133$  vs. utó:  $0,163 \pm 0,113$  s, Cohen  $d = 0,479$ ) és medián reakcióidőt a kongruens feladat ( $0,604 \pm 0,076$  vs.  $0,583 \pm 0,073$  s,  $d = 0,445$ ) és az inkongruens feladat ( $0,807 \pm 0,178$

vs.  $0,746 \pm 0,155$  s,  $d = 0,761$ ) esetében is, függetlenül a csoporttól. Ezen túlmenően, mind a kongruens ( $p < 0,001$ ,  $d = 0,859$ ), mind az inkongruens ( $p = 0,026$ ,  $d = 0,420$ ) feladatok esetében az idő szignifikáns fő hatásait figyeltük meg a STROOP feladat színmegnevezési feltételében, a csoportok közötti különbségek nélkül.

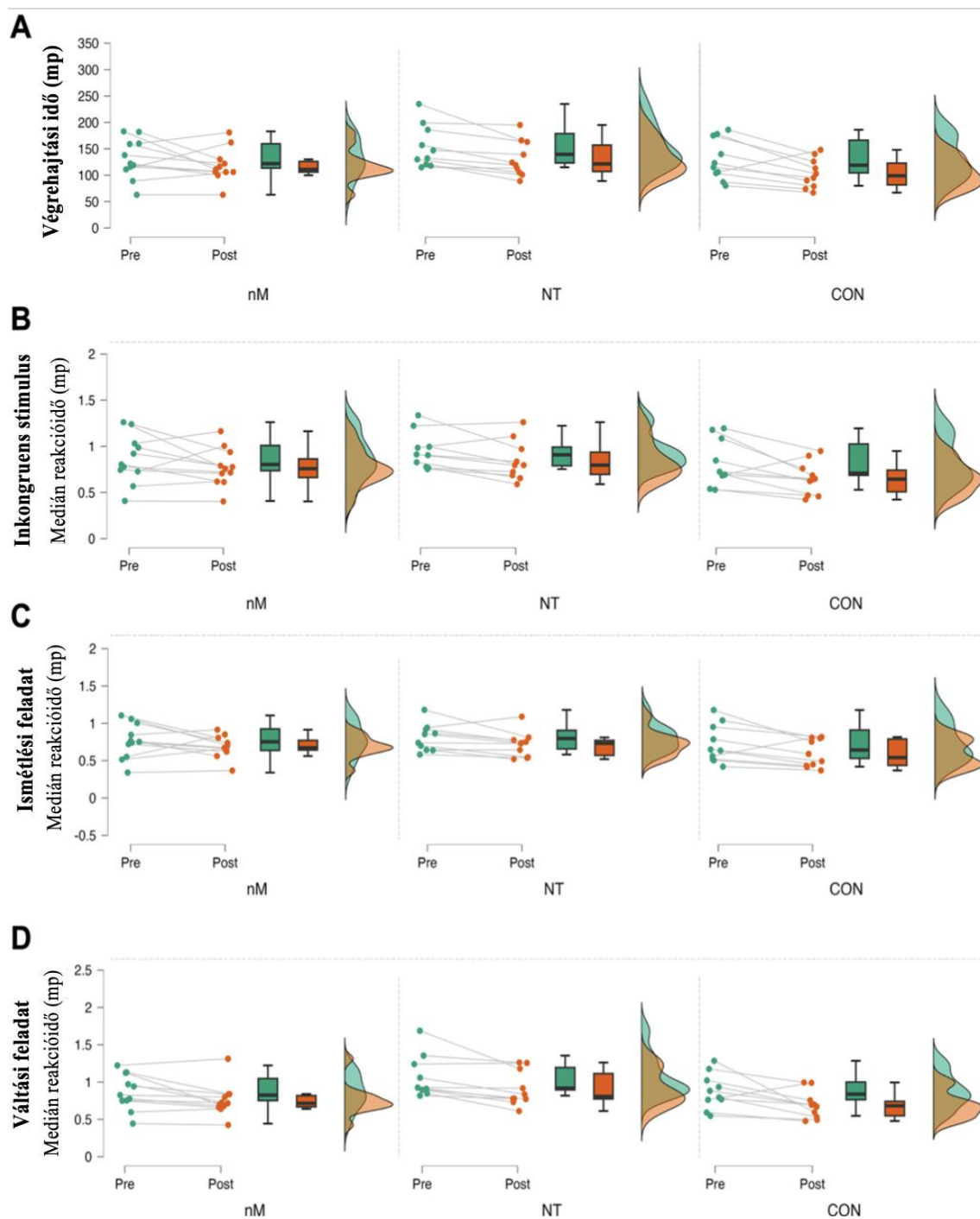


23. ábra: A STROOP teszt eredményeinek változásai az intervenció hatására. A esőfelhő plot diagramokon az interferencia tendencia (A) kiindulási és beavatkozás utáni értékeit ábrázoljuk az egyes csoportokban (zöld és narancssárga), valamint a kiindulási és interferencia feltételek medián reakcióidejét a STROOP szölvásási (B, C) esetében. A csoportok jelölése: nM (neuroMoon), NT (Neurotracker), CON (kontroll kondicionált csoport). A boxplotok a mediánt, a felső és alsó kvartiliseket, valamint a csoportok minimális és maximális értékeit mutatják. Az ábra azokat a kognitív méréseket mutatja be, amelyek szignifikáns időhatást mutattak ( $p < 0,05$ ).



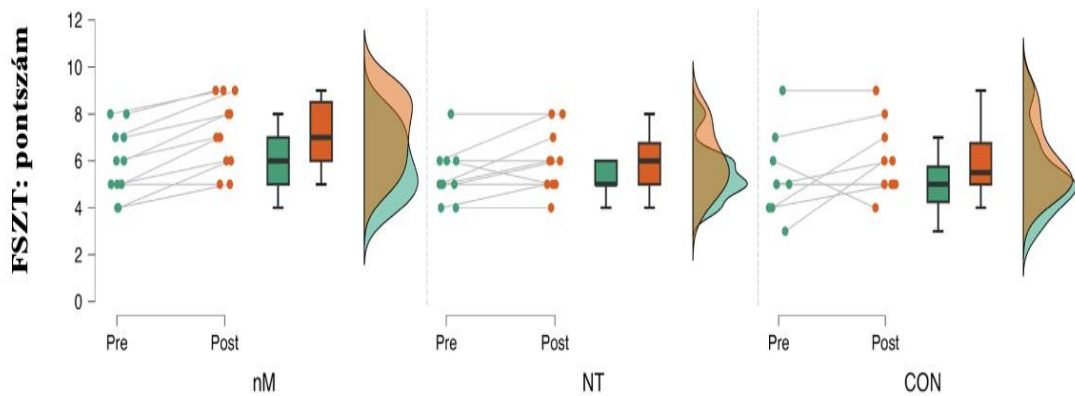
24. ábra: A STROOP teszt eredményeinek változásai az intervenció hatására. Az esőfelhő diagramokon kiindulási és beavatkozás utáni értékeit ábrázoljuk az egyes csoportokban (zöld és narancssárga), valamint az alkondíció és interferencia feltételek medián reakcióidejét a STROOP színmegnevezési feltételek (A,B) esetében. A csoportok jelölése: nM (neuroMoon), NT (Neurotracker), CON (kontroll kondicionált csoport). A boxplotok a mediánt, a felső és alsó kvartiliseket, valamint a csoportok minimális és maximális értékeit mutatják. Az ábra azokat a kognitív méréseket mutatja be, amelyek szignifikáns időhatást mutattak ( $p < 0,05$ ).

A SWITCH feladatot illetően az idő szignifikáns főhatását találtuk a munkaidőben ( $F_{1,28} = 17,968$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,385$ ) és az inkongruens ingerekre vonatkozó átlagos reakcióidőben ( $F_{1,28} = 15,989$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,363$ ), az ismétlési feladat ( $F_{1,28} = 9,573$ ,  $p = 0,004$ ,  $\eta^2 = 0,255$ ) és a váltási feladat vonatkozásában ( $F_{1,28} = 4,558$ ,  $p = 0,042$ ,  $\eta^2 = 0,140$ ). Az felmérés és a visszamérés összehasonlítása gyorsabb munkaidőt mutatott a beavatkozás után és rövidebb átlagos reakcióidőt minden egyes említett változó esetében ( $p < 0,05$ ).



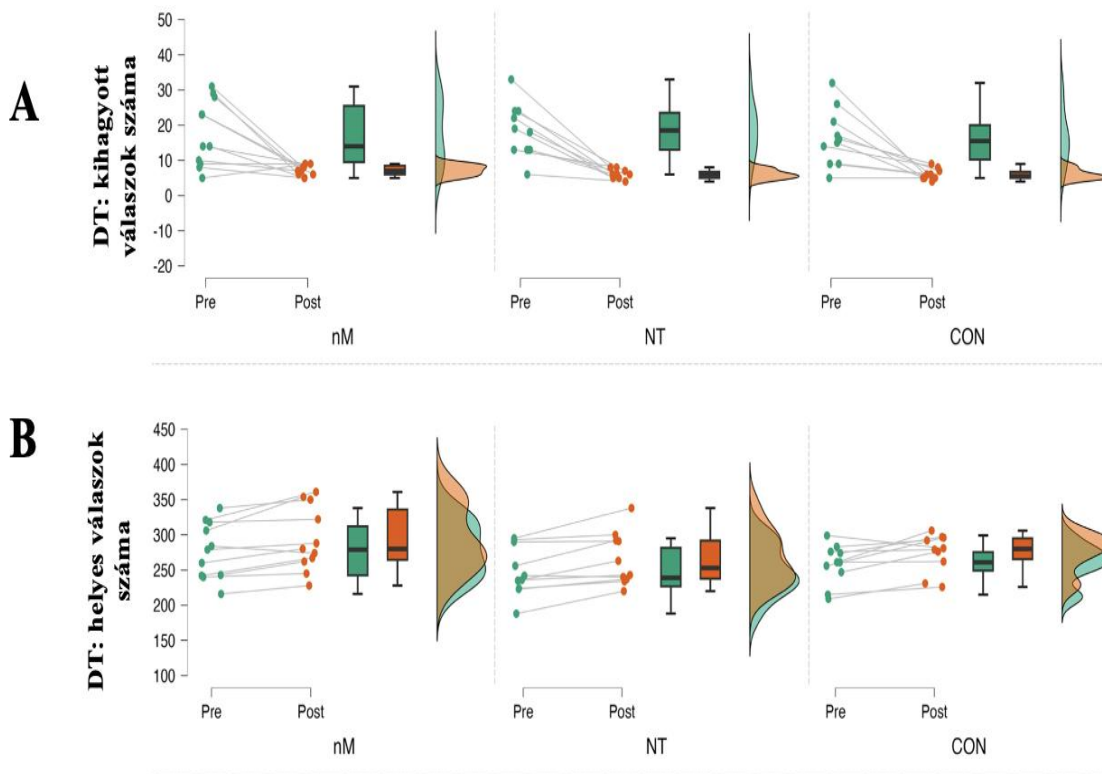
25. ábra: A SWITCH teszt eredményeinek változásai az intervenció hatására. Az esőfelhő diagrammokat használtuk a kiindulási (Pre) és a beavatkozás utáni (Post) értékek szemléltetésére az egyes csoportoknál (zöld és narancssárga) a munkaidő (A), az inkongruens ingerek medián reakcióideje (B), az ismétlési feladat (C) és a váltási feladat (D) esetében. A csoportok jelölése: nM (neuroMoon), NT (Neurotracker), CON (nM kontroll kondicionált csoport). A boxplotok a mediánt, a felső és alsó kvartiliseket, valamint a csoportok minimális és maximális értékeit mutatják. Ez az ábra kiemeli azokat a kognitív méréseket, amelyeknél az idő szignifikáns főhatást mutatott ( $p < 0,05$ ).

A fordított számterjedelem teszt (FSZT) szignifikáns főhatás mutatkozott ( $F_{1,28}=15,218$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2=0,352$ ), a beavatkozás utáni pontszámok ( $6,42 \pm 1,54$ ) magasabbak voltak, mint a beavatkozás előtti pontszámok ( $5,55 \pm 1,43$ ) ( $d = -0,801$ ), függetlenül a csoporttól.



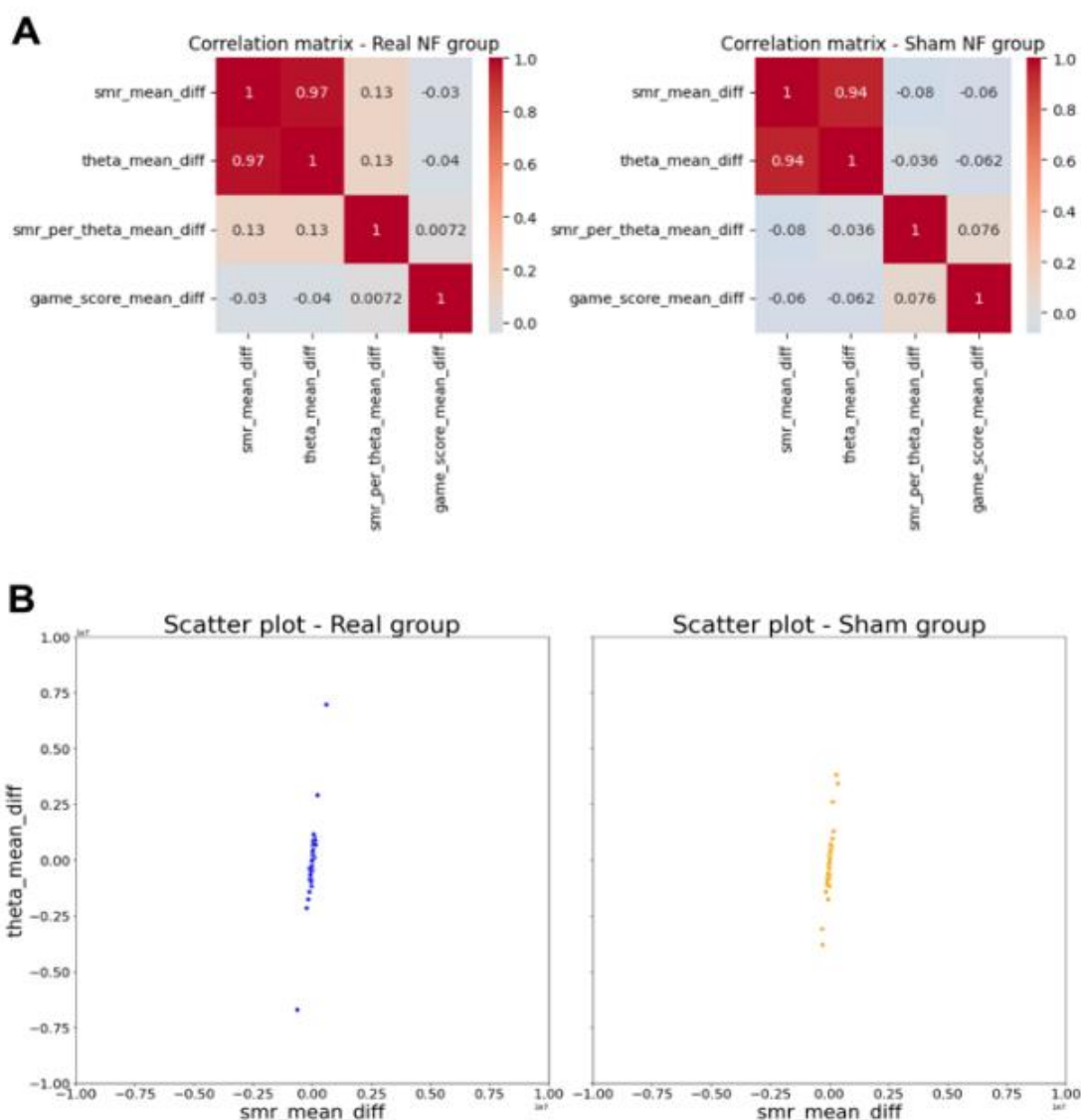
26. ábra: A fordított számterjedelem teszt (FSZT) eredményeinek változásai az intervenció hatására. Az esőfelhő-ábrákat használtuk a kiindulási (Pre) és a beavatkozás utáni (Post) értékek ábrázolására az egyes csoportokban (zöld és narancssárga) A csoportok jelölése: nM (neuroMoon), NT (Neurotracker), CON (nM kontroll kondicionált csoport). A boxplotok szemléletesen ábrázolták a csoportok központi tendenciáját (medián), szórását (felső és alsó kvartilis), valamint a tartományt (minimális és maximális értékek). Az ábra azokat a kognitív méréseket mutatta be, amelyek  $p < 0,05$  szignifikanciaszinten az idő szignifikáns főhatását mutatták.

Továbbá a vegyes ANOVA szignifikáns főhatást mutatott az időre mind a kihagyott ( $F_{1,28}=71,554$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,719$ ), mind a helyes ( $F_{1,28} = 33,541$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2=0,545$ ) válaszok esetében a DT-ben. A felmérés és visszamérés összehasonlítása azt mutatta, hogy a beavatkozás után a kihagyott válaszok száma csökkent (pre:  $17,5 \pm 8,3$ , post:  $6,4 \pm 1,5$ ,  $d = 1,311$ ) és a helyes válaszok száma nőtt (pre:  $261,6 \pm 36,1$ , post:  $278,6 \pm 38,7$ ,  $d = -1,020$ ) függetlenül a csoporttól. A VTS-el kapcsolatos minden más kognitív tesztváltozó nem volt szignifikáns ( $p > 0,05$ ).



27. ábra: A determinációs teszt (DT) eredményeinek változásai az intervenció hatására. Az esőfélhő-ábrákat használtuk a kiindulási (Pre) és a beavatkozás utáni (Post) értékek ábrázolására az egyes csoportokban (zöld és narancssárga) a DT-ben a kihagyott és helyes válaszok száma, valamint a DSB pontszám tekintetében. A csoportok jelölése: nM (neuroMoon), NT (Neurotracker), CON (nM kontroll kondicionált csoport). A boxplotok szemléletesen ábrázolták a csoportok központi tendenciáját (medián), szórását (felső és alsó kvartilis), valamint a tartományt (minimális és maximális értékek). Az ábra azokat a kognitív méréseket mutatta be, amelyek  $p < 0,05$  szignifikanciaszinten az idő szignifikáns főhatását mutatták

A korrelációs elemzések erős pozitív korrelációkat mutattak ki az SMR és a T közötti különbségek között az ülések során mind az nM ( $r = 0,969$ ,  $p < 0,001$ ), mind a kontroll kondicionált nM ( $r = 0,937$ ,  $p < 0,001$ ) csoportokban, ami arra utal, hogy az SMR növekedése a tréningek során a T növekedéséhez kapcsolódott, függetlenül a csoporttól. Az egyéb EEG-metrikák változásai, valamint az EEG-metrikák és a játék pontszáma közötti kapcsolatok általában gyengék ( $r < 0,3$  vagy  $-0,3$ ) mindkét csoport esetében. Nem találtunk különbséget a nM és a kontroll kondicionált NF tréningcsoportok között az EEG-metrikák (SMR, T, SMR/T arány) ( $p > 0,05$ ) vagy a játék pontszámok ( $p = 0,96$ ) tekintetében az egyes tréningek között.



28. ábra: Korrelációs mátrixok a valódi és a kontroll kondicionált NF-csoportok EEG-mérőinek és játék pontszámainak korrelációs mátrixaihoz. (A) A korrelációs mátrix hőterképén az EEG-változók (SMR, T, SMR/T arány) és a játékpontszámok Pearson-féle korrelációs együttható ( $r$ ) értékei láthatók. A pozitív értékek piros színnel, a negatívak kékkel. Az érték  $-1$  és  $1$  között mozog, ahol  $-1$  a változók közötti tökéletes negatív lineáris kapcsolatot,  $1$  a változók közötti tökéletes pozitív lineáris kapcsolatot,  $0$  pedig azt jelenti, hogy a vizsgált változók között nincs kapcsolat. (B) Az SMR és a T közötti szignifikáns pozitív összefüggések szórásdiagramja mind a valódi, mind a kontroll kondicionált NF-csoportokban

## 7. Megbeszélés

### 7.1 Első kutatás megbeszélése

Ez az értekezés az első, amely megvizsgálja egy hathetes agilitási edzésprogram fényalapú ingerekkel történő hatásait az autóversenyzők fiziológiai és kognitív teljesítményére. A jelen kutatás fő megállapításai közé tartozik, hogy a kognitív teljesítmény néhány Vienna Teszt Rendszer (VTS) teszt esetében javult az intervenció hatására, még akkor is, amikor a feladatokat mérsékelt intenzitású terhelés közben végezték kerékpár ergométeren. Sőt, az autóversenyzők pontosabban teljesítették a stroop teszt (STROOP) szóolvasási feladatot edzés közben, mint nyugalmi állapotban. Továbbá, az edzésprogram kedvező változásokat idézett elő az autóversenyzők fiziológiai mutatóiban az kísérleti csoport (EXP) csoportban, beleértve a magasabb maximális- és gázcserehez kapcsolódó pulzusszámot, a jobb ventillációt és a relatív maximális oxigénfelvételt egy vita maxima spiroergometriás teszt során. Végül, az autóversenyzők az agilitási feladatot javuló teljesítménnyel és csökkent reakcióidővel végezték a hathetes edzésprogram során. Összességében eredményeink azt jelzik, hogy egy ilyen rövid, könnyen adminisztrálható edzésprogram hozzájárulhat az autóversenyzők fizikai és mentális teljesítményéhez.

