

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA**

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

**Bc. Kryštof Mandlík**

**Vliv aktivity – inaktivity na kognitivní  
funkce člověka**

**Diplomová práce**

Praha 2023

Autor práce: **Bc. Kryštof Mandlík**

Vedoucí práce: **PhDr. Petr Bitnar, Ph.D.**

Oponent práce: **Mgr. Klára Kučerová**

Datum obhajoby: **2023**

## **Bibliografický záznam**

MANDLÍK, Kryštof. Vliv aktivity – inaktivity na kognici člověka. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2023. Vedoucí diplomové práce Petr Bitnar.

## **Abstrakt**

V rámci této diplomové práce jsme se zabývali vlivem pohybu na kognici člověka. Vycházíme z již prokazaného vlivu pohybu na ascendentní retikulární aktivační systém, který s exekutivní funkcí mozku úzce souvisí. Měření probíhalo ve dvou odlišných věkových skupinách. Jako kontrolní byla použita skupina studentů v klidu. Fyzická aktivita probíhala formou svižné chůze. Samotné měření kognitivních funkcí bylo založeno na přímém měření paměti typu recall test a na fonologickém testu verbální fluence. Standardizované dotazníky typu Montrealského kognitivního testu či MMSE jsou pro naše měření nevhodné, protože jsou určeny k testování kognitivních poruch a nejsou uzpůsobeny pro testování zdravého člověka. Cílem práce bylo přinést další poznatky o dané problematice a zamyslet se nad jejím uplatněním. Nepodařilo se nám ověřit statisticky významný pozitivní vliv fyzické aktivity na kognici člověka.

## **Klíčová slova**

Kognitivní funkce, domény kognice, fyzická aktivita, excitační systémy

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographic identification**

MANDLÍK, Kryštof. The effect of activity – inactivity on human cognitive function. Prague: Charles University, 2nd Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation and sports Medicine, 2023. Supervisor Petr Bitnar.

## **Abstract**

This thesis addresses the effect of physical activity on human cognitive functions. It is based on the already proven fact that movement and physical activity have positive effect on human ascending reticular activating system. The experiment was conducted in two groups of different age. As a control group we used students not engaging in any activity. As a form of physical activity we chose brisk walk. The effect on cognitive function was based on direct measuring of memory in a form of recall test and on phonologic test of verbal fluence. Standardized questioners like Montreal cognitive test or MMSE weren't found appropriate because they are intended for use in case of impaired cognitive function. The aim of this thesis was to bring further findings on this topic. We were unable to confirm a statistically significant positive effect of physical activity on human cognition.

## **Keywords**

cognitive functions, cognitive function domains, physical activity, arousal systems

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením PhDr. Petra Bitnara, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že stejná práce nebyla použita pro získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 3. 5. 2023

Kryštof Mandlík

# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>7</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>1. EXCITAČNÍ SYSTÉMY.....</b>	<b>9</b>
1.1. STRUKTURY MOZKOVÉHO KMENE.....	10
1.1.1. Retikulární formace .....	10
1.1.2. Cholinergní ponto-mesencephalické neurony.....	12
1.1.3. Serotonergní nuclei raphe .....	13
1.1.4. Dopaminergní ventrální mesencephalické neurony .....	14
1.1.5. Noradrenergí neurony locus coeruleus .....	16
1.2. STRUKTURY THALAMU .....	18
1.2.1. Histaminergní tuberomammillární neurony .....	18
1.2.2. Orexinergní peri-fornicální neurony .....	19
<b>2. KOGNICE A JEJÍ OVLIVNĚNÍ.....</b>	<b>20</b>
2.1. KOGNICE.....	20
2.1.1. Fyzická aktivita.....	21
2.1.2. Kofein .....	27
2.1.3. Nikotin .....	28
2.1.4. Spánek .....	29
<b>3. CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>30</b>
<b>4. HYPOTÉZY PRÁCE.....</b>	<b>31</b>
<b>5. PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>32</b>
5.1. METODIKA.....	32
5.1.1. Obecná charakteristika souboru.....	32
5.1.2. Kognitivní test .....	33
5.1.3. Postup měření .....	35
5.1.4. Statistické zpracování .....	36
5.2. VÝSLEDKY.....	37
5.2.1. Studenti střední školy.....	37
5.2.2. Studenti vysoké školy .....	50
<b>6. DISKUZE.....</b>	<b>64</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>	<b>73</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>84</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>8</b>

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

CNS – Centrální nervová soustava

CRT – Cognitive reflection test

EEG - Elektroencefalografie

LC – Locus Coeruleus

MMSE – Mini mental state exam

REM – Rapid eye movement fáze spánku

VF – Verbal fluence test

WR – Word recall test

## ÚVOD

Téma této práce jsem vybral na základě své osobní zkušenosti s touto problematikou. S anekdotickými důkazy o zlepšení soustředění a mentální výkonnosti po joggingu, či jakékoliv jiné akutní formě fyzické aktivity, přišla do kontaktu většina z nás. Ve fyzioterapeutické praxi se můžeme setkat s pacienty, kteří trpí určitou poruchou kognitivních funkcí. Poznatky, které uvádíme lze použít v rámci fyzioterapeutické praxe ku prospěchu pacienta samotného i jeho blízkých formou edukace. Další význam práce může spočívat v přinesení informací, které by mohly vést k přenastavení systému výuky a ke změně délky přestávek.

I přesto není evidence na toto téma zcela jednoznačná. Autoři v některých případech neshodují pouze na doméně kognice ve které dochází ke zlepšení, ale v literatuře můžeme najít také autory se zcela opačným názorem, tedy že po fyzické aktivitě dochází ke zhoršení některých domén kognice. Jistý konsenzus autorů můžeme nalézt v tom, že k ovlivnění kognitivních funkcí (pozitivnímu či negativnímu) dochází napříč věkovými skupinami.

Palmer et al. v roce 2014 publikovali studii, ve které prokazují pozitivní efekt fyzické aktivity na schopnost udržet pozornost u předškolních dětí. Podrobnější zkoumání tohoto tématu by mohlo vést ke zlepšení podmínek pro výuku v podstatě ve všech věkových kategoriích, popřípadě k upevnění systému přestávek mezi výukou jak ho známe nyní.

Cílem práce je provést rešerši tématu a prezentovat ucelený soubor informací o dané problematice. V první části rešeršní práce se budeme zabývat Excitačními systémy lidského CNS a jejich případným vztahem k fyzické aktivitě. V druhé části rešeršní práce se budeme zabývat samotným vysvětlením kognitivních funkcí a poté faktory, které mohou vézt k jejímu ovlivnění. Kromě fyzické aktivity to bude kvalita spánku a substance kofein a nikotin. V praktické části diplomové práce popíšeme dva experimenty prováděné na studentech střední a vysoké školy z cílem ověřit pozitivní vliv fyzické aktivity na kognitivní funkce.



## 1. EXCITAČNÍ SYSTÉMY

Lidský mozek obsahuje budivé systémy, které působí prostřednictvím drah a neurotransmitterových systémů na ostatní části mozku. Tyto autochtonní systémy způsobují probuzení ze spánku při sensorických stimulech, udržení bdělosti během dne i přes chybějící sensorické stimuly. Působí na mozkovou kůru kde stimulují vysokofrekvenční gama a theta aktivitu a zároveň snižují pomalou delta aktivitu. Dalším místem účinku je spinální mícha, kde dochází ke stimulaci senzomotorické citlivosti a aktivity (Jones, 2003).

Tyto systémy ovlivňují lidskou bdělost (vigilanci). Tu můžeme popsat jako připravenost systému reagovat na externí, nebo interní událost. Obecně můžeme říci, že vigilance zajišťuje funkci celého psychického systému člověka. Při poruchách vigility (kvantitativní poruchy) je zasažena nejenom pozornost, ale mohou být poškozeny i paměť, rozhodovací schopnost a motivace. Proto lze tvrdit, že pokud myotatický reflex představuje nejnižší úroveň motorické integrace, vigilance představuje zásadní úroveň vyšší integrace CNS s ascendentním retikulárním systémem jako fundamentální strukturou (Maldonato, 2014).

V roce 1949 publikovali Moruzzi a Magoun práci, ve které popsali existenci systému skládajícího se z retikulární formace mozkového kmene, thalamu a thalamo-kortikálního systému obousměrné projekce. Při přímé stimulaci tohoto systému došlo na EEG ke změně pomalých vln s vysokým napětím na rychlou aktivitu s nízkým napětím. K tomuto efektu dochází především v oblasti kortexu a je částečně mediován difuzním thalamickým projekčním systémem.

Langsjo et al. v roce 2013 provedli pokus na probandech kteří se probouzeli z bezvědomí indukovaného anestezií. To umožnilo přesnější kontrolu vnějších faktorů. Na EEG se ukázalo, že příchod k vědomí byl u probandů doprovázen aktivací v hlubokých mozkových strukturách a ne v korovém mozku. Stav vědomí tedy předcházelo zvýšení metabolických dějů v těchto hlubokých strukturách. (Maldonato, 2014). Jones (2003) mezi tzv. arousal systems řadí retikulární formaci, cholinergní pontomezencefalické neurony, noradrenergní neurony locus

coeruleus, dopaminergní neurony ventrálního mezencephalonu a serotonergní rapheální neurony. Všechny tyto struktury jsou z oblasti mozkového kmene. Z oblasti hypothalamu pak histaminergní tuberomammilární neurony a orexinergní peri-fornikální neurony.

K vysvětlení funkce některých neurálních struktur bude použit termín „*behavioral state*“. Ten je definován psychologickými proměnnými zahrnujícími mimo jiné náladu, motivaci, stres, nabuzení, vigilanci a pozornost. Je také určen faktory prostředí, jako jsou významné a ohrožující stimuly, například ohrožení homeostázy. Behavioral state je v těle zprostředkován reakcemi periferního nervového systému na okolní prostředí a projevuje se vylitím hormonů do krevního řečiště. Zprostředkování behavioral state v CNS zajišťují neuromodulační neurony nacházející se v jádrech středního mozku a mozkového kmene, které se vzájemně ovlivňují s výše zmíněnými psychologickými a fyziologickými faktory. Tímto vlivem na CNS má behavioral state přímou souvislost s kognitivními procesy (Sara a Bouret, 2012).

## **1.1. Struktury mozkového kmene**

### **1.1.1. Retikulární formace**

Retikulární formace je síť navzájem propojených, fylogeneticky starých jader, která má aktivační a inhibiční funkci, jsou zde centra důležitých reflexů hlavových nervů a regulační centra životně důležitých funkcí. Má vliv také na regulaci tělesné teploty, vedení bolesti a řízení motoriky (Hudák a Kachlík, 2017). Tato síť neuronů se nachází v centrální části mozkového kmene podél procházejících drah, prodloužené míše, mesencephalonu a diencephalonu. Neurony retikulární formace mohou přijímat informace z procházejících vláken díky svým dlouhým rozvětveným dendritům. Retikulární neurony přijímají vstupy z různých zdrojů: od míchy, přes mozkový kmen až po mesencephalon. Konvergují také signály zrakové, vestibulární, sluchové a z periferních motorických systémů - somatické či viscerální. V neposlední řadě zahrnují také signály z kortexu týkající se odpovědí motorického či sensorického systému. Mohou tedy odpovídat jak na periferní aferentaci, tak centrální eferentaci (Jones, 2003).

Kinomura et al. (1996) uvádí, že přestože bylo již mnohokrát potvrzeno, že elektrická stimulace retikulární formace středního mozku vedla ke zvýšení pozornosti, zároveň při lézi v těchto strukturách není v některých případech vigilance narušena. Ve své studii potvrzuje budící účinek retikulární formace a dodává, že nemá vliv pouze na přechod mozku ze spánku do bdělého stavu, ale že může mít vliv na přechod z relaxované bdělosti do stavu s vyšší mírou pozornosti.

Dietrich a Audiffren (2011) píší, že iniciace pohybu i samotný pohyb aktivuje budící systémy nacházející se v retikulární formaci. Tyto systémy mobilizují energii, která napomáhá udržovat organismus v pohybu, stimulují motorické jednotky a aktivují (v kaskádě dějů) autonomní nervový systém a endokrinní systém. Dále dochází k aktivaci kortikálních oblastí, které modulují senzorické a motorické procesy a ovlivňují pozornost.

### ***Ascendentní retikulární aktivační systém***

Ascendentní retikulární aktivační systém se skládá z několika neuronálních okruhů, které propojují mozkový kmen a kortex. Tyto okruhy začínají převážně v retikulární formaci mozkového kmene a ke koncovému mozku prochází synaptickými spoji v intralaminárních jádrech thalamu (Paus, 2000; Yeo, et al. 2013). Retikulární formace komunikuje s koncovým mozkiem pomocí dvou drah. Dorzální dráha prochází thalamem a ventrální (extra-thalamická) prochází hypothalamem do baze koncového mozku. (Jones, 2003). Paus (2000) označuje za ascendentní retikulární aktivační systém pouze nepřímou zadní dráhu, která obsahuje spoje s nescifickým thalamo-kortikálním systémem.

Jednotlivé aktivační systémy se odlišují anatomicky (specifická jádra a jejich projekce), neurotransmitery (převážně noradrenalin, dopamin a serotonin) a funkcí. Noradrenergní systém začíná v locus coeruleus a vysílá hojné projekce do oblasti diencephalonu a telencephalonu. Ovlivňuje bdělost a účastní se detekce sensorických signálů a udržování diskriminačních procesů při vysokých úrovních stresu (Berridge a Waterhouse, 2003). Stimulace kterékoli senzorické modality vede ke zvýšení aktivity neuronů v locus coeruleus (Grant et al., 1988).

Dopaminergní systém pochází z neuronů nacházejících se v substantia nigra pars compacta a z ventrálního tegmenta. Vysílá projekce do dorzálního a ventrálního striata, které modulují aktivitu velké sítě zahrnující motorický thalamus, suplementární motorickou oblast, premotorickou korovou oblast a primární motorickou kůru. Další projekce vedou do limbického systému a prefrontálního kortexu. Tento systém odpovídá za motivaci a chování (Robbins a Everit, 2007). Serotonergní část systému pochází z rafe nucleus a vysílá projekce skrz celý mozek a míchu. Předpokládáme, že tento systém moderuje stimulační efekt katecholaminů a tím podporuje inhibici chování a kortikální deaktivaci (Meussen et al., 2006). Vzájemné interakce mezi jednotlivými systémy probíhají na úrovni synaptických štěrbin mezi jednotlivými axony. Zde dochází ke vzájemné modulaci uvolňování příslušných neurotransmiterů (Sara a Bouret, 2012).

### ***1.1.2. Cholinergní ponto-mesencephalické neurony***

Ponto-mesencephalický komplex se nachází v laterodorzálních tegmentálních jádrech a pedunculo-pontinních tegmentálních jádrech mozkového kmene. Podobně jako neurony retikulární formace má dlouhé dendrity, které zasahují do procházejících vláken, mimo jiné do středního retikulárního svazku – hlavní ascendentní dráhy retikulární formace mozkového kmene. Inervuje řadu struktur v CNS. Studie na zvířecích modelech ukázaly, že distribuce jader je závislá na funkční charakteristice cílové oblasti jejich eference. Pontomesencephalický systém je anatomicky spojený s nuclei raphe, locus coeruleus a dopaminovými systémy (Jones 1990; Oakman et al., 1995; Woolf a Butcher, 1986). Dle (Woolf, 2006) pontomesencephalické neurony vysílají axony do thalamu, bazálního prozencefalonu a mozkového kmene. Od monoaminergních systémů se liší svojí bazální prozencefalonovou komponentou. Koncentrace acetylcholinu v kůře mozku je dle některých autorů až 10krát větší než koncentrace noradrenalinu či serotoninu. Je tedy možné, že acetylcholin je primárním neuromodulátorem neurokognice za významného přispění monoaminů.

Vzhledem k důležité roli biogenních monoaminů v řízení *behavioral state* (viz. Kapitola 1.), díky neuromodulační aktivitě v mnoha neurálních systémech, se zdá pravděpodobné, že systém kontrolující stav chování bude mít vliv i na vyplavování biogenních monoaminů. Oakman et al. (1995) navrhuje, že významnou rolí pontomesencephalického cholinergního systému je ovlivňování monoaminergní aktivity v částech mozku, se kterými má anatomické spojky (nuclei raphe, locus coeruleus a dopaminové systémy). Cholinergní neurony jsou pravděpodobně důležité pro kortikální aktivaci při stavu bdělosti a REM fázi spánku. Jejich vliv na retikulospinální a spinální systémy se naopak zdá spíše tlumivý (Jones, 2006).

### **1.1.3. Serotonergní nuclei raphe**

Jádra rapheálního systému se nachází podél střední linie mozkového kmene a táhnou se rostrokaudálním směrem podél mozkového kmene (Hornung, 2003). Můžeme je rozdělit na kaudální jádro s descendentními projekcemi do míchy, a rostrální a mediální jádra, která vysílají ascendentní projekce do substantia nigra pars compacta, thalamu, striatia, nucleus accumbens, hippocampu, hypothalamu, locus coeruleus a dopaminergních ventrálních mesencephalických neuronů (Berger et al., 2009; Hervé et al., 1987).

Akutní fyzická zátěž zvyšuje u myši koncentraci tryptofanu, ze kterého je syntetizován serotonin (Barchas a Freedman, 1963). Serotonin má společně s dopaminem významný vliv na centrální únavu při akutní fyzické zátěži. Centrální únavu můžeme definovat jako druh ochranného mechanismu, který udržuje homeostázu a zabraňuje porušení struktur účastnících se pohybu. Nastává dříve než vyčerpání, to znamená, že struktury pohybového systému již nejsou schopné vykonávat svojí funkci. Rozdíl mezi těmito fenomény ukazuje odlišná síla maximální volní kontrakce a síla svalové kontrakce vyvolané elektrickým proudem. Při maximální volní kontrakci nedochází k zapojení maximálního počtu motorických jednotek a dochází tak k efektivnímu snížení průřezu svalu, tudíž i ke zmenšení síly kontrakce (Cordeiro et al., 2017; Shield a Zhou, 2004).

Vliv serotoninu na mechanismy centrální únavy dokazují pokusy na myších, při podání agonistů receptorů pro serotonin došlo ke snížení výkonu, naopak při podání inhibitorů serotonergní aktivity došlo ke zvýšení výkonu. Tyto odlišné výkonnosti nebyly provázeny žádnou významnou změnou v dalších sledovaných periferních parametrech – koncentrace glykogenu ve svalech a v játrech a koncentrace glukózy v krevním řečišti. Tyto nálezy nás mohou vést k myšlence, že změny ve výkonu jsou pravděpodobně způsobeny působením serotoninu v CNS (Bailey et al., 1993a; Bailey et al., 1993b; Cordeiro et al., 2017).

Kromě přímého vlivu na chování, může serotonin ovlivňovat výkonnost jedince i přes jeho účinek na termoregulaci. Zvýšená centrální dostupnost tryptofanu snižuje mechanickou účinnost u krys, při zátěži dochází k rychlejšímu nárůstu teploty tělesného jádra a ke zkrácení doby do únavy (Soares et al., 2003). Zvýšení koncentrace serotoninu v preoptické oblasti hypothalamu urychlilo nárůst teploty jádra a snížilo výkonnost krys. Naopak při snížení koncentrace serotoninu došlo k vyšším ztrátám tepla skrze kůži. (Leite et al., 2010; Rodrigues et al., 2009). Při zvýšení teploty tělesného jádra dochází ke zvýšení centrální serotonergní aktivity nehledě na to, zda je způsobená pasivním ohřevem, či cvičením. To může poukazovat na to, že hlavním trigerem pro centrální serotonergní aktivitu je ohřev tělesného jádra a ne změny na periférii (krevní tlak, průtok krve) (Low et al., 2005). Kromě zvýšené koncentrace serotoninu může mít na centrální únavu vliv také stav receptorů pro serotonin. Trénovaní lidé mohou být více odolní proti únavě vzhledem k desenzitivizaci serotoninových receptorů (Broocks et al., 2001). Vzhledem k etickým a metodologickým limitacím při experimentech zahrnujících lidské subjekty nebyly výsledky na zvířecích modele reprodukovány v dostatečné míře na lidech. Studie na lidských subjektech zatím ukazují smíšené výsledky (Cordeiro et al., 2017).

#### **1.1.4. Dopaminergní ventrální mesencephalické neurony**

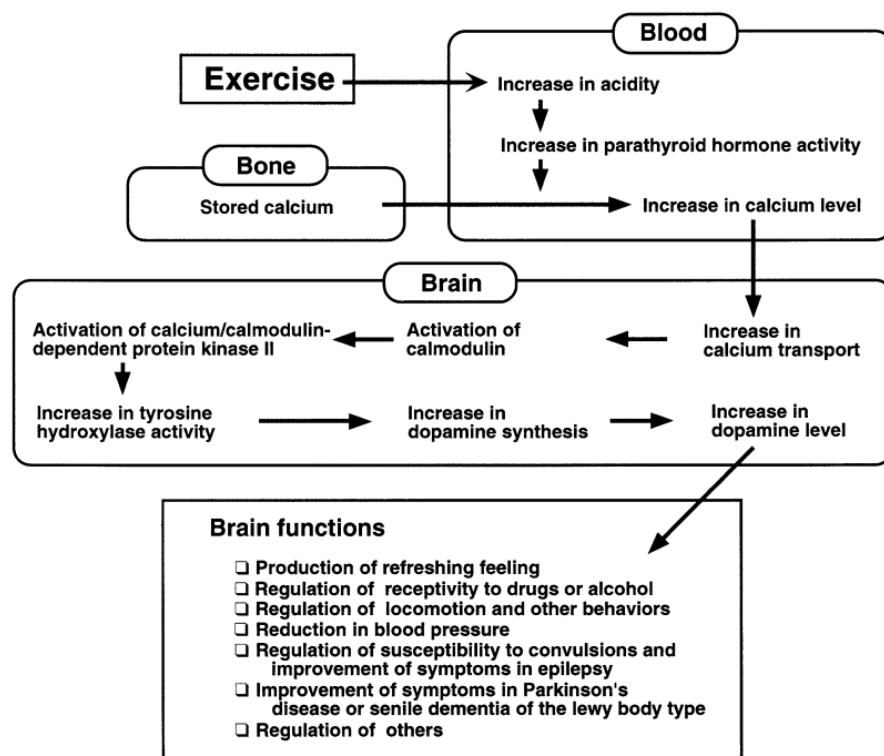
Dopaminergní ventrální mesencephalické neurony se nachází v substantia nigra, ventrální tegmentální aree a retrorubrální oblasti. Jejich dendrity zasahují do okolních oblastí. Dendrity neuronů z mediální části substantia nigra a ventrální tegmentální arei zasahují do ascendentních vláken z mozkového kmene a

descendentních vláken z diencephalonu a telencephalonu běžících v mediálním svazku předního mozku. Vysílají ascendentní projekce vedoucí do dorzálního a ventrálního striata, cerebrálního cortexu a bazálního proencephalonu (Jones, 2006). Dopamin má výrazný vliv na motoriku člověka. Neurony uložené v substantia nigra jsou funkčně napojené na okruhy bazálních ganglií, zásobují dopaminem striatum (Hudák a Kachlík, 2017).

Dysregulace dopaminového systému je spojována s množstvím anomálií v chování, včetně závislostí, kompulzivního cvičení a hyperfagie vedoucí k obezitě. Na myších selektivně chovaných pro sklon k obezitě a sklon k excesivnímu učení se ukázalo, že podobné změny v dopaminovém systému mohou vést k expresi opačných fenotypů – sklonu k obezitě i k excesivnímu cvičení (Mathes et al., 2010).

Stejně jako má dopamin vliv na pohyb člověka, tak pohyb ovlivňuje dopaminový systém. Epidemiologické studie, klinické pozorování a výzkum na zvířatech ukazují, že adekvátní dávky fyzické aktivity můžou mít pozitivní vliv na zabránění rozvoji Parkinsonovy nemoci u ohrožené populace. U pacientů s již rozvinutou nemocí mohou působit protektivně na reziduální dopaminergní neurony. Tyto účinky mohou být zprostředkovány tvorbou neuroprotektivních neutropických faktorů, jejichž produkce je vázána na cvičení. Při neadekvátní dávce může mít fyzická aktivita také negativní efekt (Hou et al., 2017).

Pokusy na zvířatech ukazují, že během cvičení zvyšuje aktivita dopaminového systému odolnost vůči zvýšené teplotě jádra (Balthazar et al., 2009). Naopak při podání antagonistů dopaminu došlo ke snížení tolerance zvýšené teploty jádra (Balthazar et al., 2010). Podobný pokus provedl Roelands et al. v roce 2004, který došel k závěru, že při fyzické aktivitě v 18°C neměly inhibitory zpětného vychytávání dopaminu jasný efekt. Při cvičení ve 30°C naopak subjekty lépe tolerovaly teplotní zatížení organismu.



Obr. 1: Fyziologická osa zobrazující vyvolání vyplavování dopaminu díky cvičení a jeho účinky na mozkové funkce (převzato ze Sutoo a Akiyama, 2003)

Možný vliv akutního cvičení na dopaminový systém je zobrazený na obrázku číslo 1. Cvičení zvyšuje hodnoty kalcia v séru. Kalcium je pak transportováno do mozku, kde stimuluje tvorbu dopaminu. Při pokusech na krysách, byla oproti kontrolní skupině, která necvičila, naměřena kalcémie vyšší o 7 - 18% a hodnota kalcia v mozku o 8% vyšší (Sytoo a Akiyama, 2009).