#### **Kognitív teljesítmény változások nyugalmi állapotban és mérsékelt intenzitású terhelés közben**

A szakirodalom szerint az autóversenyzők jelentősen gyorsabb reakcióidővel rendelkeznek a kontrollcsoportokhoz képest (*Baur et al., 2006; van Leeuwen et al., 2017*), ami az autóversenyzők motoros kontrollra és térbeli navigációra szánt agyterületeinek következetesebb aktiválásával magyarázható, amelyek a feladatismeret révén megszerzett szemmozgás-stratégiákkal kapcsolódnak össze (*Bernardi et al., 2014; Lappi, 2015*). Ezért nem kérdéses, hogy a vizuális észlelés és a vizuális figyelem fontos szerepet játszik a vezetési teljesítményben (*Lemonnier et al., 2015*). Megjegyzendő, hogy míg a saccadikus pásztázó vizuális viselkedés általános a mindennapi vezetés során, az autóversenyzőknek inkább perifériás látásukra kell támaszkodniuk (*Underwood, 2007; Wolfe, 2017; Lappi, 2022*). Ezért a jelen kutatásban alapvető volt annak meghatározása, hogy az agilitási edzésprogram javítja-e az autóversenyzők vizuális figyelmét. Valóban, az EXP csoportban résztvevők, de nem a kontroll csoport (CON) tagjai, csökkent

reakcióidőt mutattak az vizuális keresés teszt (LVT) feladatnál az intervenció után ( $3,19 \pm 0,38$  ms), összehasonlítva a kiindulási értékkel ( $3,83 \pm 1,31$  ms), ami azt sugallja, hogy az agilitási edzésprogram javította az autóversenyzők vizuális orientációs teljesítményét és szelektív vizuális figyelmét. A kapott eredmények alapján 1. hipotézisünk beigazolódott. Ezenkívül a hathetes intervenció kedvező hatásokat idézett elő a STROOP színmegnevezési feladatában az EXP csoportban, amit a helytelen válaszok számának csökkenése jelzett, amit a CON csoportban nem tapasztaltunk. A szóolvasási feladatnál az EXP csoportban a reakcióidő csökkenése figyelhető meg. Az elvárásokkal ellentétben a helytelen válaszok számának csökkenése nem az EXP, hanem a CON csoportban volt megfigyelhető, bár ez a váratlan eredmény a kiindulási mérések nagy egyéni variabilitásával magyarázható. A STROOP esetén megfogalmazott 2. hipotézisünket az eredményeink alapján elfogadjuk. Bár az agilitási edzésprogram, az idő- és mozgásirányt elővételezést mérő teszt (ZBA) teszttel mérve, nem idézett elő változásokat az autóversenyzők idő/mozgás előrejelzésében, sem a vizuális memória teszt (VISGED) teszttel mért vizuális rövid távú memóriájukban. Az 5. hipotézisünket elfogadjuk, mivel az EXP csoportban résztvevő autóversenyzők több helyes választ adtak, és kevesebb kihagyott választ mutattak a determinációs teszt (DT) feladatnál a kiindulási értékhez képest. Az autóversenyzés olyan sport, amely a hibák minimálisra csökkentését követeli meg a fizikai és kognitív teljesítményben egyaránt. Azonban, a hagyományos sportokkal ellentétben, a versenyzők nagy sebessége miatt a hibák jelentősebb sérülésekhez vezethetnek (*Schwabberger, 1987; Turner és Richards, 2015; Reid és Lightfoot, 2019*). A DT tesztet egészségesen nemcsak a fiataloknál és időseknél, hanem agysérült válaszadónál is gyakran használják, a komplex választási reakciók mérésére, a gyorsan változó ingerekre való folyamatos és gyors reakció szükségessége által kiváltott stressz alatt (*Aniței et al., 2011; Finkenzerler et al., 2019*). A korábbi tanulmányok szerint az aerob állóképességi edzés javíthatja a stressztűrő képességet. Tanulmányunk eredményei azt mutatják, hogy az agilitási edzésprogram szintén hozzájárulhat az autóversenyzők reaktív stressztűrő képességének, figyelmének és reakcióidejének javításához (*Schwabberger, 1987*), mivel az autóversenyzők folyamatosan reagálnak számos külső ingerre a verseny során. Célunk volt a két feladat egyidejű végrehajtása során az információfeldolgozási kapacitásuk értékelése. Ezt az ötletet számos anekdotikus példa támasztja alá, amelyeket közösségi médiában osztanak meg

elit versenyzők (pl. F1), akik egyszerre végeznek kondicionáló és kognitív feladatokat. Ennek tesztelésére a résztvevőknek a STROOP és ZBA kognitív feladatokat kellett mérsékelt intenzitású kerékpáros edzés közben végrehajítaniuk. Mindkét STROOP feltételben a reakcióidő és hibaszám csökkenése volt megfigyelhető az EXP csoportban. Ebben a kondícióban nem találtunk csoport×idő×feladat komplexitás vagy idő×feladat komplexitás interakciós hatásokat, ami arra utal, hogy a kognitív feladat teljesítményének javulása nem különbözött nyugalmi állapotban vagy mérsékelt intenzitású edzés közben az edzésintervenció hatására (*McMorris és Graydon, 2000; McMorris et al., 2011*). Sőt, az autóversenyzők pontosabban teljesítették a szölvlasási feltételt, amikor a feladatot közepes intenzitású terhelés közben végezték, mint nyugalmi állapotban. Ez az eredmény összhangban van a meta-analitikus tanulmányok eredményeivel, amelyek szerint az edzés intenzitása és a kognitív teljesítmény közötti inverz U-alakú kapcsolat áll fenn, azaz a mérsékelt szintű edzés növeli a készenléti állapotot és elősegíti a kogníciót. Összességében eredményeink arra utalnak, hogy az agilitás edzésprogram javíthatja az autóversenyzők szelektív figyelmét és információfeldolgozási sebességét még egyidejű feladatok végrehajtása során is. Mindazonáltal a STROOP interferenciahatást nem figyelték meg semmilyen feltételben sem nyugalmi állapotban, sem mérsékelt intenzitású edzés közben, ami arra utal, hogy az autóversenyzők reakcióidője nemcsak az inkongruens, hanem a kongruens ingerek esetében is javult.

### **Az edzésprogram által kiváltott antropometriai és fiziológiai változások**

Az autóversenyzők testtömege és zsírszázaléka csökkent az EXP csoportban, ezzel ellentétben nőtt a CON csoportban (3. táblázat). Az alacsony hatásméret azonban arra utalhat, hogy ezek a változások a hagyományos sportok esetében nincsenek gyakorlati jelentőséggel, de az autóversenyzésben, ahol az autó/versenyző kombinációt úgy tervezték, hogy minimális tömeggel rendelkezzen a teljesítmény javítása érdekében, bármilyen edzésprogram, amely optimalizálja a testtömeget, kedvező hatással lehet (*Mcknight et al., 2019*). Feltételezve, hogy ezen a területen jelentős változás nem történt, de mivel nem ellenőriztük az autóversenyzők táplálékbevitelét a hathetes agilitási edzésprogram során, nem tudjuk egyértelműen bizonyítani, hogy a testzsírral kapcsolatos antropometriai változások az inkonzisztens kalóriabevitel vagy az edzés eredményei voltak-e.

A jelen tanulmányban arra törekedtünk, hogy meghatározzuk, vajon az agilitási edzésprogram kedvező változásokat idéz-e elő a fiziológiai mutatókban. Bár a statisztikai elemzés szignifikánsan magasabb maximális szívfrekvencia (HRmax) értékeket mutatott az EXP csoportban a maximális növekvő kardiovaszkuláris teszt során a kiindulási értékhez képest, az átlagosan 3 ütés/perc változás valószínűleg gyakorlati szempontból jelentéktelen. Különösen azért, mert az irodalom szerint a HRmax csökken a rendszeres aerob edzés után ülő életmódot folytató felnőtteknél és állóképességi sportolóknál, és csak az aerob edzés megszűnésekor növekedhet (Zavorsky, 2000 ; Borressen és Lambert, 2008). Ezért a HRmax enyhe növekedése magyarázható azzal, hogy a résztvevők talán nem érték el valódi "maximális" pulzusukat az agilitási edzésprogram előtt; így nem elképzelhetetlen, hogy a HRmax növekedése megjelenhet, amikor a vizsgálat ismételt méréseket tartalmaz.

A szén-dioxid leadás ( $VCO_2$ ) vs oxigénfelvétel ( $VO_2$ ) egyenes vonalú kapcsolatainak elemzését (V-slope módszer) használtuk a gázcsere küszöb (GET) kimutatására a futópádon végzett spiroergometriai teszt során. Az autóversenyzők HR értéke a GET-nél  $170,9 \pm 6,3$ -ról  $177,8 \pm 5,7$  bpm-re növekedett az edzésintervenció hatására (2. táblázat). Figyelembe véve, hogy a HR változásai az edzés során összefüggésben állnak az edzés intenzitásának változásaival, eredményünk azt mutatja, hogy a GET később, magasabb intenzitásnál jelentkezett a maximális növekvő kardiovaszkuláris teszt során; tehát az agilitási edzésprogram javította a laktátküszöböt. 7. hipotézisünket kapott eredmények alapján részben fogadjuk el, mivel a HRmax eredményeiben szignifikáns változás nem volt megfigyelhető, míg a GET-nél jelentős különbség mutatkozott a kiindulási értékhez képest az EXP csoport tekintetében. Ezzel összhangban ez a rövid, könnyen adminisztrálható edzésprogram elegendő volt ahhoz, hogy kedvező változásokat idézzen elő a kardiovaszkuláris mutatókban, azaz a ventiláció és a relatív maximális oxigénfelvétel ( $VO_{2max}$ ) is növekedett a hathetes agilitási edzésprogram után. Ezen eredmény alapján 8. hipotézisünket elfogadjuk. Tudomásunk szerint korábbi tanulmányok nem vizsgálták az agilitási edzésprogram hatásait sem a maximális oxigénfelvételre, sem a ventilációra. Mindazonáltal eredményeink összhangban vannak az Egyesült Államok Légierő Kutatólaboratóriuma által szponzorált korábbi tanulmány eredményeivel, amely a  $VO_{2max}$  szintjének növekedését mutatta ki egy agilitási edzés hatására, amely koordinációs létra gyakorlatok,

akadálykeresztezéseket, pont/gyorsasági feladatokat és irányváltási gyakorlatokat tartalmazott, katonai technikai kiképzésen részt vevő alanyoknál (*Lennemann et al., 2013*). Összefoglalva, az agilitási edzésprogram elegendőnek bizonyult a kardiovaszkuláris változók előidézésére.

### **Teljesítmény- és fiziológiai mutatók változásai a hathetes edzésprogram során**

Az agilitási edzésprogram fényalapú ingerek használatával készült, hogy a motorsport versenyzés komplex fizikai és kognitív igényeit modellezze egy ellenőrzött laboratóriumi környezetben. Az autóversenyzők vizuális, fizikai (az autó csúszása) és hallási (a gumik hangja) jelekre reagálnak az optimális teljesítmény elérése érdekében, így az agilitási edzés javíthatja a versenyzők képességeit a katasztrofális események elkerülésére. A jelen tanulmányban az agilitási teljesítmény változását azáltal határoztuk meg, hogy mértük a villogó fényeszközök érintéseinek számát, amelyekre a résztvevőknek reagálniuk kellett, valamint az erre fordított reakcióidőt. Az elvárásoknak megfelelően az autóversenyzők több érintést produkáltak rövidebb reakcióidővel minden edzés során az első edzéshez képest ( $p < 0,001$ ), beleértve az utolsó, 12. edzést is, ami az agilitási teljesítmény javulását jelzi az edzésintervenció hatására.

Az edzés akut és hosszú távú hatásokat vált ki mind a HR, mind a pulzus megnyugvás (HRR) tekintetében (*van de Vegte, et al., 2019*). Az edzésprogram során a HR átlag és maximális értékei nem változtak. Mindazonáltal, figyelembe véve, hogy az érintések száma és az agilitási feladat végrehajtásának sebessége nőtt az edzésprogram során, a változatlan HR fiziológiai javulást jelezhet, azaz az autóversenyzők az edzésprogram előrehaladtával több munkát végeztek ugyanazon kardiovaszkuláris válasz mellett. Ezenfelül az intervenció első alkalmához képest a HRR értékei a hatodik és a tizenkettedik alkalom során, minden egyes bloknál jelentősen megnövekedett. Összességében az autóversenyzők javuló teljesítménnyel és csökkent reakcióidővel végezték az agilitási edzést az edzésprogram során, amellett, hogy az átlag és maximális szívfrekvencia értékekben nem volt jelentős változás, illetve a HRR értéke nőtt az a program során. Az intervenció protokoll során felmért eredmények alapján a 10. hipotézisünket, miszerint a HRR értékei az EXP csoportban szignifikáns javulást mutat az edzésprogram után, alátámasztottnak tekintjük és elfogadjuk.

## **Korlátok és jövőbeli irányok**

A jelen tanulmányban egy átfogó kognitív teszt csomagot, a VTS-t alkalmaztuk. Bár a csomagot kifejezetten motorsport sportolók számára forgalmazzák, a gyártó azt állítja, hogy 1) "Az SFMOTOR tesztcsomag a Bécsi Egyetem pszichológiai fakultásán végzett sportpszichológiai tanulmányok sorozatából származik..." és 2) "A tanulmányok eredményei vezettek az SFMOTOR tesztcsomag kifejlesztéséhez és a képességprofil célzott tartományának meghatározásához az elit versenyzők számára," nem találtunk szakértői bírálatú publikációt ezekről az érvényesítési eredményekről. Azonban, mivel a tesztek többsége hasonló a kognitív pszichológiai kísérleti tesztekhez, amelyek évtizedek óta használatosak normál és klinikai populációk vizsgálatára, az eredmények hasznos információkat nyújtanak a résztvevők kognitív teljesítményére vonatkozóan. Mindazonáltal, néhány teszt még mindig tartalmaz némi korlátozást. Először is, a vizuális keresési teszt elnevezés félrevezető, mivel a követés mozgó objektumok szemmel történő követésére utal; azonban ebben a tesztben nem mérnek szemmozgási viselkedéseket. Másodsor, a VISGED teszt kísérleti elrendezése nem tartozik az embereknél a vizuális rövid távú memória vizsgálatára leggyakrabban alkalmazott három általános feladatosztályba, bár tekinthető a színes négyzetek visszaidézési eljárásának módosított változatának, amelyet elsősorban Kosslyn vizuális reprezentáció elmélete és Haenggi integratív információfeldolgozási modellje alapján konstruáltak (*Kosslyn, 1980; Henggi és Perfetti, 1992*).

Ezenkívül a ZBA tesztet használó kutatóknak és szakembereknek el kell ismerniük, hogy ezt a tesztet általában "mozgás-előrejelző feladatnak" nevezik, és nem idő/mozgás előrejelző tesztnek (*Tresilian, 1995; Makin, 2018*).

Bár a DT teszt egy adaptív teszt, így a szoftver a résztvevő teljesítményszintjéhez igazítja az inger bemutatásának sebességét, nem áll rendelkezésre részletes információ az adaptációs szint pontos algoritmusáról. Tekintettel arra, hogy ezek a kognitív tesztek normál vagy klinikai populációk számára készültek, még mindig nem ismert, hogy az elit sportolók is beleillenek-e ezen populációk körébe. Végül, bár a VTS szoftverben a familiarizációs próbák száma előre programozott volt, nem találtunk adatokat vagy érvényesítési tanulmányokat, amelyek alátámasztják, hogy a familiarizációs megközelítés megfelelő és elegendő.

A jelen kutatás egyik limitációja a kettős vak tanulmányterv hiánya, azaz az edzésintervenciót adminisztráló kísérletezők tudták, hogy melyik csoportba sorolták a résztvevőket. Ezenkívül, az EXP csoport hathetes edzésprogramját csak inaktív CON csoporttal kontrolláltuk. Tekintve, hogy edzésprogramunk célja az autóversenyzők agilitásának javítása volt, egy másik kontrollcsoporttal kellett volna rendelkezni egy alternatív agilitási edzésprogrammal annak érdekében, hogy világos következtetéseket vonhassunk le a jelen tanulmányban alkalmazott agilitási edzésprogram hatékonyságáról a kognitív teljesítmény javításában. Mindazonáltal, mivel az autóversenyzők folyamatosan reagálnak számos külső ingerre a verseny során (beleértve a kormánykeréken lévő jelzőket), feltételezzük, hogy a villogó fényeszközök használata, amelyek külső ingereket generálnak, amelyekre a résztvevőknek reagálniuk kellett a kutatás agilitás edzésprogramja során, nagyobb mértékben javíthatja a reaktív képességet, valamint az autóversenyzők kognitív és fiziológiai teljesítményét más agilitási edzésprogramokhoz képest.

Jövőbeli kutatásokban ezt a hipotézist egy szigorúbb, kettős vak randomizált kontrollált vizsgálat keretében is javasolt elvégezni, amely figyelembe veszi az edzés hatásait is. A jelen tanulmány másik limitációja, hogy nem határoztuk meg a vezetési teljesítményt sem versenykörnyezet-szimulátorban, sem valódi versenypályán. Ezért a jövőbeli tanulmányoknak meg kell határozniuk a valós vezetési teljesítmény változásait egy intervenció hatására, lehetőleg bioszignálok gyűjtése közben. Emellett későbbi kutatásoknál érdemes lehet az intervenció hatás további nyomonkövetéssel követni, hogy az elért eredmények későbbiekben hogyan változnak.

A jelen kutatás további limitációja, hogy nem kontrolláltuk a résztvevők táplálékbevitelét a hathetes agilitási edzésprogram során. Ezért nem határozható meg pontosan, hogy a testzsírral kapcsolatos antropometriai mutatók változásai az edzés vagy az inkonzisztens kalóriabevitel következményei-e. Végül, bár mind a tesztelési, mind az edzési foglalkozásokat kontrolláltuk a Hawthorne-hatások szempontjából, az ilyen placebohatások a teljesítmény javulására nem zárhatók ki teljesen.

## 7.2 Második kutatás megbeszélése

Jelen kutatás célja az volt, hogy megvizsgálja egy újonnan kifejlesztett neurofeedback (NF) rendszer, az úgynevezett neuroMoon (nM) megvalósíthatóságát és hatékonyságát a

kognitív képességek fokozásában, összehasonlítva egy széles körben használt kognitív tréningeszközzel, az úgynevezett Neurotrackerrel (NT). A NF kognitív funkciók javítására vonatkozó ígéretes eredményei alapján feltételeztük, hogy az nM a kognitív teljesítményüket javítani kívánó sportolók számára is előnyös lehet. Ezért azt vártuk, hogy az nM edzést követő kognitív javulás szintje hasonló lesz az NT edzéssel elért szinthez. Hipotézisünkkel összhangban eredményeink jelentős időbeli hatásokat mutattak a különböző kognitív mérésekre, beleértve a reakcióidőt, a munkaidőt és a pontosságot. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az nM-mal végzett perceptuális-kognitív tréning (PCT) potenciálisan képes az optimális mentális teljesítmény fokozására és fenntartására. Ugyanakkor az időbeli hatások jelenléte a kontroll kondicionált csoportban is azt jelzi, hogy a résztvevők ebben a csoportban is hasonló javulást tapasztaltak a kognitív képességekben. Ez több tényezőre vezethető vissza: először is, a felmérés megismertette a vizsgálati személyeket a kognitív tesztekkel, lehetővé téve számukra, hogy jobban teljesítsenek a visszamérésekben. Másodsor, egyik beavatkozásnak sem volt további tanulási hatása. Harmadszor, még a kontroll kondicionált csoport is előnyös változásokat eredményezett a résztvevők kognitív képességeiben, továbbá, a mért kognitív változók nem biztos, hogy azok, amelyek a leginkább profitálnak az NF-alapú PCT-ből. Ezt az állítást alátámasztják az eredmények, nevezetesen, hogy a valódi és a kontroll kondicionált nM csoportok között az EEG-mérések (SMR, T, SMR/T arány) ( $p < 0,05$ ) vagy a játék pontszámai ( $p = 0,96$ ) tekintetében az egyes tréningek során nem volt különbség; továbbá az EEG-mérések változásai és a játék pontszámai közötti összefüggések általában gyengék mindkét csoport esetében. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a NF képzés nem hozott kedvező eredményeket, valószínűleg a relatív rövid (4 hét, heti 3 alkalommal) beavatkozás miatt. Ezenfelül, javasoljuk további vizsgálat esetében passzív kontrollcsoport bevonását, illetve az egyes tréningek volumenének az emelését.

A meglévő tudományos kutatások azt mutatják, hogy a szakértelemmel rendelkező egyének kiváló érzékelési-kognitív képességekkel rendelkeznek a nem szakértőkhöz képest. Ez a készségkészlet lehetővé teszi az egyének számára, hogy hatékonyan és időben feldolgozzák a kulcsfontosságú információkat, ezáltal elősegítve a pontos döntéshozatalt versenykörnyezetben (*Bernardi et al., 2013*).

Figyelemre méltó, hogy a neurokognitív értékelési eszközök integrálása a tréning protokollokba széles körben elfogadottá vált mind a sport, mind a rehabilitáció területén, tekintettel a perceptuális-kognitív teljesítmény optimalizálására, fenntartására és fokozására vonatkozó lehetőségeikre. Továbbá úgy tűnik, hogy a NF alkalmazása kedvező változásokat idéz elő a kognitív funkciókban és a figyelemhiányos/hiperaktivitási zavarban (ADHD) (Arns, Heinrich és Strehl, 2014; Gevensleben et al., 2014). Következésképpen a mérnökök megkezdték a neurokognitív értékelő eszközök fejlesztését a szenzomotoros NF (SM NF) felhasználásával. Ennek érdekében a MindRove nevű magyar kisvállalkozás sikeresen létrehozott egy elektroencefalogram (EEG) alapú NF (nM) eszközt. Az eszköz célja, hogy zökkenőmentesen integrálódjon a meglévő úrhajós képzési programba, és ezáltal támogatást nyújtson a jobb teljesítményeredményekhez. Az nM készülék egy rugalmas és állítható fejpánt alakját ölti, amely négy merev, fejpántba integrált komponensből áll. Figyelemre méltó, hogy az eszköz által használt négy EEG-elektroda száraz, így nincs szükség gél vagy paszta felvitelére a bőrre. Bár az nM készülék kereskedelmi forgalmazása a közeljövőben várható, alkalmazhatóságra vonatkozó adatok nem álltak rendelkezésre. Ezért az nM készülék hatékonyságát úgy kívántuk felmérni, hogy egy 12 üléses számítógépes kognitív tréningprogramot megelőzően és azt követően egy kiterjedt kognitív tesztekkel álló mérésnek vetettük alá. Ezt a kognitív tréningprogramot vagy az nM készülékkel, vagy az NT szoftverrel végezték.

Hipotézisünkkel összhangban a statisztikai elemzések kizárólag időbeli főhatásokat mutattak a kognitív képességekben, ami azt jelzi, hogy nincsenek különbségek az nM és az NT hatékonysága között. Például mindkét csoport gyorsabb medián reakcióidőt mutattak a STROOP színmegnevezési és szóolvasási feltételeiben a tréninget követően, így azt mondhatjuk, hogy mind az NT, mind az nM potenciálisan javítja a kognitív alkalmazkodóképességet és a feladatváltási képességet. Ezen eredmények alapján a 2. hipotézisünket alátámaszottnak tekintjük és elfogadjuk.

A résztvevők teljes munkaideje és az inkongruens ingerekre, az ismétlési feladatra és a váltási feladatra vonatkozó átlagos reakcióidő is javulást mutatott a SWITCH feladatban, ami arra utal, hogy ezek a PCT-k képesek előnyös változásokat kiváltani a végrehajtó funkciókban, nevezetesen a feladatváltási képességben. Az eredmények alapján a 6. hipotézisünket elfogadjuk.

Továbbá a résztvevők mind az nM, mind az NT esetében kevesebb kihagyott (pre:  $17,5 \pm 8,3$ , post:  $6,4 \pm 1,5$ ,  $d = 1,311$ ) és több helyes (pre:  $261,6 \pm 36,1$ , post:  $278,6 \pm 38,7$ ,  $d = -1,020$ ) választ adtak a DT-re a PCT-t követően. Ezen eredmények alapján a 4. és 5. hipotézisünket alátámaszottnak tekintjük és elfogadjuk.

Ami a FSZT kognitív tesztet illeti, a résztvevők mindkét csoportban nagyobb poszt ( $6,42 \pm 1,54$ ) vs. pre ( $5,55 \pm 1,43$ ) pontszámmal végezték a FSZT-t a PCT-t követően, ami tovább erősítette a PCT feltételezett kedvező hatásait a kognitív rugalmasságra és a munkamemóriára, függetlenül magától a módszertől. Mindazonáltal a CON hasonló javulást mutatott a mért kognitív változóknak, mint az nM és az NT. Eredményeink alapján az 1. hipotézisünket részben tekintjük elfogadhatónak, mivel a mindhárom kutatásban résztvevő csoport fejlődést mutatott.

### **Korlátok és jövőbeli irányok**

A jelenlegi vizsgálat elsődleges limitációja a passzív kontrollcsoport hiánya. Tekintettel arra, hogy fejlesztő programjaink (NT vagy nM) célja a kognitív képességek fejlesztése volt, előnyös lett volna egy passzív kontrollcsoport bevonása annak érdekében, hogy végleges következtetésekhez jussunk az EEG-alapú NF készülék, az nM hatékonyságát illetően, ahogyan azt a jelen vizsgálatban feltártuk, a kognitív teljesítmény fokozásában. Mindazonáltal, mivel az nM csoport résztvevői hasonló javulást mutattak a kognitív képességekben az NT csoporthoz képest, azt lehet javasolni, hogy az nM ugyanolyan életképes a perceptuális-kognitív teljesítmény optimalizálására, fenntartására és fokozására, mint az NT, amely a sportban és a rehabilitációban is széleskörben alkalmazott eszköz. A jelenlegi vizsgálat másik limitációja a minta viszonylag kis mérete. A későbbi vizsgálatok nagyobb számú résztvevő toborzását teszik szükségessé a statisztikai hatékonyság növelése érdekében, mivel a PCT képzésre adott válasz bizonyos figyelemre méltó változásai a jelenlegi vizsgálatban az alanyok közötti variabilitás változásainak is tulajdoníthatók. A valós és a szimulált nM csoportok közötti eltérések hiánya, valamint az EEG-metrikák változásai és a játék pontszámai közötti összefüggések hiánya hihetően a viszonylag rövid beavatkozásnak tulajdonítható.

Következésképpen a következő vizsgálatoknak arra kell törekedniük, hogy megállapítsuk, hogy a hosszabb ideig tartó NF-edzés fokozhatja-e a perceptuális-kognitív teljesítményt. Ezenfelül további kérdések fogalmazódtak meg a kutatást követően. A NF

hatékonysága mind a fokozásra vagy szuppresszióra szoruló frekvenciákon, mind a ritmusok konkrét helyein múlik (*Mirifar, Beckmann és Ehrlenspiel, 2017; Hinzpeter Sermet-Gaudelus és Sheppard, 2020*). Például az íjászat sportágában a teljesítmény fokozása a jobb félteke aktiválásával és a bal halántéklebeny aktivitásának szelektív gátlásával hozható összefüggésbe. Hasonlóképpen, a kiegészítő motoros területen az alfa-hullámok elnyomása segítheti a mozgások automatizálását, mint például a golfütés vagy a deautomatizált járás (*Wang et al., 2022; Sidhu és Cooke, 2021*). Ami a frekvenciasávokat illeti, hasznosságuk az adott feladattól függ. A nem megfelelő típusú frekvenciasávon való foglalkozás nemcsak hatástalan, hanem káros is lehet. Más szóval, vagy akadályozhat egy olyan konkrét teljesítménymérést, amely nem hasonlít kellőképpen a kívánt képességekhez, ami döntő fontosságúvá teszi a megfelelő minőségű és típusú teljesítménymérések kiválasztását, vagy akadályozhatja magának a képességeknek a fejlődését. Kutatásunk további limitáló tényezői közé tartozik a vizsgálati személyek sportágának nagyfokú variabilitása, amely potenciálisan befolyásolhatta a tanulási görbét és a felméréseken nyújtott teljesítményt, eredményeket. Emellett későbbi kutatásoknál érdemes lehet az intervenciós hatás további nyomonkövetéssel követni, hogy az elért eredmények későbbiekben hogyan változnak.

Végül, figyelembe véve, hogy az nM fejlesztése azzal a céllal történt, hogy a jelenlegi űrhajósképzésbe integrálják. Jövőbeni kutatásokban ajánlott megvizsgálni az nM eszköz hatását az űrhajósok teljesítményére.

## 8. Következtetések

### 8.1 Első kutatás következtetései

Összefoglalva, az agilitási edzésprogram javította a kognitív teljesítményt a VTS bizonyos alfeladataiban, amikor nyugalomban vagy közepes intenzitású edzés közben végezték őket. Az autóversenyzők pontosabban végezték a STROOP szóolvasási feltételt, amikor a feladatot edzés közben végezték, mint nyugalomban. Emellett az edzés intervenció kedvező változásokat idézett elő néhány fiziológiai mérésben, például a HRmaxban, a gázcsere küszöb HR-ben, a ventilációban és a relatív maximális oxigénfelvételben a maximális fokozatos kardiorespiratorikus teszt során. Végül az autóversenyzők javult teljesítményt és csökkent reakcióidőt mutattak az agilitási feladat végzése során a hathetes edzésprogram alatt. Eredményeink azt mutatják, hogy egy ilyen rövid edzésprogram, amely könnyen adminisztrálható, potenciálisan hozzájárulhat az autóversenyzők fizikai és mentális felkészüléséhez. A jövőbeni kutatásoknak további tudományos adatokat kell gyűjteniük erről a viszonylag kevésbé tanulmányozott sportról, hogy stratégiákat fejlesszenek ki, amelyek javíthatják a motorsport atléták fizikai és kognitív képességeit.

### 8.2 Második kutatás következtetései

Összefoglalva, a különböző intervenciók jelentős javulást mutatnak a kognitív tréning (PCT) végrehajtását követően a neuroMoon (nM) alkalmazásával, szemben a hagyományos NeuroTracker (NT) megközelítéssel. Ez a megállapítás ígéretes irányt mutat a fokozott mentális teljesítmény előmozdítására és fenntartására a kihívást jelentő, komplex környezetekben. Az innovatív rendszer megvalósítása demonstrálja a kognitív alkalmazkodóképesség és flexibilitás növelésének lehetőségét, amelyek alapvető tulajdonságok az igényes és bonyolult környezetekben dolgozó egyének számára.

Az autóversenyzők és a nyílt készségű sportágak, mint például a labdajátékok sportolói, gyakran rendkívüli mentális és fizikai terhelésnek vannak kitéve, ahol a gyors döntéshozatal, a figyelem fenntartása és a reakcióidő kulcsfontosságú tényezők a siker eléréséhez. Kutatásaink alapján a NF tréning és a kognitív tréning módszerei ígéretes megközelítéseket kínálnak ezen sportolók teljesítményének növelésére.

A neuroMoon (nM) alkalmazásával végzett kognitív tréning különösen hasznos lehet az autóversenyzők számára, akiknek folyamatosan gyors és pontos döntéseket kell

hozniuk nagy sebességnél és stresszes körülmények között. Az nM tréning fejleszti a reakcióidőt, a figyelem fókuszálását és a döntéshozatali képességeket, amelyek mind kritikus fontosságúak az autóversenyzés során.

Kutatásunk hangsúlyozza annak fontosságát, hogy a kognitív fejlesztések gyakorlati hatását a valós teljesítményeredményekre, különösen az úrhajósok egyedi kontextusában, megvizsgálják. A jövőbeni tanulmányoknak részletesebben kellene vizsgálniuk a neuroMoon rendszer autentikus, úrhajózási környezetben történő megvalósíthatóságát, azzal a céllal, hogy feltárják a kognitív funkciókat támogató gyakorlatiasságát és hatékonyságát az űrmissziók során felmerülő sajátos kihívások mellett.

Amennyiben a kutatók a vizsgálatok hatókörét kiterjesztik valós forgatókönyvekre, megerősíthetik a rendszer legitimitását és annak alkalmasságát, hogy az úrhajósok kognitív képességeit és teljesítményét fokozó beavatkozásként megvalósítható. Az ilyen NF megközelítések folyamatos finomítása és validálása nem csupán az űrkutatási törekvések, hanem a Földön jelentkező nagy tétekkel járó és összetett környezetek kognitív kihívásainak kezelése szempontjából is ígéretes lehetőséget kínál.

A kognitív tudományok és az idegstimulációs technológiák konvergenciája egy olyan fejlődő határterületet jelent, amely az emberi teljesítmény optimalizálását szolgálja különféle ingergazdag környezetekben. A jövőbeni kutatások kétségtelenül hozzá fognak járulni a NF és a kognitív teljesítmény közötti összetett kölcsönhatás mélyebb megértéséhez, befolyásolva mind az űrkutatás, mind a kognitív teljesítményfokozó kutatások fejlődési pályáját.

## 9. Összefoglalás

Doktori értekezésem kutatási témája az autóversenyzők kognitív képességfejlesztése. Longitudinális vizsgálatok során különböző intervenciós programok hatását mértem fel és hasonlítottam össze, mint reakcióidő, téri vizuális érzékelés, munkamemória, reaktív viselkedés, anticipáció a VTS számítógépes pszichológiai tesztrendszerrel, illetve papír alapú teszttel. Reid és munkatársai (2019) munkája alapján bemutattam azokat a tényezőket és hatásokat, melyek befolyásolják az autóversenyzők teljesítményét.

A szakirodalmi áttekintésből is kirajzolódott, hogy az autóversenyzők teljesítménye komplex, több belső- és külső tényező befolyásolja. Az első kutatásban egy hathetes agilitás edzésprogram hatásvizsgálata történt. Az autóversenyzők a programot megelőzően és követően kognitív teszteken (LVT, STROOP, VISGED, ZBA, DT), antropometriai teszten és terhelés élettani teszten vettek részt. Az EXP csoport vett részt az agilitás programon, a CON csoport nem vett részt az intervencióban. Az agilitás edzésprogram célja, hogy általánosan és sokoldalúan fejlessze az autóversenyzők kognitív és fizikális mutatóikat, hogy megbizonyosodjunk a program hatékonyságáról, melyet később nagy kognitív teljesítmény igényű sportolók mint az autóversenyzők használjanak a felkészülésük során. Az általunk ismert jelenlegi hazai- és nemzetközi szakirodalom alapján arra következtetünk, hogy korábban ilyen kutatás autóversenyzők körében még sosem készült. A második kutatásban egy új NF eszköz megbízhatóságának a vizsgálatát végeztük nyílt készségű sportágak sportolói mintáján. A kutatás célja A vizsgálatra 3 csoportot alakítottunk ki: NF csoport a neuroMoon (nM) eszközzel, neuroMoon kontroll kondicionált csoport (KKCS) és neurotracker (NT) csoport. Az intervenciós programot egy felmérési folyamat előzte meg, amely során papír és számítógép alapú kognitív teszteken vettek részt a kutatásban résztvevő személyek. A papír alapú kognitív teszt a fordított számterjedelem teszt volt, míg a számítógép alapú teszteket a VTS alkalmazásával végeztük el. Kutatásunkban arra is kerestük a választ, hogy lehetséges-e egy olyan rendszer megvalósítása, amely az elülső és a nyakszirti kérgék felett rögzített agyi jelek alapján működik. Az eredmények alapján elmondható, hogy a nM a NT-vel összehasonlítva hasonló eredményeket mutatott a kognitív képességeket illetően, ami arra utal, hogy az új NF eszköz felhasználható a jobb mentális teljesítmény elérésére és fenntartására. Tekintettel azonban arra, hogy a kontrollcsoport is hasonló javulást idézett elő a kognitív képességekben, a jövőbeni vizsgálatoknak

egyértelműen meg kell határozniuk azokat a kognitív intézkedéseket, amelyeknek hasznára válhat az NF tréning.

## 10. Summary

The research topic of my doctoral thesis is the development of cognitive skills in motor racing. In longitudinal studies, I measured and compared the effects of different intervention programmes such as reaction time, spatial visual perception, working memory, reactive behaviour, anticipation using the VTS computer-based psychological testing system and paper-based tests. Based on the work of Reid and colleagues (2019), I presented the factors and influences that affect the performance of drivers.

It also emerged from the literature review that the performance of racing drivers is complex, influenced by multiple internal and external factors. In the first study, the effects of a 6-week reactive agility training programme were evaluated. Before and after the programme, the drivers participated in cognitive tests (LVT, STROOP, VISGED, ZBA, DT), anthropometric tests and exercise physiology tests. The EXP group participated in the reactive agility programme, the CON group did not participate in the intervention. The aim of the reactive agility training program is to improve the cognitive and physical indicators of the drivers in a general and versatile way, to make sure that the program is effective and can be used by athletes with high cognitive performance needs such as drivers in their training. The results suggest that such a survey of motor racing drivers has never been done before. In the second study, we investigated the reliability of a new neurofeedback (NF) tool in a sample of athletes from open-skill sports. Aim of the study 3 groups were formed for the study: NF group with the neuroMoon (nM) tool, neuroMoon control conditioned group and neurotracker (NT) group. The intervention programme was preceded by an assessment process in which paper and computer-based cognitive tests were administered to the study participants. The paper-based cognitive test was the reverse number span test, while the computer-based tests were administered using VTS. In our research, we also sought to answer the question of whether it is possible to implement a system that works on the basis of brain signals recorded over the anterior and occipital cortices. The results showed that nM showed similar results in cognitive abilities compared to NT, suggesting that the new NF device could be used to achieve and maintain improved mental performance. However, given that the control group also produced similar improvements in cognitive ability, future studies should clearly identify the cognitive measures that could benefit from NF training.

## 11. Irodalomjegyzék

1. Abernethy, B., & Russell, D. G. (1987). Expert -novice differences in an applied selective attention task. *Journal of Sport Psychology*, 9 (4), 326 –345.
2. Abou -Shady, N. A. E., Omara, T., Soliman, K. M. A. E. H., & Abdelhakiem, N. M. (2023). Influence of Mobile Application Based Brain Training Program on Cognitive Function and Quality of Life in Patients Post Stroke. *Journal of Advanced Zoology* , 44(S- 3), 204 –210. -3.568
3. Adair, J. G. (1984). The Hawthorne effect: A reconsideration of the methodological artifact. *Journal of Applied Psychology*, 69 (2), 334 –345. - 9010.69.2.334
4. Adavikottu, A., Velaga, N. R., & Mishra, S. (2023). Modelling the effect of aggressive driver behavior on longitudinal performance measures during car - following. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 92 , 176 –200.
5. Adrian, J., Le Brun, J., Miller, N. R., Sahel, J. -A., Saillant, G., & Bodaghi, B. (2019). Implications of monocular vision for racing drivers. *PLOS ONE*, 14 (12), e0226308.
6. Altmann D., Benbow S., Bouchard J. *Medicine in Motor Sport*. FIA Institute for Motor Sport Safety and Sustainability; London, UK: 2011. pp. 60 –69.
7. Anderson, J. R. (2005). *Cognitive psychology and its implications*. Macmillan.
8. Angelucci, F., Caltagirone, C., & Costa, A. (2015). Cognitive training in neurodegenerative diseases: a way to boost neuroprotective molecules?. *Neural regeneration research* , 10(11), 1754 –1755. -5374.169608 Anîtei, M., Chraif, M., Schuhfried, G., & Sommer, M. (2011). The validation of Expert System Traffic psychological assessment to Romanian Driving Schools. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 30 , 457 –464.
9. Anstey, K. J., Dear, K., Christensen, H., & Jorm, A. F. (2005). Biomarkers, health, lifestyle, and demographic variables as correlates of reaction time performance in early, 122 middle, and late adulthood. *The Quarterly journal of experimental psychology. A, Human experimental psychology* , 58(1), 5 –21. Apaydın, N., Üstün, S., Kale, E. H., Çelikağ, İ., Özgüven, H. D., Baskak, B., & Çiçek, M. (2018).

- Neural Mechanisms Underlying Time Perception and Reward Anticipation. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 115.
10. Arjunan, A., & Baroutaji, A. (2021). Sound pressure level of a Formula 3 car and the influence of detachable muffler -tip. *Results in Engineering*, 11 , 100261.
  11. Arns, M., Heinrich, H., & Strehl, U. (2014). Evaluation of neurofeedback in ADHD: the long and winding road. *Biological psychology* , 95, 108 –115.
  12. Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in cognitive sciences* , 8(4), 170 –177.
  13. Artifice, A., Rajaonah, B., Sarraipa, J., Mourad, A., & Jardim -Goncalves, R. (2018). Embodied Cognitive Architecture to Support Driver Performance. IEEE Press.
  14. Avedesian J. M. (2024). Think fast, stay healthy? A narrative review of neurocognitive performance and lower extremity injury. *Musculoskeletal science & practice* , 74, 103186.
  15. Aversa, P., Furnari, S., & Haefliger, S. (2015). Business model configurations and performance: A qualitative comparative analysis in Formula One racing. *Industrial and Corporate Change*, 24(3), 655 –676.
  16. Azman, K. F., & Zakaria, R. (2022). Recent Advances on the Role of Brain -Derived Neurotrophic Factor (BDNF) in Neurodegenerative Diseases. *International journal of molecular sciences* , 23(12), 6827.
  17. Babamiri, M., Moatamedzadeh, M., Golmohammadi, R., Farhadian, M., & Derakhshan, J. (2018). The role of individual susceptibility to the effects of low frequency noise on cognitive performances. *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*, 6 (4), 183 – 190.
  - 123 Backman, J., Häkkinen, K., Ylinen, J., Häkkinen, A., & Kyröläinen, H. (2005). Neuromuscular performance characteristics of open -wheel and rally drivers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 777 –784. -16544.1
  18. Badau, D., Badau, A., Ene -Voiculescu, C., Larion, A., Ene -Voiculescu, V., Mihaila, I.,
  19. Fleancu, J. L., Tudor, V., Tifrea, C., Cotovanu, A. S., & Abramiuc, A. (2022). The Impact of Implementing an Exergame Program on the Level of Reaction Time Optimization in

20. Handball, Volleyball, and Basketball Players. *International journal of environmental research and public health* , 19(9), 5598.
21. Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4 (11), 417 –423. - 6613(00)01538 -2
22. Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (Vol. 8, pp. 47 –89). New York: Academic Press. -7421(08)60452 -1
23. Baker, J., Côté, J., & Abernethy, B. (2003). Learning from the experts: practice activities of expert decision makers in sport. *Research quarterly for exercise and sport* , 74(3), 342 – 347.
24. Ballmann, C. G., & Rogers, R. R. (2024). American Football Headgear Impairs Visuomotor Drill Performance in Division I NCAA Football Athletes. *Journal of functional morphology and kinesiology* , 9(3), 169.
25. Baroody, N. B., & Thomason, J. M. (1975). Blistering the Track — and Drivers — in Stock Racing. *The Physician and Sportsmedicine*, 3(9), 36 –42.
26. Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & et al. (2014). Auditory and non -auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383 (9925), 1325 –1332. -6736(13)61613 -X
27. Baur, H., Müller, S., Hirschmüller, A., Huber, G., & Mayer, F. (2006). Reactivity, stability, and strength performance capacity in motor sports. *British journal of sports medicine* , 40(11), 906 –911.
28. Baur, H., Müller, S., Hirschmüller, A., Huber, G., & Mayer, F. (2006). Reactivity, stability, and strength performance capacity in motor sports. *British journal of sports medicine* , 40(11), 906 –911. 124 Baur, H., Muller, S., Pilz, F., Mayer, P., & Mayer, F. (2010). Trunk extensor and flexor strength of long -distance race car drivers and physically active controls. *Journal of sports sciences* , 28(11), 1183 – 1187.
29. Beaune, B., & Durand, S. (2011). Cardiac chronotropic adaptation to open -wheel racecar driving in young pilots. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 11 (2), 325–334.

30. Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985) , 60(6), 2020 –2027.
31. Beckwith, J. G., Greenwald, R. M., & Chu, J. J. (2012). Measuring Head Kinematics in Football: Correlation Between the Head Impact Telemetry System and Hybrid III Headform. *Ann Biomed Eng*, 40, 237 –248. -011-0422-2
32. Bell, A., Smith, J., Sabel, C. & Jones, K. (2016). Formula for success: Multilevel modelling of Formula One Driver and Constructor performance, 1950 –2014. *Journal of Quantitative Analysis in Sports* , 12(2), 99 -112. -2015 -0050
33. Belling, P. K., & Ward, P. (2015). Time to start training: A review of cognitive research in sport and bridging the gap from academia to the field. *Procedia Manufacturing*, 3 , 2437 –2444. Béraud -Peigné, N., Perrot, A., & Maillot, P. (2023). Wireless Lighting System: A New Tool for Assessing Cognitive Functions in the Elderly. *Behavioral sciences* (Basel, Switzerland) , 13(11), 943.
34. Bernardi, G., Cecchetti, L., Handjaras, G., Sani, L., Gaglianese, A., Ceccarelli, R.,
35. Franzoni, F., Galetta, F., Santoro, G., Goebel, R., Ricciardi, E., & Pietrini, P. (2014). It's not all in your car: Functional and structural correlates of exceptional driving skills in professional racers. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article 888.
36. Bernardi, G., Cecchetti, L., Handjaras, G., Sani, L., Gaglianese, A., Ceccarelli, R.,
37. Franzoni, F., Galetta, F., Santoro, G., Goebel, R., Ricciardi, E., & Pietrini, P. (2014). It's not all in your car: functional and structural correlates of exceptional driving skills in professional racers. *Frontiers in human neuroscience* , 8, 888. 125
- Bernardi, G., Ricciardi, E., Sani, L., Gaglianese, A., Papasogli, A., Ceccarelli, R.,
38. Franzoni, F., Galetta, F., Santoro, G., Goebel, R., & Pietrini, P. (2013). How skill expertise shapes the brain functional architecture: an fMRI study of visuo -spatial and motor processing in professional racing -car and naïve drivers. *PloS one* , 8(10), e77764.
39. Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise : measurements and implications for monitoring training status. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.) , 38(8), 633 –646. -200838080 -00002

40. Bortkiewicz, A., Siedlecka, J., Szykowska, A., Gadzicka, E., Zieliński, J., Makowiec - Dąbrowska, T., Kowalski, J., Wróbel, D., & Pasierski, T. (2016). Heart rate variability (HRV) during simulated bus driving test as a predictor of reaction time to stressful situation. *International Journal of Psychophysiology*, 108, 155.
41. Brearley, M. B., & Finn, J. P. (2007). Responses of Motor -Sport Athletes to V8 Supercar Racing in Hot Conditions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(2), 182 -191. Retrieved Oct 19, 2024, from
42. Brinkman, W. -P., Vermetten, E., van den Berg, D. P. G., & Emmelkamp , P. M. G. (2016). The use of virtual reality techniques in the assessment and treatment of psychopathology. *European Journal of Psychotraumatology*, 7 (1), 301. Bruce - Low, S. S., Cotterrell, D., & Jones, G. E. (2006). Heart rate variability during high ambient heat exposure. *Aviation, space, and environmental medicine* , 77(9), 915 – 920.
43. Brunswik, E. (1956). *Perception and the representative design of psychological experiments* (2nd ed.). University of California Press.
44. Carlson, L. A., Ferguson, D. P., & Kenefick, R. W. (2014). Physiological strain of stock car drivers during competitive racing. *Journal of thermal biology* , 44, 20 – 26.
45. Carlson, L. A., Lawrence, M. A., & Kenefick, R. W. (2018). Hydration Status and Thermoregulatory Responses in Drivers During Competitive Racing. *Journal of strength and conditioning research* , 32(7), 2061 –2065. 126 Chai WJ, Abd Hamid AI and Abdullah JM (2018) Working Memory From the Psychological and Neurosciences Perspectives: A Review. *Front. Psychol.* 9:401. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00401
46. Chaldanbayev, Y. (2022). Stages of karting formation as one of the popular autosport. *Kazakh -British Technical University*. -5829 -2022 -4-4-8-11
47. Chan, E., Pradhan, A. K., Pollatsek, A., Knodler, M. A., & Fisher, D. L. (2010). Are Driving Simulators Effective Tools for Evaluating Novice Drivers' Hazard Anticipation, Speed Management, and Attention Maintenance Skills. *Transportation research. Part F, Traffic psychology and behaviour* , 13(5), 343 – 353.