### 1.1.5. Noradrenergní neurony locus coeruleus

Locus coeruleus (LC) se nachází v horní části dorzolaterálního tegmenta (Benarroch, 2017). LC má kromě spojů s prozencefalonom silné projekce do všech ostatních neuromodulačních jader: dorzální nuclei raphe, dopaminergní neurony mesencephalonu a substantia nigra pars compacta. Přijímá přímé informace z latero-dorzálních tegmentálních a pedunclopontinních jader a z nuclei raphe. Další přípojky vedou z nucleus paraventricularis thalami, centrálního jádra amygdaly a z výše zmíněných neuromodulačních jader. Přímou projekci do dendritické oblasti LC vysílají neurony z nucleus tractus solitarii, které zajišťují přenos informací z autonomního nervového systému. Do dendritické oblasti jsou



přenášeny také rychlé informace z periferie z paraventriculárního jádra hypothalamu (Hervé et al., 1987; Reyes et al., 2005; Van Bockstaele et al., 1993). Jedinou kortikální oblastí, ze které přichází informace do LC přímo je prefrontální oblast (Arnsten a Goldman-Rakic, 1984). Kromě vzájemných spojek s neuromodulačními jádry vysílá LC projekce do všech kortikálních oblastí, thalamických jader, septa, hipokampu a amygdaly (Loughlin et al., 1986). Pro tyto struktury je LC jediným zdrojem adrenergní inervace (Jones a Moore, 1977).

Noradrenergní aktivita thalamu a kortexu silně ovlivňuje nabuzení a *behavioral state*. Aktivita LC skrze thalamická jádra a sensorické oblasti kůry zajišťuje gatekeeping a úpravu sensorických vstupů všech modalit (Devilbiss a Waterhouse, 2011). Společně s hipokampem mají projekce LC významnou roli v konsolidaci paměťové stopy (Gallagher et al., 1985). Kortikální vliv na LC moduluje odpovědi LC v závislosti na kontextu. Například odpověď LC na rušivý podnět, neočekávanou událost, může být potlačena, když subjekt soustředí pozornost na úkol před sebou. Naopak odpověď LC na očekávaný signál související s úkolem je zvýšená (Sara a Bouret, 2012).

LC je silně aktivováno v odpovědi na akutní stresory, viscerální i enviromentální. LC je pod kontrolou primárních struktur odpovídajících na stres z periferie vedený nervus vagus a z paraventriculárního jádra hypothalamu. Noradrenalin vyplavený jádry LC poté moduluje stresovou odpověď v diencefalonu a telencefalonu (Sara a Bouret, 2012; Valentino a Van Bockstaele, 2008). Studie na zvířecích modelech ukázaly, že skrze hypothalamický neuropeptid *orexin A* je v LC stimulovaný receptor, který u krys působí spontánní pohybovou aktivitu a vyšší spotřebu energie mimo odpočinek. Křasy různě náchylné k obezitě měly rozdílné mRNA kódující receptor pro orexin A ( Teske et al., 2013).

Po akutní aerobní fyzické zátěži dochází ke zlepšení reakční doby a pozornosti. Nedochozí ke změnám v aktivace LC, což je možné ozřejmit pupilometrií. Tyto nálezy ukazují, že aktivace LC nestojí za zlepšením kognice vyvolané cvičením (McGowan et al., 2019).

## 1.2. Struktury thalamu

### 1.2.1. *Histaminergní tuberomammilární neurony*

Histaminergní neurony se nachází výhradně v nucleus tuberomammilaris zadního hypothalamu, narozdíl od ostatních monoaminových systémů, jejichž podjednotky jsou v mozku relativně rozšířeny. Tuberomammilární neurony vysílají rozsáhlé projekce po celém CNS a pravděpodobně jsou organizovány ve funkčně odlišných okruzích, které mají vliv na různé oblasti mozku. Jsou homogenní skupinou neuronů, která funguje jako regulační síť pro aktivitu celého mozku skrze difuzní projekce. Mají vliv spíše na obecný stav metabolismu a vědomí než na specifické funkce (Giannoni et al., 2009; Wada et al., 1991).

Histaminergní neurony zvyšují excitaci CNS a vegetativní aktivitu. Tím napomáhají normálnímu průběhu volního chování, které zajišťuje splnění úkolu, jako například zajištění obživy. Rozšířené umístění projekcí a histaminových receptorů indikuje, že histamin ovlivňuje řadu funkcí mozku, jako stav vědomí, energetický metabolismus mozku, lokomoční aktivitu, neuroendokrinní, autonomní a vestibulární funkce, konzumování potravy, pití a sexuální funkce. Histamin se váže na receptory H<sub>1-4</sub>, přičemž H<sub>1</sub> hraje primární roli při ovlivňování stavu vědomí pomocí histaminu (Valdés et al., 2010; Wada et al., 1991).

V reakci na akutní fyzickou zátěž dochází k perifernímu vyplavení histaminu, což napomáhá vazodilataci (Lockwood et al., 2005). Zvýšení koncentrace ATP a ADP v mozku může vyvolat uvolnění histaminu z nucleus tuberomammilaris skrze neselektivní kationtové kanály (Furukawa et al., 1994). Loy a O'Connor (2016) zjistili, že při podání H<sub>1</sub> antagonistické látky dochází po cvičení ke zvýšení mentální únavy. Blokace účinku histaminu má vliv na únavu, pocit spánku a na motivaci provádět kognitivní úkoly. Aktivita H<sub>1</sub> receptoru má vliv až na 80% noradrenergických neuronů v locus coeruleus a také vyvolává serotonergní aktivitu v dorzálním nucleus raphe (Brown et al., 2002; Haas et al., 2008). Receptory H<sub>1</sub> se nachází také v nucleus accumbens. Vyplavení dopaminu z této struktury může mít vliv na energii, únavu a motivaci (Salamone et al., 2012).

### **1.2.2. Orexinergní peri-fornicální neurony**

Orexinergní neurony se nachází v peri-fornicální oblasti laterálního hypothalamu. Hrají významnou roli v endogenní produkci glukózy (Yi et al., 2009) a regulaci stavu bdělosti a svalové aktivity během REM fáze (Alam et al., 2002; Choudhary et al., 2014). Peri-fornicální oblast laterálního hypothalamu má vliv na množství chování sloužící k adaptaci na stres, včetně změn v nabuzení organismu a osu odměny (Harris a Aston-Jones, 2006). Při vystavení organismu akutnímu stresu dochází k mohutné aktivaci orexinergních neuronů. Při chronickém stresu dochází spíše k opaku (Nocjar et al., 2012). Odpověď orexinergního systému na stres v dospělosti je negativně ovlivněná stresem v dětství. Hypofunkce orexinergního systému je spojována s afektivními poruchami (Brundin et al., 2007). U myši mužského pohlaví má fyzická aktivita protektivní vliv proti účinkům, který má stres zažitý v brzkém věku na dospělé populaci. Cvičení také může za určitých podmínek přispívat k normalizaci funkce orexinergního systému (James et al., 2014).

Vyplavování orexinu má také vliv na obezitu, skrze zvýšení spontánní fyzické aktivity, která zvyšuje tzv. *non-exercise induced thermogenesis*. Tímto způsobem dochází ke zvýšení energetického výdeje. Deficience orexinového systému vede u zvířecích modelů naopak k obezitě i přes nižší kalorický příjem oproti druhu, který má nižší spontánní fyzickou aktivitu (Chieffi et al., 2017).

U pacientů s Alzheimerovou chorobou je zvýšená koncentrace orexinu v cerebrospinální tekutině. Ta je spojená se zhoršenou kvalitou spánku, která může vést ke zhoršení kognitivní funkce. Orexinergní systém je u pacientů s Alzheimerovou chorobou dysregulován a to společně s neurodegenerativním procesem může vést k příznakům nemoci (Liguori et al., 2014).

## 2. KOGNICE A JEJÍ OVLIVNĚNÍ

### 2.1. Kognice

Kognitivní, nebo také exekutivní funkce představují schopnost člověka koordinovat myšlenky a činnosti a směřovat je k dosažení cílů. Jsou nutné k plánování a organizování složitých sekvencí chování a k určování priorit cílů a dílčích cílů (Miller a Wallis, 2009). Pro didaktické a výzkumné účely lze kognitivní funkce rozdělit do jednotlivých domén. Existuje několik způsobů, jak chápat domény kognitivních schopností. Patří mezi ně klasifikace obecným procesem, jako je paměť, pozornost, jazyk nebo exekutivní funkce. Další způsoby chápání kognice jsou založeny na regionálních mozkových funkcích, odvozených na základě studií mozkových lézí. Ty charakterizují kognitivní funkce jako pocházející z čelního laloku, spánkového laloku, parietálního laloku, hipokampu nebo jiných struktur. Další organizační systém je hierarchický a založený na složitosti operací. Často označovaný jako shora dolů nebo zdola nahoru, představa je taková, že základní smyslové a vnímací operace jsou nejméně složité a uvažování a řešení problémů, označované jako exekutivní funkce, jsou nejsložitější (Harvey, 2019).

Někteří psychologové dělí kognitivní systémy na implicitní a explicitní. Explicitní systém je založený na pravidlech a jeho obsah lze vyjádřit slovy. Je také vázán na vědomí. Implicitní systém je založený na dovednostech a zkušenostech. Obsah implicitního systému nelze vyjádřit slovy, je přenášen prostřednictvím plnění úkolů. Nachází se mimo vědomí (Reber, 1989; Schacter a Bucnker, 1998). Explicitní systém je závislý na prefrontálních a medio-temporálních oblastech mozku (Dehaene, 2001; Poldrack a Packard, 2003). Anatomické struktury zodpovědné za funkci implicitního systému nejsou snadno odlišitelné. Autoři v literatuře nejčastěji zmiňují bazální ganglia, cerebellum a suplementární motorickou oblast. Tyto struktury jsou podstatné pro implicitní paměť (týkající se motorických a kognitivních dovedností) (Dietrich a Audiffren, 2011; Poldrack a Packard, 2003).

### **2.1.1. Fyzická aktivita**

Fyzická aktivita ve formě aktivního či chronického cvičení má nesporný vliv na kognitivní funkce. Mimo jiné to potvrzuje Chang et al (2012), kteří do své metaanalýzy zahrnuli 79 studií. Prokázali malý pozitivní vliv akutního cvičení na kognitivní funkce člověka. Tento nález byl konzistentní s již provedenými analýzami. Tento efekt se projevoval během cvičení, po cvičení i s časovým odstupem. Dochází k němu napříč věkovým spektrem. U dětí tento jev zkoumal v roce 2003 Sibley a Etnier. Na 44 studiích prokazují pozitivní korelaci chronické fyzické aktivity a kognice. U fyzicky zdatných preadolescentních dětí docházelo při stejném úkolu k většímu náboru neuronů a k rychlejšímu neurokognitivnímu zpracování. To se projevilo rychlejší odpovědí na stimul. Pozorování EEG a behaviorálních odpovědí naznačuje alokaci většího množství pracovní paměti a pozornosti ke zpracování podnětu (Hilman et al., 2005).

#### **Efekt na jednotlivé kognitivní funkce**

Nejdříve se budeme zabývat vlivem chronické fyzické aktivity. Kromě nesporného pozitivního vlivu na celkové zdraví člověka se ukazuje také vliv na centrální nervovou soustavu, respektive kognitivní funkce. Åberg et al. v roce 2009 publikovali studii s celkovým počtem probandů 1 221 727. Autoři uvádí, že úroveň kardiovaskulární fyzické zdatnosti (měřena na bicyklovém ergometru) pozitivně koreluje s úrovní inteligence. Vysoká úroveň fyzické zdatnosti v 18 letech života také ukazovala na vyšší pravděpodobnost studijních úspěchů později v životě. Kardiovaskulární trénink má pozitivní vliv na výsledky testu exekutivních funkcí u stárnoucích probandů. Zvýšená fyzická aktivita má pozitivní vliv také na neuroplasticitu a může napomáhat snižování biologických i kognitivních účinků stárnutí na lidský mozek (Colombe et al., 2004).

Efekt akutní fyzické zátěže nemůžeme považovat za jednoznačně potvrzený. Důkazem mohou být rozdílné závěry různých autorů podrobněji probrané v dalším odstavci. Tím proč dochází k různým výsledkům se zabýval Dietrich a Audiffren (2011), kteří poukazují na to, že je důležité jednotlivé kognitivní funkce oddělit a že nelze tvrdit, že akutní cvičení má obecný pozitivní vliv na každou z nich. Dalším

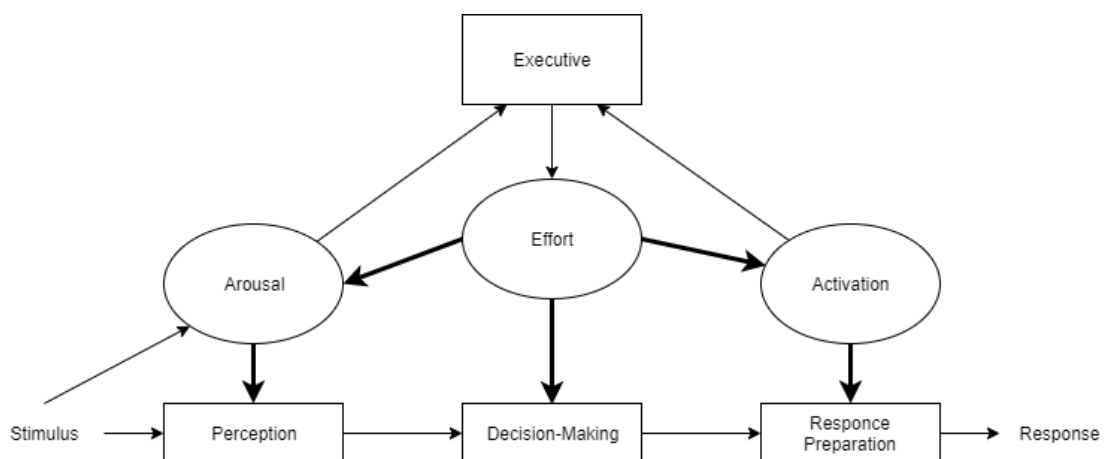
nedostatkem zkoumání jsou rozdílné parametry cvičení jednotlivých studií, například intenzita a délka zátěže.

Negativní vliv akutní zátěže se projevil u úkolů, které ověřovali prefrontální kognitivní funkci (Dietrich a Sparling, 2004). Dalším příkladem může být ovlivnění RNG testu, kdy účastníci po cvičení volí jednodušší strategii, která šetří výpočetní kapacitu (Audiffren et al., 2009). Ke snížení výkonu exekutivních funkcí došlo během submaximální zátěže i v průběhu 20 minut po ní (Del Giorno, 2010). Tomporowski a Ganio (2006), ale uvádí zlepšení výsledků testu exekutivních funkcí po fyzické aktivitě. Při individuálních instancích tělesné aktivity navíc nedocházelo ke zlepšení „*set-shifting*“ komponenty exekutivní funkce. Tato komponenta zajišťuje podvědomé převádění pozornosti mezi jednotlivými úkoly (Coles a Tomporowski, 2008).

Pozitivní akutní vliv cvičení se projevuje spíše na nižších kognitivních funkcích. Jednou z potvrzených domén kognice, která je pozitivně ovlivněna akutní fyzickou zátěží je paměť a učení. Potter a Kelling (2005) zkoumali vliv aerobní fyzické aktivity a cirkadiálních rytmů na výsledky ve variantě word recall testu. Bez fyzické aktivity byl zřetelný významný vliv cirkadiálních rytmů na paměť. Fyzická aktivita v podobě 10 minutové chůze vedla ke zlepšení výsledků testu ve všech testovaných časech, kromě 12:30. Autoři neprokázali přenesení efektu mezi jednotlivými testovacími jednotkami. Efekt akutní zátěže je tedy krátkodobý. Případný kumulativní efekt by mohl nastat při použití vyšší zátěže a delší doby aktivity. Efektem na proces učení se zabývali Winter et al. (2007). Zjistili, že po dvou třiminutových sprintech se účastníci učili o 20% rychleji v porovnání s mírným cvičením a sezením. V neposlední řadě můžeme pozorovat pozitivní efekt i na emoce člověka. Aerobní cvičení střední intenzity redukuje stres a úzkost, zmírňuje deprese, vyvolává analgézi a sedaci a obecný stav dobré nálady (Dietrich a McDaniel, 2004; Salmon, 2001).

## Vysvětlení efektu

Vliv fyzické aktivity na kognici člověka vysvětloval mimo jiné již Sanders v roce 1983, kdy prezentoval svůj kognitivně-energetický model. Další teorie se zabývaly vždy jen částí efektu a nepokoušeli se obsáhnout všechny efekty fyzické aktivity. Model poukazuje na provázanost tří úrovní mentálních operací. První úroveň je výpočetní (computational), která zahrnuje kódování stimulu, paměť a vybavování vzpomínek z paměťových struktur a výběr a plánování reakcí. Druhou úroveň nazývá výkonnou (executive). Ta řídí mechanistické procesy výpočetní úrovně i následné chování. Exekutivní funkce řeší nesrovnalosti které mohou existovat mezi požadovaným a skutečným stavem organismu. Vyhodnocením těchto diskrepancí stanoví cíle, kterých lze dosáhnout prostřednictvím určitých činností. Rolí exekutivy je plánovat, zahájit a monitorovat průběh reakce. Směr a intenzita reakcí závisí na alokaci zdrojů, které se nachází ve třech fondech energie. Jsou jimi fond úsilí, aktivační fond a fond nabuzení. **Fond úsilí**, který určuje celkový stav motivace organismu. **Aktivační fond**, který určuje zdroje, které organismus přidělí ke splnění požadavků, jež se vyskytují při plnění konkrétních cílů a **fond nabuzení**, který je aktivovaný stimuly a fondem úsilí. Sandersův model poskytuje ucelený rámec pro identifikaci procesů ovlivněných i neovlivněných cvičením (Tomporowski, 2003).



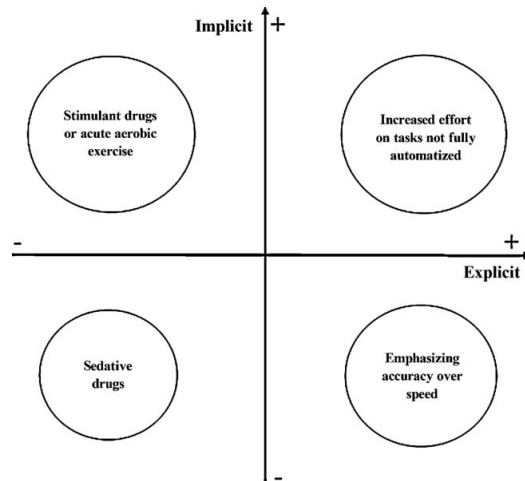
Obr. 2: Sandersův kognitivně-energetický model (převzato a upraveno z Tomporowski, 2003)

Dietrich a Audiffren (2011) tvrdí, že pro správnou analýzu dat je nutné stanovit rozdíl mezi exekutivními funkcemi a ostatními doménami kognice. Jenom pomocí modelů, které zahrnují tyto odlišnosti, lze vysvětlit, proč dochází při cvičení ke zlepšení některých kognitivních funkcí a zhoršení jiných. Fyzická aktivita zlepšuje výkon v úkolech závislých na reakční době a jiných jednoduchých rozhodovacích úkolech. Submaximální fyzická aktivita na úrovni 50% aerobického maxima má pozitivní vliv na obecnou pozornost a rychlost motorické odpovědi. Reakční čas se oproti klidu zkrátil o 20 ms. Snížení reakční doby neprovázelo žádné zhoršení přesnosti odpovědi (Davranche a Audiffren, 2004). Oproti tomu při kognitivních úkolech, ve kterých se významně zapojují exekutivní procesy (například selektivní inhibice, či inhibice odpovědi), došlo po akutním aerobním cvičení ke zhoršení (Davranche a McMorris, 2009).

Dietrich (2006) představuje model hypofrontality, který je v rozporu s následujícími myšlenkami: cvičení vede ke zvýšení dodávky krve do mozku a tedy i zvýšení dodávky kyslíku a glukózy; pohyb je zatěžující pro muskuloskeletální systém, ale mozek není nucen zasahovat do výpočetních rezerv; zlepšení nálady a kognice musí být nutně způsobeno zvýšením neurální aktivity. Středobodem modelu hypofrontality je fakt, že při cvičení dochází ke změnám alokace metabolických zdrojů mozku.

Fyzickou aktivitu můžeme považovat za budivý stresor. Propojení fyzické aktivity, centrálních katecholaminů, nabuzení organismu a zlepšení kognitivních funkcí podporují výsledky studií na zvířatech i lidech. Při prolongované velice namáhavé fyzické aktivitě dochází k syntéze noradrenalinu a ke zvýšení plazmatické koncentrace katecholaminů. Během vědomé aktivace se zvyšuje mozková noradrenergická aktivita. Úroveň kortikálního vědomí je závislá na aktivitě v locus coeruleus. Fyzická aktivita může vést ke zvýšení aktivace retikulární formace skrze somatosenzorickou zpětnou vazbu z pohybu končetin (McMorris et al., 2008). Při fyzické aktivitě dochází také k sympatikotonii a k aktivaci hypothalamo-hypofyzární osy. Oba tyto systémy uvolňují katecholaminy a indolaminy (Meussen a Meirleir, 1995).





**Obr. 3: Vliv vybraných faktorů na implicitní a explicitní funkce (převzato z Dietrich a Audiffren, 2011)**

Některé teorie pracují s neurotransmitery, jiné jsou založeny na anatomických poznatcích a jeden z kognitivních modelů jsme již představili výše. Přesto žádná neposkytuje uspokojivé vysvětlení. Serotonin může mít pozitivní vliv na náladu po cvičení, ale nevysvětluje proč dochází k rychlejší reakční době. Dopamin a noradrenalin mohou být příčinou nabuzení, ale jsou v rozporu s jakýmkoli vysvětlením sedace. Kognitivně-energetické teorie mohou popisovat některé aspekty kognitivních funkcí, ale selhávají u jiných (Dietrich a Audiffren, 2011). Pozitivní vliv na učení vysvětluje Winter et al. (2007) zvýšením periferních katecholaminů a BDNF (brain-derived neurotrophic factor).

V kapitole 2.1 jsme položili základ pro rozdělení implicitních a explicitních funkcí. Obsah explicitních funkcí lze vyjádřit slovy, nachází se ve vědomí a obecně můžeme považovat implicitní funkce za hierarchicky vyšší. Implicitní funkce jsou nevědomé, jejich obsah nelze vyjádřit slovy a na hierarchii se nachází níže. Explicitní systém má omezenou kapacitu. Proto dochází k ukládání motorických dovedností do implicitní paměti. Motorické funkce zprostředkované explicitně jsou neefektivní. To se projeví například při házení nedominantní končetinou. Přestože ovládáme danou motorickou dovednost, naše pohyby nejsou plynulé a kontrolované. Dobře naučená motorická dovednost je provedena s maximální efektivitou, pokud je kontrolována implicitním systémem (Dietrich, 2004; Dietrich a Audiffren, 2011). Vysoké výpočetní nároky, které má motorika na mozek můžeme prezentovat na příkladu umělé inteligence. Mozek můžeme v tomto

případě považovat za procesor, který je schopný omezeného počtu operací za sekundu. Jsme schopni snadno vyvinout počítač, který ovládne šachové žebříčky, ale naprogramovat bipedálního robota, který je schopen ladné chůze je mnohem náročnější. Ukazuje se, že hlavním problémem je udržení rovnováhy, protože senzomotorická integrace v reálném čase vyžaduje nepřeborné množství výpočetních operací. Mozek navíc ovládá individuálně každou motorickou jednotku a v reálném čase integruje senzorické a sensitivní vstupy z tělesných receptorů (Kuo et al., 2005).

Down-regulace explicitního systému se u člověka vyvinula jako kompenzace metakognitivních procesů pro situace, ve kterých tyto procesy nejsou výhodné – boj o přežití, který vyžaduje rychlou a účinnou reakci. Úkoly, které vyžadují okamžitou senzomotorickou integraci jsou nejlépe prováděny implicitním systémem. A to do takové míry, že zapojení explicitního systému efektivitu snižuje. Znamená to, že přemýšlení nad pohybem má negativní vliv na provedení i efektivitu pohybu, obzvláště pokud je již motorická dovednost dobře naučená (DeCaro a Beilock, 2009). Je nutné si uvědomit, že mozek musí při řízení motoriky měnit alokaci metabolických zdrojů podle následujících pravidel. Ty považujeme za fundamentální principy neurověd. Mozek má omezenou zásobu energie. Motorika je z výpočetního hlediska velice náročnou operací a neurální operace probíhají kompetitivně, tedy mozek nemůže udržet aktivaci všech svých neurálních sítí. Aktivita v jedné automaticky tlumí druhou (Nybo a Secher, 2004; Woolsey et al., 1996). Pokud při cvičení mozek udržuje masivní neurální aktivaci, která ovládá motorické jednotky, asimiluje senzorické vstupy a koordinuje autonomní regulaci, poté musí dle výše zmíněných principů dojít k odebrání zdrojů ze struktur, jejichž aktivace v daný moment není kritická. Podle transientní hypofrontální teorie se jedná o prefrontální kortex a možná limbický systém (Dietrich, 2006).

### **Retikulární aktivační model hypofrontality**

Tento model stojí na několika základních principech. Mozek má pouze omezenou dodávku metabolických zdrojů. Přestože dochází ke změnám na lokální úrovni, celkový metabolismus je stálý. Pohyb těla je výpočetně velice náročný

proces. Proto při něm dochází k alokaci zdrojů do mozkových oblastí, které kontrolují pohyb, do motorických, senzitivních a sensorických a do oblastí ovládajících autonomní nervový systém. Celkové množství alokovaných zdrojů závisí na množství svalové tkáně účastnící se pohybu a intenzitě pohybu. Dalším principem je fakt, že cvičení vede k vyplavování katecholaminů a indolaminů, které mají vliv na zpracovávání informací. K down-regulaci dochází směrem od oblastí, které řídí nejvyšší kognitivní funkce k oblastem níže ve funkční hierarchii. První ovlivněnou strukturou je prefrontální kortex (Dietrich a Audiffren, 2011).

Na základě tohoto modelu předkládá Dietrich a Audiffren (2011) několik tvrzení. Vysoká výpočetní náročnost pohybu je zvýšena množstvím aktivní svalové hmoty, intenzitou cvičení a délkou cvičení. Cvičení vede k vyplavování mozkových monoaminů, které mají sklon k facilitaci implicitních procesů. Explicitní procesy jsou naopak inhibovány vzhledem ke snížené dodávce metabolických zdrojů do center vyšších kognitivních funkcí (Del Giorno, 2010).

### **2.1.2. Kofein**

Stimulační efekt kofeinu je obecně přijímaným faktem. Při orálním požití se kofein téměř kompletně vstřebává gastrointestinálním traktem do krevního řečiště. Je schopný projít biologickými membránami, včetně placenty a hematoencefalické bariéry. Biologický poločas eliminace je přibližně 4 - 6 hodin s kratším časem u kuřáků a delším u těhotných žen a pacientů s chronickým onemocněním jater (Benowitz, 1990). Primární efekt nikotinu se přisuzuje blokaci adenosinových receptorů a následném posílení přenosu postsynaptického dopaminového D2 receptoru. Nejvyšší množství adenosinových receptorů nacházíme v hipokampu, mozkové a mozečkové kůře a v některých thalamických jádrech (Goodman a Synder, 1982). Efekt na adenosinové receptory je pozorován již při nízkých dávkách kofeinu (odpovídajících jednomu hrníčku kávy). Další efekty, jako například inhibice fosfodiesterázy, nebo mobilizace intracelulárního kalcia, vyžadují vyšší hladiny kofeinu, které pravděpodobně nelze dosáhnout běžným způsobem (Lorist a Tops, 2003).

Lidské zpracování informací zprostředkovávají různé kognitivní operace. Jedná se o samotné vnímání informací, selekce a provedení adekvátní akce, ale i složitější vyšší funkce jako plánování a příprava akce. Nelze s jistotou tvrdit, že kofein má pozitivní vliv na specifické kognitivní operace, přestože máme některé důkazy, že ovlivňuje pozornost a tím do jisté míry lidské vnímání (Loris a Tops, 2003; Marsden a Leach, 2000; Ruijter et al., 2000). Neprokázano se, že kofein konzistentně zlepšuje výsledek ve free recall testu slov, písmen i čísel. Do určité míry zlepšuje výkon v úkolech zahrnujících pracovní paměť, v úkolech které jsou na pracovní paměti vysoce závislé však výkon zhoršuje. Efekt kofeinu na dlouhodobou paměť nebyl důkladně zkoumán, ale výzkumy naznačují, že nemá významný vliv (Nehlig, 2010). Kofein má schopnost zpomalit efekt kognitivního stárnutí. U starších lidí zlepšuje zpracování informací a poměr rychlost/přesnost (Lorist et al., 1995).

### **2.1.3. Nikotin**

Nikotin se nejčastěji používá inhalačně. Průchod dýchacím systémem do alveolů a poté do plicního řečiště je rychlejší než při nitrožilním podání. Do mozku se nikotin dostává velice rychle, ale jeho koncentrace se okamžitě snižuje s tím, jak dochází k distribuci do dalších tělesných tkání. Biologický poločas rozpadu jsou v průměru 2 hodiny, s interindividuální variabilitou 1 - 4 hodiny (Benowitz, 1986). Nikotin je agonista nikotinového acetylcholinového receptoru. Může mít pozitivní efekt na kognitivní funkce skrze ovlivnění pozornosti. Reakcí na specifickém nikotinovém acetylcholinovém receptoru dochází k uvolnění acetylcholinu, glutamátu, dopaminu, noradrenalinu, serotoninu a kyseliny gama-aminomáselné. Tyto neurotransmitery jsou spojovány s funkcí učení a paměti (Rezvani a Levin, 2001; Wonnacott, 1997). Preklinické studie na zvířatech i lidských probandech ukázaly, že nikotin má pozitivní efekt na kognitivní funkce, účinek zahrnuje zlepšení jemné motoriky, pracovní paměti a epizodické paměti (Valentine a Sofuoglu, 2018).

#### **2.1.4. Spánek**

Spánek je prastaré, primitivní chování a důležitá součást života, která je považována za nezbytnou pro obnovu těla a mysli. Zdravý dospělý stráví spánkem přibližně třetinu svého života. Poruchy spánky jsou v dnešní společnosti běžné. Ukazuje se, že od počátku století byla populace vystavena konstantnímu snižování počtu hodin strávených spánkem. To je způsobeno celým spektrem sociálních a enviromentálních změn. Za příklad můžeme vybrat rozvoj umělého osvětlení, který vedl k tomu, že člověk již při svých aktivitách není závislý na denním světle (Miller et al., 2014).

Spánek je nezbytný pro dobré psychické zdraví a jeho nedostatek má negativní vliv na náladu a kognitivní i motorické funkce. V rámci kognitivních funkcí může docházet ke zhoršení paměti, řešení úkolů, jazyka, pozornosti a plánování. To může mít zásadní vliv na kvalitu života (Durmer a Dinges, 2005).

### **3. CÍLE PRÁCE**

V první části práce předkládáme stručný přehled současných poznatků o problematice *arousal systems* v CNS. Podrobně popisujeme pouze u nichž se objevuje spojitost s lokomocí či kognitivními funkcemi. V druhé části práce je cílem ve dvou experimentech ověřit, zda má lehká fyzická aktivita vliv na kognitivní funkce studentů střední a vysoké školy.

## **4. HYPOTÉZY PRÁCE**

Hypotéza č. 1: „Fyzická aktivita má v testované skupině pozitivní vliv krátkodobou paměť.“

Hypotéza č. 2: „Fyzická aktivita má v testované skupině pozitivní vliv na kognitivní reflexi“

Hypotéza č. 3: „Fyzická aktivita má v testované skupině pozitivní vliv na pozornost a schopnost řešit problémy.“

Hypotéza č. 4: „Fyzická aktivita má v testované skupině pozitivní vliv na jazykovou doménu kognice.“

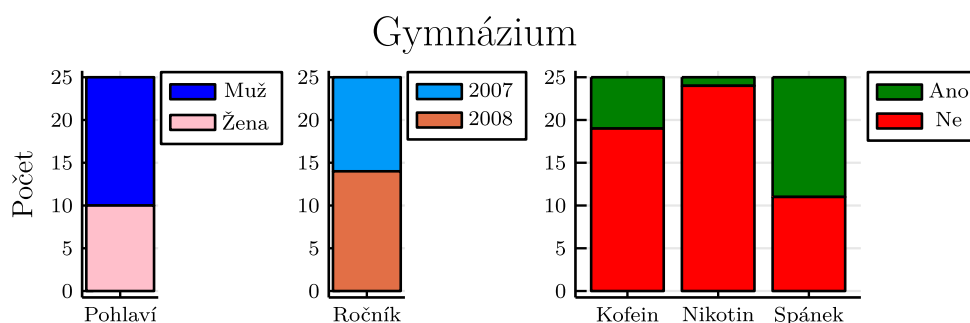
## 5. PRAKTICKÁ ČÁST

### 5.1. Metodika

#### 5.1.1. Obecná charakteristika souboru

##### Studenti osmiletého gymnázia

Při pilotním experimentu jsme testovali žáky 4. ročníku osmiletého studijního programu na Gymnáziu Edvarda Beneše v Kladně. Žádná další kritéria pro výběr jsme neurčili, jednalo se tedy o vzorek zdravé populace studentů ve věku přibližně 15 let. Celkový počet probandů byl 25, dva studenti provedli pouze první část pokusu a tak byli vyloučeni. Ve zkoumané skupině byla převaha studentů mužského pohlaví (16; 59,3 %) nad ženským pohlavím (11; 40,7 %). Další parametry lze vyčíst v obrázku číslo 4.

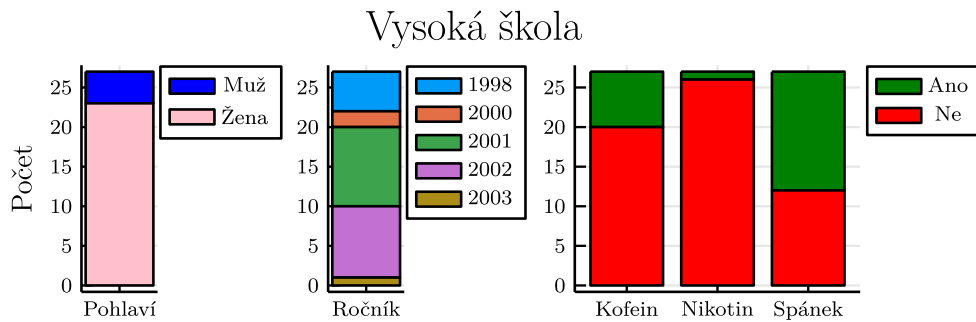


Obr. 4: Popis zkoumaného souboru žáků osmiletého gymnázia

##### Studenti vysoké školy

V rámci klinického experimentu jsme testovali studenty vysoké školy. Celkový počet probandů ve skupině byl 27. Nábor probandů proběhl přes studijní email jednotlivých ročníků. Většina studentů navštívila v době pokusu 2 LF UK (26), jeden student byl z MATFYZ. Ve zkoumaném souboru byla značná převaha probandů ženského pohlaví (23; 85,2 %) oproti mužskému pohlaví (4; 14,8 %). Další podrobnosti můžeme vyčíst z obrázku č. 5.





Obr. 5: Popis zkoumaného souboru žáků vysokých škol

### 5.1.2. Kognitivní test

Janssen et al. (2017) uvádí, že pro pacienty, kteří mají nízké riziko kognitivní dysfunkce je vhodné použít testy s vysokou negativní prediktivní hodnotou a testy které jsou krátké (do 10 minut). Probandi pro naše měření byli vybráni ze vzorku zdravé populace a proto nebylo možné použít klasické testy jako clock-drawing test či MoCA test, které nemají dostatečně senzitivní škálu. Další test, který je obvykle používán pro hodnocení kognitivní funkce je MMSE. Doba testování je 5 - 10 minut, avšak senzitivita testu pro zdravou populaci je nevyhovující. Maximální počet bodů je 30 a výsledek 27 stále považujeme za normální kognitivní funkce (Schatz, 2011). Crum (1993) měřil výsledky MMSE v závislosti na věku a vzdělanosti. Pro věk 18 - 24 uvádí medián 29. Můžeme tedy předpokládat, že naši probandi by dosáhli podobných výsledků a test by nebyl dostatečně senzitivní.

Pro potřeby našeho měření jsme vytvořili vlastní kognitivní test, který zahrnoval některé domény kognice – krátkodobou paměť, jazykové schopnosti, pozornost a řešení problémů. Pro otestování krátkodobé paměti jsme využili word recall test. Promítali jsme probandům video, ve kterém se každé 3 sekundy objevilo jiné slovo. Po celkem 15 slovech měli probandi 2 minuty na napsání co nejvíce slov. Pro hodnocení jazykových schopností jsme zařadili fonemický verbal fluence test. Hlášky pro hodnocení jsme vybrali dle počtu slov, které lze na dané písmeno vytvořit. Dle Králíka (1983) jsme pro hodnocení vybrali grafémy „S“ a „V“, které si byly ve statistických hodnotách relativně blízko a zároveň byly druhý a třetí v počtu slov, které na ně lze vytvořit. Více než dvakrát více slov lze vytvořit na grafém „P“, který by jednu variantu testu učinil jednodušší. Na napsání co nejvíce slov měli probandi 1 minutu.

Pro testování pozornosti a řešení problémů jsme zařadili cognitive reflection test a číselné řady. CRT dle Fredericka je sada tří slovních úloh, které mají za úkol otestovat schopnost člověka vrátit se ke své odpovědi a zhodnotit ji. Jsou modelovány tak, aby měly jednu intuitivní a jednu správnou odpověď. Vychází z modelu, ve kterém mají kognitivní procesy dva systémy. Systém jedna nastává automaticky a nevyžaduje příliš mnoho pozornosti. Může to být například rozpoznání obličeje člověka, který vejde do místnosti. Tento proces nastává okamžitě a není ovlivněn intelektem, pozorností, motivací, ani obtížností daného úkolu. Systém dva může nastat při řešení složitějších matematických problémů. Při těch dochází k mentálním operacím vyžadujícím úsilí, motivaci, soustředění a provedení naučených postupů (Stanovich a West, 2000; Frederick, 2005). Pro vytvoření dvou variant testu jsme použili rozšířenou variantu CRT, která obsahuje 3 slovní úlohy navíc (Toplak et al., 2013).

V neposlední řadě test obsahoval soubor 3 číselných řad. Pro vyřešení řad byly vyžadovány pouze základní matematické operace. V řadě bylo 7 čísel a osmé v řadě chybělo. Každá varianta testu obsahovala číselnou řadu sčítací, řadu zaměřenou na mocniny 2 a řadu složenou ze dvou střídajících se řad. Číselné řady pro hodnocení kognitivních schopností obsahuje například i Woodcock-Johnsonův test kognitivních schopností (Mrhálek et al., 2021). Samotný kognitivní test je v přílohách (příloha X).

Před vyplněním testu odpovídali studenti na otázky ohledně dalších proměnných, které by mohly mít vliv na jejich kognitivní funkce. Z chemických látek jsme vzhledem k dostupnosti vybrali kofein a nikotin, přestože jsme si vědomi, že na kognitivní funkce člověka má efekt nepřeberné množství substancí. Ptali jsme se na užití látky daný den, jelikož biologický poločas kofeinu je 4 – 6 hodin a u nikotinu do 4 hodin. Poslední proměnnou, kterou jsme testovali byl spánek. Kvalitní spánek byl definovaný jak subjektivně: pocit odpočínutí a kvalitního spánku, tak objektivně: délka spánku alespoň 7 hodin.

### **5.1.3. Postup měření**

První měření probíhalo na studentech čtvrtého ročníku osmiletého gymnázia. Na začátku vyučovací hodiny anglického jazyka jim bylo sděleno, že na konci proběhne měření. Po přibližně 35 minutách výuky byl probandům předložený kognitivní test. Jednotlivé úkoly byly vysvětlovány vždy před jejich plněním v průběhu testu. Po vyplnění hlavičky následovala první otázka testu – Word recall test. Studentům, kteří byli náhodně vybráni do skupiny „A“ zadávající četl postupně 15 slov. Poté začal měřit 2 minuty a četl slova skupině „B“. Poté co obě skupiny dokončily první otázku měly 10 minut na vyplnění následujících dvou. Zadávající přečetl zadání a vysvětlil případné nesrovnalosti. Po 8 minutách bylo studentům sděleno písmeno na které měli po dobu 1 minuty napsat co nejvíce slov. Poté byly testy vybrány a studenti měli 10 minut přestávky ve které nebyli kontrolováni. Následovala vyučovací hodina tělocviku, ve které studenti absolvovali kruhový trénink trvající 23 minut. Obsahoval 7 stanovišť, na kterých se studenti (rozděleni náhodně do 7 skupin) střídali po 1 minutě a 30 vteřinách. Celý okruh byl proveden dvakrát s přestávkou trvající 2 minuty. Trénink byl bez zaměření na specifickou svalovou skupinu, jednalo se o celotělový trénink složený z: kliků, dřepů, panáků, sklapovaček, reverse snow angels, výponů na žebřinách a angličáků. Pokud cvičenec nebyl schopen daného cviku, mohl provést zjednodušenou variantu. Bezprostředně po dokončení kruhového tréninku absolvovali účastníci experimentu opačnou variantu testu, než při prvním měření.

Po zhodnocení pilotního pokusu jsme došli k závěru, že pro objektivitu pokusu bude výhodnější, aby obě skupiny plnili zadání časovaných otázek ve stejný čas. Vytvořili jsme video, ve kterém se na polovině obrazu střídala slova skupiny „A“ a na druhé skupiny „B“. To samé jsme vytvořili pro odhalení písmene pro verbal fluence test. Videu měla přesně nastavenou délku, což eliminovalo lidskou chybu při měření času.

Účastníky druhého pokusu jsme náhodně rozdělili na dvě skupiny. První skupina absolvovala po dobu 20 minut okruh běžnou chůzí (5 km/h) v areálu FN Motol. Druhá skupina mezitím čekala 20 minut v místnosti se zataženými závěsy a s instrukcí, aby docházelo k minimálním interakcím mezi účastníky. Na promítací

plátno jsme pustili němé video noční oblohy, pro stimulaci probandů, abychom zamezili spánku. Po 20 minutách se do místnosti vrátila první skupina a všichni účastníci měli 2 minuty na aklimatizaci. Po vyplnění hlavičky testu jsme na plátno pustili video, ve kterém byla oběma skupinám naráz prezentována slova na word recall test. Video mělo takovou délku, aby po odprezentování slov trvalo přesně 2 minuty. Následně měli studenti 8 minut na vyplnění druhé a třetí otázky. Čtvrtá otázka byla zadávána pomocí videa, které ukázalo oběma skupinám písmeno ve stejný čas. Toto video trvalo přesně 1 minutu, po které byl test ukončen. Následovala 5 minutová pauza. Poté se skupiny vyměnili, tedy skupina první, která začínala chůzí byla instruována k tomu, aby bez mluvení seděla ve tmavé místnosti. Skupina druhá absolvovala okruh. V samotném řešení testu nebyl rozdíl, pouze účastníci vyplňovali alternativní variantu testu.

#### ***5.1.4. Statistické zpracování***

Statistické zpracování výsledků jsme prováděli v programu Jamovi. Pracovali jsme s hladinou významnosti 0,05. Pro ověření hypotézy jsme použili Studentův T-test. Předpokladem těchto parametrických testů je ověření normality a homogenity. Ty jsme zhodnotili pomocí Shapiro-Wilk testu normality a Levenova testu shody rozptylů. Pro zhodnocení výsledků, které nejsou z normálního rozdělení jsme použili neparametrický Wilcoxonův test.

## 5.2. Výsledky

### 5.2.1. Studenti střední školy

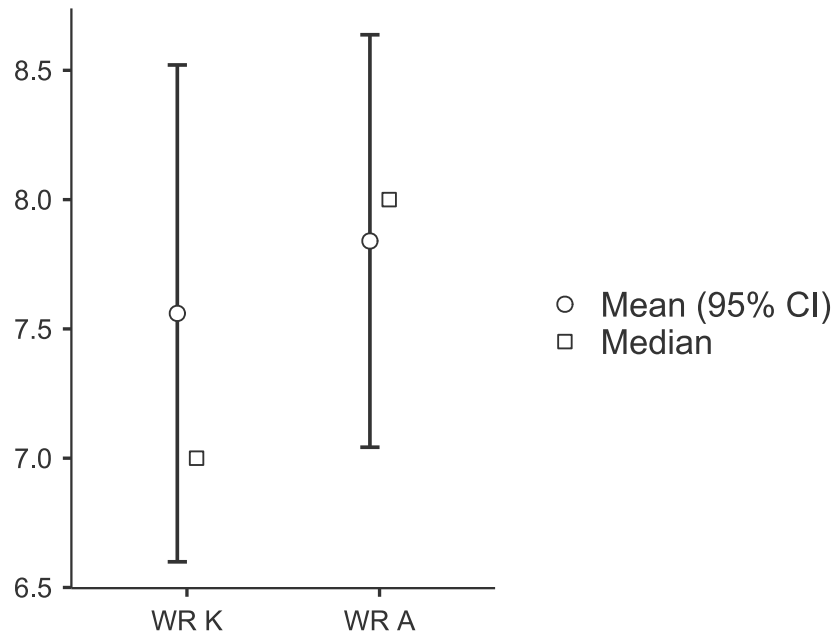
V následující kapitole podrobněji popíšeme výsledky prvního experimentu prováděného na studentech střední školy. V tabulce 1 prezentujeme všechny výsledky. Písmeno „K“ značí výsledek testu po klidu a písmeno „A“ výsledek testu po aktivitě. Pro přehlednost jsme zeleně zvýraznili hodnoty u kterých došlo ke zlepšení, hodnoty u kterých došlo ke zhoršení jsme zvýraznili červenou barvou a žlutá barva označuje hodnoty, které se v obou případech nelišily. V tabulce také můžeme vyčíst další proměnné, které jsme při pokus sledovali.

Proband	Word Recall K	Word Recall A	CRT K	CRT A	Řady K	Řady A	VF K	VF A	Kofein	Nikotin	Kvalitní Spánek
1	10	11	1	0	2	3	13	17	Ano	Ne	Ano
2	6	6	1	1	2	1	13	11	Ne	Ne	Ne
3	7	7	0	0	2	2	15	13	Ne	Ne	Ano
4	12	7	1	3	2	3	9	18	Ne	Ne	Ano
5	6	9	2	0	2	3	6	8	Ne	Ne	Ne
6	5	5	2	3	2	2	7	8	Ne	Ne	Ano
7	12	7	1	2	2	3	12	19	Ano	Ne	Ano
8	7	11	0	1	2	2	16	16	Ne	Ne	Ne
9	5	9	0	1	1	1	14	9	Ne	Ano	Ne
10	9	10	3	2	2	3	14	17	Ne	Ne	Ano
11	6	7	2	0	0	1	11	16	Ano	Ne	Ne
12	8	8	1	1	0	1	12	12	Ne	Ne	Ne
13	6	8	3	3	2	2	10	15	Ano	Ne	Ano
14	4	7	2	1	2	3	10	13	Ne	Ne	Ano
15	14	13	3	0	2	2	19	17	Ano	Ne	Ne
16	10	8	3	2	2	2	13	11	Ne	Ne	Ano
17	6	9	3	2	2	3	7	7	Ne	Ne	Ano
18	7	7	3	1	2	2	18	16	Ne	Ne	Ne
19	6	7	3	0	2	1	12	10	Ne	Ne	Ne
20	9	8	2	2	2	2	10	12	Ne	Ne	Ne
21	6	6	1	0	2	2	10	10	Ne	Ne	Ano
22	7	9	1	0	2	1	13	11	Ne	Ne	Ano
23	6	5	2	0	2	1	7	10	Ne	Ne	Ne
24	7	4	3	3	3	3	12	15	Ne	Ne	Ano
25	8	8	2	0	2	2	17	10	Ano	Ne	Ano

Tabulka 1. Přehled všech výsledků studentů střední školy

## Word recall test

Hodnoty výsledků Word recall testu před a po aktivitě můžeme považovat za pocházející z normálního rozdělení  $p=0.120$ . Výsledkem Studentova T-testu je  $p=0.280$ . Nemáme dostatek důkazů pro zamítnutí nulové hypotézy. Fyzická aktivita neměla u studentů střední školy statisticky významný pozitivní vliv na hodnoty word recall testu.



Obr. 6: Graf výsledků ve word recall testu studentů střední školy

Celkem u 11 účastníků pokusu došlo ke zlepšení výsledků tohoto testu v průměru o 2,3 body (Med = 3). V dotazníkovém šetření uváděli 3 z těchto probandů užití kofeinu, 5 účastníků uvedlo pocit vyspání kvalitním spánkem. Nejvýraznější zlepšení proběhlo o 4 body a to ve dvou případech ze 7 na 11 a z 5 na 9 bodů. Ke zhoršení došlo u 7 probandů, v průměru o 3,2 bodu (Med = 2). Pod vlivem kofeinu byl 1 účastník, 4 uvedli pocit vyspání. Nejvýznamnější zhoršení proběhlo u dvou probandů o 5 bodů, v obou případech z 12 na 7 bodů. Stejný výsledek v obou variantách testu zaznamenalo 7 účastníků pokusu. Další informace se nachází v tabulce č. 1.

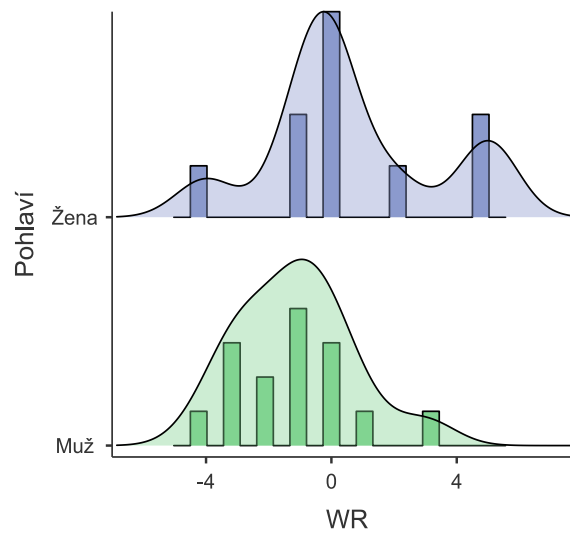
V grafech na obrázcích 7 – 9 prezentujeme závislost výsledků na sledovaných proměnných. Nikotin jsme vynechali z důvodu příliš malého vzorku (1). Pro statistické zpracování je vzorek příliš malý i u ostatních proměnných,

nicméně můžeme zde popsat určitý trend a parametry výsledků. Grafy představují rozdíl hodnoty testu po klidu a po aktivitě.