48. Chao, M., Zhenyu, Y., Zifan, X., & Zhongxiang, Z. (2023). The influence of open-skill sports on individual's interference inhibition abilities. *Frontiers in Sport Research*, 5 (7), 19–24.
49. Chen, R., & Li, L. (2022). Effects of divided attention on visual control of steering toward a goal. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 48(6), 597–612.
50. Cheung, S. S., McLellan, T. M., & Tenaglia, S. (2000). The thermophysiology of uncompensable heat stress. Physiological manipulations and individual characteristics. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 29(5), 329–359. - 200029050 - 00004
51. Chikara, R. K., Lo, W. C., & Ko, L. W. (2020). Exploration of Brain Connectivity during Human Inhibitory Control Using Inter-Trial Coherence. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(6), 1722.
52. Chuang, I. C., Chiau, H. Y., Liao, W. W., Wu, Y. R., Chang, C. H., & Wu, C. Y. (2023). Effects of computer-based cognitive training combined with physical training for older adults with cognitive impairment: A four-arm randomized controlled trial. *Digital health*, 9, 20552076231203633.
53. Cicerone, K. D., Dahlberg, C., Kalmar, K., Langenbahn, D. M., Malec, J. F., Bergquist, T. F., Felicetti, T., Giacino, J. T., Harley, J. P., Harrington, D. E., Herzog, J., Kneipp, S.,
54. Laatsch, L., & Morse, P. A. (2000). Evidence-based cognitive rehabilitation: recommendations for clinical practice. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 81(12), 1596–1615. 127 Cipolotti, L., Spanò, B., Healy, C., Tudor-Sfetea, C., Chan, E., White, M., Biondo, F.,
55. Duncan, J., Shallice, T., & Bozzali, M. (2016). Inhibition processes are dissociable and lateralized in human prefrontal cortex. *Neuropsychologia*, 93(Pt A), 1–12.
56. Cohen, S., & Weinstein, N. (1981). Non-auditory effects of noise on behavior. *Journal of Social Issues*, 37 (1), 36–70. -4560.1981.tb01057.x
57. Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62–101). Cambridge University Press.

58. Cowan, N. (2017). The many faces of working memory and short-term storage. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24 (4), 1158 –1170. -016- 1191 -6
59. Crandall, C. G., & Wilson, T. E. (2015). Human cardiovascular responses to passive heat stress. *Comprehensive Physiology* , 5(1), 17 –43.
60. Crandall, C. G., Zhang, R., & Levine, B. D. (2000). Effects of whole body heating on dynamic baroreflex regulation of heart rate in humans. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology* , 279(5), H2486 –H2492.
61. Culiver, A., Grooms, D., Edwards, N., Schmitt, L., & Oñate, J. (2023). A Preliminary Investigation into the Neural Correlates of Knee Loading during a Change of Direction Task in Individuals after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *International journal of sports physical therapy* , 18(1), 70 –80.
62. Daley, M. M., Griffith, K., Milewski, M. D., & Christino, M. A. (2021). The mental side of the injured athlete. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 29(12), 499 –506. -D-20-00974
63. Damirchi, A., Hosseini, F., & Babaei, P. (2018). Mental Training Enhances Cognitive Function and BDNF More Than Either Physical or Combined Training in Elderly Women With MCI: A Small-Scale Study. *American journal of Alzheimer's disease and other dementias* , 33(1), 20 –29. 128 Dawson, G. A. (1979). A Fitness Profile of Grand National Stock Car Drivers. *The Physician and Sportsmedicine* , 7(5), 60 –64. de Bruin, A., Roelofs, A., Dijkstra, T., & FitzPatrick, I. (2014). Domain-general inhibition areas of the brain are involved in language switching: fMRI evidence from trilingual speakers. *NeuroImage*, 90 , 348 –359.
64. Deary, I. J., & Der, G. (2005). Reaction Time, Age, and Cognitive Ability: Longitudinal Findings from Age 16 to 63 Years in Representative Population Samples. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 12 (2), 187 – 215.
65. Dessy, E., Mairesse, O., van Puyvelde, M., Cortoos, A., Neyt, X., & Pattyn, N. (2020). Train your brain? Can we really selectively train specific EEG frequencies with neurofeedback training. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14.
67. Dias, C., & Júnior, J. (2022). Review of the dual-axis steering system used by Mercedes - AMG in Formula One. *SAE Technical Paper 2021 -36-0027*. -36-0027

68. Diekfuss, J. A., Grooms, D. R., Yuan, W., Dudley, J., Barber Foss, K. D., Thomas, S.,
69. Ellis, J. D., Schneider, D. K., Leach, J., Bonnette, S., & Myer, G. D. (2019). Does brain functional connectivity contribute to musculoskeletal injury? A preliminary prospective analysis of a neural biomarker of ACL injury risk. *Journal of science and medicine in sport* , 22(2), 169 –174.
70. Dingle, G. (2009). Sustaining the race: A review of literature pertaining to the environmental sustainability of motorsport. *International Journal of Sports Marketing and Sponsorship*, 11 (1), 80 –96. -11-01-2009 -B006
71. Domingos, C., Peralta, M., Prazeres, P., Nan, W., Rosa, A., & Pereira, J. G. (2021). Session frequency matters in neurofeedback training of athletes. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 46 (2), 195 –204. - 021-09505 -3
72. Donders, F. C. (1969). On the speed of mental processes . *Acta Psychologica*, 30, 412 – 431. (Original work published 1868) -6918(69)90065 -1 129
73. Dr. Bernal Thalman,. (2024). Unveiling Gravity: Exploring the Origins of Universal Expansion. *Global Journal of Science Frontier Research* , 24(A3), 1 –12.
74. Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training. *Nature* , 427(6972), 311 – 312.
75. Duncan J. (1979). Divided attention: the whole is more than the sum of its parts. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* , 5(2), 216 –228. -1523.5.2.216
76. Ebben, W. P., & Suchomel, T. J. (2012). Physical demands, injuries, and conditioning practices of stock car drivers. *Journal of strength and conditioning research* , 26(5), 1188 –1198.
77. Eckardt, N., Roden, I., Grube, D., & Schorer, J. (2020). The Relationship Between Cognition and Sensorimotor Behavior in an F1 Driving Simulation: An Explorative Study. *Frontiers in psychology* , 11, 574847.
78. Edmonds, W. A., Tenenbaum, G., Mann, D. T., Johnson, M., & Kamata, A. (2008). The effect of biofeedback training on affective regulation and simulated car -racing performance: a multiple case study analysis. *Journal of sports sciences* , 26(7), 761 –773.

79. Egner, T., & Gruzelier, J. H. (2004). EEG biofeedback of low beta band components: Frequency -specific effects on variables of attention and event -related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115 (1), 131 –139. - 2457(03)00353 -5
80. Ekstrand, J., Häggglund, M., & Waldén, M. (2011). Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 45(6), 553–558.
81. Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16 (1), 143 –149.
82. Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16 (1), 143 –149. 130 Erikson, E. (1959). *Identity and the life cycle*. New York: International Universities Press. Etty Griffin L. Y. (2003). Neuromuscular training and injury prevention in sports. *Clinical orthopaedics and related research* , (409), 53 –60.
83. Evans, J. S., & Stanovich, K. E. (2013). Dual -Process Theories of Higher Cognition: Advancing the Debate. *Perspectives on psychological science : a journal of the Association for Psychological Science* , 8(3), 223 –241. Færevik, H., & Eidsmo Reinertsen, R. (2003). Effects of wearing aircrew protective clothing on physiological and cognitive responses under various ambient conditions. *Ergonomics*, 46(8), 780 –799.
84. Fahimi, F., Goh, B. W., Lee, T. S., & Guan, C. (2018). Neural indexes of attention extracted from EEG correlate with elderly reaction time in response to an attentional task. In *Proceedings of the 3rd International Conference* .
86. Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods* , 39(2), 175 –191.
87. Ferguson, D. P., & Myers, N. D. (2018). Physical Fitness and Blood Glucose Influence Performance in IndyCar Racing. *Journal of strength and conditioning research* , 32(11), 3193 –3206.

88. Ferguson, D. P., Barthel, S. C., Pruett, M. L., Buckingham, T. M., & Waaso, P. R. (2019). Physiological Responses of Male and Female Race Car Drivers during Competition. *Medicine and science in sports and exercise* , 51(12), 2570 –2577.
89. Ferguson, D. P., Davis, A. M., & Lightfoot, J. T. (2015). Optimizing the physical conditioning of the NASCAR sprint cup pit crew athlete. *Journal of strength and conditioning research* , 29(3), 567 –577.
90. Fielden, G. (2007). *NASCAR: The Complete History*. Lincolnwood, IL: Publications
91. International, Ltd. 131 Filho, E., Tenenbaum, G. and Yang, Y. (2015). Cohesion, team mental models, and collective efficacy: towards an integrated framework of team dynamics in sport. *Journal of Sport Sciences*, 33, 641 -653.
92. Fillery, M., & Stephan, T. (2001). Noise mapping of motor racing noise from alternative track layouts at Donington Park. In *Proceedings of the INTER -NOISE 2001: Abstracts from the International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering* (pp. 1469 – 1474). The Hague, Netherlands.
93. Finkenzeller, T., Würth, S., Müller, E., & Amesberger, G. (2019). Aging -related changes of cognitive performance and stress regulation in high functioning elderly individuals. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* , 29 Suppl 1 (Suppl 1), 17 –25.
94. Formenti, D., Duca, M., Trecroci, A., Ansaldi, L., Bonfanti, L., Alberti, G., & Iodice, P. (2019). Perceptual vision training in non -sport -specific context: effect on performance skills and cognition in young females. *Scientific reports* , 9(1), 18671. -019-55252 -1
95. Forni, F., Farinini, E., Leardi, R., & Rinaldo, A. (2022). Effects of visual training on motor performance in young tennis players using FitLight trainer. *The Journal of sports medicine and physical fitness* , 62(4), 585 –592. - 4707.21.12145 -0
96. Forte, R., Trentin, C., Tocci, N., Lucia, S., Aydin, M., & Di Russo, F. (2023). Motor - cognitive exercise with variability of practice and feedback improves functional ability and cognition in older individuals. *Aging clinical and experimental research* , 35(11), 2797 –2806. -023-02568 -8
97. Foy, H. J., Runham, P., & Chapman, P. (2016). Prefrontal Cortex Activation and Young Driver Behaviour: A fNIRS Study. *PLOS ONE*. Fózér -Selmecei, B., Kocsis,

- I. E., Kiss, Z., Csáki, I., & Tóth, L. (2019). The effects of computerized cognitive training on football academy players' performance. *Cognition, Brain, Behavior: An Interdisciplinary Journal*, 23 (3), 209 – 228.
98. Brain, Behavior: An Interdisciplinary Journal, 23 (3), 209 – 228.
99. Fragala, M. S., Beyer, K. S., Jajtner, A. R., Townsend, J. R., Pruna, G. J., Boone, C. H.,
100. Bohner, J. D., Fukuda, D. H., Stout, J. R., & Hoffman, J. R. (2014). Resistance exercise 132 may improve spatial awareness and visual reaction in older adults. *Journal of strength and conditioning research* , 28(8), 2079 –2087.
101. Frey, M A.B., & Kenney, R A (1979). Cardiac response to whole -body heating. *Aviat., Space Environ. Med.; (United States)* , 50.
102. Freydier, C., Paxion, J., Berthelon, C., & Bastien -Toniazzo, M. (2013). Divided -attention task on driving simulator: comparison among three groups of drivers.
103. Friebe, D., Banzer, W., Giesche, F., Haser, C., Hülsdünker, T., Pfab, F., Rußmann, F.,
104. Sieland, J., Spataro, F., & Vogt, L. (2024). Effects of 6 -week motor -cognitive agility training on football test performance in adult amateur players – A three -armed randomized controlled trial. *Journal of Sports Science and Medicine*, 23 , 276 –288.
105. Fuller, C. W., Bahr, R., Dick, R. W., & Meeuwisse, W. H. (2007). A framework for recording recurrences, reinjuries, and exacerbations in injury surveillance. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine* , 17(3), 197 –200.
106. Fuller, R. (2005). Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, 37 (3), 461 –472.
107. Prevention, 37 (3), 461 –472.
108. Furley, P. A., & Memmert, D. (2010). The role of working memory in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology* , 3(2), 171 –194.
109. Gates, N. J., Rutjes, A. W., Di Nisio, M., Karim, S., Chong, L. Y., March, E., Martínez, G., & Vernooij, R. W. (2019). Computerised cognitive training for maintaining cognitive function in cognitively healthy people in late life. *The Cochrane database of s ystematic reviews*, 3(3), CD012277.

110. Genoese, F., Baez, S. E., Heebner, N., Hoch, M. C., & Hoch, J. M. (2020). The Relationship Between Injury -Related Fear and Visuomotor Reaction Time in Individuals With a History of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of sport rehabilitation* , 30(3), 353 –359. -0511
111. Gevensleben, H., Albrecht, B., Lütcke, H., Auer, T., Dewiputri, W. I., Schweizer, R.,
112. Moll, G., Heinrich, H., & Rothenberger, A. (2014). Neurofeedback of slow cortical potentials: neural mechanisms and feasibility of a placebo -controlled design in healthy 133 adults. *Frontiers in human neuroscience* , 8, 990.
113. Ghasemzadeh, A., & Saadat, M. (2023). Cognitive Mastery in Sports: Exploring Cognitive Psychology’s Influence.
114. Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15 (1), 1 –38. - 0285(83)90002 -6
115. Graessel, E., Jank, M., Scheerbaum, P., Röder, J., Pelizäus -Hoffmeister, H., Schäfer, L.,
116. Bihlmaier, I., Kornhuber, J., & Luttenberger, K. (2024). Individualised computerised cognitive training (iCCT) for community -dwelling people with mild cognitive impairment (MCI): Results on cognition in the 6 -month intervention period of a randomised controlled trial (MCI -CCT study). *BMC Medicine*, 22, 472. -024-03647 -x
117. Grégoire, S., Rivalan, M., Le Moine, C., & Dellu -Hagedorn, F. (2012). The synergy of working memory and inhibitory control: behavioral, pharmacological and neural functional evidences. *Neurobiology of learning and memory* , 97(2), 202 –212.
118. Grooms, D. R., Diekfuss, J. A., Criss, C. R., Anand, M., Slutsky -Ganesh, A. B., DiCesare, C. A., & Myer, G. D. (2022). Preliminary brain -behavioral neural correlates of anterior cruciate ligament injury risk landing biomechanics using a novel bilateral leg press neuroimaging paradigm. *PloS one* , 17(8), e0272578.
119. Grundler, W., & Strasburger, H. (2020). Visual attention outperforms visual -perceptual parameters required by law as an indicator of on -road driving performance. *PloS one*, 15(8), e0236147.

120. Guerrier, J. H., Manivannan, P., & Nair, S. N. (1999). The role of working memory, field dependence, visual search, and reaction time in the left turn performance of older female drivers. *Applied Ergonomics*, 30 (2), 109 –119. - 6870(98)00017 -9
121. Guinosso, S. A., Johnson, S. B., Schultheis, M. T., Graefe, A. C., & Bishai, D. M. (2016). Neurocognitive Correlates of Young Drivers' Performance in a Driving Simulator. *The 134 Journal of adolescent health : official publication of the Society for Adolescent Medicine* , 58(4), 467 –473.
122. Gwin, K. K., Wallingford, K. M., Morata, T. C., Van Campen, L. E., Dallaire, J., &
123. Alvarez, F. J. (2005). Ototoxic occupational exposures for a stock car racing team: II. chemical surveys. *Journal of occupational and environmental hygiene* , 2(8), 406 –413.
124. Hadley, M., Milner, B., & Harvey, R. (2006). Noise reduction for driver -to-pit-crew communication in motor racing. In *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2006)*, Volume 1 , I-I.
125. Haenggi, D., & Perfetti, C. A. (1992). Individual differences in reprocessing of text. *Journal of Educational Psychology*, 84 (2), 182 –192. - 0663.84.2.182
126. Hahn, B. H., & Valentine, D. T. (2017). Introduction to numerical methods. In B. H. Hahn & D. T. Valentine (Eds.), *Essential MATLAB for Engineers and Scientists* (6th ed., pp. 295–323). Academic Press. -0-08-100877 -5.00016 -5
127. Halpin, T. A., & Wagner, G. (2003). Modeling reactive behavior in ORM. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Conceptual Modeling (ER 2003)* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2814, pp. 466 –479). Springer. - 3- 540-39648 -2\_45
128. Hamacher, D., Brennicke, M., Behrendt, T., & Müller, H. (2017). Motor -cognitive dual - tasking under hypoxia. *Experimental Brain Research*, 235 (10), 2997 –3001. -017-5036 -y
129. Hammond, D. C. (2011). What is Neurofeedback: An Update. *Journal of Neurotherapy*, 15(4), 305 –336.
130. Hamoongard, M., Hadadnezhad, M., & Abbasi, A. (2022). Effect of combining eight weeks of neuromuscular training with dual cognitive tasks on landing

- mechanics in futsal players with knee ligament dominance defect: a randomized controlled trial. *BMC sports science, medicine & rehabilitation* , 14(1), 196. -022-00593 -0
131. Harding, R. M. (1987). Respiratory responses during high performance flight .
  132. Hampshire, United Kingdom: Advisory Group for Aerospace Research & Development. 135 Harris, D. J., Wilson, M. R., & Vine, S. J. (2018). A systematic review of commercial cognitive training devices: Implications for use in Sport. *Frontiers in Psychology*, 9, 709. 2018.00709
  133. Haynes, R., & Robeers, T. (2020). The Need for Speed? A Historical Analysis of The BBC's Post -War Broadcasting of Motorsport. *Historical Journal of Film, Radio and Television*, 40, 407 - 423.
  134. Heilmann, F., Weinberg, H., & Wollny, R. (2022). The Impact of Practicing Open - vs. Closed -Skill Sports on Executive Functions —A Meta -Analytic and Systematic Review with a Focus on Characteristics of Sports. *Brain Sciences*, 12(8), 1071. 3390/brainsci12081071
  136. Heilmann, F., Graf, M., Betz, J., & Lienkamp, M. (2020). Application of Monte Carlo methods to consider probabilistic effects in a race simulation for circuit motorsport. *Applied Sciences*, 10(12), 4229. Henderson JMThe psychophysiology of the racing driver *British Journal of Sports Medicine* 1968;3:41 -45.
  137. Herold, F., Hamacher, D., Schega, L., & Müller, N. G. (2018). Thinking While Moving or Moving While Thinking - Concepts of Motor -Cognitive Training for Cognitive Performance Enhancement. *Frontiers in aging neuroscience* , 10, 228.
  138. Hinzpeter, A., Sermet -Gaudelus, I., & Sheppard, D. N. (2020). Suppressing 'nonsense' in cystic fibrosis. *The Journal of physiology* , 598(3), 429 –430.
  139. Hirano, D., Kimura, N., Yano, H., Enoki, M., Aikawa, M., Goto, Y., & Taniguchi, T. (2022). Different brain activation patterns in the prefrontal area between self - paced and high-speed driving tasks. *Journal of Biophotonics*.
  140. Hird, M. A., Churchill, N. W., Fischer, C. E., Naglie, G., Graham, S. J., & Schweizer, T. A. (2018). Altered Functional Brain Connectivity in Mild Cognitive Impairment during a Cognitively Complex Car Following Task. *Geriatrics (Basel, Switzerland)* , 3(2), 20.