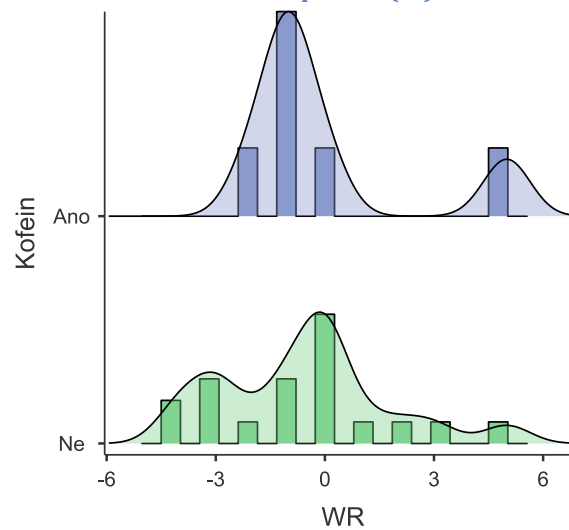
Ženy dosahovaly v tomto testu po klidu průměrně o 2,6 bodu více a po aktivitě v průměru o 1,4 bodu více. Dosáhly také o 4 vyšší maximální hodnotu (14). Graf na obrázku č. 7 ukazuje relativně stejné hodnoty pro muže i ženy. Za zmínku stojí druhá amplituda v hodnotách 4 (tyto studentky měly hodnotu testu po aktivitě o 4 menší než po klidu).

Probandi, kteří užili kofein dosahovali v tomto testu po klidu průměrně o 2,3 bodu více a po aktivitě 1,6 bodu více. Maximální hodnota výsledku byla o 2 body vyšší než bez efektu kofeinu. Na obrázku č. 8 můžeme pozorovat trend, který ukazuje vyšší špičku v záporných hodnotách (tzn. že hodnota testu po aktivitě je vyšší).

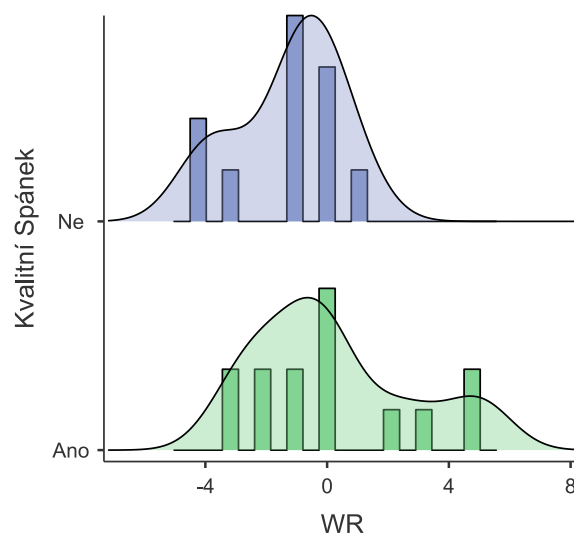
Kvalita spánku ovlivnila výsledek testu pozitivně pouze v případě provádění testu po klidu, zde dosahovali studenti výsledků v průměru o 0,5 bodu vyšších. Po aktivitě dosahovali studenti po kvalitním spánku v průměru o 0,6 bodu nižších výsledků. Z grafu na obrázku č. 9 můžeme vyčíst, že část dobře odpočatých studentů dosáhla horších výsledků po aktivitě i přes znatelný trend poklesu tímto směrem.



**Obr. 7: Rozdíl ve WR testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (SŠ)**



**Obr. 8: Rozdíl ve WR testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (SŠ)**

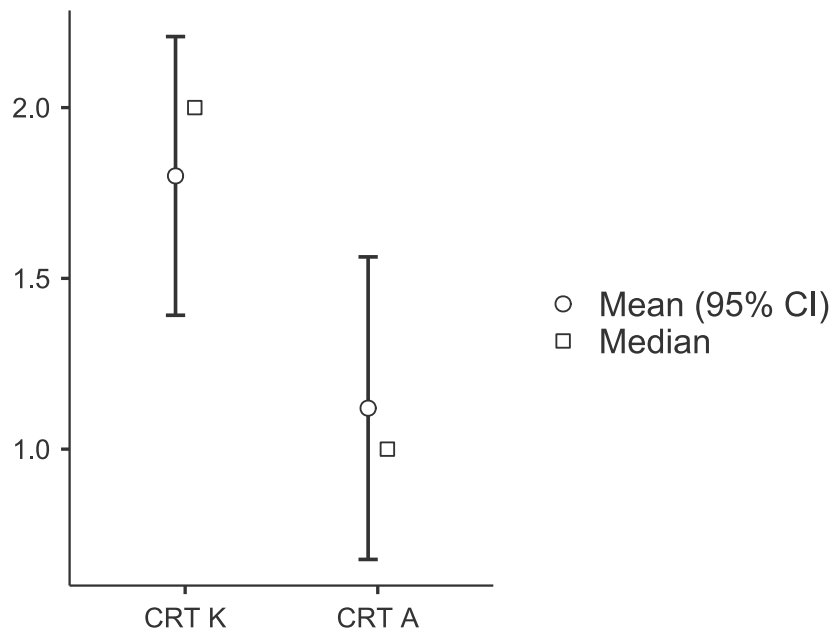


**Obr. 9: Rozdíl ve WR testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (SŠ)**



### Cognitive reflection test

Výsledky CRT jsou z normálního rozdělení dle Shapiro-Wilk testu,  $p= 0.209$ . Hodnota Studentova T-testu,  $p= 0.992$ . Nemáme dostatek důkazů pro zamítnutí nulové hypotézy a přijímáme tedy fakt, že fyzická aktivita neměla u studentů střední školy statisticky významný pozitivní vliv na hodnoty CRT. Můžeme potvrdit opačný (negativní) efekt fyzické aktivity na CRT s hodnotou  $p= 0.008$ .



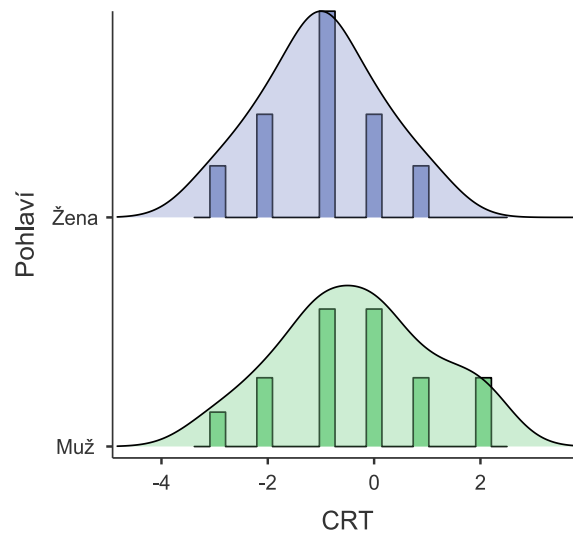
Obr. 10: Graf výsledků v cognitive reflection testu studentů střední školy

Ke zlepšení výsledku tohoto testu došlo v 5 případech, průměrně o 1,2 bodu (Med = 1). Užití kofeinu uváděl 1 účastník, 3 udávali kvalitní spánek. Nejvýraznější zlepšení proběhlo o 2 body (z 1 na 3 body). Celkem 14 probandů se po fyzické aktivitě zhoršilo, průměrně to bylo o 1,7 bodu (Med = 2). Z nich 8 bylo pod vlivem kofeinu a 4 uvedli po předchozí noci pocit kvalitního vyspání. Nejvýraznější zhoršení proběhlo ve dvou případech o 3 body a to ze 3 na 0 bodů. Stejný výsledek po klidu i po fyzické aktivitě zaznamenalo 6 studentů. Více podrobností lze nalézt v tabulce č. 1.

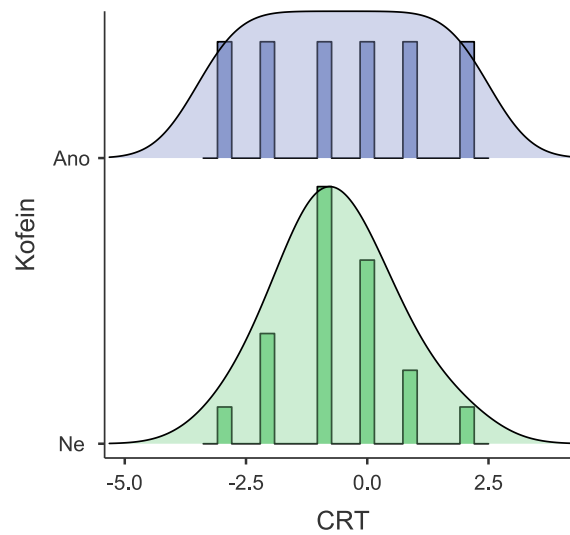
Na obrázcích č. 11 – 13 prezentujeme grafy srovnávající výsledek CRT v klidu a v aktivitě v závislosti na námi sledovaných proměnných. Ženy dosahovaly v tomto testu po aktivitě v průměru o 0,7 méně a po aktivitě průměrně o 0,4 méně bodů. Obě pohlaví dosáhli stejných maximálních hodnot. Na obrázku č. 11 můžeme na křivce popisující výsledky žen vidět posun apexu mírně vlevo.

Probandi, kteří užili kofein dosahovali po aktivitě v průměru o 0,3 bodu více, po aktivitě o 0,4 bodu méně. Maximální výsledek byl pro obě skupiny stejný. Na obrázku č. 12 můžeme v grafu pozorovat po užití kofeinu oploštění křivky a rovnoměrné rozložení hodnot v porovnání se skupinou bez vlivu kofeinu.

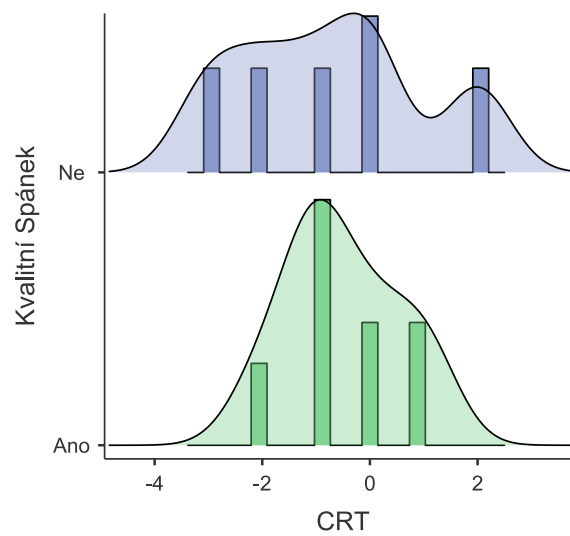
Kvalita spánku ovlivnila pozitivně výsledek testu po klidu (průměrně o 0,1 bodu vyšší) i po aktivitě (průměrně o 0,9 bodu vyšší). Obě skupiny dosáhly stejného maxima při testování po klidu, po aktivitě dosáhli probandi bez kvalitního spánku maximální hodnoty o 1 nižší. Na grafu na obrázku č. 13 můžeme vidět vysoký počet probandů s kvalitním spánkem v záporných hodnotách grafu. Křivka zobrazující hodnoty studentů nevyspalých je zploštělá se sekundární špičkou v hodnotě 2.



**Obr. 11: Rozdíl v CRT testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (SŠ)**



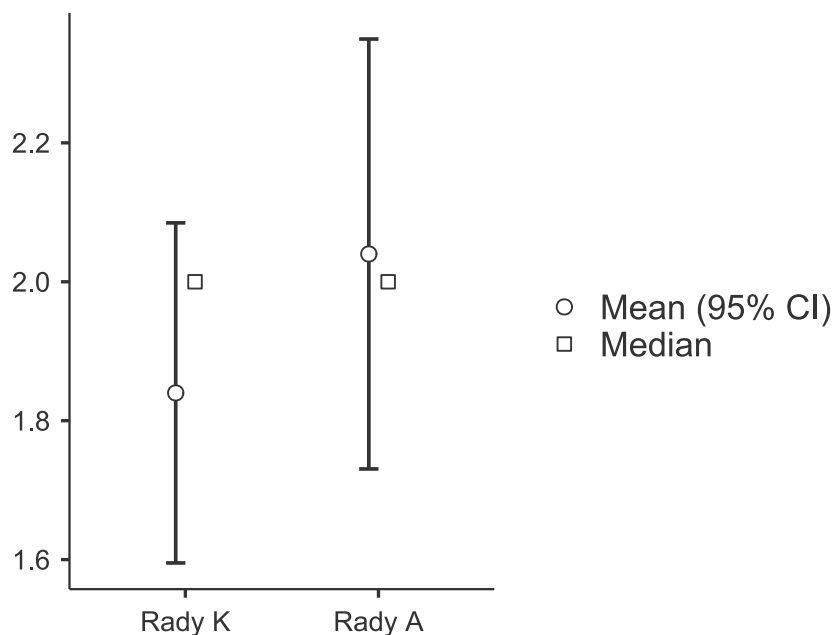
**Obr. 12: Rozdíl v CRT testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (SŠ)**



**Obr. 13: Rozdíl v CRT testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (SŠ)**

## Číselné řady

Hodnoty výsledků číselných řad nejsou z normálního rozdělení dle Shapiro-Wilk testu,  $p < 0.001$ . K posouzení hypotézy tedy používáme Wilcoxonův test,  $p = 0.085$ . Nemůžeme potvrdit statisticky signifikantní pozitivní efekt fyzické aktivity na výsledky probandů v řešení číselných řad.



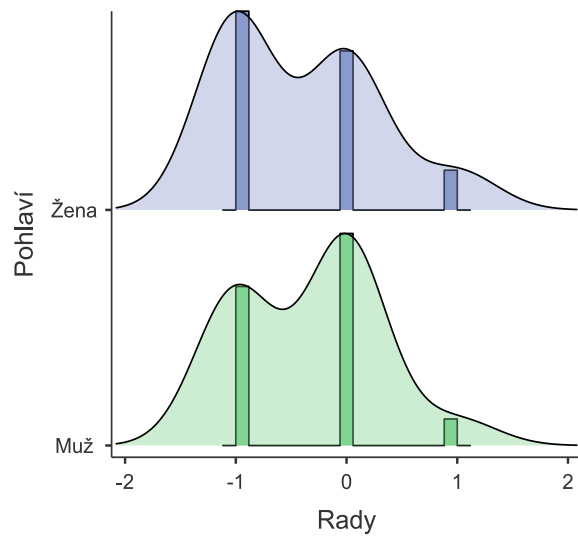
Obr. 14: Graf výsledků v testu číselných řad studentů střední školy

Ke zlepšení výsledku testu došlo v 9 případech, v průměru o 1 bod (Med = 1). Pod vlivem kofeinu byli 3 účastníci. Celkem 6 uvádělo po předchozí noci pocit kvalitního vyspání. Ve všech 9 případech proběhlo zlepšení o 1 bod. Ke zhoršení došlo ve 4 případech, průměrně o 1 bod (Med = 1). Žádný z těchto účastníků neuváděl požití kofeinu, 1 uváděl pocit kvalitního spánku. Ve všech 4 případech došlo ke zhoršení o 1 bod. Stejného výsledku dosáhlo v obou případech celkem 12 probandů. Další podrobnosti lze sledovat v tabulce č. 1.

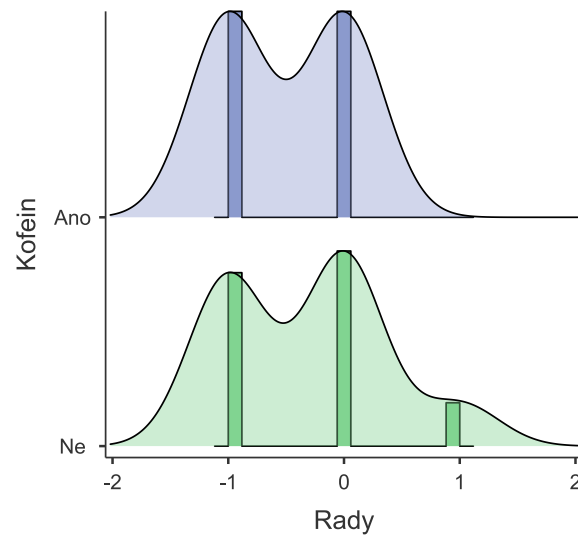
Další proměnné ovlivnily výsledek testu číselných řad pouze nepatrně. Ženy dosahovaly v tomto testu po klidu v průměru o 0,1 bodu méně a po aktivitě v průměru o 0,1 bodu více. Po klidu dosáhly maximální hodnoty o 1 menší než muži, po aktivitě byla maximální hodnota stejná. Na obrázku č. 15 lze pozorovat, že křivky obou pohlaví mají stejný průběh.

Efekt kofeinu byl také minimální. Probandi dosahovali v testu po užití kofeinu po klidu v průměru o 0,2 bodů méně a po aktivitě o 0,2 bodů více. Po klidu dosáhli probandi pod vlivem kofeinu o 1 bod menší maximální hodnoty. Po aktivitě byla maximální hodnota stejná. Křivky grafů obou skupin na obrázku č. 16 kopírují navzájem svůj průběh.

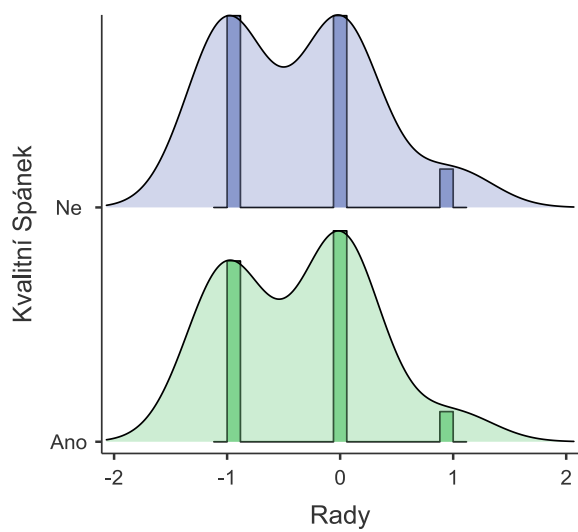
Efekt kvality spánku byl ze sledovaných proměnných největší. Po klidu dosahovali probandi po kvalitním spánku v průměru o 0,5 vyšších hodnot. Po aktivitě se tento rozdíl zvýraznil na průměrně 0,9 bodu. Kvalita spánku také pozitivně ovlivnila maximální hodnoty, kterých probandi dosahovali. Po klidu byla tato hodnota o 1 vyšší, po aktivitě stejná. Stejně jako v předchozích případech můžeme na grafu na obrázku č. 17 vidět podobný průběh obou křivek.



Obr. 15: Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (SŠ)



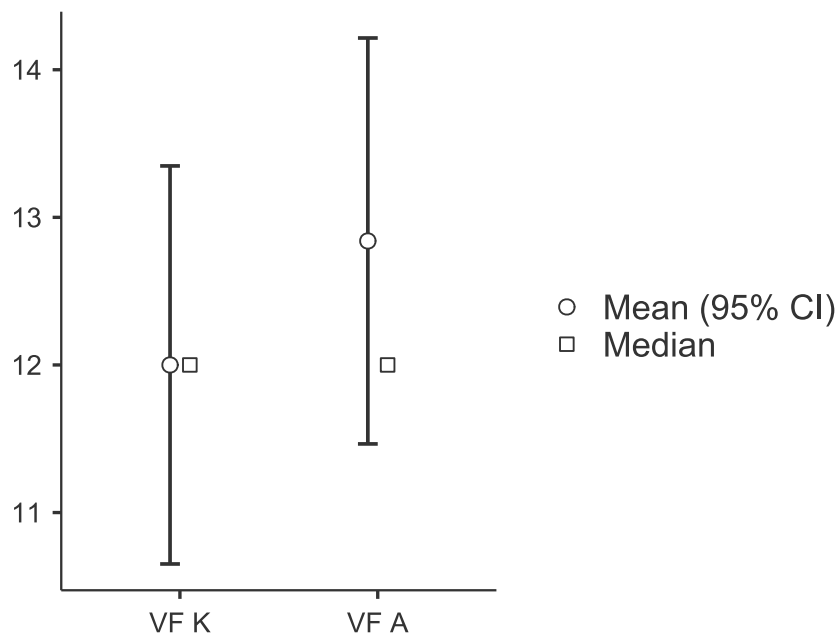
Obr. 16: Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (SŠ)



Obr. 17: Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (SŠ)

### Verbal fluence test

Hodnoty výsledků verbal fluence testu pochází z normálního rozdělení,  $p = 0.615$ . Výsledek Studentova T-testu je  $p = 0.133$ . Nemáme tedy dostatek důkazů pro zamítnutí nulové hypotézy. Přijímáme fakt, že fyzická aktivita neměla statisticky významný pozitivní vliv na výsledky studentů střední školy ve verbal fluence testu.



Obr. 18: Graf výsledků ve verbal fluence testu studentů střední školy

Ke zlepšení došlo u 12 studentů, průměrně o 4 body (Med = 5). Celkem 4 účastníci užili před testováním kofein, 8 uvádělo pocit kvalitního vyspání. Nejvýznamnější zlepšení proběhlo o 9 bodů, z 9 na 18 bodů. Ke zhoršení došlo u 9 probandů, průměrně o 2,9 bodu (Med = 3). 2 účastníci byli pod vlivem kofeinu, 4 uvedli pocit kvalitního spánku. Nejvýraznější zhoršení proběhlo o 7 bodů a to ze 17 na 10 bodů. Stejného výsledku v obou testech dosáhli 4 účastníci. Další informace lze nalézt v tabulce č. 1.

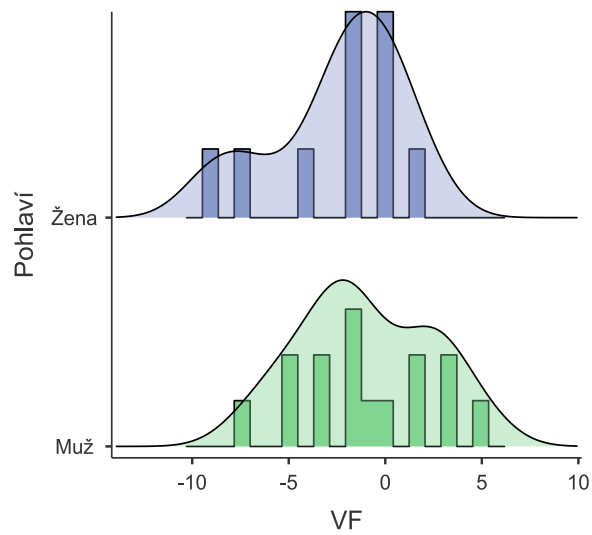
Ženy dosahovaly v tomto testu po klidu v průměru o 2,5 více bodů a po aktivitě průměrně o 3,5 bodu více. Maximální hodnoty byly pohlavím také ovlivněny. Ženy dosáhly maximální hodnoty o 2 body vyšší (19). Na grafu na obrázku č. 19 lze vidět, že křivka popisující výsledky studentek má vrchol posunutý

oproti studentům vpravo, nicméně obsahuje druhý vrchol v záporných hodnotách, který značí lepší výsledky studentek po aktivitě.

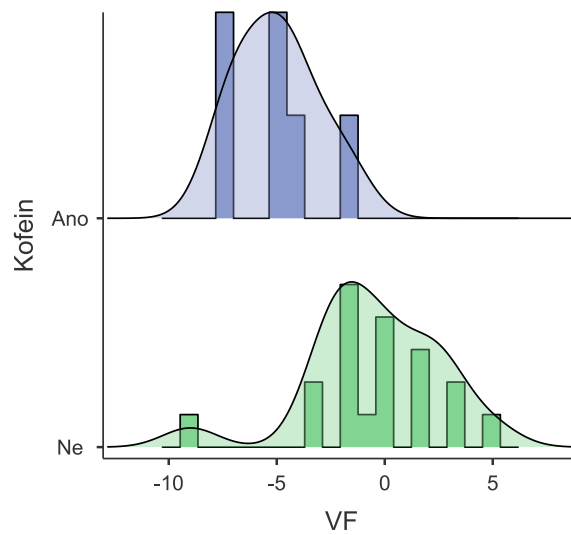
Požítí kofeinu pozitivně korelovalo s výsledky v tomto testu. Po klidu dosahovali studenti pod vlivem kofeinu v průměru o 2,2 více bodu, po aktivitě průměrně o 3,8 více bodu. Probandi po požití kofeinu dosáhli maximální hodnoty o 1 vyšší (19). Na grafu na obrázku č. 20 lze vidět posun vrcholu křivky popisující studenty pod vlivem kofeinu doprava.

Efekt kvality spánku nebyl příliš výrazný. Po klidu dosahovali dobře odpočatí studenti v průměru o 0,9 bodů méně a po aktivitě o 0,6 bodů více. Maximální hodnoty se na rozdíl od ostatních proměnných sledovaných u tohoto testu lišily po aktivitě a po klidu. Spánek měl pozitivní vliv na maximální hodnotu po aktivitě – o 2 body vyšší (19). Při měření po klidu dosahovali dobře odpočatí probandi maximální hodnotu naopak o 2 menší (17).

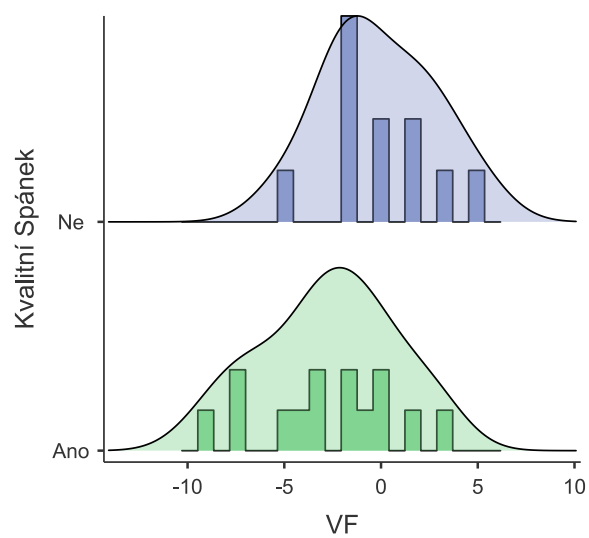




**Obr. 19: Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (SŠ)**



**Obr. 20: Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (SŠ)**



**Obr. 21: Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (SŠ)**

### ***5.2.2. Studenti vysoké školy***

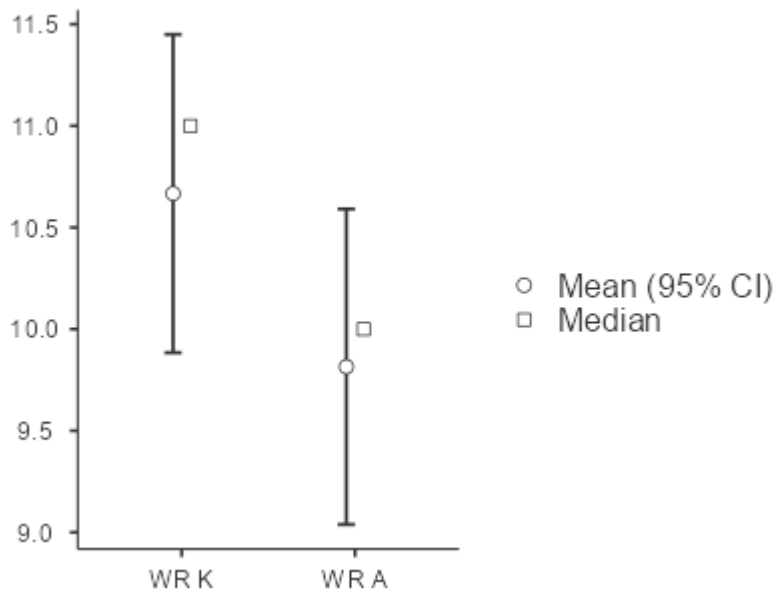
V následující kapitole podrobněji popíšeme výsledky druhého experimentu provedeného na studentech 2 LF a MATFYZ. V tabulce číslo 2 prezentujeme všechny zaznamenané výsledky společně s dalšími proměnnými, které jsme sledovali (kofein, nikotin, kvalitní spánek). Písmeno „K“ značí provedení konkrétního testu po klidu, písmeno „A“ po aktivitě. Červená barva značí, že daný proband se v testu po aktivitě zhoršil, žlutá barva znamená stejný výsledek. Zelenou barvou jsme označili zlepšení výsledku.

Proband	Word Recall K	Word Recall A	CRT K	CRT A	Řady K	Řady A	VF K	VF A	Kofein	Nikotin	Kvalitní Spánek
1	10	7	3	3	3	3	10	8	Ne	Ne	Ne
2	8	8	3	1	2	2	13	11	Ne	Ne	Ne
3	12	12	1	0	2	3	15	15	Ne	Ne	Ne
4	10	10	1	0	3	2	13	12	Ne	Ne	Ano
5	14	11	2	3	3	2	19	12	Ne	Ne	Ano
6	13	11	2	2	3	2	12	21	Ne	Ne	Ano
7	12	13	3	2	3	2	20	17	Ne	Ne	Ano
8	11	12	1	2	3	2	17	18	Ne	Ne	Ne
9	10	9	1	2	2	2	16	14	Ne	Ne	Ne
10	12	10	3	2	3	2	13	16	Ne	Ne	Ne
11	11	9	2	3	3	3	16	11	Ne	Ne	Ano
12	12	8	1	1	2	2	15	12	Ne	Ne	Ne
13	11	10	1	1	2	1	13	12	Ne	Ne	Ano
14	12	9	3	3	3	2	18	21	Ano	Ne	Ano
15	8	10	3	0	3	2	15	16	Ano	Ne	Ano
16	10	5	1	2	2	3	14	9	Ne	Ne	Ne
17	10	10	3	3	2	3	15	16	Ano	Ne	Ano
18	5	9	3	3	3	3	7	12	Ne	Ne	Ano
19	14	13	3	3	3	3	16	21	Ne	Ne	Ne
20	14	10	0	0	3	2	17	11	Ne	Ano	Ne
21	10	7	2	3	3	3	12	13	Ano	Ne	Ne
22	11	10	2	2	3	3	16	13	Ne	Ne	Ano
23	10	10	2	2	2	2	20	22	Ne	Ne	Ne
24	7	8	3	3	3	3	18	18	Ano	Ne	Ano
25	10	12	2	3	3	3	18	17	Ano	Ne	Ano
26	10	8	2	2	3	2	17	13	Ano	Ne	Ano
27	11	14	2	1	3	2	16	14	Ne	Ne	Ano

Tabulka 2. Přehled všech výsledků studentů vysokých škol

### Word recall test

Hodnota Shapiro-Wilk testu  $p = 0.805$ , hodnoty výsledků jsou z normálního rozdělení. Nulovou hypotézu nemůžeme zamítnout,  $p = 0.971$ . V tomto případě můžeme potvrdit hypotézu opačnou s hodnotou Studentova T-testu  $p = 0.029$ . Fyzická aktivita má u studentu vysoké školy negativní vliv na výsledek word recall testu.



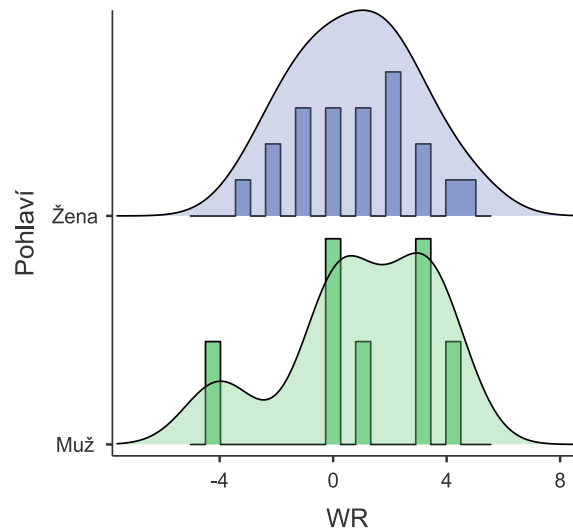
Obr. 22: Graf výsledků ve word recall testu studentů vysokých škol

U 7 probandů došlo ke zlepšení výsledků v průměru o 2 body (Med = 2). Z těchto probandů 6 uvádělo, že se vyspali kvalitním spánkem, 3 probandi byli navíc pod vlivem kofeinu. Nejvýznamnější zlepšení proběhlo o 4 body z 5 na 9. U 15 probandů došlo ke zhoršení výsledků v průměru o 2,47 bodu (Med = 2). 7 z těchto probandů uvádělo, že se vyspali kvalitním spánkem, 3 probandi byli pod vlivem kofeinu. Největší zhoršení bylo 5 bodů z 10 na 5. Celkem 5 probandů provedlo test v obou případech se stejným výsledkem. Další informace lze vyčíst z tabulky č. 2.

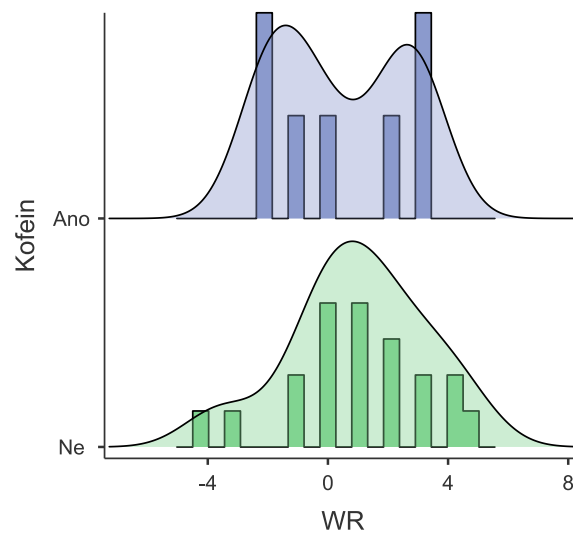
Efekt dalších sledovaných proměnných měl spíše pozitivní trend. Ženy dosahovaly při tomto testu po aktivitě v průměru o 1,4 bodu více a po klidu průměrně o 1,5 bodu více. Ženy dosahovaly o 2 body větší maximální hodnoty po klidu (14) a o 4 větší maximální hodnoty po aktivitě (14). Graf na obrázku č. 23 je vzhledem k nízkému počtu mužů nevypovídající, nicméně křivka popisující výsledky žen ukazuje, že hodnoty jsou z normálního rozdělení.

Efekt kofeinu byl také v obou případech pozitivní. Po klidu dosahovali probandi pod vlivem kofeinu v průměru o 1,6 bodů více a po aktivitě v průměru o 0,8 více. Vyšších maximálních hodnot dosahovali v obou případech studenti po užití kofeinu a to o 2 vyšší (14). Vzhledem k malému vzorku studentů pod vlivem kofeinu (7) nemůžeme vyvozovat z grafu na obrázku č. 24 žádné závěry. Křivka studentů bez kofeinu ukazuje normální rozdělení hodnot.

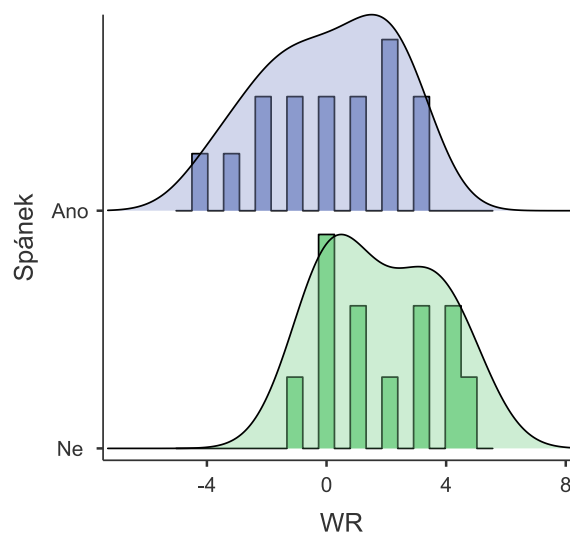
Studenti uvádějící kvalitní spánek měli v tomto testu po klidu v průměru o 0,8 méně bodu. Po aktivitě dosahovali v průměru o 1 bod více. Maximální hodnoty byly po klidu stejné. V případě měření po aktivitě dosahovali o 1 bod vyšší maximální hodnoty studenti dobře odpočatí (14). Graf z obrázku č. 25 ukazuje, že hodnoty studentů po kvalitním spánku se nachází ve větší míře vlevo a tedy že tito studenti ve větší míře dosahovali lepších výsledků po aktivitě než po klidu. Hodnoty studentů, kteří nevedli kvalitní spánek dosahují v tomto směru maximálně o 1 bod více.



**Obr. 23: Rozdíl ve word recall testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (VŠ)**



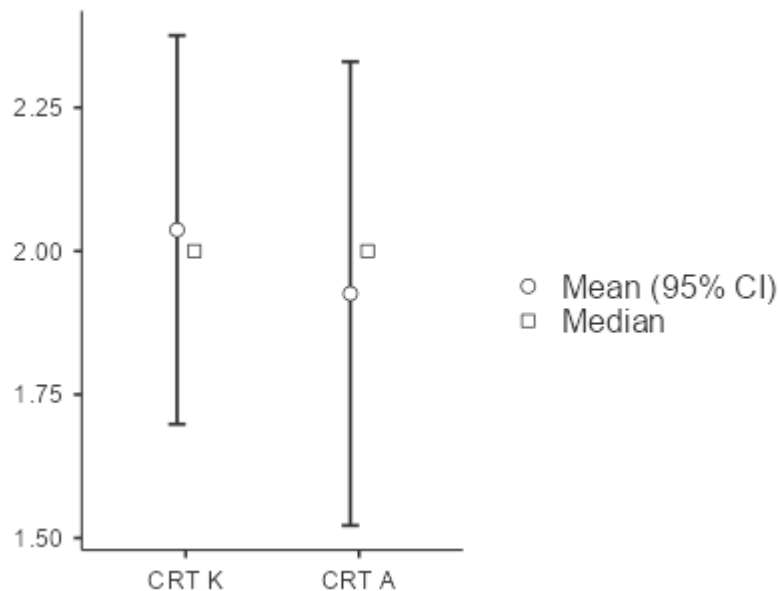
**Obr. 24: Rozdíl ve word recall testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (VŠ)**



**Obr. 25: Rozdíl ve word recall testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (VŠ)**

### Cognitive reflection test

Výsledky CRT nejsou z normálního hodnocení,  $p < 0.001$ . Ke zhodnocení hypotézy používáme Wilcoxonův neparametrický test,  $p = 0.694$ . Nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu. Studenti vysoké školy nemají po fyzické aktivitě statisticky významně lepší výsledky v CRT.



Obr. 26: Graf výsledků v cognitive reflection testu studentů vysokých škol

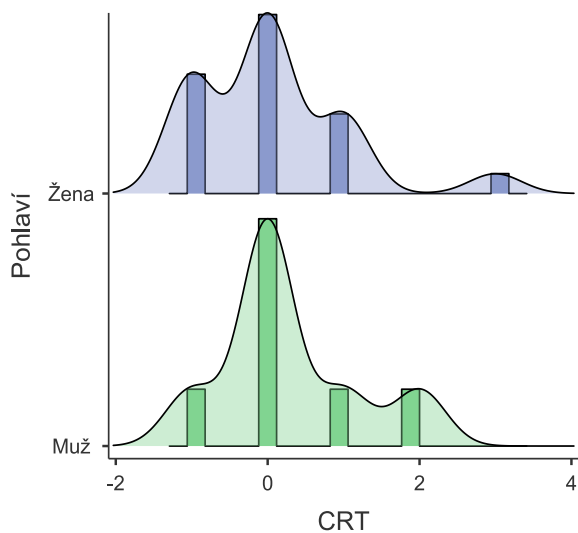
7 probandů mělo po aktivitě lepší výsledek testu v průměru o 1 bod (Med = 1). 2 probandi uváděli kvalitní spánek, 2 byli pod vlivem kofeinu. Zlepšení bylo u všech probandů stejné (1 bod). U 7 účastníků došlo ke zhoršení v průměru o 1,4 bodu (Med = 2). 4 z těchto probandů uváděli, že se vyspali kvalitním spánkem, 1 byl pod vlivem kofeinu. Největší zhoršení bylo o 3 body ze 3 na 0. 13 probandů provedlo test v obou případech se stejným výsledkem. Více informací nabízí tabulka č. 2.

Ženy dosahovaly v tomto testu po klidu stejných hodnot jako muži. Po aktivitě dosahovaly o 0,4 bodů méně. Maximální hodnoty byly u obou pohlaví shodné. Křivky z grafu na obrázku č. 27 kopírují svůj průběh.

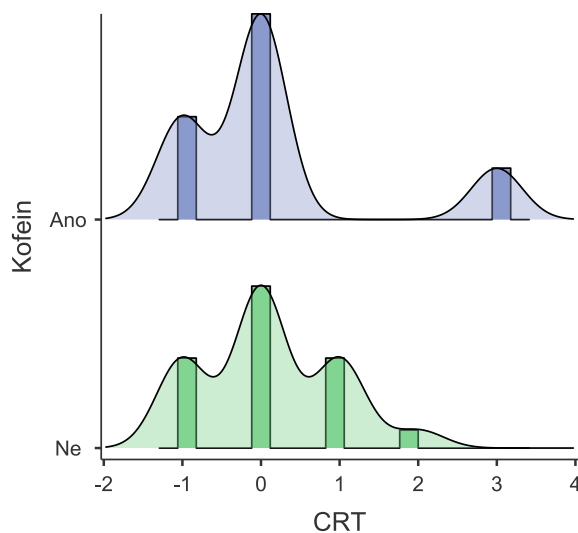
Efekt kofeinu byl poměrně výrazný. Po klidu dosahovali studenti s kofeinem o 0,7 bodů více, po aktivitě také. Na maximálních hodnotách se efekt kofeinu neprojevil. Na grafu z obrázku č. 28 je patrné, že obě křivky mají shodný průběh.

Kvalita spánku se na výsledcích CRT podílela menší měrou. Dobře odpočatí studenti dosahovali po klidu v průměru 0,5 bodu více a po aktivitě o 0,1 bodu více. Na maximální hodnoty neměla kvalita spánku vliv. Na obrázku č. 29 můžeme stejně jako v předchozích dvou případech pozorovat shodný průběh obou křivek.

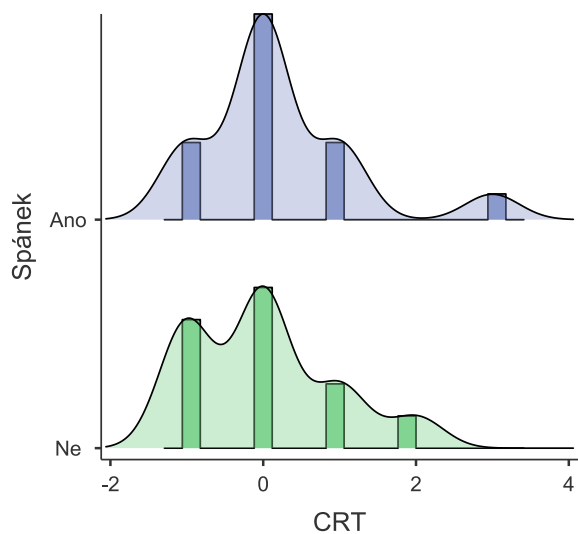




Obr. 27: Rozdíl v cognitive reflection testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (VŠ)



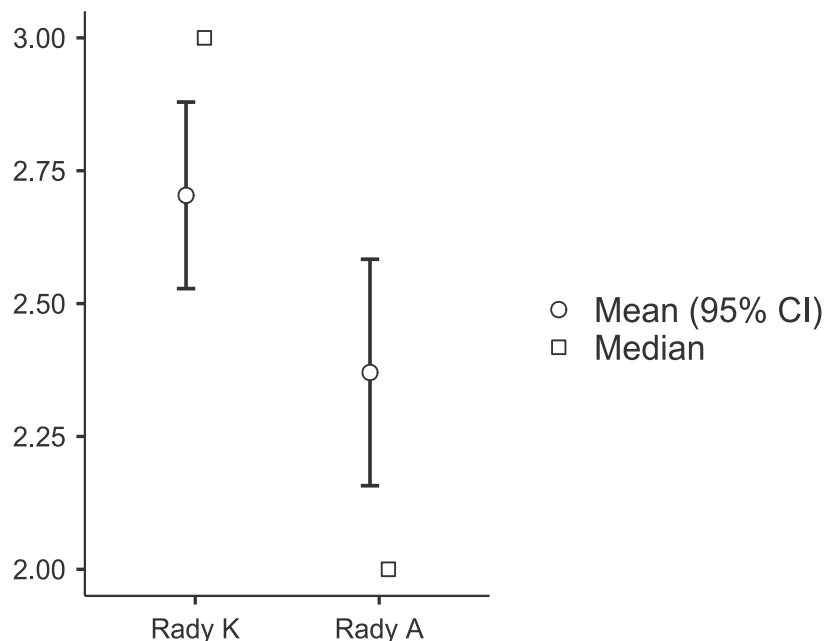
Obr. 28: Rozdíl v cognitive reflection testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (VŠ)



Obr. 29: Rozdíl v cognitive reflection testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (VŠ)

## Číselné řady

Výsledky číselných řad nejsou z normálního rozdělení,  $p < 0.01$ . Výsledek Wilcoxonova testu je  $p = 0.991$ . Nemáme dostatek důkazů pro zamítnutí nulové hypotézy. Fyzická aktivita nemá signifikantní pozitivní vliv na studenty vysoké školy při řešení číselných řad. V tomto případě můžeme potvrdit hypotézu opačnou a přijmout fakt, že fyzická aktivita měla vliv negativní,  $p = 0.009$ .



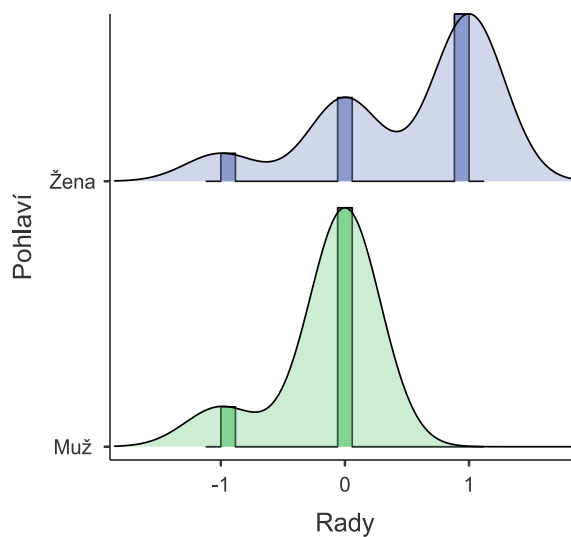
Obr. 30: Graf výsledků v testu číselných řad studentů vysokých škol

V testu číselných řad došlo ke zlepšení u 3 účastníků v průměru o 1 bod (Med = 1). Z těchto 3 probandů se 1 vyspal kvalitním spánkem a byl pod vlivem kofeinu. Zlepšení bylo u všech probandů stejné (1 bod). Ke zhoršení došlo u 12 osob v průměru o 1 bod (Med = 1). Kvalitním spánkem se vyspalo 9 probandů, 3 byli pod vlivem kofeinu. Zhoršení bylo u všech probandů stejné (1 bod). Ve 12 případech byly hodnoty testu po aktivitě a klidu stejné. Další informace lze nalézt v tabulce č. 2.

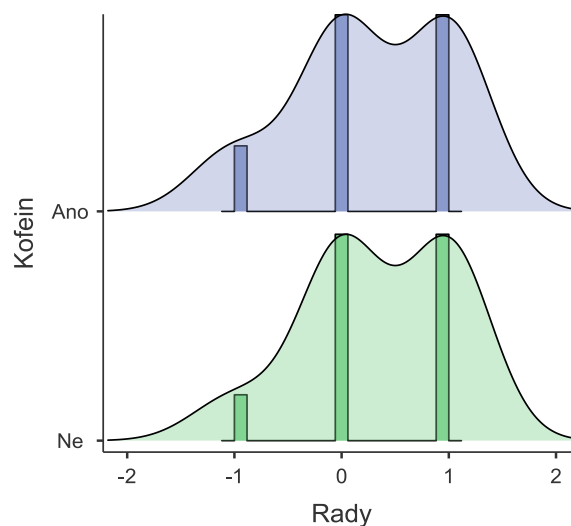
Ženy dosahovaly v tomto testu po klidu stejných hodnot a po aktivitě o 0,5 méně bodu. Na maximální hodnoty nemělo pohlaví účastníka žádný vliv. Graf na obrázku č. 31 zobrazuje závislost výsledků v tomto testu na pohlaví. Vidíme, že nejvyšší vrchol křivky ženského pohlaví se nachází v kladných hodnotách (větší počet žen dosahoval vyšších hodnot po klidu).

Efekt kofeinu se neprojevil na maximálních hodnotách v tomto testu. Účastníci pod vlivem kofeinu dosáhli po klidu v průměru o 0,2 bodů více, po aktivitě dosahovali v průměru o 0,3 bodů více. Graf z obrázku č. 32 ukazuje, že křivky obou skupin kopírují svůj průběh.

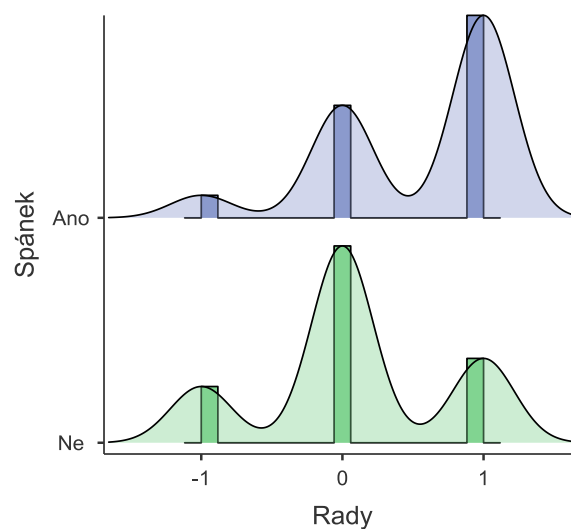
Účastníci, kteří uvedli v dotazníku kvalitní spánek dosahovali v tomto testu po klidu v průměru o 0,4 bodů více. Po aktivitě dosahovali hodnot o 0,1 menších. Na maximálních hodnotách se kvalita spánku neprojevila. Na grafu z obrázku č. 33 vidíme, že kvalita spánku mohla mít v tomto případě pozitivní vliv na výkon probandů v testu číselných řad po klidu.