141. Hojka, V., Stastny, P., Rehak, T., Gołas, A., Mostowik, A., Zawart, M., & Musálek, M. (2016). A systematic review of the main factors that determine agility in sport using 136 structural equation modeling. *Journal of human kinetics* , 52, 115 –123. -2015 -0199
142. Holden J. D. (2001). Hawthorne effects and research into professional practice. *Journal of evaluation in clinical practice* , 7(1), 65 –70. - 2753.2001.00280.x
143. Homack, S., & Riccio, C. A. (2006). Conners' Continuous Performance Test (2nd ed.; CCPT -II). *Journal of Attention Disorders*, 9(3), 556 –558.
144. Horváth, D., Négyesi, J., Győri, T., Szűcs, B., Tóth, P. J., Matics, Z., Ökrös, C., Sáfár, S.,
145. Szabó, N., Takács, B., Kathy, R., Tóth, K., Ferguson, D. P., Nagatomi, R., & Rácz, L. (2022). Application of a Reactive Agility Training Program Using Light -Base d Stimuli to Enhance the Physical and Cognitive Performance of Car Racing Drivers: A Randomized Controlled Trial. *Sports medicine - open* , 8(1), 113. -022-00509 -9
146. Howe, O. R. (2022). Hitting the barriers – Women in Formula 1 and W series racing. *European Journal of Women's Studies*, 29(3), 454 -469.
147. Huang, L., Mo, L., & Li, Y. (2012). Measuring the interrelations among multiple paradigms of visual attention: an individual differences approach. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* , 38(2), 414 –428.
148. Huebner, A., Martinez, A., Cao, W. & Cho, H., (2017) “Exploration of Female Auto - racing Athletes' Satisfaction with Current Suits”, *International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings* 74(1).
149. Huffman, S., Crundall, D., Smith, H., & Mackenzie, A. (2022). Situation awareness in sports: A scoping review. *Psychology of Sport and Exercise*, 59, 102132.
150. Hunt, A. P., Buller, M. J., Maley, M. J., Costello, J. T., & Stewart, I. B. (2019). Validity of a noninvasive estimation of deep body temperature when wearing personal protective equipment during exercise and recovery. *Military Medical Research*, 6(1), 20. -019-0208 -7 137 Ibrahim, A. M., Chauhan, L., Bhardwaj, A., Sharma, A., Fayaz, F., Kumar, B., Alhashmi, M., AlHajri, N., Alam, M. S., & Pottoo, F. H. (2022). Brain -Derived Neurotropic Factor in Neurodegenerative Disorders. *Biomedicines* , 10(5), 1143.

151. Iqbal, T., Rack, S., & Riek, L. D. (2016). Movement coordination in human –robot teams: A dynamical systems approach. *IEEE Transactions on Robotics*, 32 (4), 909 –919.
152. Issurin V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* , 40(3), 189 –206. -000000000 -00000
153. Jacobs, P. L., & Olvey, S. E. (2000). Metabolic and heart rate responses to open -wheel automobile road racing: A single -subject study. *The Journal of Strength and Conditioning Research* , 14(2), 165 –171. -200005000 -00007
154. Jacobs, P. L., Olvey, S. E., Johnson, B. M., & Cohn, K. (2002). Physiological responses to high -speed, open -wheel racecar driving. *Medicine and science in sports and exercise* , 34(12), 2085 –2090. -200212000 -00033
155. Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2010). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (19), 6829 –6833.
157. Jafari, M. J., Khosrowabadi, R., Khodakarim, S., & Mohammadian, F. (2019). The Effect of Noise Exposure on Cognitive Performance and Brain Activity Patterns. *Open access Macedonian journal of medical sciences* , 7(17), 2924 –2931. Jareño, A., de la Serna, J. L., Cercas, A., Lobato, A., & Uyá, A. (1987). Heat stroke in motor car racing drivers. *British journal of sports medicine*, 21(1), 48.
158. Jenkins, M., Pasternak, K., & West, R. (2009). *Performance at the limit. Business lessons from Formula 1 Motor Racing.* Cambridge University Press.
159. Jha, R. K., Thapa, S., Kasti, R., & Nepal, O. (2020). Influence of Body Mass Index, Handedness and Gender on Ruler Drop Method Reaction Time among Adults. *Journal of 138 Nepal Health Research Council* , 18(1), 108 –111.
160. Jin, Y., O'Halloran, J. P., Plon, L., Sandman, C. A., & Potkin, S. G. (2006). Alpha EEG predicts visual reaction time. *The International journal of neuroscience* , 116(9), 1035 – 1044.
161. Johansson, H., Folkerts, A. K., Hammarström, I., Kalbe, E., & Leavy, B. (2023). Effects of motor -cognitive training on dual -task performance in people with

- Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Journal of neurology*, 270(6), 2890–2907. -023-11610 -8
162. Jones, C. M., & Miles, T. R. (1978). Use of advance cues in predicting the flight of a lawn tennis ball. *Journal of Human Movement Studies*, 4 (4), 231–235.
  163. Ju, U., Kang, J., & Wallraven, C. (2019). To brake or not to brake? Personality traits predict decision-making in an accident situation. *Frontiers in Psychology*, 10, 134.
  164. Jung, J., Kim, Y. -S., & Lee, S. (2021). The motor-cognitive training on cognition and physical performance in older adults with mild cognitive impairment: A literature review. *Physical Therapy Rehabilitation Science*, 10 (4), 493–502.
  165. Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
  166. Karbach, J., & Schubert, T. (2013). Training-induced cognitive and neural plasticity. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 48.
  167. Kardous, C., & Morata, T. C. (2010). Occupational and recreational noise exposures at stock car racing circuits: An exploratory survey of three professional race tracks. *Noise Control Engineering Journal*, 58(1), 54–61. Katanić, B., Ilić, P., Stojmenović, A., & Vitasović, M. (2020). The application of Fitlight trainer system in sports. *Fizicka kultura*.
  168. Katsis, C. D., Katertsidis, N., Ganiatsas, G., & Fotiadis, D. I. (2008). Toward emotion recognition in car-racing drivers: A biosignal processing approach. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 38 (3), 502–512. 139 Katwala, A. (2016). *The athletic brain: How neuroscience is revolutionising sport and can help you perform better*. New York, NY: Simon & Schuster.
  169. Kenefick, R., Cheuvront, S. N., Montain, S., Carter, R., Sawka, M. N., Gonzalez, R. R.,
  170. Ely, B. R., Moran, D. S., Hadid, A., & Endrusick, T. L. (2006). Physiological systems and their responses to conditions of heat and cold. *Proceedings of the [Conference Name]*. Retrieved from Kerr D, Ross W. Body mass fractionation: a new method for use in clinical nutrition and sports medicine. *Apunts*. 1991;18.
  171. Kessels, R. P. C., van Zandvoort, M. J. E., Postma, A., Kappelle, L. J., & de Haan, E. H. F. (2000). The Corsi Block-Tapping Task: Standardization and normative data. *Applied*

172. *Neuropsychology*, 7 (4), 252 –258.
173. Klarica A. J. (2001). Performance in motor sports. *British journal of sports medicine* , 35(5), 290 –291.
174. Klein, H. A., Vincent, E. J., & Isaacson, J. J. (1998). From managing the car to managing the road: The development of driving skills. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 42 (17), 1271 –1275.
175. Kleinknecht, K. R., Bierend, M., Keim, L. M., Bartels, F., Lampit, A., & Finke, C. (2024). Computerized cognitive training improves cognitive function in primary breast cancer survivors. *NPJ breast cancer* , 10(1), 85. -024-00694 -8
176. Klingberg T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in cognitive sciences* , 14(7), 317 –324.
177. Kochanek, J., Davis, M., Erickson, K., & Ferguson, D. (2021). More than “just a driver”: A study of professional women racecar drivers' agency in motorsport. *Psychology of Sport and Exercise*, 52, 101838.
178. Kosinski, R. J. (2008). A literature review on reaction time. Clemson University . Retrieved from Kosslyn SM. *Image and mind*. Harvard University Press; 1980.
179. Koutras, C., Buecking, B., Jaeger, M., Ruchholtz, S., & Heep, H. (2014). Musculoskeletal injuries in auto racing: a retrospective study of 137 drivers. *The Physician and sportsmedicine*, 42(4), 80 –86. 140 Krasich, K., Ramger, B., Holton, L., Wang, L., Mitroff, S. R., & Gregory Appelbaum, L. (2016). Sensorimotor learning in a computerized athletic training battery. *Journal of Motor Behavior*, 48 (5), 401 –412.
180. Lai, J., Zhang, Z. G., Ni, G., & Luo, Y. (2024). The influence of open -skill and closed - skill sports on executive functions: a systematic review. *British Journal of Hospital*
181. *Medicine*, 1 –16.
182. Lappi O. (2015). The Racer's Brain - How Domain Expertise is Reflected in the Neural Substrates of Driving. *Frontiers in human neuroscience* , 9, 635.
183. Lappi O. (2022). Gaze Strategies in Driving -An Ecological Approach. *Frontiers in psychology* , 13, 821440.

184. Lauenroth, A., Ioannidis, A. E., & Teichmann, B. (2016). Influence of combined physical and cognitive training on cognition: a systematic review. *BMC geriatrics* , 16, 141. -016-0315 -1
185. Lavsi, S. (2023). The Health Effects of Motorsports on Racing Car Drivers: A Review. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR -JDMS)*, 22(3), 31 – 38. [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org)
186. Lavsi, S. (2023). The health effects of motorsports on racing car drivers: A review. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR -JDMS)*, 22 (3), 31 –38. - 2203143138
187. Ledreux, A., Håkansson, K., Carlsson, R., Kidane, M., Columbo, L., Terjestam, Y., Ryan, E., Tusch, E., Winblad, B., Daffner, K., Granholm, A. C., & Mohammed, A. K. H. (2019). Differential Effects of Physical Exercise, Cognitive Training, and Mindfulness Practice on Serum BDNF Levels in Healthy Older Adults: A Randomized Controlled Intervention Study. *Journal of Alzheimer's disease : JAD* , 71(4), 1245 –1261. -190756
188. Lee, C. S., Aly, M., & Baldassano, C. (2021). Anticipation of temporally structured events in the brain. *eLife*, 10, e64972.
189. Lee, R. C., Wang, Z., Heo, M., Ross, R., Janssen, I., & Heymsfield, S. B. (2000). Total - body skeletal muscle mass: development and cross -validation of anthropometric prediction models. *The American journal of clinical nutrition* , 72(3), 796 –803.
- 141 Lemonnier, S., Désiré, L., Brémond, R., & Baccino, T. (2020). Drivers' visual attention: A field study at intersections. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 69 , 206 –221.
190. Lennemann, L. M., Sidrow, K. M., Johnson, E. M., Harrison, C. R., Vojta, C. N., &
191. Walker, T. B. (2013). The influence of agility training on physiological and cognitive performance. *Journal of strength and conditioning research* , 27(12), 3300 –3309.
192. Levak, K., Horvat, M., & Domitrovic, H. (2008). Effects of noise on humans. 2008 50th International Symposium ELMAR, 1, 333 -336.

194. Li, S., Guo, M., Wang, L., Chai, M., Chen, F., & Wei, Y. (2017). Analysis on the correlation degree between the driver's reaction ability and physiological parameters. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017 , Article ID 5215874.
195. Lightfoot, J. T., Febles, S., & Fortney, S. M. (1989). Adaptation to repeated presyncopal lower body negative pressure exposures. *Aviation, space, and environmental medicine* , 60(1), 17 –22.
196. Lighthall, J. W., Pierce, J., & Olvey, S. E. (1994). A physical profile of high performance race car drivers. In Society of Automobile Engineers (Ed.), *Vehicle design issues: Motorsports engineering conference proceedings* (Vol. 1, pp. 55 – 63). Dearborn: Society of Automotive Engineers.
197. Lindemann, J., & Brusis, T. (1985). Gibt es ein Lärmschwerhörigkeitsrisiko beim Führen von Kraftfahrzeugen und im Automobilrennsport? [Is there a risk of noise - induced hearing loss in automobile drivers and in automobile sport racing?]. *Laryngologie, Rhinologie, Otologie* , 64(9), 476 –480.
198. Rhinologie, Otologie , 64(9), 476 –480.
199. Liu, X., & Fotouhi, A. (2020). Formula -E race strategy development using artificial neural networks and Monte Carlo tree search. *Neural Computing and Applications*, 32 (4), 1045 –1055. -020-04871 -1
200. Lo, Y. H., Chiu, A., & Tseng, P. (2023). Driving Frequency Modulates Correlations Between Executive Functions and Driving Performance: A Driving Simulator Study. *Perceptual and motor skills* , 130(6), 2410 –2429. 142 Lockie, R. G., Jeffriess, M. D., McGann, T. S., Callaghan, S. J., & Schultz, A. B. (2014). Planned and reactive agility performance in semiprofessional and amateur basketball players. *International journal of sports physiology and performance* , 9(5), 766 – 771. -0324
201. Logan, G. D., Cowan, W. B., & Davis, K. A. (1984). On the ability to inhibit simple and choice reaction time responses: A model and a method. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10 (2), 276 –291. -1523.10.2.276
202. Louie, J. F., & Mouloua, M. (2019). Predicting distracted driving: The role of individual differences in working memory. *Applied ergonomics* , 74, 154 –161.
203. Love, J., Selker, R., Marsman, M., Jamil, T., Dropmann, D., Verhagen, J., Ly, A., Gronau, Q. F., Šmíra, M., Epskamp, S., Matzke, D., Wild, A., Knight, P., Rouder,

- J. N., Morey, R. D., & Wagenmakers, E. -J. (2019). JASP: Graphical Statistical Software for Common Statistical Designs. *Journal of Statistical Software* , 88(2), 1 –17.
204. Luce, R. D. (1986). *Response times: Their role in inferring elementary mental organization* . Oxford University Press.
205. Lucia, S., Bianco, V., & Di Russo, F. (2023). Specific effect of a cognitive -motor dual - task training on sport performance and brain processing associated with decision -making in semi -elite basketball players. *Psychology of Sport and Exercise*, 64 , 102302.
206. Maeneja, R., Ferreira, I. S., & Abreu, A. M. (2024). Duration and Efficiency of Combined versus Isolated Aerobic Training Interventions in Post -Stroke Cognition: A Systematic Review. *Portuguese journal of public health* , 42(1), 43 – 62.
207. Magara, K., Jansz, J., & Bertolattia, D. (2016). Noise exposure assessment for racing car drivers. *World Safety Journal*, XXV(1), 345.
208. Magrini, A., Cerniglia, A., Lenti, M., & Cattani, L. (2007). Noise evaluation in a racetrack: Measurements, software analyses and need of continuous monitoring. Comparison among the results. 143 Makin A. D. J. (2018). The common rate control account of prediction motion. *Psychonomic bulletin & review* , 25(5), 1784 –1797. -017- 1403 -8
209. Mangine, G. T., Hoffman, J. R., Wells, A. J., Gonzalez, A. M., Rogowski, J. P., &
210. Townsend, J. R. (2014). Visual tracking speed is related to basketballspecific measures of performance in NBA players. *J. Strength Cond. Res.*, 28, 2406 –2414.
211. Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual -cognitive expertise in sport: A meta -analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29 (4), 457 – 478.
212. Mann, D. T., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual -cognitive expertise in sport: A meta -analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29(4), 457 – 478.
213. Martins, W., Fernandes, V., & Conte, M. (2021). Changes in lactacidemia and glycemia of automobilism race car drivers after old stock race category racing (Vol. 72). *Dtsch Z. Sportmed*.

214. Masahiro, Abo., Toyohiro, Hamaguchi. (2024). Effectiveness of a Dual -Task Intervention Involving Exercise and Vocalized Cognitive Tasks. *Journal of Clinical Medicine*, doi: 10.3390/jcm13102962
215. Matlák, J., Tihanyi, J., & Rácz, L. (2016). Relationship Between Reactive Agility and Change of Direction Speed in Amateur Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research* , 30(6), 1547 –1552.
216. Oliver, J. L., & Meyers, R. W. (2009). Reliability and generality of measures of acceleration, planned agility, and reactive agility. *International journal of sports physiology and performance* , 4(3), 345 –354.
217. McKnight, P. J., Bennett, L. A., Malvern, J. J., & Ferguson, D. P. (2019). V`O<sub>2</sub>peak, Body Composition, and Neck Strength of Elite Motor Racing Drivers. *Medicine and science in sports and exercise* , 51(12), 2563 –2569.
218. McMorris, T., & Graydon, J. (2000). The effect of incremental exercise on cognitive performance. *International Journal of Sport Psychology*, 31 , 66-81
219. McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., & Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta - analytical comparison of effects. *Physiology & behavior* , 102(3-4), 421 –428.
220. Melvin, J. W., Begeman, P. C., Faller, R. K., Sicking, D. L., McClellan, S. B., Maynard, E., Donegan, M. W., Mallott, A. M., & Gideon, T. W. (2006). Crash protection of stock car racing drivers --application of biomechanical analysis of Indy car crash resear ch. *Stapp car crash journal*, 50, 415 –428. -22-0016
221. Metaxas, T. I., Koutlianos, N. A., Kouidi, E. J., & Deligiannis, A. P. (2005). Comparative study of field and laboratory tests for the evaluation of aerobic capacity in soccer players. *Journal of strength and conditioning research* , 19(1), 79 –84.
222. Meyerhoff, H. S., Papenmeier, F., & Huff, M. (2017). Studying visual attention using the multiple object tracking paradigm: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79 (5), 1255 –1274. -017-1338 -1
223. Milliken, W.F., & Milliken, D.L. (1994). *Race Car Vehicle Dynamics*.
224. Mirifar, A., Beckmann, J., & Ehrlenspiel, F. (2017). Neurofeedback as supplementary training for optimizing athletes' performance: A systematic review

- with implications for future research. *Neuroscience and biobehavioral reviews* , 75, 419 –432.
226. Montes, S. A., Introzzi, I., Ledesma, R. D., & López, S. S. (2016). Selective attention and error proneness while driving: Research using a conjunctive visual search task. *Our Lady of the Rosary University*, 34(2).
227. Moreau, D., Morrison, A. B., & Conway, A. R. (2015). An ecological approach to cognitive enhancement: complex motor training. *Acta psychologica* , 157, 44 –55.
228. Moreira, P. E. D., Dieguez, G. T. O., Brecht, S., & Praça, G. M. (2021). The acute and chronic effects of dual -task on the motor and cognitive performances in athletes: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 732.
229. Morrison, M., Martin, D. T., Talpey, S., Scanlan, A. T., Delaney, J., Halson, S. L., &
230. Weakley, J. (2022). A Systematic Review on Fitness Testing in Adult Male Basketball 145 Players: Tests Adopted, Characteristics Reported and Recommendations for Practice. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* , 52(7), 1491 – 1532. - 021-01626 -3
231. Mourant, R. R., Tsai, F. -J., Al Shihabi, T. A., & Jaeger, B. K. (2001). Measuring divided - attention capability of young and older drivers. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1779 (1), 35 –40. -06
- Mourão, P. (2017). *The economics of motorsports: The case of Formula One*. Palgrave Macmillan.
232. Mullen, R., Faull, A., Jones, E. S., & Kingston, K. (2012). Attentional focus and performance anxiety: effects on simulated race -driving performance and heart rate variability. *Frontiers in psychology* , 3, 426.
233. Musculus, L., & Raab, M. (2022). A developmental perspective on motor -cognitive interactions and performance in sports. *Psychology of Sport and Exercise*, 61 , 102202.
234. Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Ford, K. R., Best, T. M., Bergeron, M. F., & Hewett, T. E. (2011). When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports -related injuries and enhance health in youth? *Current Sports Medicine Reports*, 10 (3), 155 –166.

235. Nandy, A. S., Nassi, J. J., & Reynolds, J. H. (2016). Laminar organization of attentional modulation in macaque visual area V4. *Neuron*, 91 (5), 961 –973.
236. Negi, N. S., van Leeuwen, P. M., & Happee, R. (2019). Differences in driver behaviour between race and experienced drivers: A driving simulator study. In *Proceedings of the 5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems* (pp. 360 –367).
237. Nevill, A. M., Balmer, N., & Williams, A. M. (2002). The influence of crowd noise and experience upon refereeing decisions in football. *Psychology of Sport and Exercise*, 3 (4), 261–272. -0292(01)00033 -4
238. Nguyen, L., Murphy, K., & Andrews, G. (2019). Cognitive and neural plasticity in old age: A systematic review of evidence from executive functions cognitive training. *Ageing research reviews* , 53, 100912. 146 Nicastrì, C. M., McFeeley, B. M., Simon, S. S., Ledreux, A., Håkansson, K., Granholm, A. C., Mohammed, A. H., & Daffner, K. R. (2022). BDNF mediates improvement in cognitive performance after computerized cognitive training in healthy older adults. *Alzheimer's & dementia (New York, N. Y.)*, 8(1), e12337. O’Kane, P. (2011). A history of the ‘Triple Crown’ of motor racing: The Indianapolis 500, the Le Mans 24 Hours, and the Monaco Grand Prix. In *The history of motor sport* (Vol. 28, pp. 281 –299). Routledge.
239. Ohata, R., Ogawa, K., & Imamizu, H. (2022). Neuroimaging Examination of Driving Mode Switching Corresponding to Changes in the Driving Environment. *Frontiers in Human Neuroscience*.
240. Ong, N. (2017). Reactive stress tolerance in elite athletes: Differences in gender, sport type, and competitive level. *Cognition, Brain, Behavior: An Interdisciplinary Journal*, 21(3), 189 –202.
241. Ong, N. C. H. (2015). The use of the Vienna Test System in sport psychology research: A review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 8 (1), 204 – 223.
242. Ota, H., Chao, M., Gao, Y., Wu, E., Tai, L., Chen, K., Matsuoka, Y., Iwai, K., Fahad, H.,
243. Gao, W., Nyein, H., Lin, L., & Javey, A. (2017). 3D printed “earable” smart devices for real-time detection of core body temperature. *ACS Sensors*, 2 (7), 990 –997.

244. Otte, F. W., Millar, S. K., & Klatt, S. (2021). What do you hear? The effect of stadium noise on football players' passing performances. *European journal of sport science* , 21(7), 1035 –1044.
245. Parsons, B., Magill, T., Boucher, A., Zhang, M., Zogbo, K., Bérubé, S., Scheffer, O.,
246. Beauregard, M., & Faubert, J. (2016). Enhancing Cognitive Function Using Perceptual - Cognitive Training. *Clinical EEG and neuroscience* , 47(1), 37 –47.
247. Pashler, H. (1994). Dual -task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116 (2), 220 –244. -2909.116.2.220
249. Piaget J. The construction of reality in the child. Basic Books, New York, 1954. Quested E, Duda JL. (2010) Exploring the social -environmental determinants as well - and ill - 147 being in dancers: a test of basic needs theory. *Journal of sport and Exercise Psychology*, 32: 39 -60.
250. Pires, L., Martins, S., Lopes, S., et al. (2023). FC22: Changes in inhibitory control in older adults: Diminished inhibitory efficiency or slowing of general processing speed? *International Psychogeriatrics*, 35 (S1), 83 –84.
251. Pojskic, H., Åslin, E., Krolo, A., Jukic, I., Uljevic, O., Spasic, M., & Sekulic, D. (2018). Importance of Reactive Agility and Change of Direction Speed in Differentiating Performance Levels in Junior Soccer Players: Reliability and Validity of Newly Developed Soccer -Specific Tests. *Frontiers in physiology*, 9, 506.
252. Porter, K. H., Ochoa, L., Torp, D. M., & Hoch, M. C. (2024). The effect of a neuromuscular -cognitive training program on postural stability, hop performance, and agility in Division -I Women's Tennis athletes: A pilot study. *Musculoskeletal science & practice* , 74, 103214.
253. Potkanowicz, E. S., & Mendel, R. W. (2013). The case for driver science in motorsport: a review and recommendations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* , 43(7), 565 –574. -013-0040 -2
254. Raichlen, D. A., & Alexander, G. E. (2017). Adaptive Capacity: An Evolutionary Neuroscience Model Linking Exercise, Cognition, and Brain Health. *Trends in neurosciences* , 40(7), 408 –421.