**Obr. 31 Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (VŠ)**



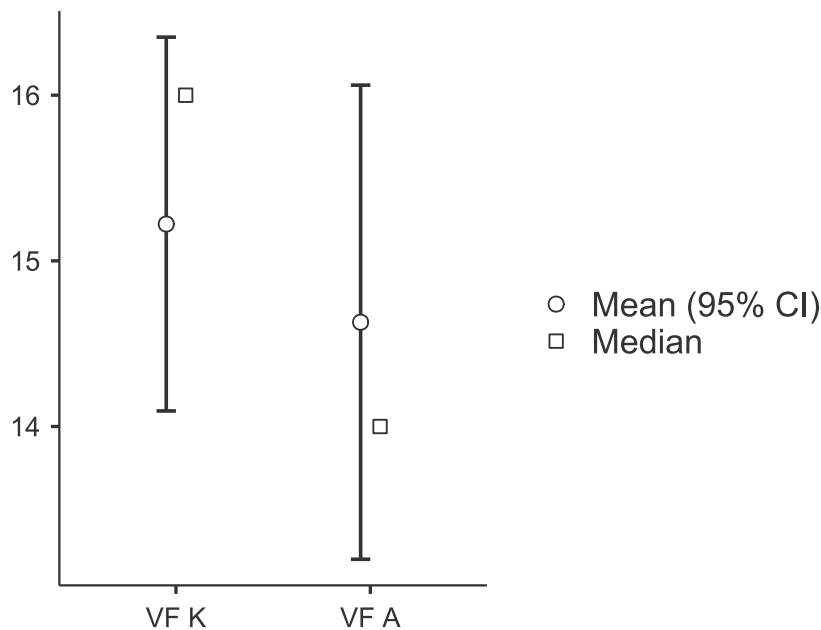
**Obr. 32 Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (VŠ)**



**Obr. 33: Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (VŠ)**

### Verbal fluence test

Hodnoty výsledků verbal fluence testu jsou z normálního rozdělení,  $p = 0.648$ . Studentův test vychází  $p = 0.203$ . Nemáme dostatek důkazů pro zamítnutí nulové hypotézy. Neprokázali jsme pozitivní vliv fyzické aktivity na výsledky verbal fluence testu u studentů vysoké školy



Obr. 34: Graf výsledků ve verbal fluence testu studentů vysokých škol

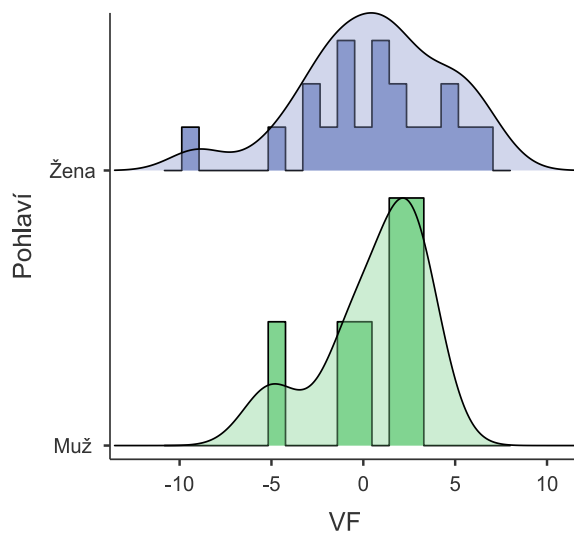
U 10 probandů došlo při verbal fluence testu ke zlepšení v průměru o 3,1 bodu (Med = 2). 5 probandů se vyspalo kvalitním spánkem, 4 byli pod vlivem kofeinu. Největší zlepšení proběhlo o 9 bodů z 12 na 21. Ke zhoršení došlo u 15 osob v průměru o 3,1 bodu (Med = 4). Kvalitní spánek uvádělo 9 lidí, pod vlivem kofeinu byli 2 probandi. Největší zhoršení proběhlo o 7 bodů z 19 na 12. Podrobnější informace lze nalézt v tabulce č. 2.

Ženy dosahovaly v tomto testu po klidu v průměru o 3,2 bodů více. Po aktivitě dosahovaly o 2,5 bodů více. Ženy dosahovaly také vyšších maximálních hodnot. Po klidu o 4 body vyšší (20) a po aktivitě o 9 bodů vyšší (22). Graf na obr. 35 popisuje vztah výsledků VF testu a pohlaví.

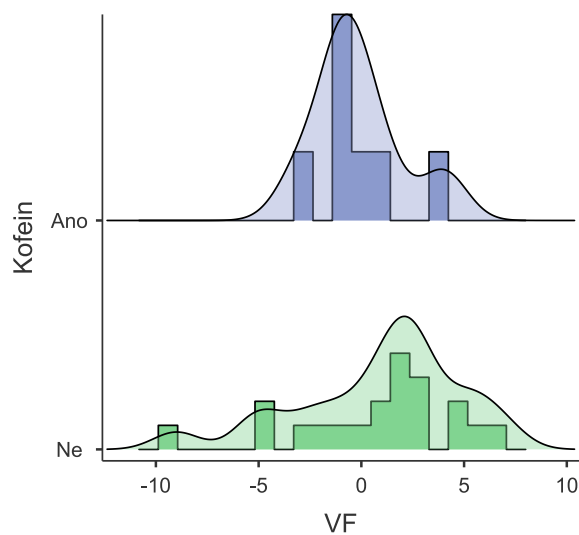
Probandi pod vlivem kofeinu dosahovali po klidu v průměru o 1,2 bodu více. Po aktivitě se tento rozdíl zvýšil na v průměru 2,2 bodu. Studenti, kteří nepožili kofein dosahovali po klidu o 2 body vyšší maximální hodnoty (20). Po aktivitě

dosáhli o 1 bod vyšší maximální hodnoty (22). Na grafu z obrázku č. 36 můžeme pozorovat trend, že pozitivní účinek kofeinu po aktivitě je menší než po klidu.

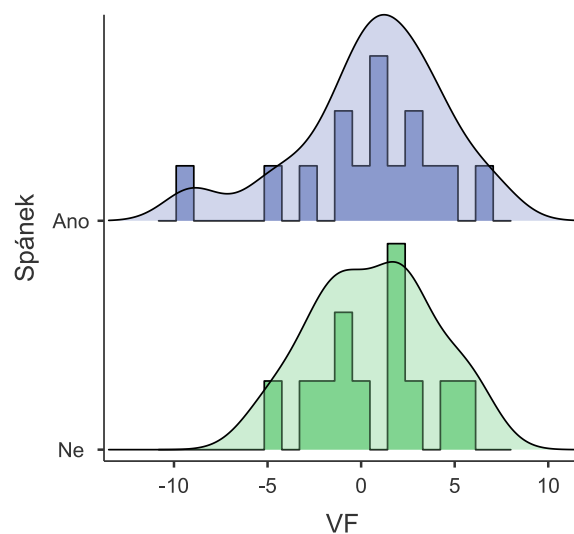
Dobře odpočatí studenti dosahovali v tomto testu po klidu v průměru o 0,7 více bodů. Po aktivitě dosahovali průměrně o 0,8 bodů více. Na maximální hodnoty měření po klidu neměla kvalita spánku žádný vliv. Maximální hodnoty studentů po kvalitním spánku měřeny po aktivitě byly o 1 bod menší (21). Na obrázku č. 37 můžeme na křivkách obou skupin pozorovat podobný průběh. Křivka znázorňující hodnoty probandů s kvalitním spánkem má vrchol špičatější a posunutý mírně vpravo.



**Obr. 35: Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví VŠ**



**Obr. 36: Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (VŠ)**



**Obr. 37: Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (VŠ)**

## 6. DISKUZE

Kognitivní funkce člověka představují základní jednotku vyšší integrace CNS. Díky kognitivním funkcím je člověk schopen provádět složitější vzorce chování vedoucí k jeho cíli. Zajišťují vnímání, ale také senzickou integraci do širokého spektra struktur CNS. Pro didaktické účely lze kognitivní funkce dělit na domény. Podle různých autorů můžeme tyto domény dělit dle funkce, nebo dle oblasti CNS ve které sídlí (Harvey, 2019; Miller a Wallis, 2009).

Cvičení má neoddiskutovatelný vliv na mnoho aspektů lidského života. Pravidelná fyzická aktivita slouží k primární a sekundární prevenci alespoň 25 chronických onemocnění (Warburton, 2006). Chronické cvičení působí také neuroprotektivně, může zabránit rozvoji Parkinsonovy nemoci a při rozvinutí nemoci působí protektivně na reziduální neurony (Hou et al., 2017). Úroveň kardiovaskulární zdatnosti pozitivně koreluje s úrovní inteligence. Vysoká tělesná zdatnost v 18 letech vedla v pozdějším životě k vyšší pravděpodobnosti studijních úspěchů (Åberg et al., 2009). U seniorů má kardiovaskulární trénink pozitivní vliv na výsledky testu exekutivních funkcí a může pozitivně ovlivňovat neuroplasticitu a snižovat účinky stárnutí na CNS (Colombo et al., 2004). Výsledky meta analýz však obecný pozitivní vliv fyzické aktivity na kognitivní funkce stárnoucího člověka nepotvrzují (Etnier et al., 2006; Young et al., 2015). Aerobní zdatnost člověka může mít také vliv na efekt akutní zátěže na některé kognitivní domény (Bullock a Giesbrecht, 2014).

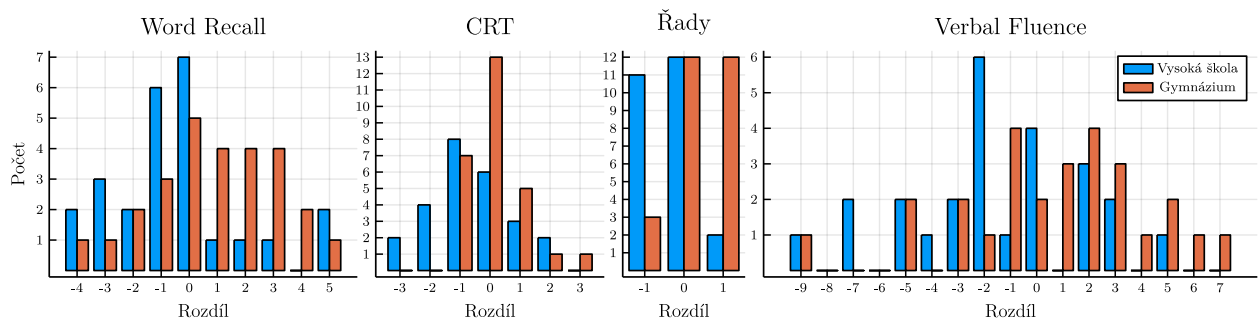
Předmětem zkoumání této práce bylo zjistit, jaký má akutní fyzická aktivita vliv na kognitivní funkce člověka. Názory autorů v dosavadních poznacích se liší. Negativní vliv akutní fyzické zátěže se projevil mimo jiné u prefrontální kognitivní funkce (Dietrich a Sparling, 2004), volba jednodušší strategie v RNG testu (Audiffren et al., 2009), exekutivních funkcí (Del Giorgio, 2010). Tomporowski a Ganio (2006) uvádí zlepšení výsledků testu exekutivních funkcí, nicméně bez zlepšení *set-shifting* komponenty. Zlepšení exekutivních funkcí uvádí také Stern et al. (2019). Pozitivní vliv se projevuje spíše na nižších kognitivních funkcích. Pozitivně ovlivněny jsou paměť (Potter a Kelling, 2005), učení (Winter et al.,



2007), jazykové schopnosti pacientů s m. Parkinson (Altman et al., 2016), epizodická paměť, procesní rychlost, jazykové schopnosti, pozornost (Stern et al., 2019) a v neposlední řadě také úzkost, deprese a nálada (Dietrich a McDaniel, 2004; Salmon, 2001).

Jak upozorňuje Dietrich a Audiffren (2011) rozdílné výsledky studií lze přičíst různým designům experimentů. Je důležité přesně oddělit testované domény, protože je pravděpodobné, že cvičení nebude mít pozitivní vliv na všechny kognitivní funkce. Záleží také na parametrech fyzické zátěže – intenzitě a délce. Například studie zabývající se vlivem fyzické zátěže na exekutivní funkce se lišily v délce cvičení (40 a 30 minut) i v intenzitě zátěže (60%  $VO_{2max}$  a 75% ventilačního prahu). To je jeden z možných důvodů proč došli k autoři k rozdílným výsledkům. Mnoho experimentů je koncipováno tak, že kontrolní skupinou jsou odpočívající probandi. Tomporowski a Ganio (2006) však uvádí, že ke zlepšení exekutivních funkcí v jejich experimentu došlo i u kontrolní skupiny, která nepodstupovala žádnou fyzickou aktivitu. Je nutné prozkoumat, zda neexistuje lepší design kontrolní skupiny. Externí motivace pomocí finanční odměny v podobných experimentech nehrála roli (Tomprowski et al., 1993).

V našich pokusech jsme testovali jazykové schopnosti, krátkodobou paměť, řešení problémů a pozornost. Vytvořili jsme kognitivní test, který zahrnoval položky pro testování vybraných domén kognice. Podrobný popis testu a proces jeho tvoření je popsán v kapitole 5.1.2. Na obrázku 14. je histogramem vyjádřený rozdíl ve výkonu probandů před a po aktivitě v jednotlivých testech a v jednotlivých experimentech.



Obr. 38: Histogram porovnávající jednotlivé testy mezi oběma experimenty

*Ad hypotéza č. 1*

Další zkoumanou doménou kognice byla krátkodobá paměť testovaná pomocí word recall testu. Ke zlepšení paměti dochází po cvičení u dospělých ve věku 18 – 50 let (Loprinzi et al., 2018), po aerobním cvičení dochází k facilitaci ukládání paměťových stop u dětí ve věku 11 – 12 let (Pesce et al., 2009). V našich experimentech jsme nedospěli ke stejným výsledkům. Neprokázali jsme statisticky významný pozitivní vliv fyzické aktivity na výsledky ve word recall testu. U studentů vysoké školy jsme mohli potvrdit opačnou hypotézu. Za našich podmínek došlo po fyzické aktivitě k signifikantnímu zhoršení.

*Ad hypotézy č. 2, 3*

Pro testování řešení problémů a pozornosti jsme vybrali CRT a test číselných řad. Děti předškolního věku jsou po cvičení schopny lépe udržet pozornost (Palmer et al., 2013). Lepších výsledků při testování pozornosti dosahují po fyzické zátěži také mladí dospělí (Waters et al., 2020). Tyto výsledky se nám nepodařilo zreplicovat. V pokusu na střední škole došlo po fyzické aktivitě k signifikantnímu zhoršení probandů v CRT. Test číselných řad nebyl statisticky významný ani v jednom směru. V pokusu na vysoké škole došlo po fyzické aktivitě k statisticky signifikantnímu zhoršení studentů v testu číselných řad. CRT nebyl významný ani v jednom směru.

*Ad hypotéza č. 4*

Ke zlepšení jazykové domény kognice dochází po fyzické aktivitě u starších pacientů s m. Parkinson (Altman et al., 2016), u skupiny zdravých lidí ve věku 20 - 67 (Stern et al., 2019) i u dětí předškolního věku (Mavilidi et al., 2015). V našem experimentu byla tato doména testována pomocí verbal fluence testu. Naše výsledky se neshodují s předchozím bádáním. Naše experimenty neprokázaly statisticky signifikantní zlepšení výsledků studentů v tomto testu.

## Limitace

Domníváme se, že hlavní limitací naší práce je fakt, že na některé testy může mít pozitivní vliv také motorický klid (Tompsonowski a Ganio, 2006). Další limitací může být chybně zvolená intenzita cvičení. Většina námi zmiňovaných autorů použila v designu studie vyšší intenzitu než pouhou chůzi. Například použití bicyklového ergometru navíc umožňuje měření dalších parametrů a tím pádem vytvoření kontrolovanějšího prostředí. Dalším faktorem, který jsme v designu našeho pokusu nezohlednili byla aerobní zdatnost jednotlivých probandů. Bulleck a Giesbrecht (2014) uvádí vliv aerobní kapacity na výsledek testu pozornosti a reakční doby provedeném po fyzické aktivitě. Pontifex et al. (2009) předpokládá, že aerobně zdatní lidé jsou schopni lépe plnit metabolické požadavky locus coeruleus, což může ovlivnit vliv fyzické aktivity na kognitivní funkce. Chandler et al. (2021) však přes poměrně velký vzorek ( $n = 126$ ) zamítají hypotézu, že fyzická aktivita locus coeruleus zprostředkovává vztah mezi aerobní zdatností a výkonem v inhibičních aspektech kognitivní kontroly. Fyzická aktivita locus coeruleus nesouvisí s aerobní kondicí. Tyto nálezy naznačují, že kondice neovlivňuje úroveň aktivity locus coeruleus. Zároveň je potřeba zmínit, že studie proběhla na studentech vysoké školy, kteří představují vysoce funkční vzorek populace. Je tak možné, že kondice má vliv na aktivitu locus coeruleus u pacientů s kognitivní poruchou, dětí ve vývinu, nebo jiných skupin se suboptimální úrovní kognitivní funkce. Pokud má fyzická zdatnost efekt na kognitivní funkce po cvičení, je to na podkladě jiného mechanismu.

Dalším parametrem, který mohl ovlivnit výsledek pouze u žáků vysoké školy je délka aklimatizace mezi fyzickou aktivitou a vyplněním testu. Naši probandi nebyli při jejich chůzi vyzváni aby nemluvili a docházelo tak k další stimulaci. Je možné, že při delší době aklimatizace by pro studenty bylo jednodušší soustředit se. V neposlední řadě mohlo dojít k ovlivnění při tvoření testu a to konkrétně při tvoření verbal fluence testu. Jediná statistika o českých grafémech, kterou jsme našli byla z roku 1983. I přes podobný počet slov na písmeno může být tvorba slov na jedno lehčí, například díky předponám. Před testem jsme se ptali na některé další proměnné, které by mohly mít vliv na kognitivní funkce. Vzhledem k vysoké prevalenci chronické spánkové deprivace mezi mladými lidmi

(Eaton et al., 2010) by bylo vhodné zahrnout do dotazníku otázku na kvalitu spánku v delším časovém období, případně další faktory, které spánek ovlivňují (například vystavení modrému světlu před spaním).

Čas cvičení se v literatuře pohyboval v řádu desítek minut až hodiny. Naši probandi se věnovali fyzické aktivitě 20 minut. Avšak délka samotného testování činila v našem případě pouze 10 minut. Učinili jsme tak proto, abychom akcentovali vliv fyzické aktivity a aby za delší časovou jednotku nedošlo k vymizení účinku. Je možné, že delším a podrobnějším testem bychom dosáhli jiných výsledků. Stupnice CRT a testu číselných řad také byla příliš malá. Pro příští bádání bychom zvolili více stupňů. V mnoha případech student dosáhl 3 bodů a v další fázi testování nemohlo dojít ke zlepšení. Číselné řady byly tvořeny v obou variantách testu na podobném principu. To zajistilo, že vyřešení řad jedné varianty nebylo těžší než druhé. Mohlo to však vést k jisté míře učení. Studenti také mohli v pauze mezi oběma testy přemýšlet nad předchozí variantou a tím pádem přijít na princip, kterým byla vytvořena číselná řada v následujícím testu. Pro příští bádání by bylo vhodné provádět testy s delším odstupem pro zamezení tohoto efektu. Mohlo také dojít k ovlivnění výsledků díky interakcím mezi probandy v pauze mezi jednotlivými variantami testu. V neposlední řadě je také možné, že varianty kognitivních testů byly rozdílně obtížné. Při tvorbě testů jsme vycházeli z dostupné literatury, ale jak již bylo zmíněno výše, postavení některých úloh na podobném principu sebou nese jiná úskalí.

### **Zdůvodnění rozdílných výsledků**

Přestože je dostupná literatura na toto téma nejednotná, při testování nižších kognitivních funkcí jako je paměť či pozornost docházelo ve většině případů ke zlepšení po fyzické aktivitě. V předchozích odstavcích jsme podali stručné vysvětlení, které dle našeho mínění shrnuje důvody proč se naše výsledky liší s námi zmiňovanými autory.

Naše výsledky podporují model tranzientní hypofrontální teorie, kterou v roce 2003 stanovil Arne Dietrich a v roce 2010 potvrdili Del Giorno et al. Tato teorie vychází z několika základních tvrzení. Celkový metabolismu mozku je stálý a

dochází pouze k lokálním změnám. Mozek má omezenou dodávku metabolických zdrojů, přestože je podle některých autorů zvýšit průtok krve mozkem až o 50%. Po fyzické aktivitě dochází dle Koh et al. (2014) ke změně propustnosti hematoencefalické bariéry, nicméně obsah metabolických substrátů v krvi je závislý na mnoha parametrech a přestože má mozek vysokou prioritu, nelze jej zvyšovat bez omezení.

Tyto limitace vedou k tomu, že při zvýšení nároků některé z oblastí mozku nelze zvýšit dodávku paušálně celému mozku. Mozek můžeme přirovnat k procesoru, který koná nepřeborné množství výpočetních operací za sekundu. Při lokomoci dojde v částech mozku zodpovědných za pohyb k prudkému nárůstu těchto operací a tím pádem i ke zvýšení potřeby metabolických substrátů. Pro správnou lokomoci je důležitá senzorycká integrace, která zajišťuje, že pohyb můžeme v reálném čase adaptovat na okolní prostředí. Dochází také k integraci informací z vnitřního prostředí (informace z intrafuzálních vláken svalu a proprioceptorů z kloubních pouzder a šlach). Senzomotorická integrace je jedním z výpočetně nejnáročnějších procesů. Tedy i části mozku, které jí zprostředkovávají zvyšují úměrně svojí spotřebu metabolických substrátů.

Dle Arne Dietrich (2011) je hypofrontalita pozůstatkem evoluce člověka. Přestože u homo sapiens došlo ke zvětšení mozkovny a k rozvoji abstraktního myšlení, v některých situacích bylo potřeba tyto vyšší funkce CNS potlačit. Je zcela logické, že při pronásledování kořisti či při útěku před predátorem byly tyto funkce tlumeny.

I při vysvětlení našich výsledků pomocí tranzientní hypofrontální teorie však narážíme na několik nesrovnalostí. Del Giorgio (2010), který tuto teorii ověřoval, použil při experimentu 30 minutovou zátěž na úrovni ventilačního prahu, či na úrovni 75% ventilačního prahu. Náš design pracoval s podobnou časovou dotací na cvičení, nicméně intenzita cvičení byla o mnoho nižší.

Nejnáročnějším procesem, který má největší výpočetní nároky na mozek se zdá udržování rovnováhy (Kuo et al., 2005). Při mnoha podobných studiích autoři k vyhodnocení používali bicyklový ergometr, který je vhodný pro objektivizaci fyzické zátěže. Zároveň však nedochází k takovým nárokům na udržování rovnováhy. Chůze použitá v našem experimentu je nižší intenzity, avšak v tomto ohledu náročnější.

Množství zdrojů, které je nutné při pohybu alokovat závisí na množství svalové tkáně účastníci se pohybují, intenzitě pohybu a délce cvičení (Dietrich a Audiffren, 2011). Při chůzi dochází k zapojení velkého množství svalových skupin, ať už fázických či posturálních. Pro další měření by bylo vhodné zvolit pohybový stereotyp, při kterém je velké množství aktivní svalové hmoty, který je náročný na udržování rovnováhy a jehož intenzita je alespoň na 75% ventilačního prahu. Dalším bádáním by bylo vhodné naopak ověřit, při které intenzitě zátěže již dochází ke zhoršení kognitivních funkcí dle tranzientní hypofrontální teorie a jakou měrou se zhoršují kognitivní funkce při velkých nárocích na struktury zajišťující udržení rovnováhy. V neposlední řadě bychom doporučili podrobnější zkoumání motorického klidu a jeho vlivu na kognitivní funkce. Ve většině studií zabývajících se vlivem fyzické aktivity na kognitivní funkce je skupina mající motorický klid použita jako kontrolní. Navrhujeme jako kontrolní skupinu použít skupinu, která bude provádět cvičení o nižší intenzitě.

### **Efekt sledovaných proměnných**

V naší práci jsme sledovali u probandů čtyři další proměnné, které mohou mít vliv na kognitivní funkce člověka. Více informací k efektu jednotlivých proměnných je v kapitole 2.1.2–2.1.4. Nikotin jsme ze zpracování výsledků vyloučili, protože v každém pokusu byl pod jeho vlivem pouze jeden účastník. Vliv pohlaví na kognitivní funkce jsme v teoretické části neprobírali. Závislost žádné z proměnných na výsledcích testu nebyla statisticky ověřena.

Ženy dosahovaly průměrně vyšších výsledků ve WR testu a VF testu. Oba tyto testy jsou spojeny s jazykovou a paměťovou doménou kognice. V našem pokusu existuje určitý trend, který značí, že ženské pohlaví poskytuje výhodu v těchto testech. V CRT testu dosahovaly ženy průměrně méně bodů. Test číselných řad nebyl při testování na střední škole ovlivněn pohlavím. Při testování na vysoké škole jsme měli příliš malý vzorek mužů pro porovnání obou pohlaví. Z grafů prezentovaných v příslušných kapitolách lze odečíst zda má daná proměnná vliv na výši výsledků testu po aktivitě. Na střední škole ovlivnilo ženské pohlaví výsledky těchto testů po aktivitě: číselné řady, verbal fluence test. Z výsledků měření na vysoké škole nemůžeme provést žádné závěry ohledně vlivu pohlaví na výsledek jednotlivých testů po aktivitě.

Je všeobecně přijímaným názorem, že kofein pozitivně ovlivňuje kognitivní funkce. Při našem měření kofein pozitivně ovlivnil tyto výsledky na střední škole: WR test, CRT test pouze po klidu, test číselných řad pouze po aktivitě, a VF test v obou případech. K horším výsledkům došlo při CRT testu po aktivitě a testu číselných řad po klidu. Na vysoké škole kofein pozitivně ovlivnil všechny testy. Naše měření je tedy v souladu s poznatky v současné literatuře. Z výsledků popsaných v příslušných kapitolách můžeme usuzovat také na možnost, že kofein částečně neguje námi změřený negativní efekt fyzické aktivity na kognitivní funkce.

Kvalita spánku měla převážně pozitivní efekt na výsledky testů. Při měření na střední škole došlo ke zlepšení WR testu po klidu, CRT testu v obou případech, testu číselných řad v obou případech a VF testu po aktivitě. Ke zhoršení došlo při měření WR testu po aktivitě a VF testu po klidu. Při měření na vysoké škole kvalitní spánek pozitivně ovlivnil všechna měření s výjimkou WR testu po klidu a testu číselných řad po aktivitě. Z našich výsledků nemůžeme usuzovat, zda má kvalita spánku vliv na námi testovanou hypotézu.

## ZÁVĚR

V rámci naší práce se nám nepodařilo potvrdit ani jednu z námi stanovených hypotéz. Dle našich výsledků nemá fyzická aktivita signifikantní pozitivní vliv na krátkodobou paměť, na kognitivní reflexi, pozornost a schopnost řešit problémy ani na jazykovou doménu kognice. Ve 3 případech z 8 měření naše výsledky naznačují naopak negativní efekt fyzické aktivity. V diskuzi podrobněji rozebíráme limitace práce i odůvodnění proč jsou naše výsledky v rozporu se stanovenými hypotézami.

Cílem této práce bylo přidat další poznatky k dané problematice. Je zapotřebí dalšího bádání, které by mohlo osvětlit, které domény kognice jsou ovlivňovány a jak. Aplikace takových poznatků by například mohla vést k ověření, zda je při výuce zapotřebí prodloužit či zkrátit přestávky, abychom co nejvíce zefektivnili proces učení. Přestože se nám nepodařilo ověřit naše hypotézy, poskytli jsme soubor ucelených poznatků a doporučení pro další bádání, které by mohlo vést k dalšímu objasnění problematiky. Cíl naší práce tím pokládáme za splněný.



## REFERENČNÍ SEZNAM

- ÅBERG, Maria A. I., Nancy L. PEDERSEN, Kjell TORÉN, et al. Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2009, 106(49), 20906-20911 [cit. 2023-03-01]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.0905307106
- ALAM, Noor, Hui GONG, Tarannum ALAM, Rajesh JAGANATH, Dennis MCGINTY a Ronald SZYMUSIAK. Sleep-waking discharge patterns of neurons recorded in the rat perifornical lateral hypothalamic area. *The Journal of Physiology* [online]. 2002, 538(2), 619-631 [cit. 2023-04-15]. ISSN 0022-3751. Dostupné z: doi:10.1113/jphysiol.2001.012888
- ALTMANN, Lori J.P., Elizabeth STEGEMÖLLER, Audrey A. HAZAMY, Jonathan P. WILSON, Dawn BOWERS, Michael S. OKUN a Chris J. HASS. Aerobic Exercise Improves Mood, Cognition, and Language Function in Parkinson's Disease: Results of a Controlled Study. *Journal of the International Neuropsychological Society* [online]. 2016, 22(9), 878-889 [cit. 2023-04-22]. ISSN 1355-6177. Dostupné z: doi:10.1017/S135561771600076X
- ARNSTEN, A.F.T. a P.S. GOLDMAN-RAKIC. Selective prefrontal cortical projections to the region of the locus coeruleus and raphe nuclei in the rhesus monkey. *Brain Research* [online]. 1984, 306(1-2), 9-18 [cit. 2023-03-26]. ISSN 00068993. Dostupné z: doi:10.1016/0006-8993(84)90351-2
- AUDIFFREN, Michel, Phillip D. TOMPOROWSKI a James ZAGRODNIK. Acute aerobic exercise and information processing: Modulation of executive control in a Random Number Generation task. *Acta Psychologica* [online]. 2009, 132(1), 85-95 [cit. 2023-03-14]. ISSN 00016918. Dostupné z: doi:10.1016/j.actpsy.2009.06.008
- BAILEY, S., J. DAVIS a E. AHLBORN. Serotonergic Agonists and Antagonists Affect Endurance Performance in the Rat. *International Journal of Sports Medicine* [online]. 1993, 14(06), 330-333 [cit. 2023-04-10]. ISSN 0172-4622. Dostupné z: doi:10.1055/s-2007-1021187 a
- BAILEY, S. P., J. M. DAVIS a E. N. AHLBORN. Neuroendocrine and substrate responses to altered brain 5-HT activity during prolonged exercise to fatigue. *Journal of Applied Physiology* [online]. 1993, 74(6), 3006-3012 [cit. 2023-04-10]. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappl.1993.74.6.3006 b
- BALTHAZAR, Cláudio H., Laura H.R. LEITE, Alex G. RODRIGUES a Cândido C. COIMBRA. Performance-enhancing and thermoregulatory effects of intracerebroventricular dopamine in running rats. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* [online]. 2009, 93(4), 465-469 [cit. 2023-04-10]. ISSN 00913057. Dostupné z: doi:10.1016/j.pbb.2009.06.009
- BALTHAZAR, Cláudio H., Laura H.R. LEITE, Roberta M.M. RIBEIRO, Danusa D. SOARES a Cândido C. COIMBRA. Effects of blockade of central dopamine D1 and D2 receptors on thermoregulation, metabolic rate and running performance. *Pharmacological Reports* [online]. 2010, 62(1), 54-61 [cit. 2023-04-10]. ISSN 17341140. Dostupné z: doi:10.1016/S1734-1140(10)70242-5
- BARCHAS, Jack D. a Daniel X. FREEDMAN. Brain amines: Response to physiological stress. *Biochemical Pharmacology* [online]. 1963, 12(10), 1232-1235 [cit. 2023-04-10]. ISSN 00062952. Dostupné z: doi:10.1016/0006-2952(63)90101-1
- BENARROCH, Eduardo E. Locus coeruleus. *Cell and Tissue Research* [online]. 2018, 373(1), 221-232 [cit. 2023-03-26]. ISSN 0302-766X. Dostupné z: doi:10.1007/s00441-017-2649-1
- BENOWITZ, N L. Clinical Pharmacology of Caffeine. *Annual Review of Medicine* [online]. 1990, 41(1), 277-288 [cit. 2023-03-16]. ISSN 0066-4219. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.me.41.020190.001425

- BENOWITZ, N L. Clinical Pharmacology of Nicotine. *Annual Review of Medicine* [online]. 1986, **37**(1), 21-32 [cit. 2023-03-16]. ISSN 0066-4219. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.me.37.020186.000321
- BERGER, Miles, John A. GRAY a Bryan L. ROTH. The Expanded Biology of Serotonin. *Annual Review of Medicine* [online]. 2009, **60**(1), 355-366 [cit. 2023-04-10]. ISSN 0066-4219. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.med.60.042307.110802
- BERRIDGE, Craig W. a Barry D. WATERHOUSE. The locus coeruleus–noradrenergic system: modulation of behavioral state and state-dependent cognitive processes. *Brain Research Reviews* [online]. 2003, **42**(1), 33-84 [cit. 2023-03-13]. ISSN 01650173. Dostupné z: doi:10.1016/S0165-0173(03)00143-7
- BROOCKS, Andreas, Tim MEYER, Gleiter C., Ursula HILLMER-VOGEL, Annette GEORGE, Uwe BARTMANN a Borwin BANDELOW. Effect of aerobic exercise on behavioral and neuroendocrine responses to meta-chlorophenylpiperazine and to ipsapirone in untrained healthy subjects. *Psychopharmacology* [online]. 2001, **155**(3), 234-241 [cit. 2023-04-10]. ISSN 0033-3158. Dostupné z: doi:10.1007/s002130100706
- BROWN, Ritchie E., Olga A. SERGEEVA, Krister S. ERIKSSON a Helmut L. HAAS. Convergent Excitation of Dorsal Raphe Serotonin Neurons by Multiple Arousal Systems (Orexin/Hypocretin, Histamine and Noradrenaline). *The Journal of Neuroscience* [online]. 2002, **22**(20), 8850-8859 [cit. 2023-04-15]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.22-20-08850.2002
- BULLOCK, Tom a Barry GIESBRECHT. Acute exercise and aerobic fitness influence selective attention during visual search. *Frontiers in Psychology* [online]. 2014, **5** [cit. 2023-04-22]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2014.01290
- BRUNDIN, Lena, Maria BJÖRKQVIST, Åsa PETERSÉN a Lil TRÄSKMAN-BENDZ. Reduced orexin levels in the cerebrospinal fluid of suicidal patients with major depressive disorder. *European Neuropsychopharmacology* [online]. 2007, **17**(9), 573-579 [cit. 2023-04-16]. ISSN 0924977X. Dostupné z: doi:10.1016/j.euroneuro.2007.01.005
- CHANDLER, Madison C., Amanda L. MCGOWAN, Jan W. BRASCAMP a Matthew B. PONTIFEX. Phasic activity of the locus-coeruleus is not a mediator of the relationship between fitness and inhibition in college-aged adults. *International Journal of Psychophysiology* [online]. 2021, **165**, 1-7 [cit. 2023-03-25]. ISSN 01678760. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijpsycho.2021.03.007
- CHANG, Y.K., J.D. LABBAN, J.I. GAPIN a J.L. ETNIER. The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research* [online]. 2012, **1453**, 87-101 [cit. 2023-03-11]. ISSN 00068993. Dostupné z: doi:10.1016/j.brainres.2012.02.068
- CHIEFFI, Sergio, Marco CAROTENUTO, Vincenzo MONDA, et al. Orexin System: The Key for a Healthy Life. *Frontiers in Physiology* [online]. 2017, **8** [cit. 2023-04-16]. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2017.00357
- CHOUDHARY, R.C., M.A. KHANDAY, A. MITRA a B.N. MALLICK. Perifornical orexinergic neurons modulate REM sleep by influencing locus coeruleus neurons in rats. *Neuroscience* [online]. 2014, **279**, 33-43 [cit. 2023-04-15]. ISSN 03064522. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroscience.2014.08.017
- COLCOMBE, Stanley J., Arthur F. KRAMER, Kirk I. ERICKSON, et al. Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2004, **101**(9), 3316-3321 [cit. 2023-03-02]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.0400266101
- COLES, Kathryn a Philip D. TOMPOROWSKI. Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *Journal of Sports Sciences* [online]. 2008, **26**(3), 333-344 [cit. 2023-03-02]. ISSN 0264-0414. Dostupné z: doi:10.1080/02640410701591417

- CORDEIRO, L.M.S., P.C.R. RABELO, M.M. MORAES, F. TEIXEIRA-COELHO, C.C. COIMBRA, S.P. WANNER a D.D. SOARES. Physical exercise-induced fatigue: the role of serotonergic and dopaminergic systems. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* [online]. 2017, **50**(12) [cit. 2023-04-08]. ISSN 1414-431X. Dostupné z: doi:10.1590/1414-431x20176432
- CRUM, Rosa M. Population-Based Norms for the Mini-Mental State Examination by Age and Educational Level. *JAMA: The Journal of the American Medical Association* [online]. 1993, **269**(18) [cit. 2023-02-05]. ISSN 0098-7484. Dostupné z: doi:10.1001/jama.1993.03500180078038
- DAVRANCHE, Karen a Michel AUDIFFREN. Facilitating effects of exercise on information processing. *Journal of Sports Sciences* [online]. 2004, **22**(5), 419-428 [cit. 2023-03-02]. ISSN 0264-0414. Dostupné z: doi:10.1080/02640410410001675289
- DAVRANCHE, Karen a Terry MCMORRIS. Specific effects of acute moderate exercise on cognitive control. *Brain and Cognition* [online]. 2009, **69**(3), 565-570 [cit. 2023-03-11]. ISSN 02782626. Dostupné z: doi:10.1016/j.bandc.2008.12.001
- DECARO, Marci S. a Sian L. BEILOCK. The Benefits and Perils of Attentional Control. In: BRUYA, Brian, ed. *Effortless Attention* [online]. Cambridge: The MIT Press, 2010, 2010-04-09, s. 51-74 [cit. 2023-03-12]. ISBN 9780262013840. Dostupné z: doi:10.7551/mitpress/9780262013840.003.0003
- DEHAENE, S. Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition* [online]. 2001, **79**(1-2), 1-37 [cit. 2023-03-12]. ISSN 00100277. Dostupné z: doi:10.1016/S0010-0277(00)00123-2
- DEL GIORNO, Jacqueline M., Eric E. HALL, Kevin C. O'LEARY, Walter R. BIXBY a Paul C. MILLER. Cognitive Function During Acute Exercise: A Test of the Transient Hypofrontality Theory. *Journal of Sport and Exercise Psychology* [online]. 2010, **32**(3), 312-323 [cit. 2023-03-15]. ISSN 0895-2779. Dostupné z: doi:10.1123/jsep.32.3.312
- DEVILBISS, David M. a Barry D. WATERHOUSE. Phasic and Tonic Patterns of Locus Coeruleus Output Differentially Modulate Sensory Network Function in the Awake Rat. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2011, **105**(1), 69-87 [cit. 2023-03-26]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.00445.2010
- DIETRICH, A. a W. F. MCDANIEL. Endocannabinoids and exercise. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 2004, **38**(5), 536-541 [cit. 2023-03-15]. ISSN 0306-3674. Dostupné z: doi:10.1136/bjism.2004.011718
- DIETRICH, Arne. Functional neuroanatomy of altered states of consciousness: The transient hypofrontality hypothesis. *Consciousness and Cognition* [online]. 2003, **12**(2), 231-256 [cit. 2023-04-23]. ISSN 10538100. Dostupné z: doi:10.1016/S1053-8100(02)00046-6
- DIETRICH, Arne. The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic Bulletin & Review* [online]. 2004, **11**(6), 1011-1026 [cit. 2023-03-12]. ISSN 1069-9384. Dostupné z: doi:10.3758/BF03196731
- DIETRICH, Arne. Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise. *Psychiatry Research* [online]. 2006, **145**(1), 79-83 [cit. 2023-03-13]. ISSN 01651781. Dostupné z: doi:10.1016/j.psychres.2005.07.033
- DIETRICH, Arne a Michel AUDIFFREN. The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* [online]. 2011, **35**(6), 1305-1325 [cit. 2023-01-30]. ISSN 01497634. Dostupné z: doi:10.1016/j.neubiorev.2011.02.001

- DIETRICH, Arne a Phillip B SPARLING. Endurance exercise selectively impairs prefrontal-dependent cognition. *Brain and Cognition* [online]. 2004, **55**(3), 516-524 [cit. 2023-03-14]. ISSN 02782626. Dostupné z: doi:10.1016/j.bandc.2004.03.002
- DURMER, Jeffrey S a David F DINGES. Neurocognitive Consequences of Sleep Deprivation. *Seminars in Neurology* [online]. 2005, **25**(01), 117-129 [cit. 2023-03-17]. ISSN 0271-8235. Dostupné z: doi:10.1055/s-2005-867080
- EATON, Danice K., Lela R. MCKNIGHT-EILY, Richard LOWRY, Geraldine S. PERRY, Letitia PRESLEY-CANTRELL a Janet B. CROFT. Prevalence of Insufficient, Borderline, and Optimal Hours of Sleep Among High School Students – United States, 2007. *Journal of Adolescent Health* [online]. 2010, **46**(4), 399-401 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1054139X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jadohealth.2009.10.011
- ETNIER, Jennifer L., Priscilla M. NOWELL, Daniel M. LANDERS a Benjamin A. SIBLEY. A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews* [online]. 2006, **52**(1), 119-130 [cit. 2023-03-01]. ISSN 01650173. Dostupné z: doi:10.1016/j.brainresrev.2006.01.002
- FREDERICK, Shane. Cognitive Reflection and Decision Making. *Journal of Economic Perspectives* [online]. 2005, **19**(4), 25-42 [cit. 2023-02-06]. ISSN 0895-3309. Dostupné z: doi:10.1257/089533005775196732
- FURUKAWA, K., H. ISHIBASHI a N. AKAIKE. ATP-induced inward current in neurons freshly dissociated from the tuberomammillary nucleus. *Journal of Neurophysiology* [online]. 1994, **71**(3), 868-873 [cit. 2023-04-15]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.1994.71.3.868
- GALLAGHER, Michela, Peter R. RAPP a Richard J. FANELLI. Opiate antagonist facilitation of time-dependent memory processes: Dependence upon intact norepinephrine function. *Brain Research* [online]. 1985, **347**(2), 284-290 [cit. 2023-03-26]. ISSN 00068993. Dostupné z: doi:10.1016/0006-8993(85)90188-X
- GIANNONI, Patrizia, Maria-Beatrice PASSANI, Daniele NOSI, Paul L. CHAZOT, Fiona C. SHENTON, Andrew D. MEDHURST, Leonardo MUNARI a Patrizio BLANDINA. Heterogeneity of histaminergic neurons in the tuberomammillary nucleus of the rat. *European Journal of Neuroscience* [online]. 2009, **29**(12), 2363-2374 [cit. 2023-04-15]. ISSN 0953816X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1460-9568.2009.06765.x
- GOODMAN, RR a SH SYNDER. Autoradiographic localization of adenosine receptors in rat brain using [3H]cyclohexyladenosine. *The Journal of Neuroscience* [online]. 1982, **2**(9), 1230-1241 [cit. 2023-03-15]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.02-09-01230.1982
- GRANT, Steven J., Gary ASTON-JONES a D.Eugene REDMOND. Responses of primate locus coeruleus neurons to simple and complex sensory stimuli. *Brain Research Bulletin* [online]. 1988, **21**(3), 401-410 [cit. 2023-03-13]. ISSN 03619230. Dostupné z: doi:10.1016/0361-9230(88)90152-9
- HAAS, Helmut L., Olga A. SERGEEVA a Oliver SELBACH. Histamine in the Nervous System. *Physiological Reviews* [online]. 2008, **88**(3), 1183-1241 [cit. 2023-04-15]. ISSN 0031-9333. Dostupné z: doi:10.1152/physrev.00043.2007
- HARRIS, Glenda C. a Gary ASTON-JONES. Arousal and reward: a dichotomy in orexin function. *Trends in Neurosciences* [online]. 2006, **29**(10), 571-577 [cit. 2023-04-15]. ISSN 01662236. Dostupné z: doi:10.1016/j.tins.2006.08.002
- HARVEY, Philip D. Domains of cognition and their assessment. *Dialogues in Clinical Neuroscience* [online]. 2019, **21**(3), 227-237 [cit. 2023-02-05]. ISSN 1958-5969. Dostupné z: doi:10.31887/DCNS.2019.21.3/pharvey

- HERVÉ, Denis, Virginia M. PICKEL, Tong H. JOH a Alain BEAUDET. Serotonin axon terminals in the ventral tegmental area of the rat: fine structure and synaptic input to dopaminergic neurons. *Brain Research* [online]. 1987, **435**(1-2), 71-83 [cit. 2023-03-25]. ISSN 00068993. Dostupné z: doi:10.1016/0006-8993(87)91588-5
- HILLMAN, Charles H., Darla M. CASTELLI a Sarah M. BUCK. Aerobic Fitness and Neurocognitive Function in Healthy Preadolescent Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise* [online]. 2005, **37**(11), 1967-1974 [cit. 2023-03-06]. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1249/01.mss.0000176680.79702.ce
- HORNUNG, Jean-Pierre. The human raphe nuclei and the serotonergic system. *Journal of Chemical Neuroanatomy* [online]. 2003, **26**(4), 331-343 [cit. 2023-04-10]. ISSN 08910618. Dostupné z: doi:10.1016/j.jchemneu.2003.10.002
- HOU, Lijuan, Wei CHEN, Xiaoli LIU, Decai QIAO a Fu-Ming ZHOU. Exercise-Induced Neuroprotection of the Nigrostriatal Dopamine System in Parkinson's Disease. *Frontiers in Aging Neuroscience* [online]. 2017, **9** [cit. 2023-04-07]. ISSN 1663-4365. Dostupné z: doi:10.3389/fnagi.2017.00358
- HUDÁK, Radovan a David KACHLÍK. Memorix anatomie. 4. vydání. Ilustroval Jan BALKO, ilustroval Šárka ZAVÁZALOVÁ. Praha: Triton, 2017. ISBN 978-80-7553-420-0.
- JAMES, Morgan H., Erin J. CAMPBELL, Frederick R. WALKER, Doug W. SMITH, Heather N. RICHARDSON, Deborah M. HODGSON a Christopher V. DAYAS. Exercise reverses the effects of early life stress on orexin cell reactivity in male but not female rats. *Frontiers in Behavioral Neuroscience* [online]. 2014, **8** [cit. 2023-04-16]. ISSN 1662-5153. Dostupné z: doi:10.3389/fnbeh.2014.00244
- JANSSEN, Jolien, Paula S. KOEKKOEK, Eric P. MOLL VAN CHARANTE, L. JAAP KAPPELLE, Geert Jan BIESSELS a Guy E. H. M. RUTTEN. How to choose the most appropriate cognitive test to evaluate cognitive complaints in primary care. *BMC Family Practice* [online]. 2017, **18**(1) [cit. 2023-02-05]. ISSN 1471-2296. Dostupné z: doi:10.1186/s12875-017-0675-4
- JONES, Barbara E. a Robert Y. MOORE. Ascending projections of the locus coeruleus in the rat. II. Autoradiographic study. *Brain Research* [online]. 1977, **127**(1), 23-53 [cit. 2023-03-26]. ISSN 00068993. Dostupné z: doi:10.1016/0006-8993(77)90378-X
- JONES, Barbara E. Arousal systems. *Frontiers in Bioscience* [online]. 2003, **8**(6), s438-451 [cit. 2023-01-18]. ISSN 10939946. Dostupné z: doi:10.2741/1074
- JONES, Barbara E. Immunohistochemical study of choline acetyltransferase-immunoreactive processes and cells innervating the pontomedullary reticular formation in the rat. *The Journal of Comparative Neurology* [online]. 1990, **295**(3), 485-514 [cit. 2023-03-25]. ISSN 0021-9967. Dostupné z: doi:10.1002/cne.902950311
- KINOMURA, Shigeo, Jonas LARSSON, Balázs GULYÁS a Per E. ROLAND. Activation by Attention of the Human Reticular Formation and Thalamic Intralaminar Nuclei. *Science* [online]. 1996, **271**(5248), 512-515 [cit. 2023-01-18]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.271.5248.512
- KOH, Serene X. T. a Jason K. W. LEE. S100B as a Marker for Brain Damage and Blood–Brain Barrier Disruption Following Exercise. *Sports Medicine* [online]. 2014, **44**(3), 369-385 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0112-1642. Dostupné z: doi:10.1007/s40279-013-0119-9
- KRÁLÍK, J. Statistika českých grafémů s využitím moderní výpočetní techniky. *Slovo a slovesnost: list Pražského lingvistického kroužku*. Praha: Melantrich, 1983, XLIV, 295 - 304 [cit. 2023-02-05]. ISSN 0037-7031. Dostupné z: <https://kramerius.lib.cas.cz/uuid/uuid:c93ddc51-530d-11e1-1331-001143e3f55c>

- KUO, Arthur D., J Maxwell DONELAN a Andy RUINA. Energetic Consequences of Walking Like an Inverted Pendulum: Step-to-Step Transitions. *Exercise and Sport Sciences Reviews* [online]. 2005, **33**(2), 88-97 [cit. 2023-03-13]. ISSN 0091-6331. Dostupné z: doi:10.1097/00003677-200504000-00006
- LANGSJO, J. W., M. T. ALKIRE, K. KASKINORO, et al. Returning from Oblivion: Imaging the Neural Core of Consciousness. *Journal of Neuroscience* [online]. 2012, **32**(14), 4935-4943 [cit. 2023-01-18]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.4962-11.2012
- LEITE, LAURA H. R., ALEX G. RODRIGUES, DANUSA D. SOARES, UMEKO MARUBAYASHI a CÂNDIDO C. COIMBRA. Central Fatigue Induced by Losartan Involves Brain Serotonin and Dopamine Content. *Medicine & Science in Sports & Exercise* [online]. 2010, **42**(8), 1469-1476 [cit. 2023-04-10]. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1249/MSS.0b013e3181d03d36
- LIGUORI, Claudio, Andrea ROMIGI, Marzia NUCCETELLI, et al. Orexinergic System Dysregulation, Sleep Impairment, and Cognitive Decline in Alzheimer Disease. *JAMA Neurology* [online]. 2014, **71**(12) [cit. 2023-04-16]. ISSN 2168-6149. Dostupné z: doi:10.1001/jamaneurol.2014.2510
- LOCKWOOD, Jennifer M., Brad W. WILKINS a John R. HALLIWILL. H 1 receptor-mediated vasodilatation contributes to postexercise hypotension. *The Journal of Physiology* [online]. 2005, **563**(2), 633-642 [cit. 2023-04-15]. ISSN 00223751. Dostupné z: doi:10.1113/jphysiol.2004.080325
- LOPRINZI, Paul D., Emily FRITH, Meghan K. EDWARDS, Eveleen SNG a Nicole ASHPOLE. The Effects of Exercise on Memory Function Among Young to Middle-Aged Adults: Systematic Review and Recommendations for Future Research. *American Journal of Health Promotion* [online]. 2018, **32**(3), 691-704 [cit. 2023-04-22]. ISSN 0890-1171. Dostupné z: doi:10.1177/0890117117737409
- LORIST, Monicque M., Jan SNEL, Gijsbertus MULDER a Albert KOK. Aging, caffeine, and information processing: an event-related potential analysis. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section* [online]. 1995, **96**(5), 453-467 [cit. 2023-03-16]. ISSN 01685597. Dostupné z: doi:10.1016/0168-5597(95)00069-5
- LORIST, Monicque M. a Mattie TOPS. Caffeine, fatigue, and cognition. *Brain and Cognition* [online]. 2003, **53**(1), 82-94 [cit. 2023-03-15]. ISSN 02782626. Dostupné z: doi:10.1016/S0278-2626(03)00206-9
- LOUGHLIN, S.E., S.L. FOOTE a R. GRZANNA. Efferent projections of nucleus locus coeruleus: Morphologic subpopulations have different efferent targets. *Neuroscience* [online]. 1986, **18**(2), 307-319 [cit. 2023-03-26]. ISSN 03064522. Dostupné z: doi:10.1016/0306-4522(86)90156-9
- LOW, David, Alison PURVIS, Thomas REILLY a N. Tim CABLE. The prolactin responses to active and passive heating in man. *Experimental Physiology* [online]. 2005, **90**(6), 909-917 [cit. 2023-04-10]. ISSN 09580670. Dostupné z: doi:10.1113/expphysiol.2005.031294
- LOY, Bryan D. a Patrick J. O'CONNOR. The effect of histamine on changes in mental energy and fatigue after a single bout of exercise. *Physiology & Behavior* [online]. 2016, **153**, 7-18 [cit. 2023-04-15]. ISSN 00319384. Dostupné z: doi:10.1016/j.physbeh.2015.10.016
- MALDONATO, Mauro. The Ascending Reticular Activating System. In: BASSIS, Simone, Anna ESPOSITO a Francesco Carlo MORABITO, ed. Recent Advances of Neural Network Models and Applications [online]. Cham: Springer International Publishing, 2014, 2014, s. 333-344 [cit. 2023-01-15]. Smart Innovation, Systems and Technologies. ISBN 978-3-319-04128-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-04129-2\_33
- MARSDEN, Graham a John LEACH. Effects of alcohol and caffeine on maritime navigational skills. *Ergonomics* [online]. 2000, **43**(1), 17-26 [cit. 2023-03-15]. ISSN 0014-0139. Dostupné z: doi:10.1080/001401300184639