255. Reid M. B. (2022). Redox Implications of Extreme Task Performance: The Case in Driver Athletes. *Cells* , 11(5), 899.
256. Reid, M. B., & Lightfoot, J. T. (2019). The Physiology of Auto Racing. *Medicine and science in sports and exercise* , 51(12), 2548 –2562.
257. Richardson, J. T. E. (2007). Measures of short -term memory: A historical review. *Cortex*, 43(5), 635 –650. -9452(08)70493 -3
258. Riedy, R. and McQuerry, M. (2023). Thermal comfort analysis of auto -racing suits using a dynamic thermal manikin. *Journal of Industrial Textiles*, 53. 148 Robazza, C., & Ruiz, M. C. (2018). Emotional self -regulation in sport and performance. In *Oxford Research Encyclopedia of Psychology*. Oxford University Press.
259. Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). "Oops!": Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, 35 (6), 747 –758. - 3932(97)00015 -8
260. Romeas, T., Guldner, A., and Faubert, J. (2016). 3D -Multiple Object Tracking training task improves passing decision -making accuracy in soccer players. *Psychol. Sport Exerc.* 22, 1 –9.
261. Ros, T., Moseley, M. J., Bloom, P. A., & Manford, M. (2009). Optimizing microsurgical skills with EEG neurofeedback. *BMC Neuroscience*, 10, 87. -2202 -10-87
262. Ross, S. R., Ridinger, L. L., & Cuneen, J. (2009). Drivers to divas: Advertising images of women in motorsport. *International Journal of Sports Marketing and Sponsorship*, 10(3), 204 –214. -10-03-2009 -B003
263. Ross, V., Jongen, E. M., Wang, W., Brijs, T., Brijs, K., Ruiters, R. A., & Wets, G. (2014). Investigating the influence of working memory capacity when driving behavior is combined with cognitive load: An LCT study of young novice drivers. *Accident; analysis and prevention* , 62, 377 –387.
264. Rosvold, H. E., Mirsky, A. F., Sarason, I., Bransome, E. D., & Beck, L. H. (1956). A continuous performance test of brain damage. *Journal of Consulting Psychology*, 20 (5), 343–350.
265. Roswall, N., Ammitzbøll, G., Christensen, J. S., Raaschou -Nielsen, O., Jensen, S. S., Tjønneland, A., & Sørensen, M. (2017). Residential exposure to traffic noise

- and leisure - time sports - A population -based study. *International journal of hygiene and environmental health* , 220(6), 1006 –1013.
266. Ruas, A. C., Maia, P. A., Roscani, R. C., Bitencourt, D. P., & Amorim, F. T. (2020). Heat stress monitoring based on heart rate measurements. *Revista brasileira de medicina do trabalho : publicacao oficial da Associacao Nacional de Medicina do Trabalho - ANAMT* , 18(2), 232 –240. -4435 -2020 -449 149
- Rumbold, J. L., Fletcher, D., & Daniels, K. (2012). A systematic review of stress management interventions with sport performers. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 1 (3), 173 –193.
267. Ruscio, D. (2014). Response time to hazard: The role of attention, decision making, and emotions on expectations in real -life and virtual driving. *Università Cattolica del Sacro Cuore Milano: Ciclo XXVI* . Retrieved from Sañudo, B., Sánchez -Hernández, J., Bernardo -Filho, M., Abdi, E., Taiar, R., & Núñez, J. (2019). Integrative Neuromuscular Training in Young Athletes, Injury Prevention, and Performance Optimization: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 9(18), 3839.
268. Sauce, B., Wass, C., Smith, A., Kwan, S., & Matzel, L. D. (2014). The external - internal loop of interference: two types of attention and their influence on the learning abilities of mice. *Neurobiology of learning and memory* , 116, 181 –192.
269. Scharfen, H. -E., & Memmert, D. (2021). Cognitive training in elite soccer players: Evidence of narrow, but not broad transfer to visual and executive function. *German Journal of Exercise and Sport Research*. -020-00699 -y Schmidt R, Lee T. *Motor Learning and Performance: From Principles to Application*. Human Kinetics, Champaign, 2013: 22 -25.
270. Schuhfried, G. (2009). *Vienna Test System: Psychological assessment*. Moedling: Schuhfried.
271. Schuhfried, G. (2013). *Vienna Test System: Psychological assessment*. Moedling: Schuhfried.
272. Schwaberg G. (1987). Heart rate, metabolic and hormonal responses to maximal psycho -emotional and physical stress in motor car racing drivers. *International archives of occupational and environmental health* , 59(6), 579 –604.
273. Serpell, B. G., Young, W. B., & Ford, M. (2011). Are the perceptual and decision -making components of agility trainable? A preliminary investigation. *Journal of*

- Strength and Conditioning Research, 25(5), 1240 –1248. 150 Shangguan, R., & Che, Y. (2018). The Difference in Perceptual Anticipation Between Professional Tennis Athletes and Second -Grade Athletes Before Batting. *Frontiers in psychology* , 9, 1541.
275. Shatil, E. (2013). Does combined cognitive training and physical activity training enhance cognitive abilities more than either alone? A four -condition randomized controlled trial among healthy older adults. *Front. Aging Neurosci.*, 5.
276. Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: classifications, training and testing. *Journal of sports sciences* , 24(9), 919 –932.
277. Shinozaki, J., Matsumoto, H., Saito, H., Murahara, T., Nagahama, H., Sakurai, Y., &
278. Nagamine, T. (2023). Low blood concentration of alcohol enhances activity related to stopping failure in the right inferior frontal cortex. *bioRxiv*.
279. Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective?. *Psychological bulletin* , 138(4), 628 –654.
280. Sidhu, A., & Cooke, A. (2021). Electroencephalographic neurofeedback training can decrease conscious motor control and increase single and dual -task psychomotor performance. *Experimental Brain Research*, 239 , 301 –313. -020-05935 -3
281. Simon, J. R., & Rudell, A. P. (1967). Auditory S -R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, 51 (3), 300–304.
282. Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Chabris, C. F., Hambrick, D. Z., & Stine -Morrow, E. A. L. (2016). Do “Brain -Training” Programs Work? *Psychological Science in the Public Interest*, 17(3), 103 -186.
283. Skaar, N., Anderson, S., Bateman, K., & Rizzo, M. (2001). Effects of speed of visual processing training upon non -visual attention in "at -risk" older drivers. In *Proceedings of the First International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 306 –307). Aspen, Colo. OCLC Number: 631881925. 151 Slimani, M., Bragazzi, N. L., Tod, D., Dellal, A., Hue, O., Cheour, F., Taylor, L., &

284. Chamari, K. (2016). Do cognitive training strategies improve motor and positive psychological skills development in soccer players? Insights from a systematic review. *Journal of sports sciences* , 34(24), 2338 –2349. Smith C, Grooms DR, Bradley H. Enhancing Return to Alpine Skiing: Integrating Perceptual -Motor -Cognitive Considerations in Testing and Progressions: A Clinical Commentary. *IJSPT* . 2024;19(7):923 -934. doi: 10.26603/ 001c.120285
285. Söderlund, G., Sikström, S., & Smart, A. (2007). Listen to the noise: noise is beneficial for cognitive performance in ADHD. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines* , 48(8), 840 –847. -7610.2007.01749.x
286. Sridhar, N., & Shahin, A. (2014). Effect of mental noise on sports performance. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, 1 , 17–19. Retrieved from Staines WR, Popovich C, Legon JK and Adams MS (2014) Early modality -specific somatosensory cortical regions are modulated by attended visual stimuli: interaction of vision, touch, and behavioral intent. *Front. Psychol.* 5:351. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00351
287. Steff, N., Badau, D., & Badau, A. (2024). Improving Agility and Reactive Agility in Basketball Players U14 and U16 by Implementing Fitlight Technology in the Sports Training Process. *Applied Sciences* , 14(9), 3597.
288. Serman, M. B., & Egner, T. (2006). Foundation and practice of neurofeedback for the treatment of epilepsy. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31 (1), 21 –35. -006-9002 -x
289. Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18 (6), 643 –662.
290. Szalma, J. L., & Hancock, P. A. (2011). Noise effects on human performance: a meta - analytic synthesis. *Psychological bulletin* , 137(4), 682 –707.
291. Taggart, P., & Gibbons, D. (1967). Motor -car driving and the heart rate. *British medical journal* , 1(5537), 411 –412. 152 Tamminen, K. A., & Watson, J. C. (2022). Emotion focused therapy with injured athletes: Conceptualizing injury challenges and working with emotions. *Journal of Applied Sport Psychology* , 34(5), 958 – 982.
292. Tao, S., Deng, Y., & Jiang, Y. (2024). Differential impact of working memory and inhibitory control on distracted driving performance among experienced and

- inexperienced drivers. 2024 12th International Conference on Traffic and Logistic Engineering (ICTLE), 17–22.
293. Teunissen, L. P., Klewer, J., de Haan, A., de Koning, J. J., & Daanen, H. A. (2011). Non - invasive continuous core temperature measurement by zero heat flux. *Physiological measurement* , 32(5), 559 –570. -3334/32/5/005
  294. Theofilou, G., Ladakis, I., Mavroidi, C., Kilintzis, V., Mirachtsis, T., Chouvarda, I., &
  295. Kouidi, E. (2022). The Effects of a Visual Stimuli Training Program on Reaction Time, Cognitive Function, and Fitness in Young Soccer Players. *Sensors (Basel, Switzerland)* , 22(17), 6680.
  296. Thompson, S. (1996). Non -auditory health effects of noise: Updated review. In *Proceedings of INTER -NOISE 1996* .
  297. Torbeyns, T., de Geus, B., Bailey, S., De Pauw, K., Decroix, L., Van Cutsem, J., &
  298. Meeusen, R. (2016). Cycling on a Bike Desk Positively Influences Cognitive Performance. *PloS one* , 11(11), e0165510.
  299. Tornaghi, M., Vandoni, M., Zaccaria, D., D'Antona, G., Codella, R., & Lovecchio, N. (2023). Heart rate profiling in Formula 1 race: A real -time case. *Science & Sports*, 38 (7), 736–740.
  300. Tranter, P. J., & Lowes, M. D. (2005). The place of motorsport in public health: an Australian perspective. *Health & place* , 11(4), 379 –391.
  301. Tresilian J. R. (1995). Perceptual and cognitive processes in time -to-contact estimation: analysis of prediction -motion and relative judgment tasks. *Perception & psychophysics* , 57(2), 231 –245.
  302. Trzesniowski, M. (2021). Einleitung / Introduction. *Intentionen reflexiven Entwerfens*.
  303. Turner, A. P., & Richards, H. (2015). Physiological and selective attention demands during an international rally motor sport event. *BioMed research international* , 2015 , 638659. 153 Turner, A., & Richards, H. (2015). Physiological and selective attention demands during an international rally motor sport event. *BioMed Research International*.
  304. Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, 28 (2), 127–154. - 596X(89)90040 -5

305. Underwood G. (2007). Visual attention and the transition from novice to advanced driver. *Ergonomics* , 50(8), 1235 –1249.
306. Valkanova, V., Eguia Rodriguez, R., & Ebmeier, K. P. (2014). Mind over matter – what do we know about neuroplasticity in adults? *International Psychogeriatrics*, 26 (6), 891 – 909. van de Vegte, Y. J., Tegegne, B. S., Verweij, N., Snieder, H., & van der Harst, P. (2019). Genetics and the heart rate response to exercise. *Cellular and molecular life sciences : CMLS* , 76(12), 2391 –2409. -019-03079 -4 van Dongen, E. V., Kersten, I. H. P., Wagner, I. C., Morris, R. G. M., & Fernández, G. (2016). Physical Exercise Performed Four Hours after Learning Improves Memory Retention and Increases Hippocampal Pattern Similarity during Retrieval. *Current biology : CB* , 26(13), 1722 –1727. van Leeuwen, P. M., de Groot, S., Happee, R., & de Winter, J. C. F. (2017). Differences between racing and non -racing drivers: A simulator study using eye -tracking. *PloS one*, 12(11), e0186871.
307. Vater, C., Gray, R., & Holcombe, A. O. (2021). A critical systematic review of the Neurotracker perceptual -cognitive training tool. *Psychonomic bulletin & review* , 28(5), 1458 –1483. -021-01892 -2
308. Vernon, D., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A., & Gruzelier, J. (2003). The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, 47 (1), 75 –85. -8760(02)00091 -0
309. Vestberg, T., Reinebo, G., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2017). Core executive functions are associated with success in young elite soccer players. *PloS one* , 12(2), e0170845.
310. Voshell, M. (2024) High acceleration and the human body. 154 Voss, M. W., Kramer, A. F., Basak, C., Prakash, R. S., & Roberts, B. (2010). Are expert athletes ‘expert’ in the cognitive laboratory? A meta -analytic review of cognition and sport expertise. *Applied Cognitive Psychology*, 24(6), 812 –826.
311. Walker, S. M., Dawson, B., & Ackland, T. R. (2001). Performance enhancement in rally car drivers via heat acclimation and race simulation. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology* , 128(4), 701 –707. -6433(01)00276 -8

312. Walsh V. (2014). Is sport the brain's biggest challenge?. *Current biology : CB* , 24(18), R859 –R860.
313. Walton, C. C., Keegan, R. J., Martin, M., & Hallock, H. (2018). The Potential Role for Cognitive Training in Sport: More Research Needed. *Frontiers in psychology*, 9, 1121.
314. Wang, K. P., Frank, C., Hung, T. M., & Schack, T. (2022). Neurofeedback training: Decreases in Mu rhythm lead to improved motor performance in complex visuomotor skills. *Current psychology (New Brunswick, N.J.)* , 1–12. Advance online publication. -022-03190 -z
315. Weaver, C. S., Sloan, B. K., Brizendine, E. J., & Bock, H. (2006). An analysis of maximum vehicle G forces and brain injury in motorsports crashes. *Medicine and science in sports and exercise* , 38(2), 246 –249.
316. Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale – Fourth Edition (WAIS - IV)*. Pearson.
317. Wilke, J., & Vogel, O. (2020). Computerized Cognitive Training with Minimal Motor Component Improves Lower Limb Choice -Reaction Time. *Journal of sports science & medicine* , 19(3), 529 –534.
318. Williams, A. M., & Ericsson, K. A. (2005). Perceptual -cognitive expertise in sport: some considerations when applying the expert performance approach. *Human movement science* , 24(3), 283 –307.
319. Williams, A. M., & Ericsson, K. A. (2005). Perceptual -cognitive expertise in sport: Some considerations when applying the expert performance approach. *Human Movement Science*
320. Science, 24 (3), 283 –307. 155 Williams, A. M., Ford, P. R., Eccles, D. W., & Ward, P. (2011). Perceptual -cognitive expertise in sport and its acquisition: Implications for applied cognitive psychology. *Applied Cognitive Psychology*, 25(3), 432 –442.
321. Woodworth, R. S., & Thorndike, E. L. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. (I). *Psychological Review*, 8 (3), 247–261.
322. Yamamoto, S., Iwamoto, M., Inoue, M., & Harada, N. (2007). Evaluation of the effect of heat exposure on the autonomic nervous system by heart rate variability and urinary catecholamines. *Journal of occupational health* , 49(3), 199 –204.

323. Yanagida, R., Takahashi, K., Miura, M., Nomura, M., Ogawa, Y., Aoki, K., & Iwasaki, K. I. (2016). Speed ratio but cabin temperature positively correlated with increased heart rates among professional drivers during car races. *Environmental health and preventive medicine* , 21(6), 439 –445. -016-0544 -0
324. Yarrow, K., Brown, P., & Krakauer, J. W. (2009). Inside the brain of an elite athlete: the neural processes that support high achievement in sports. *Nature reviews. Neuroscience* , 10(8), 585 –596. Yıldırım -Yenier, Z., Vingilis, E., Wiesenthal, D. L., Mann, R. E., & Seeley, J. (2016). Relationships between thrill seeking, speeding attitudes, and driving violations among a sample of motorsports spectators and drivers. *Accident; analysis and prevention* , 86, 16– 22.
325. Zavorsky G. S. (2000). Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* , 29(1), 13 –26. -200029010 -00002
326. Zerbo, S., Bilotta, C., & Perrone, G. (2021). Preventable fatal injury during rally race: a multidisciplinary approach. *Int J Legal Med*, 135, 893 –901. -020-02470 -2
327. Zhang, J., Pang, L., Yang, C., Fan, Y., Zhao, B., & Cao, X. (2024). Experimental evaluation of noise exposure effects on subjective perceptions and cognitive performance.
328. Buildings, 14 (4), 1100. 156 Zimmer H. D. (2008). Visual and spatial working memory: from boxes to networks. *Neuroscience and biobehavioral reviews* , 32(8), 1373 –1395.
329. Ziv, G. (2023). An embodied and ecological approach to skill acquisition in racecar driving. *Frontiers in Sports and Active Living*.

## Köszönetnyilvánítás

Azzal, hogy ezeket a sorokat írom, életem egy periódusa a végéhez közeledik. Ilyenkor fontos, hogy az ember egy kicsit megálljon, behunyja a szemét és elgondolkozzon mi minden történt ez idő alatt és mennyi mindenért hálás lehet az életében.

Eljött ez a pillanat, amikor kifejezhetem hálámat azoknak, akik segítenek utanom, családtagjaimnak, barátaimnak, kollégáimnak.

Szeretném elsőként megköszönni a családomnak, akik támogattak és motiváltak abban, hogy valósítsam meg álmaimat, merjek magasra törni és bízzak magamban. Külön köszönettel tartozom feleségemnek és gyermekeimnek a türelmükért és támogatásukért.

Hálával tartozom tanárainknak, akik kellő igényességgel, kritikus gondolkodással segítettek ahhoz, hogy jobb szakember, de legfőképp jobb ember legyek.

Külön köszönetet szeretnék mondani Dr. Sáfár Sándornak, hogy 2016.11.02 óta mentorál és mindig számíthatok rá.

Köszönettel tartozom Bencze Andrásnak, hogy szakmai tanácsaival és támogatásával segített át a nehezebb időszakokon.

Nem utolsó sorban hálával tartozom a Fit4race vezetőinek és dolgozóinak, a Mindrove-nak, illetve Négyesi Jánosnak, mert nélkülük a kutatások nem jöhettek volna létre.

Végezetül szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Rác Leventének a munkáját és belém helyezett bizalmát, mellyel terelgetett doktoranduszi pályám során. Bízok abban, hogy bármerre is sodorjon minket az élet, a kölcsönös bizalom, a tisztelet és a jó kapcsolat megmarad közöttünk.

## Saját közlemények jegyzéke

Disszertációhoz kapcsolódó közlemények:

Horváth, D., Négyesi, J., Győri, T., Szűcs, B., Tóth, P. J., Matics, Z., ... Rácz, L. (2022). Application of a Reactive Agility Training Program Using Light-Based Stimuli to Enhance the Physical and Cognitive Performance of Car Racing Drivers: A Randomized Controlled Trial. *SPORTS MEDICINE-OPEN*, 8(1). <http://doi.org/10.1186/s40798-022-00509-9>

Horváth, D., Négyesi, J., Rácz, M., Győri, T., Matics, Z., Puskin, A., ... Rácz, L. (2023). Feasibility of a novel neurofeedback system: a parallel randomized single-blinded pilot study. *SCIENTIFIC REPORTS*, 13(1). <http://doi.org/10.1038/s41598-023-44545-1>

Disszertációhoz nem kapcsolódó közlemények:

Fridvalszki, M., Matlák, J., Kovács, B., Petridis, L., Horváth, D., Havanecz, K., ... Rácz, L. (2022). Reliability Study of a Functional Test for the Offensive Agility Performance in Water Polo. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH*, 19(16). <http://doi.org/10.3390/ijerph191610040>

MARCELL, F., JÁNOS, M., BÁLINT, K., TIBOR, H., LEONIDAS, P., DONATELLA, D., ... LEVENTE, R. (2023). Vienna Test System measures failed to predict goal and passing efficiency during international water polo matches in world-class-level youth water polo players. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SPORT PSYCHOLOGY*, 54(5), 389–403. <http://doi.org/10.7352/IJSP.2023.54.389>

Tóth, P. J., Dobos, K., Horváth, D., Győri, T., Havanecz, K., Sáfár, S., & Ökrös, C. (2023). Lokomotív terhelésbeli különbségek a győztes és vesztes mérkőzésszituációk között elit férfi teniszezőknél - pilot study. *MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE*, 24(2(102)), 122–122.

Tóth, P. J., Győri, T., Sáfár, S., Havanecz, K., Horváth, D., & Ökrös, C. (2022). Különböző játéktílussal rendelkező teniszezők mérkőzés statisztikáinak elemzése a

2022-es ausztrál nyílt teniszbajnokság férfi döntősein keresztül. In *Tavaszi Szél 2022 / Spring Wind 2022 Tanulmánykötet III.* (pp. 236–246).

TÓTH, P. J., GYŐRI, T., SÁFÁR, S., HAVANECZ, K., HORVÁTH, D., & ÖKRÖS, C. (2022). Különböző játéktípussal rendelkező teniszezők mérkőzés statisztikáinak elemzése a 2022-es ausztrál nyílt teniszbajnokság férfi döntősein keresztül. In *XXV. Tavasz Szél Konferencia 2022. Absztraktkötet* (pp. 606–607).

## Mellékletek

### 1.Melléklet: Az első kutatás kutatásetikai nyilatkozata



## TESTNEVELÉSI EGYETEM

### Kutatásetikai Bizottság

1123 Budapest, Alkotás u. 44.

Elnök: Dr. habil. Szelid Zsolt, egyetemi docens

Email: keb@tf.hu

## KUTATÁSETIKAI ENGEDÉLY

**Téma:** „Kognitív képességfejlesztés autóversenyzők körében”

**Témavezető:** Dr. Rác Levente, PhD

**Kérelem benyújtója:** Horváth Dávid

### Kutatásetikai vélemény:

A kérelem benyújtói vagy tapasztalt szakemberek, vagy azok felügyelete alatt állnak, a vizsgálati személyek részére készült tájékoztató teljes körű, a vizsgálat kockázatát nem hordoz magában, így a kutatás etikai engedélyezését támogatom.

**Engedélyszám:** TE-KEB/No11/2020

**Záradék:** A vizsgálatok során a hatósági járványügyi intézkedések mindenkor betartása a kutató felelőssége”

Budapest, 2020. június 30.

Dr. habil. Szelid Zsolt  
a KEB elnöke



ISO 9001 minőségirányítási rendszer szerint tanúsítva

## 2. Melléklet: A második kutatás kutatásetikai engedélye



MAGYAR TESTNEVELÉSI  
ÉS SPORTTUDOMÁNYI  
EGYETEM  
BUDAPEST

**Kutatásetikai Bizottság**  
Elnök: Dr. habil. Szelid Zsolt, egyetemi docens  
1123 Budapest, Alkotás u. 42-48.  
keb@tf.hu

### KUTATÁSETIKAI ENGEDÉLY (Research Ethics Certificate)

**Téma:** „Fiatal sportolók kognitív képességfejlesztése neurokognitív állapot felmérő eszközök segítségével”  
(topic of research)

**Témavezető:** Dr. Rácz Levente, PhD  
(research adviser)

**Kérelem benyújtója:** Horváth Dávid  
(submitted by)

#### Kutatásetikai vélemény (Research ethical decision):

A kérelem benyújtói vagy tapasztalt szakemberek, vagy azok felügyelete alatt állnak, a vizsgálati személyek részére készült tájékoztató teljes körű, a vizsgálat kockázatát nem hordoz magában, így a kutatás etikai engedélyezését támogatom.

*(The applicants are either experienced professionals or under their supervision, the information provided to the subjects is complete, the study does not pose any risk, and I support the ethical approval of the research.)*

**Engedélyszám:** TE-KEB/36/2022  
(topic of research)

**Záradék:** A vizsgálatok során a hatósági járványügyi intézkedések mindenkor betartása a kutató felelőssége  
(It is the responsibility of the researcher to comply with the official epidemiological measures during the investigations at all times)

Budapest, 2022. december 06.

Dr. habil. Szelid Zsolt  
a KEB elnök (president)



ISO 9001 minőségirányítási  
rendszer szerint tanúsítva

### 3. Melléklet: Az első kutatás beleegyező nyilatkozata

Tudományos kutatásban vizsgálati személyként történő részvételhez beleegyező nyilatkozat

Kutatási program, vizsgálat neve, azonosítója: Kognitív képességfejlesztés autóversenyzők körében.

Vizsgálatvezető neve: Horváth Dávid

Vizsgálat célja: Agilitás edzésprogram hatékonyságának vizsgálata a kognitív képességek teljesítményére.

Alulírott ..... (vizsgálati személy) kijelentem, hogy a vizsgálat megkezdése előtt a vizsgálatvezető informált a vizsgálat céljáról, a vizsgálat időtartamáról, szerepemről a vizsgálatban, a vizsgálat veszélyeiről. A vizsgálattal kapcsolatos kérdéseimre a vizsgálat megkezdése előtt a vizsgálatvezető válaszolt.

- Elfogadom a vizsgálattal kapcsolatos kellemetlenségeket és tisztában vagyok a vizsgálat veszélyeivel.
- A vizsgálatra önként, saját akaratomból jelentkeztem.
- Elfogadom, hogy a vizsgálat eredményei kutatási célokra felhasználásra kerülnek.
- Hozzájárulok az eredmények felhasználásához, a nevem említése nélkül tudományos folyóiratokban, konferenciákon történő megjelentetéséhez.
- Elfogadom, hogy a vizsgálatban történő részvételemért nem részesülök anyagi ellenszolgáltatásban, anyagi igényeket a vizsgálat után sem támasztok sem a vizsgálatvezetővel, sem az intézménnyel szemben.
- Személyes adatait kódoljuk, személyes adatait a kódszámától függetlenül tároljuk. Az adatait bizalmasan kezeljük, a személyes adataihoz mindenféle külső hozzáférés lehetősége kizárt.
- Amennyiben a vizsgálat során, vagy utólag a vizsgálat hatására sérülés következne be, nem támasztok sem anyagi, sem másfajta követelést sem a vizsgálatvezetővel, sem az intézménnyel szemben.

A vizsgálatban történő részvételtől saját akaratomból bármikor (a vizsgálat közben is) visszaléphetek. Tudomásul veszem, hogy amennyiben a vizsgálatot saját akaratomból megszakítom, személyemet emiatt semmilyen hátrány nem éri.

A Beleegyező nyilatkozat 2 példányban készült.

Dátum: 2020.....

Vizsgálatvezető.....

Vizsgálati személy.....

#### 4. Melléklet: A második kutatás belegező nyilatkozata

Kutatási program, vizsgálat neve, azonosítója: Fialat sportolók kognitív képességfejlesztése neurokognitív állapotfelmérő eszközök segítségével

Vizsgálatvezető neve: Horváth Dávid

Vizsgálat célja: Edzéshatékonyág vizsgálat

Alulírott ..... (vizsgálati személy) kijelentem, hogy a vizsgálat megkezdése előtt a vizsgálatvezető informált a vizsgálat céljáról, a vizsgálat időtartamáról, szerepemről a vizsgálatban, a vizsgálat veszélyeiről. A vizsgálattal kapcsolatos kérdéseimre a vizsgálat megkezdése előtt a vizsgálatvezető válaszolt.

- Elfogadom a vizsgálattal kapcsolatos kellemetlenségeket és tisztában vagyok a vizsgálat veszélyeivel.
- A vizsgálatra önként, saját akaratomból jelentkeztem.
- Elfogadom, hogy a vizsgálat eredményei kutatási célokra felhasználásra kerülnek.
- Hozzájárulok az eredmények felhasználásához, a nevem említése nélkül tudományos folyóiratokban, konferenciákon történő megjelentetéséhez.
- Elfogadom, hogy a vizsgálatban történő részvételemért nem részesülök anyagi ellenszolgáltatásban, anyagi igényeket a vizsgálat után sem támasztok sem a vizsgálatvezetővel, sem az intézménnyel szemben.
- Személyes adatait kódoljuk, személyes adatait a kódszámától függetlenül tároljuk. Az adatait bizalmasan kezeljük, a személyes adataihoz mindenféle külső hozzáférés lehetősége kizárt.
- Amennyiben a vizsgálat során, vagy utólag a vizsgálat hatására sérülés következne be, nem támasztok sem anyagi, sem másfajta követelést sem a vizsgálatvezetővel, sem az intézménnyel szemben.

A vizsgálatban történő részvételtől saját akaratomból bármikor (a vizsgálat közben is) visszaléphetek. Tudomásul veszem, hogy amennyiben a vizsgálatot saját akaratomból megszakítom, személyemet emiatt semmilyen hátrány nem éri.

A Belegező nyilatkozat 2 példányban készült.

Dátum:.....

Vizsgálatvezető.....

Vizsgálati személy.....

5. Melléklet: Az első kutatás kognitív teszt eredményei

	LVT				STROOP											
					Naming						Reading					
	RT (sec)		correct (%)		RT (sec)		incorrect (%)	IF (sec)		RT (sec)		incorrect (%)	IF (sec)			
	BL	Post	BL	Post	BL	Post	BL	Post	BL	Post	BL	Post	BL	Post	BL	Post
<b>EXP 1</b>	5,93	3,79	100,0 0	100,0 0	0,69	0,62	1,56	0,78	0,08	0,01	0,99	0,95	3,91	3,13	0,25	0,25
<b>EXP 2</b>	3,16	2,95	87,50	100,0 0	0,53	0,56	2,34	1,56	0,04	0,05	0,64	0,67	0,78	0,78	0,10	0,11
<b>EXP 3</b>	3,96	3,61	82,50	100,0 0	0,89	0,71	6,25	1,56	0,22	0,06	0,91	0,76	4,69	3,91	0,28	0,20
<b>EXP 4</b>	3,58	3,08	100,0 0	100,0 0	0,71	0,68	5,47	2,34	0,07	0,11	0,77	0,72	3,91	0,00	0,09	0,13
<b>EXP 5</b>	3,17	3,01	95,00	100,0 0	0,70	0,75	9,38	8,59	0,10	0,24	0,67	0,57	4,69	2,34	0,11	0,08
<b>EXP 6</b>	2,92	2,76	100,0 0	100,0 0	0,56	0,55	7,81	3,13	0,03	0,04	0,62	0,61	5,47	3,13	0,04	0,08
<b>EXP 7</b>	3,79	3,60	100,0 0	100,0 0	0,88	0,78	3,91	0,00	0,21	0,19	0,86	0,76	0,00	0,00	0,21	0,18
<b>EXP 8</b>	2,47	2,55	100,0 0	100,0 0	0,81	0,71	5,47	1,56	0,14	0,15	0,71	0,70	2,34	0,78	0,12	0,17
<b>EXP 9</b>	3,09	2,89	100,0 0	100,0 0	0,71	0,74	0,00	0,00	0,10	0,18	0,83	0,72	2,34	1,56	0,21	0,12
<b>EXP 10</b>	6,99	3,45	92,50	100,0 0	1,14	0,69	3,13	1,56	0,16	0,06	1,14	0,72	3,91	0,78	0,01	0,08

<i>EXP 11</i>	3,36	3,30	95,00	100,00	0,66	0,67	3,91	2,34	0,05	0,01	0,69	0,75	0,00	0,00	0,10	0,08
<i>EXP 12</i>	3,51	3,30	97,50	100,00	0,97	0,77	5,47	3,13	0,35	0,13	0,89	0,76	3,13	1,56	0,27	0,06
<i>CON 1</i>	3,40	3,33	100,00	100,00	0,85	0,86	4,69	5,47	0,11	0,24	0,84	0,85	8,59	8,59	0,16	0,25
<i>CON 2</i>	3,43	3,40	95,00	97,50	0,74	0,77	3,91	3,91	0,05	0,22	0,79	0,79	3,13	3,91	0,13	0,22
<i>CON 3</i>	3,09	3,18	100,00	100,00	0,74	0,82	1,56	1,56	0,07	0,20	0,76	0,81	0,78	1,56	0,07	0,15
<i>CON 4</i>	3,71	3,69	95,00	97,50	0,83	0,86	1,56	3,13	0,07	0,23	0,86	0,90	4,69	4,69	0,09	0,31
<i>CON 5</i>	5,09	4,45	97,50	97,50	0,56	0,66	2,34	3,13	0,06	0,14	0,72	0,76	4,69	3,91	0,18	0,23
<i>CON 6</i>	4,14	3,99	100,00	100,00	0,69	0,63	1,56	7,03	0,12	0,02	0,70	0,62	1,56	2,34	0,08	0,04
<i>CON 7</i>	4,45	4,38	97,50	95,00	0,66	0,61	3,13	3,13	0,09	0,10	0,76	0,78	3,91	3,13	0,18	0,28
<i>CON 8</i>	3,33	3,41	95,00	97,50	0,60	0,74	5,47	4,69	0,09	0,02	0,61	0,77	1,56	3,13	0,10	0,03
<i>CON 9</i>	3,88	3,92	97,50	97,50	0,88	0,89	5,47	0,78	0,23	0,17	0,81	1,04	1,56	3,91	0,16	0,29
<i>CON 10</i>	3,62	4,14	100,00	100,00	0,62	0,65	0,00	0,78	0,02	0,05	0,77	0,70	4,69	0,78	0,18	0,08
<i>CON 11</i>	3,28	3,99	95,00	95,00	0,67	0,80	1,56	6,25	0,10	0,02	0,88	0,87	2,34	1,56	0,24	0,13
<i>CON 12</i>	4,13	3,77	85,00	90,00	0,77	0,85	1,56	0,00	0,16	0,12	0,69	1,10	0,00	1,56	0,08	0,57

	<b>VISGED</b>	<b>ZBA</b>	<b>DT</b>
--	---------------	------------	-----------

	<b>VMP (score)</b>		<b>TA (sec)</b>		<b>MDD (pixels)</b>		<b>correct (score)</b>		<b>incorrect (score)</b>		<b>omitted (score)</b>	
	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Pos t</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>
<b>EXP 1</b>	3,15	4,51	1,3 9	1,5 0	48	68	250	264	15	14	27	9
<b>EXP 2</b>	4,11	3,15	2,0 9	0,8 0	32	67	302	315	39	25	23	13
<b>EXP 3</b>	1,68	2,92	0,8 6	0,3 9	148	107	230	243	52	38	26	22
<b>EXP 4</b>	0,84	2,72	0,5 1	0,7 7	60	85	217	268	4	16	26	36
<b>EXP 5</b>	3,80	2,16	0,6 0	0,6 6	77	80	258	264	47	39	20	18
<b>EXP 6</b>	2,80	3,04	0,5 2	1,0 0	60	62	317	372	48	16	27	8
<b>EXP 7</b>	3,13	2,84	1,1 0	2,6 4	133	101	263	256	26	26	17	24
<b>EXP 8</b>	2,37	4,50	1,5 8	1,3 1	35	23	279	295	34	32	15	19
<b>EXP 9</b>	2,50	1,77	1,4 0	0,7 8	77	56	285	294	14	21	16	8
<b>EXP 10</b>	2,46	2,66	0,8 9	1,5 9	84	59	258	302	43	25	15	11
<b>EXP 11</b>	0,67	2,94	1,2 1	2,0 3	76	92	315	315	22	15	8	5

<b>EXP 12</b>	2,03	3,25	0,6 2	0,5 7	81	66	234	277	29	15	24	13
<b>CON 1</b>	-2,15	-2,22	0,5 1	0,5 6	56	61	227	220	43	48	14	10
<b>CON 2</b>	2,52	2,72	0,6 4	0,7 2	45	46	236	230	21	28	19	22
<b>CON 3</b>	-0,75	-1,32	0,3 9	0,5 2	77	80	271	270	14	16	11	15
<b>CON 4</b>	0,97	1,23	1,3 9	1,5 2	87	85	169	172	28	30	27	28
<b>CON 5</b>	2,39	1,77	0,4 1	0,5 8	112	104	320	318	18	22	23	25
<b>CON 6</b>	4,64	4,51	1,3 6	1,4 7	50	53	300	299	17	22	9	11
<b>CON 7</b>	1,77	1,58	1,7 9	1,5 9	72	77	295	280	5	6	4	6
<b>CON 8</b>	3,16	2,99	0,8 2	0,9 4	68	66	321	315	49	44	10	16
<b>CON 9</b>	2,72	2,40	1,2 8	1,3 8	49	53	227	222	32	36	27	28
<b>CON 10</b>	3,74	4,64	1,4 3	1,4 6	78	79	312	300	17	17	11	9
<b>CON 11</b>	2,86	1,91	0,8 6	1,0 9	83	80	224	220	26	28	23	26
<b>CON 12</b>	1,19	1,93	1,4 9	1,5 1	89	85	281	270	12	18	8	10

6. Melléklet: Az első kutatás antropometriai méréseinek eredményei

	<i>TTM (kg)</i>		<i>TM (cm)</i>		<i>TTM (kg)</i>		<i>T (%)</i>		<i>EBW (kg)</i>		<i>EBW (%)</i>		<i>TZS (%)</i>	
	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>
<b>EXP 1</b>	68,7	66,6	179,9	180	33,39	31,2	48,6	46,8 4	0,00	0,00	0,00	0,00	11,0 1	8,88
<b>EXP 2</b>	74,7	72,5	178,7	178,4	33,84	34,34	45,3	47,3 6	0,00	0,00	0,00	0,00	12,8 3	10,6 1
<b>EXP 3</b>	63,6	62,8	177,5	177,3	28,35	28,35	44,57	45,1 4	1,36	0,00	2,13	0,00	12,1 3	8,88
<b>EXP 4</b>	67,1	66,2	173,4	173,5	31,02	31,2	46,23	46,8 4	1,90	0,00	2,83	0,00	12,8 3	8,88
<b>EXP 5</b>	85,3	77,7	175,3	175,5	37,37	35,72	43,82	45,9 8	8,55	5,11	10,0 3	6,57	22,0 3	17,5 7
<b>EXP 6</b>	93	91,8	197	197	39,13	35,68	46,3	41,7 7	4,41	2,60	5,22	3,70	24,4 0	17,7 0
<b>EXP 7</b>	86,6	84,5	189,2	189,2	39	39,13	45,03	46,3 0	8,41	4,41	9,71	5,22	19,7 1	17,2 2
<b>EXP 8</b>	74,3	73,1	178	178	32,28	32,32	43,44	44,2 1	3,24	2,50	4,35	3,42	16,3 5	14,4 0
<b>EXP 9</b>	89,9	85,4	181	181,2	34,51	35,68	38,39	41,7 7	13,83	11,4 4	15,3 8	13,4 0	27,3 8	24,4 0
<b>EXP 10</b>	78,9	78,3	187	188	35,44	35,75	44,92	45,6 6	5,41	1,42	6,86	1,81	16,8 6	13,8 1
<b>EXP 11</b>	97	95,3	187,7	187,3	36,51	38,42	37,64	40,3 1	14,50	11,6 8	14,9 5	12,2 6	26,9 5	24,2 6
<b>EXP 12</b>	72,1	72,1	172,1	172,2	30,68	31,8	42,56	44,1 0	7,09	5,07	9,83	7,03	20,8 3	18,0 3

<b>CON 1</b>	88,8	90,1	189,2	189,2	42	41,6	47,29	46,1 7	0,00	0,80	0,00	0,00	10,8 1	11,2 0
<b>CON 2</b>	75,3	76	160	160	35,32	35,1	46,2	46,1 8	9,06	9,70	12,0 3	12,2 3	22,0 3	22,1 3
<b>CON 3</b>	89,6	90,1	180,6	180,6	40,33	40,28	46,8	44,7 1	7,42	7,42	8,28	8,28	20,2 8	22,1 0
<b>CON 4</b>	97,7	98	188,7	188,7	42,18	42,18	43,17	43,2 2	9,29	9,29	9,51	9,51	22,5 1	22,5 1
<b>CON 5</b>	73,7	74,2	188,7	188,7	38,52	38,52	52,27	51,9 1	0,00	0,00	0,00	0,00	11,0 1	11,0 1
<b>CON 6</b>	65,3	66,1	176,9	176,9	32,01	32,01	49,03	48,4 3	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	8,40
<b>CON 7</b>	75,5	75,3	176,4	176,4	35,34	35,34	46,81	46,9 3	0,00	0,00	0,00	0,00	11,7 7	11,7 7
<b>CON 8</b>	72,76	75,46	175,6 6	177,3 2	33,12	33,27 2	45,96	44,2 8	2,66	2,59	3,64	3,50	14,8 8	14,9 4
<b>CON 9</b>	78,6	78,4	184,1	184,1	36,24	36,24	48,1	46,2 2	1,78	1,78	2,27	2,27	14,2 7	14,2 7
<b>CON 10</b>	72,2	73	165	165	29,71	29,71	41,16	40,7 0	9,87	9,87	13,6 8	13,6 8	25,6 8	25,6 8
<b>CON 11</b>	71,2	72,2	176,2	175,9	32,72	32,3	45,95	44,7 4	0,00	1,64	0,00	2,27	13,4 9	14,2 7
<b>CON 12</b>	84,5	87	184,2	184,9	33,06	39,16	39,4	45,0 1	1,32	2,11	1,57	2,42	14,5 7	15,4 2

7. Melléklet: Az első kutatás spiroergometriai teszt eredményei

	<b>HR (max)</b>		<b>VE (l)</b>		<b>BF (BPM)</b>		<b>VO2 (max)</b>		<b>GETHR</b>		<b>LA</b>		<b>intensity (max)</b>	
	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>	<i>BL</i>	<i>Post</i>
<b>EXP 1</b>	205	204	138	161	64	63	57,2	58,4	172	180	12	10	16	16+3% Incline
<b>EXP 2</b>	192	196	118	140	51	64	54	57,1	174	177	11,2	14	16	16+3% Incline
<b>EXP 3</b>	203	205	124,7	140,1	62	60	49	52	178	182	10,3	10,6	16	16+3% Incline
<b>EXP 4</b>	193	196	120	139	43	42	49	56,2	167	171	12	10,9	16	16+3% Incline
<b>EXP 5</b>	195	195	128	135	52	47	54	60,1	166	183	17,2	16,5	16	16+3% Incline
<b>EXP 6</b>	195	197	122	166	51	50	45	52,3	175	180	10,7	11,2	14	16+3% Incline
<b>EXP 7</b>	185	186	145	165	61	56	43	48	163	174	11,5	10,3	16	16+3% Incline
<b>EXP 8</b>	192	196	127	138	51	49	57	60	175	182	11,4	12	16	16+3% Incline
<b>EXP 9</b>	196	202	146	154	50	43	53,1	55,2	174	174	11,4	13,4	16	16+3% Incline
<b>EXP 10</b>	202	204	138	151	52	54	55,5	59,4	176	186	15,2	18,2	16	16+3% Incline
<b>EXP 11</b>	184	189	138	152	60	58	39	47,8	174	178	10	10,2	14	16

<b>EXP 12</b>	189	197	107	137,3	72	60	43	48,8	157	166	15,9	13,2	14	16
<b>CON 1</b>	194	193	123	126	51	51	53,1	52,5	179	178	14,7	14,2	16	16+3% Incline
<b>CON 2</b>	196	195	116	113	61	59	46,2	45,8	165	166	18,7	15,8	14	14
<b>CON 3</b>	195	195	122	120	47	49	46,8	46,5	168	167	12,2	11,8	16	16
<b>CON 4</b>	198	197	118	120	48	43	51,3	50,9	171	170	10,9	11,1	16	16
<b>CON 5</b>	192	193	124,7	122	51	50	49,7	48,8	175	173	11,4	11,8	16	16
<b>CON 6</b>	194	193	128	120	54	56	53,4	51,6	179	174	14,6	13,1	14	14
<b>CON 7</b>	194	194	145	140	65	66	52,8	52,1	177	176	11,2	10,9	16	16
<b>CON 8</b>	201	197	146	139	46	47	54,3	53,3	177	176	13,8	13,9	16	16
<b>CON 9</b>	194	193	115	119	46	47	48,3	48,1	174	172	13,2	13,2	16	16
<b>CON 10</b>	194	193	123	119	46	51	50,1	49,9	172	170	11,3	12,9	16	16
<b>CON 11</b>	194	194	128	126	55	53	45,3	45,5	168	170	14,7	13,6	14	14
<b>CON 12</b>	194	193	131	127	51	50	52,1	52,9	170	171	11,8	12,3	14	14

8. Melléklet: Az első kutatás kognitív teszt eredményei közepes intenzitású terhelés közben

	STROOP												ZBA			
	Naming						Reading									
	RT (sec)		incorrect (%)		IF (sec)		RT (sec)		incorrect (%)		IF (sec)		TA (sec)		MDD (pixels)	
	BL	Pos t	BL	Post	BL	Pos t	BL	Pos t	BL	Post	BL	Pos t	BL	Pos t	BL	Post
<b>EXP 1</b>	0,6 6	0,57	0,00	0,00	0,0 5	0,02	1,1 0	0,92	3,13	2,34	0,3 9	0,37	0,8 0	1,37	61	68
<b>EXP 2</b>	0,5 2	0,49	2,34	1,56	0,0 1	0,04	0,7 3	0,62	1,56	0,78	0,1 8	0,15	1,6 7	1,23	66	43
<b>EXP 3</b>	0,6 2	0,63	4,69	2,34	0,0 7	0,08	0,8 3	0,66	4,69	2,34	0,2 7	0,10	0,7 5	0,92	125	84
<b>EXP 4</b>	0,6 4	0,60	6,25	3,91	0,0 7	0,08	0,6 8	0,66	3,91	3,91	0,0 9	0,12	0,9 2	0,73	78	104
<b>EXP 5</b>	0,6 6	0,57	7,81	4,69	0,1 5	0,09	0,5 3	0,51	9,38	3,13	0,0 5	0,03	0,8 9	0,56	75	72
<b>EXP 6</b>	0,5 4	0,52	0,78	3,13	0,0 3	0,05	0,6 6	0,60	5,47	1,56	0,1 3	0,11	1,1 2	2,26	78	60
<b>EXP 7</b>	0,7 8	0,75	5,47	1,56	0,1 8	0,18	0,7 1	0,68	2,34	0,78	0,1 3	0,06	0,5 4	1,74	111	82
<b>EXP 8</b>	0,6 6	0,66	1,56	0,00	0,1 0	0,09	0,7 1	0,75	3,13	1,56	0,1 8	0,17	1,4 6	1,00	32	61
<b>EXP 9</b>	0,7 1	0,68	2,34	2,34	0,1 4	0,12	0,7 6	0,71	3,13	2,34	0,1 6	0,13	1,4 9	0,75	71	44

<b>EXP</b> <b>10</b>	0,7 2	0,59	6,25	3,13	0,1 0	0,08	0,8 3	0,68	7,81	3,13	0,2 0	0,15	1,1 3	1,82	84	88
<b>EXP</b> <b>11</b>	0,6 8	0,63	3,91	2,34	0,0 2	0,05	0,8 1	0,67	0,00	0,00	0,1 5	0,09	1,2 8	1,27	82	77
<b>EXP</b> <b>12</b>	0,8 0	0,70	2,34	1,56	0,1 6	0,12	0,8 4	0,77	3,13	1,56	0,1 4	0,14	1,0 0	0,64	77	84
<b>CON</b> <b>1</b>	0,7 5	0,76	4,69	5,47	0,1 3	0,15	0,7 2	0,74	9,38	8,59	0,1 2	0,14	1,0 4	1,72	73	79
<b>CON</b> <b>2</b>	0,6 3	0,69	9,38	8,59	0,0 8	0,07	0,6 4	0,64	6,25	5,47	0,0 7	0,02	0,8 6	1,21	56	55
<b>CON</b> <b>3</b>	0,7 1	0,73	0,00	1,56	0,0 9	0,09	0,7 9	0,80	0,78	1,56	0,1 2	0,13	0,9 9	0,87	100	99
<b>CON</b> <b>4</b>	0,7 8	0,81	3,13	3,13	0,1 4	0,14	0,6 7	0,76	1,56	3,13	0,0 8	0,10	1,1 0	0,77	75	83
<b>CON</b> <b>5</b>	0,7 3	0,74	0,00	2,34	0,2 1	0,15	0,8 5	0,85	9,38	7,03	0,3 2	0,30	1,3 0	0,51	112	100
<b>CON</b> <b>6</b>	0,7 3	0,74	3,91	5,47	0,1 3	0,13	0,7 0	0,71	2,34	2,34	0,1 3	0,11	0,9 7	1,18	92	69
<b>CON</b> <b>7</b>	0,6 8	0,72	6,25	5,47	0,1 4	0,15	0,6 5	0,68	3,91	4,69	0,1 3	0,14	1,0 2	0,99	83	76
<b>CON</b> <b>8</b>	0,7 9	0,81	0,78	1,56	0,0 7	0,08	0,8 1	0,82	0,00	0,78	0,0 7	0,09	1,1 0	0,88	88	89
<b>CON</b> <b>9</b>	0,8 8	0,81	7,81	6,25	0,1 6	0,04	0,8 6	0,88	2,34	3,91	0,1 1	0,10	0,8 3	0,80	73	71
<b>CON</b> <b>10</b>	0,7 3	0,80	1,56	3,13	0,1 2	0,11	0,7 2	0,77	1,56	2,34	0,1 0	0,13	0,9 9	0,88	92	85
<b>CON</b> <b>11</b>	0,8 2	0,83	0,78	1,56	0,0 4	0,04	0,8 7	0,86	0,78	2,34	0,1 3	0,16	0,8 5	0,91	70	72

77
72
1,01
1,0
0,17
0,2
3,91
2,34
0,76
0,7
0,14
0,0
6,25
1,56
0,68
0,8
<b>CON</b>
<b>12</b>

## 9. Melléklet: A második kutatás kognitív tesztek eredményei

Group	BL_DSB	BL_TMT working time	BL_TMT errors	BL_DT omitted	BL_DT incorrect	BL_DT mistakes	BL_DT correct	POST_DSB	POST_TMT working time	POST_TMT errors	POST_DT omitted	POST_DT incorrect	POST_DT mistakes	POST_DT correct
CON	4	17,39	0	26	18	44	209	5	17	0	12	23	35	231
MM	5	13,41	0	10	18	28	306	7	12,69	0	6	10	16	354
MM	7	15,32	0	9	23	32	338	9	14,41	0	4	21	25	350
NT	5	14,01	0	19	15	34	295	5	13,42	1	11	8	19	338
CON	5	15,94	0	5	21	26	299	5	19,73	1	12	22	34	281
MM	8	14,08	0	5	14	19	318	9	11,73	0	5	10	15	322
CON	6	13,85	0	32	16	48	215	4	18,59	2	32	16	48	226
MM	5	16,55	1	29	56	85	216	6	13,14	1	24	35	59	228
CON	5	15,66	0	15	26	41	283	5	12,37	0	14	27	41	292
MM	7	12,88	0	31	41	72	279	8	12,91	0	37	45	82	288
MM	6	13,31	0	28	43	71	242	7	15,47	0	20	64	84	267
MM	6	17,43	0	23	36	59	240	8	14,25	2	28	24	52	245
NT	5	23,49	4	13	18	31	236	6	19,56	1	16	18	34	243
CON	5	14,62	0	21	32	53	261	5	14,38	0	20	23	43	306
CON	7	18,78	0	14	27	41	274	8	17,82	0	21	44	65	297
NT	6	17,56	0	13	13	26	293	6	15,08	0	25	4	29	300
NT	6	15,92	0	13	11	24	290	8	15,4	0	21	33	54	291
CON	4	18,85	0	17	15	32	247	7	16,38	0	8	13	21	276
NT	4	14,41	0	6	14	20	242	4	14,54	0	8	20	28	240
NT	5	15,97	0	24	18	42	223	7	14,76	1	31	19	50	237
MM	4	14,2	0	8	11	19	284	5	12,6	0	17	17	34	274
CON	3	16,5	0	9	18	27	261	6	17,28	0	11	22	33	262
MM	4	15,16	0	23	26	49	260	6	12,7	0	23	18	41	280
NT	5	15,1	1	18	37	55	235	6	14,98	0	13	54	67	263
NT	6	18,01	1	22	34	56	188	5	15,16	0	24	35	59	220
MM	8	14,14	0	14	23	37	321	9	13,95	2	5	17	22	361
CON	5	14,13	0	9	16	25	276	6	12,65	1	11	21	32	279
NT	8	15,81	1	33	49	82	224	8	13,41	0	45	37	82	234
MM	5	20,64	1	14	17	31	243	5	18,19	1	16	16	32	262
CON	9	12,78	0	16	41	57	256	9	13,16	0	10	28	38	296
NT	4	18,23	0	24	43	67	256	5	15,42	0	16	38	54	292

Group	BL_RT_Mean motor time	BL_RT_Mean reaction time	BL_STROOP Reading interference tendency (sec)	BL_STROOP Median for reaction times-Reading (sec) (Baseline)	BL_STROOP Median for reaction times-Reading (sec) (Interference)	BL_STROOP Number of incorrect reactions-Reading (Baseline)	BL_STROOP Number of incorrect reactions-Reading (Interference)	POST_RT_Mean motor time	POST_RT_Mean reaction time	POST_STROOP Reading interference tendency (sec)	POST_STROOP Median for reaction times-Reading (sec) (Baseline)	POST_STROOP Median for reaction times-Reading (sec) (Interference)	POST_STROOP Number of incorrect reactions-Reading (Baseline)	POST_STROOP Number of incorrect reactions-Reading (Interference)
CON	116	312	0,296	0,676	0,972	2	4	133	350	0,423	0,704	1,126	0	2
nM	121	435	0,106	0,5	0,605	4	4	84	404	0,081	0,523	0,604	2	5
nM	162	353	0,147	0,451	0,598	6	3	112	357	0,113	0,463	0,576	9	2
NT	110	375	0,146	0,515	0,661	3	2	110	391	0,064	0,508	0,572	0	0
CON	120	408	0,097	0,627	0,724	0	5	117	351	0,132	0,56	0,692	6	7
nM	106	294	0,122	0,495	0,617	5	1	108	329	0,135	0,497	0,632	3	4
CON	99	300	0,109	0,673	0,782	3	6	112	300	0,106	0,668	0,774	4	7
nM	74	339	0,509	0,761	1,27	3	3	87	343	0,516	0,628	1,143	1	2
CON	117	391	0,379	0,566	0,945	4	4	93	360	0,375	0,537	0,912	6	5
nM	99	325	0,111	0,484	0,595	4	6	106	311	0,057	0,51	0,567	5	8
nM	134	435	0,149	0,51	0,659	10	14	76	362	0,115	0,517	0,631	4	10
nM	109	404	0,1	0,563	0,663	4	3	176	521	0,131	0,558	0,689	2	1
NT	165	438	0,227	0,633	0,86	4	16	122	382	0,114	0,653	0,767	6	10
CON	103	307	0,169	0,618	0,786	3	5	84	348	0,162	0,572	0,734	2	4
CON	158	308	0,147	0,56	0,706	0	1	160	336	0,167	0,536	0,703	2	4
NT	108	357	0,185	0,629	0,814	1	5	139	350	0,19	0,548	0,737	3	4
NT	152	414	0,171	0,609	0,78	0	1	117	332	0,029	0,525	0,554	0	0
CON	119	520	0,221	0,67	0,89	5	5	67	423	0,156	0,672	0,828	2	3
NT	120	422	0,695	0,697	1,392	2	10	122	441	0,342	0,736	1,078	4	1
NT	158	314	0,258	0,621	0,879	6	1	319	425	0,168	0,684	0,851	0	4
nM	154	413	0,286	0,62	0,906	0	0	148	403	0,21	0,659	0,869	3	3
CON	146	386	0,127	0,653	0,779	3	5	99	350	0,111	0,596	0,707	3	8
nM	136	377	0,31	0,584	0,894	4	4	122	342	0,221	0,558	0,779	7	5
NT	140	467	0,129	0,644	0,773	0	2	129	446	0,206	0,56	0,766	1	3
NT	128	395	0,098	0,729	0,827	2	4	105	293	0,154	0,617	0,771	5	4
nM	104	318	0,176	0,554	0,73	3	3	79	317	0,163	0,48	0,643	6	1
CON	120	327	0,103	0,531	0,634	6	3	169	367	0,048	0,539	0,587	10	6
NT	117	376	0,325	0,626	0,951	3	10	59	320	0,169	0,611	0,779	5	5
nM	68	329	0,136	0,717	0,853	2	4	69	327	0,061	0,698	0,758	1	3
CON	214	462	0,131	0,579	0,71	0	4	146	425	0,062	0,54	0,602	4	3
NT	105	489	0,155	0,618	0,773	2	3	142	443	0,076	0,606	0,682	3	3

Group	BL_STROOP Naming interference tendency (sec.)	BL_STROOP Median for reaction times - Naming (sec.) {Baseline}	BL_STROOP Median for reaction times - Naming (sec.) {Interferenz}	BL_STROOP Number of incorrect reactions - Naming {Baseline}	BL_STROOP Number of incorrect reactions - Naming {Interferenz}	POST_STROOP Naming interference tendency (sec.)	POST_STROOP Median for reaction times - Naming (sec.) {Baseline}	POST_STROOP Median for reaction times - Naming (sec.) {Interferenz}	POST_STROOP Number of incorrect reactions - Naming {Baseline}	POST_STROOP Number of incorrect reactions - Naming {Interferenz}
CON	0,149	0,675	0,823	1	3	0,155	0,681	0,836	2	4
nM	0,016	0,464	0,48	1	1	0,068	0,464	0,532	1	2
nM	0,107	0,449	0,556	8	3	0,032	0,458	0,49	2	5
NT	0,241	0,501	0,742	3	4	0,22	0,494	0,714	3	0
CON	0,016	0,585	0,601	1	3	0,06	0,565	0,625	6	4
nM	0,07	0,466	0,536	2	4	0,082	0,445	0,527	1	3
CON	0,033	0,688	0,721	5	8	0,051	0,617	0,668	8	5
nM	0,198	0,729	0,927	8	4	0,375	0,619	0,994	3	8
CON	0,049	0,524	0,573	4	3	0,069	0,497	0,566	8	2
nM	0,091	0,463	0,554	8	13	0,077	0,431	0,508	3	6
nM	0,112	0,543	0,655	10	12	0,046	0,526	0,571	5	4
nM	0,141	0,512	0,653	10	7	0,138	0,544	0,682	6	2
NT	0,076	0,596	0,672	11	4	-0,007	0,639	0,632	10	7
CON	0,066	0,57	0,635	2	6	-0,008	0,528	0,52	1	2
CON	0,043	0,566	0,609	5	3	0,076	0,522	0,597	2	4
NT	0,132	0,525	0,657	5	4	0,154	0,493	0,647	4	4
NT	0,098	0,566	0,664	2	0	0,01	0,536	0,545	3	0
CON	0,097	0,668	0,765	2	4	0,057	0,638	0,694	0	2
NT	0,155	0,715	0,87	3	2	0,162	0,67	0,832	3	5
NT	0,145	0,641	0,786	7	4	0,064	0,619	0,683	3	0
nM	0,126	0,702	0,828	1	4	0,197	0,668	0,865	2	3
CON	0,153	0,658	0,811	4	8	0,187	0,666	0,853	4	7
nM	0,082	0,559	0,64	3	8	0,082	0,571	0,653	3	6
NT	0,052	0,674	0,726	2	2	0,115	0,556	0,671	4	4
NT	-0,013	0,681	0,668	1	3	0,063	0,592	0,655	3	13
nM	0,05	0,576	0,626	3	1	0,094	0,485	0,579	2	2
CON	0,076	0,558	0,634	10	12	0,11	0,516	0,626	9	10
NT	0,06	0,584	0,643	4	8	0,175	0,526	0,7	4	5
nM	0,069	0,671	0,74	1	4	0,117	0,623	0,739	0	2
CON	0,096	0,528	0,624	3	3	0,095	0,468	0,562	5	7
NT	0,087	0,576	0,663	3	2	0,115	0,552	0,667	1	3

Group	BL_SWITCH Working time	BL_SWITCH Congruence costs - errors	BL_SWITCH Percentage of correct answers to congruent stimuli	BL_SWITCH Percentage of correct answers to incongruent stimuli	BL_SWITCH Congruence costs - time	BL_SWITCH Mean reaction time - congruent stimuli	BL_SWITCH Mean reaction time - incongruent stimuli	BL_SWITCH Task switching - accuracy	BL_SWITCH Percentage of correct shift tasks	BL_SWITCH Percentage of correct repetition tasks	BL_SWITCH Task switching - speed	BL_SWITCH Mean reaction time - shift tasks	BL_SWITCH Mean reaction time - repetition tasks	POST_SWITCH H Working time	POST_SWITCH H Congruence costs - errors	POST_SWITCH H Percentage of correct answers to congruent stimuli	POST_SWITCH H Percentage of correct answers to incongruent stimuli	POST_SWITCH H Congruence costs - time	POST_SWITCH H Mean reaction time - congruent stimuli	POST_SWITCH H Mean reaction time - incongruent stimuli	POST_SWITCH H Task switching - accuracy	POST_SWITCH H Percentage of correct shift tasks	POST_SWITCH H Percentage of correct repetition tasks	POST_SWITCH H Task switching - speed	POST_SWITCH H Mean reaction time - shift tasks	POST_SWITCH H Mean reaction time - repetition tasks
CON	178	21	92	71	0.103	1.075	1.178	7	78	85	0.333	1.285	0.952	113	16	71	55	-0.039	0.724	0.685	5	60	65	-0.219	0.597	0.816
nM	183	50	100	50	0.245	1.016	1.261	-7	78	71	0.065	1.125	1.06	111	5	100	95	0.113	0.645	0.758	2	96	98	-0.007	0.696	0.703
nM	63	3	100	97	0.026	0.382	0.408	0	98	98	0.104	0.444	0.34	63	1	98	97	0.016	0.387	0.403	4	96	100	0.038	0.425	0.367
NT	132	13	98	83	0.163	0.749	0.912	7	88	95	0.171	0.91	0.739	119	10	100	90	0.079	0.717	0.796	5	92	97	0.048	0.777	0.729
CON	106	2	98	96	0.046	0.638	0.684	-2	98	96	0.201	0.762	0.561	148	11	98	87	-0.001	0.899	0.898	-1	93	92	0.182	0.99	0.808
nM	119	7	100	93	0.058	0.72	0.778	4	94	98	0.008	0.75	0.742	106	7	100	93	0.104	0.612	0.716	4	94	98	-0.009	0.66	0.669
CON	123	15	100	83	-0.068	0.792	0.724	2	91	93	0.233	0.882	0.649	90	13	100	87	0.141	0.507	0.648	-5	96	91	0.245	0.694	0.449
nM	160	7	75	68	0.016	1.015	1.031	8	68	76	0.378	1.223	0.845	181	13	95	82	0.119	1.044	1.163	13	82	95	0.398	1.312	0.914
CON	140	6	96	90	-0.016	0.863	0.847	11	87	98	0.147	0.933	0.786	103	12	100	88	-0.027	0.65	0.623	2	93	95	0.081	0.671	0.59
nM	182	9	100	91	0.242	0.997	1.239	6	92	98	0.023	1.129	1.106	130	7	97	90	0.226	0.712	0.938	0	93	93	0.034	0.839	0.805
nM	138	4	97	93	0.137	0.784	0.921	-1	96	95	0.179	0.942	0.763	122	9	100	91	0.027	0.749	0.776	2	94	96	0.166	0.838	0.672
nM	89	17	100	83	0.002	0.565	0.567	4	89	93	0.082	0.597	0.515	106	4	100	96	-0.097	0.715	0.618	1	97	98	-0.021	0.641	0.662
NT	199	12	98	86	0.128	1.094	1.222	6	89	95	0.411	1.354	0.943	195	10	97	87	0.167	1.094	1.261	0	92	92	0.172	1.262	1.09
CON	115	5	98	93	-0.014	0.707	0.693	-2	97	95	0.134	0.769	0.655	95	0	100	100	-0.026	0.533	0.64	0	100	100	0.207	0.699	0.492
CON	104	5	100	95	0.087	0.605	0.692	2	96	98	0.291	0.795	0.504	79	7	100	93	0.087	0.484	0.458	1	96	97	0.118	0.532	0.414
NT	118	7	98	91	0.171	0.657	0.828	5	92	97	0.313	0.895	0.582	101	3	98	95	0.033	0.621	0.654	-3	98	95	0.193	0.731	0.538
NT	121	10	97	87	0.063	0.714	0.777	-8	96	88	0.21	0.848	0.638	89	7	100	93	0.05	0.54	0.59	7	93	100	0.092	0.612	0.52
CON	186	42	98	56	0.03	1.164	1.194	-4	79	75	-0.003	1.175	1.178	140	0	100	100	0.147	0.802	0.949	0	100	100	0.241	0.995	0.754
NT	186	16	98	82	-0.156	1.14	0.984	9	86	95	0.321	1.24	0.919	163	0	98	98	0.223	0.886	1.109	3	97	100	0.504	1.256	0.752
NT	130	9	96	87	-0.059	0.824	0.765	1	91	92	0.199	0.898	0.699	105	2	100	98	0.129	0.595	0.724	2	98	100	0.227	0.773	0.546
nM	111	4	100	96	0.063	0.664	0.727	-1	98	97	0.275	0.825	0.55	162	62	93	31	0.214	0.791	1.005	0	62	62	-0.052	0.798	0.85
CON	175	13	95	82	0.104	0.981	1.085	0	88	88	-0.017	1.023	1.04	126	2	98	96	-0.031	0.791	0.76	-2	98	96	-0.046	0.755	0.801
nM	159	15	100	83	-0.004	0.991	0.987	0	92	92	-0.035	0.971	1.006	116	8	100	92	0.118	0.672	0.79	3	94	97	-0.022	0.716	0.738
NT	147	19	100	81	0.025	0.879	0.904	9	86	95	0.061	0.926	0.865	139	8	98	90	-0.022	0.857	0.835	2	93	95	0.14	0.917	0.777
NT	235	4	95	91	-0.184	1.519	1.335	3	92	95	0.507	1.687	1.18	166	14	100	86	-0.07	1.04	0.97	-3	94	91	0.368	1.179	0.811
nM	116	12	100	88	0.012	0.732	0.744	-4	96	92	0.032	0.754	0.722	107	5	100	95	0.068	0.638	0.706	6	94	100	0.106	0.727	0.621
CON	87	10	100	90	-0.009	0.538	0.529	3	93	96	0.027	0.547	0.52	74	9	100	91	0.011	0.438	0.469	4	93	97	0.062	0.494	0.432
NT	157	1	98	97	0.084	0.911	0.995	1	97	98	0.204	1.059	0.855	124	7	100	93	0.026	0.771	0.797	-1	97	96	0.099	0.835	0.736
nM	122	3	96	93	0.079	0.725	0.804	5	92	97	0.024	0.776	0.752	100	8	100	92	-0.029	0.642	0.613	5	93	98	0.115	0.677	0.562
CON	80	5	100	95	0.063	0.475	0.538	2	96	98	0.173	0.922	0.419	67	2	98	96	-0.007	0.43	0.423	2	96	98	0.109	0.478	0.369
NT	115	5	98	93	0.043	0.71	0.753	-2	97	95	0.175	0.818	0.643	113	9	100	91	-0.048	0.734	0.686	2	94	96	0.136	0.779	0.643