- MATHES, Wendy Foulds, Derrick L. NEHRENBERG, Ryan GORDON, Kunjie HUA, Theodore GARLAND a Daniel POMP. Dopaminergic dysregulation in mice selectively bred for excessive exercise or obesity. *Behavioural Brain Research* [online]. 2010, **210**(2), 155-163 [cit. 2023-04-07]. ISSN 01664328. Dostupné z: doi:10.1016/j.bbr.2010.02.016
- MAVILIDI, Myrto-Foteini, Anthony D. OKELY, Paul CHANDLER, Dylan P. CLIFF a Fred PAAS. Effects of Integrated Physical Exercises and Gestures on Preschool Children's Foreign Language Vocabulary Learning. *Educational Psychology Review* [online]. 2015, **27**(3), 413-426 [cit. 2023-04-22]. ISSN 1040-726X. Dostupné z: doi:10.1007/s10648-015-9337-z
- MCGOWAN, Amanda L., Madison C. CHANDLER, Jan W. BRASCAMP a Matthew B. PONTIFEX. Pupillometric indices of locus-coeruleus activation are not modulated following single bouts of exercise. *International Journal of Psychophysiology* [online]. 2019, **140**, 41-52 [cit. 2023-04-10]. ISSN 01678760. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijpsycho.2019.04.004
- MCMORRIS, T., K. COLLARD, J. CORBETT, M. DICKS a J.P. SWAIN. A test of the catecholamines hypothesis for an acute exercise-cognition interaction. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* [online]. 2008, **89**(1), 106-115 [cit. 2023-03-13]. ISSN 00913057. Dostupné z: doi:10.1016/j.pbb.2007.11.007
- MEEUSEN, Romain, Philip WATSON, Hiroshi HASEGAWA, Bart ROELANDS a Maria F PIACENTINI. Central Fatigue. *Sports Medicine* [online]. 2006, **36**(10), 881-909 [cit. 2023-03-13]. ISSN 0112-1642. Dostupné z: doi:10.2165/00007256-200636100-00006
- MEEUSEN, Romain a Kenny DE MEIRLEIR. Exercise and Brain Neurotransmission. *Sports Medicine* [online]. 1995, **20**(3), 160-188 [cit. 2023-03-13]. ISSN 0112-1642. Dostupné z: doi:10.2165/00007256-199520030-00004
- MILLER, E.K. a J.D. WALLIS. Executive Function and Higher-Order Cognition: Definition and Neural Substrates. In: *Encyclopedia of Neuroscience* [online]. Elsevier, 2009, 2009, s. 99-104 [cit. 2023-03-15]. ISBN 9780080450469. Dostupné z: doi:10.1016/B978-008045046-9.00418-6
- MILLER, Michelle A., Hayley WRIGHT, Josie HOUGH a Francesco P. CAPPUCCIO. Sleep and Cognition. In: IDZIKOWSKI, Chris, ed. *Sleep and its Disorders Affect Society* [online]. InTech, 2014, 2014-09-24 [cit. 2023-03-17]. ISBN 978-953-51-1725-4. Dostupné z: doi:10.5772/58735
- MORUZZI, G. a H.W. MAGOUN. Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* [online]. 1949, **1**(1-4), 455-473 [cit. 2023-01-17]. ISSN 00134694. Dostupné z: doi:10.1016/0013-4694(49)90219-9
- MRHÁLEK, Tomáš, Jan HYNEK a Alena KAJANOVÁ. Diagnostika inteligence pomocí čtvrté revize Woodcock-Johnsonova testu kognitivních schopností (WJ IV COG). *Psychologie a její kontexty* [online]. 2021, **11**(2), 5-16 [cit. 2023-02-06]. ISSN 18039278. Dostupné z: doi:10.15452/PsyX.2020.11.0007
- NEHLIG, Astrid, Rodrigo A. CUNHA a Alexandre DE MENDONÇA. Is Caffeine a Cognitive Enhancer?. *Journal of Alzheimer's Disease* [online]. 2010, **20**(s1), S85-S94 [cit. 2023-03-15]. ISSN 18758908. Dostupné z: doi:10.3233/JAD-2010-091315
- NOCJAR, C., J. ZHANG, P. FENG a J. PANKSEPP. The social defeat animal model of depression shows diminished levels of orexin in mesocortical regions of the dopamine system, and of dynorphin and orexin in the hypothalamus. *Neuroscience* [online]. 2012, **218**, 138-153 [cit. 2023-04-16]. ISSN 03064522. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroscience.2012.05.033
- NYBO, Lars a Niels H SECHER. Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. *Progress in Neurobiology* [online]. 2004, **72**(4), 223-261 [cit. 2023-03-13]. ISSN 03010082. Dostupné z: doi:10.1016/j.pneurobio.2004.03.005

- OAKMAN, Scott A., P. L. FARIS, P. E. KERR, C. COZZARI a B. K. HARTMAN. Distribution of pontomesencephalic cholinergic neurons projecting to substantia nigra differs significantly from those projecting to ventral tegmental area. *The Journal of Neuroscience* [online]. 1995, 15(9), 5859-5869 [cit. 2023-02-04]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.15-09-05859.1995
- PALMER, Kara K., Matthew W. MILLER a Leah E. ROBINSON. Acute Exercise Enhances Preschoolers' Ability to Sustain Attention. *Journal of Sport and Exercise Psychology* [online]. 2013, 35(4), 433-437 [cit. 2023-04-22]. ISSN 0895-2779. Dostupné z: doi:10.1123/jsep.35.4.433
- PAUS, Tomáš. Functional anatomy of arousal and attention systems in the human brain. In: *Cognition, emotion and autonomic responses: The integrative role of the prefrontal cortex and limbic structures* [online]. Elsevier, 2000, 2000, s. 65-77 [cit. 2023-01-18]. Progress in Brain Research. ISBN 9780444503329. Dostupné z: doi:10.1016/S0079-6123(00)26007-X
- PESCE, Caterina, Claudia CROVA, Lucio CEREATTI, Rita CASELLA a Mario BELLUCCI. Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity* [online]. 2009, 2(1), 16-22 [cit. 2023-04-22]. ISSN 17552966. Dostupné z: doi:10.1016/j.mhpa.2009.02.001
- POLDRACK, Russell A. a Mark G. PACKARD. Competition among multiple memory systems: converging evidence from animal and human brain studies. *Neuropsychologia* [online]. 2003, 41(3), 245-251 [cit. 2023-03-12]. ISSN 00283932. Dostupné z: doi:10.1016/S0028-3932(02)00157-4
- PONTIFEX, Matthew B., Charles H. HILLMAN a John POLICH. Age, physical fitness, and attention: P3a and P3b. *Psychophysiology* [online]. 2009, 46(2), 379-387 [cit. 2023-03-26]. ISSN 00485772. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8986.2008.00782.x
- POTTER, Douglas a Denis KEELING. Effects of Moderate Exercise and Circadian Rhythms on Human Memory. *Journal of Sport and Exercise Psychology* [online]. 2005, 27(1), 117-125 [cit. 2023-03-03]. ISSN 0895-2779. Dostupné z: doi:10.1123/jsep.27.1.117
- REBER, Arthur S. Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General* [online]. 1989, 118(3), 219-235 [cit. 2023-03-12]. ISSN 1939-2222. Dostupné z: doi:10.1037/0096-3445.118.3.219
- REYES, Beverly A. S., Rita J. VALENTINO, Guangping XU a Elisabeth J. VAN BOCKSTAELE. Hypothalamic projections to locus coeruleus neurons in rat brain. *European Journal of Neuroscience* [online]. 2005, 22(1), 93-106 [cit. 2023-03-26]. ISSN 0953816X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1460-9568.2005.04197.x
- REZVANI, Amir H a Edward D LEVIN. Cognitive effects of nicotine. *Biological Psychiatry* [online]. 2001, 49(3), 258-267 [cit. 2023-03-16]. ISSN 00063223. Dostupné z: doi:10.1016/S0006-3223(00)01094-5
- ROBBINS, T. W. a B. J. EVERITT. A role for mesencephalic dopamine in activation: commentary on Berridge (2006). *Psychopharmacology* [online]. 2007, 191(3), 433-437 [cit. 2023-03-13]. ISSN 0033-3158. Dostupné z: doi:10.1007/s00213-006-0528-7
- RODRIGUES, Alex G., Danusa D. SOARES, Umeko MARUBAYASHI a Cândido Celso COIMBRA. Heat loss during exercise is related to serotonin activity in the preoptic area. *NeuroReport* [online]. 2009, 20(8), 804-808 [cit. 2023-04-10]. ISSN 0959-4965. Dostupné z: doi:10.1097/WNR.0b013e32832b8c90
- ROELANDS, Bart, Hiroshi HASEGAWA, Phillip WATSON, Maria Francesca PIACENTINI, Luk BUYSE, Guy DE SCHUTTER a Romain R. MEEUSEN. The Effects of Acute Dopamine Reuptake Inhibition on Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* [online]. 2008, 40(5), 879-885 [cit. 2023-04-08]. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1249/MSS.0b013e3181659c4d



- RUIJTER, Judith, Monique M LORIST, Jan SNEL a Michiel B DE RUITER. The Influence of Caffeine on Sustained Attention. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* [online]. 2000, **66**(1), 29-37 [cit. 2023-03-15]. ISSN 00913057. Dostupné z: doi:10.1016/S0091-3057(00)00229-X
- SALAMONE, John D., Merce CORREA, Eric J. NUNES, Patrick A. RANDALL a Marta PARDO. THE BEHAVIORAL PHARMACOLOGY OF EFFORT-RELATED CHOICE BEHAVIOR: DOPAMINE, ADENOSINE AND BEYOND. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior* [online]. 2012, **97**(1), 125-146 [cit. 2023-04-15]. ISSN 00225002. Dostupné z: doi:10.1901/jeab.2012.97-125
- SALMON, Peter. Effects of physical exercise on anxiety, depression, and sensitivity to stress. *Clinical Psychology Review* [online]. 2001, **21**(1), 33-61 [cit. 2023-03-15]. ISSN 02727358. Dostupné z: doi:10.1016/S0272-7358(99)00032-X
- SANDERS, A.F. Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica* [online]. 1983, **53**(1), 61-97 [cit. 2023-03-11]. ISSN 00016918. Dostupné z: doi:10.1016/0001-6918(83)90016-1
- SARA, Susan J. a Sebastien BOURET. Orienting and Reorienting: The Locus Coeruleus Mediates Cognition through Arousal. *Neuron* [online]. 2012, **76**(1), 130-141 [cit. 2023-03-25]. ISSN 08966273. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuron.2012.09.011
- SCHACTER, Daniel L a Randy L BUCKNER. Priming and the Brain. *Neuron* [online]. 1998, **20**(2), 185-195 [cit. 2023-03-12]. ISSN 08966273. Dostupné z: doi:10.1016/S0896-6273(00)80448-1
- SCHATZ, Philip. Mini-Mental State Exam. In: KREUTZER, Jeffrey S., John DELUCA a Bruce CAPLAN, ed. *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology* [online]. New York, NY: Springer New York, 2011, 2011, s. 1627-1629 [cit. 2023-02-05]. ISBN 978-0-387-79947-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-0-387-79948-3\_199
- SHIELD, Anthony a Shi ZHOU. Assessing Voluntary Muscle Activation with the Twitch Interpolation Technique. *Sports Medicine* [online]. 2004, **34**(4), 253-267 [cit. 2023-04-08]. ISSN 0112-1642. Dostupné z: doi:10.2165/00007256-200434040-00005
- SIBLEY, Benjamin A. a Jennifer L. ETNIER. The relationship between physical activity and cognition in children: a meta-analysis. *Pediatric exercise science* [online]. 2003, **15**(3), 243-256 [cit. 2023-03-06]. ISSN 0899-8493. Dostupné z: doi:10.1515/ijsl.2000.143.183
- SOARES, D.D, N.R.V LIMA, C.C COIMBRA a U MARUBAYASHI. Evidence that tryptophan reduces mechanical efficiency and running performance in rats. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* [online]. 2003, **74**(2), 357-362 [cit. 2023-04-10]. ISSN 00913057. Dostupné z: doi:10.1016/S0091-3057(02)01003-1
- STANOVICH, Keith E. a Richard F. WEST. Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate?. *Behavioral and Brain Sciences* [online]. 2000, **23**(5), 645-665 [cit. 2023-02-06]. ISSN 0140-525X. Dostupné z: doi:10.1017/S0140525X00003435
- STERN, Yaakov, Anna MACKAY-BRANDT, Seonjoo LEE, et al. Effect of aerobic exercise on cognition in younger adults. *Neurology* [online]. 2019, **92**(9), e905-e916 [cit. 2023-04-22]. ISSN 0028-3878. Dostupné z: doi:10.1212/WNL.00000000000007003
- SUTOO, Den'etsu a Kayo AKIYAMA. Regulation of brain function by exercise. *Neurobiology of Disease* [online]. 2003, **13**(1), 1-14 [cit. 2023-04-10]. ISSN 09699961. Dostupné z: doi:10.1016/S0969-9961(03)00030-5
- TESKE, Jennifer A., Claudio E. PEREZ-LEIGHTON, Charles J. BILLINGTON a Catherine M. KOTZ. Role of the locus coeruleus in enhanced orexin A-induced spontaneous physical activity in obesity-resistant rats. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative*

- Physiology* [online]. 2013, **305**(11), R1337-R1345 [cit. 2023-03-26]. ISSN 0363-6119. Dostupné z: doi:10.1152/ajpregu.00229.2013
- TOMPOROWSKI, Phillip D., Royce G. SIMPSON a Lisa HAGER. Method of Recruiting Subjects and Performance on Cognitive Tests. *The American Journal of Psychology* [online]. 1993, 106(4) [cit. 2023-03-02]. ISSN 00029556. Dostupné z: doi:10.2307/1422966
- TOMPOROWSKI, Phillip D. a Matthew S. GANIO. Short-term effects of aerobic exercise on executive processing, memory, and emotional reactivity. *International Journal of Sport and Exercise Psychology* [online]. 2006, 4(1), 57-72 [cit. 2023-03-02]. ISSN 1612-197X. Dostupné z: doi:10.1080/1612197X.2006.9671784
- TOMPOROWSKI, Phillip D. Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica* [online]. 2003, **112**(3), 297-324 [cit. 2023-03-11]. ISSN 00016918. Dostupné z: doi:10.1016/S0001-6918(02)00134-8
- TOPLAK, Maggie E., Richard F. WEST a Keith E. STANOVICH. Assessing miserly information processing: An expansion of the Cognitive Reflection Test. *Thinking & Reasoning* [online]. 2013, 20(2), 147-168 [cit. 2023-02-06]. ISSN 1354-6783. Dostupné z: doi:10.1080/13546783.2013.844729
- VALDÉS, José Luis, Cristián SÁNCHEZ, María Eugenia RIVEROS, Patrizio BLANDINA, Marco CONTRERAS, Paula FARÍAS a Fernando TORREALBA. The histaminergic tuberomammillary nucleus is critical for motivated arousal. *European Journal of Neuroscience* [online]. 2010, **31**(11), 2073-2085 [cit. 2023-04-15]. ISSN 0953816X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1460-9568.2010.07241.x
- VALENTINE, Gerald a Mehmet SOFUOGLU. Cognitive Effects of Nicotine: Recent Progress. *Current Neuropharmacology* [online]. 2018, **16**(4), 403-414 [cit. 2023-03-16]. ISSN 1570159X. Dostupné z: doi:10.2174/1570159X15666171103152136
- VALENTINO, Rita J. a Elisabeth VAN BOCKSTAELE. Convergent regulation of locus coeruleus activity as an adaptive response to stress. *European Journal of Pharmacology* [online]. 2008, **583**(2-3), 194-203 [cit. 2023-03-26]. ISSN 00142999. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejphar.2007.11.062
- VAN BOCKSTAELE, E.J., H. AKAOKA a G. ASTON-JONES. Brainstem afferents to the rostral (juxtafacial) nucleus paragigantocellularis: integration of exteroceptive and interoceptive sensory inputs in the ventral tegmentum. *Brain Research* [online]. 1993, **603**(1), 1-18 [cit. 2023-03-26]. ISSN 00068993. Dostupné z: doi:10.1016/0006-8993(93)91293-2
- WADA, Hiroshi, Naoyuki INAGAKI, Atsushi YAMATODANI a Takehiko WATANABE. Is the histaminergic neuron system a regulatory center for whole-brain activity?. *Trends in Neurosciences* [online]. 1991, 14(9), 415-418 [cit. 2023-04-15]. ISSN 01662236. Dostupné z: doi:10.1016/0166-2236(91)90034-R
- WARBURTON, D. E.R. Prescribing exercise as preventive therapy. *Canadian Medical Association Journal* [online]. 2006, 174(7), 961-974 [cit. 2023-04-22]. ISSN 0820-3946. Dostupné z: doi:10.1503/cmaj.1040750
- WATERS, Audreaiona, Liye ZOU, Myungjin JUNG, Qian YU, Jingyuan LIN, Shijie LIU a Paul D. LOPRINZI. Acute Exercise and Sustained Attention on Memory Function. *American Journal of Health Behavior* [online]. 2020, 44(3), 326-332 [cit. 2023-04-22]. ISSN 1087-3244. Dostupné z: doi:10.5993/AJHB.44.3.5
- WINTER, Bernward, Caterina BREITENSTEIN, Frank C. MOOREN, et al. High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory* [online]. 2007, **87**(4), 597-609 [cit. 2023-03-03]. ISSN 10747427. Dostupné z: doi:10.1016/j.nlm.2006.11.003

- WONNACOTT, Susan. Presynaptic nicotinic ACh receptors. *Trends in Neurosciences* [online]. 1997, **20**(2), 92-98 [cit. 2023-03-16]. ISSN 01662236. Dostupné z: doi:10.1016/S0166-2236(96)10073-4
- WOOLF, Nancy J. Acetylcholine, Cognition, and Consciousness. *Journal of Molecular Neuroscience* [online]. 2006, **30**(1-2), 219-222 [cit. 2023-03-25]. ISSN 0895-8696. Dostupné z: doi:10.1385/JMN:30:1:219
- WOOLF, Nancy J. a Larry L. BUTCHER. Cholinergic systems in the rat brain: III. Projections from the pontomesencephalic tegmentum to the thalamus, tectum, basal ganglia, and basal forebrain. *Brain Research Bulletin* [online]. 1986, **16**(5), 603-637 [cit. 2023-02-04]. ISSN 03619230. Dostupné z: doi:10.1016/0361-9230(86)90134-6
- WOOLSEY, Thomas A., Carl M. ROVAINEN, Stephanie B. COX, et al. Neuronal Units Linked to Microvascular Modules in Cerebral Cortex: Response Elements for Imaging the Brain. *Cerebral Cortex* [online]. 1996, **6**(5), 647-660 [cit. 2023-03-13]. ISSN 1047-3211. Dostupné z: doi:10.1093/cercor/6.5.647
- YEO, Sang Seok, Pyung Hun CHANG a Sung Ho JANG. The Ascending Reticular Activating System from Pontine Reticular Formation to the Thalamus in the Human Brain. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 2013, (vol. 7) [cit. 2023-01-18]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi:10.3389/fnhum.2013.00416
- YI, Chun-Xia, Mireille J. SERLIE, Mariette T. ACKERMANS, Ewout FOPPEN, Ruud M. BUIJS, Hans P. SAUERWEIN, Eric FLIERS a Andries KALSBECK. A Major Role for Perifornical Orexin Neurons in the Control of Glucose Metabolism in Rats. *Diabetes* [online]. 2009, **58**(9), 1998-2005 [cit. 2023-04-15]. ISSN 0012-1797. Dostupné z: doi:10.2337/db09-0385
- YOUNG, Jeremy, Maaike ANGEVAREN, Jennifer RUSTED a Naji TABET. Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [online]. 2015, (4) [cit. 2023-04-22]. ISSN 14651858. Dostupné z: doi:10.1002/14651858.CD005381.pub4
- YOUNGSTEDT, Shawn D. a Daniel F. KRIPKE. Long sleep and mortality: rationale for sleep restriction. *Sleep Medicine Reviews* [online]. 2004, **8**(3), 159-174 [cit. 2023-03-20]. ISSN 10870792. Dostupné z: doi:10.1016/j.smr.2003.10.002

## SEZNAM PŘÍLOH

### Seznam obrázků:

- Obr. 1 Fyziologická osa zobrazující vyvolání vyplavování dopaminu díky cvičení a jeho účinky na mozkové funkce (převzato ze Sutoo a Akiyama, 2003) **str. 16**
- Obr. 2 Sandersův kognitivně-energetický model (převzato a upraveno z Tomporowski, 2003) **str. 23**
- Obr. 3 Vliv vybraných faktorů na implicitní a explicitní funkce (převzato z Dietrich a Audiffren, 2011) **str. 25**
- Obr. 4 Popis zkoumaného souboru žáků osmiletého gymnázia **str. 32**
- Obr. 5 Popis zkoumaného souboru žáků vysokých škol **str. 33**
- Obr. 6 Graf výsledků ve word recall testu studentů střední školy **str. 38**
- Obr. 7 Rozdíl ve WR testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (SŠ) **str. 40**
- Obr. 8 Rozdíl ve WR testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (SŠ) **str. 40**
- Obr. 9 Rozdíl ve WR testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (SŠ) **str. 40**
- Obr. 10 Graf výsledků v cognitive reflection testu studentů střední školy **str. 41**
- Obr. 11 Rozdíl v CRT testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (SŠ) **str. 43**
- Obr. 12 Rozdíl v CRT testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (SŠ) **str. 43**
- Obr. 13 Rozdíl v CRT testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (SŠ) **str. 43**
- Obr. 14 Graf výsledků v testu číselných řad studentů střední školy **str. 44**
- Obr. 15 Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (SŠ) **str. 46**
- Obr. 16 Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (SŠ) **str. 46**
- Obr. 17 Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (SŠ) **str. 46**
- Obr. 18 Graf výsledků ve verbal fluence testu studentů střední školy **str. 47**
- Obr. 19 Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (SŠ) **str. 49**
- Obr. 20 Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (SŠ) **str. 49**
- Obr. 21 Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (SŠ) **str. 49**
- Obr. 22 Graf výsledků ve word recall testu studentů vysokých škol **str. 52**
- Obr. 23 Rozdíl ve word recall testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (VŠ) **str. 54**
- Obr. 24 Rozdíl ve word recall testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (VŠ) **str. 54**
- Obr. 25 Rozdíl ve word recall testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (VŠ) **str. 54**
- Obr. 26 Graf výsledků v cognitive reflection testu studentů vysokých škol **str. 55**
- Obr. 27 Rozdíl v cognitive reflection testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (VŠ) **str. 57**
- Obr. 28 Rozdíl v cognitive reflection testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (VŠ) **str. 57**
- Obr. 29 Rozdíl v cognitive reflection testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (VŠ) **str. 57**
- Obr. 30 Graf výsledků v testu číselných řad studentů vysokých škol **str. 58**

- Obr. 31 Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví (VŠ) **str. 60**
- Obr. 32 Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (VŠ) **str. 60**
- Obr. 33 Rozdíl v testu číselných řad po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (VŠ) **str. 60**
- Obr. 34 Graf výsledků ve verbal fluence testu studentů vysokých škol **str. 61**
- Obr. 35 Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na pohlaví VŠ **str. 63**
- Obr. 36 Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na užití kofeinu (VŠ) **str. 63**
- Obr. 37 Rozdíl ve verbal fluence testu po klidu a po aktivitě v závislosti na kvalitním spánku (VŠ) **str. 63**
- Obr. 38 Histogram porovávající jednotlivé testy mezi oběma experimenty **str. 65**

Seznam tabulek:

- Tabulka 1 Přehled všech výsledků studentů střední školy **str. 37**
- Tabulka 2 Přehled všech výsledků studentů vysokých škol **str. 51**

## PŘÍLOHY

### Příloha č. 1: Kognitivní test skupina A

#### A

**Pohlaví:**

**Rok narození:**

**Číslo:**

**Užil/a jste dnes kofein?**

ANO NE

**Vykouřil/a jste v posledních 24 hodinách cigaretu nebo užil/a jiný výrobek obsahující nikotin?**

ANO NE

**Spal/a jste dnes kvalitním spánkem\* (délka spánku alespoň 7 hodin, po probuzení pocit vyspání)**

ANO NE

1) Uvidíte krátké video ve kterém vám bude prezentováno 15 slov. Vaším úkolem je co nejvíce jich zapsat. V průběhu videa si nesmíte dělat žádné poznámky. Máte dvě minuty.

2) Odpovězte na následující otázky

Pálka a míček stály celkem 110 korun. Pálka stojí o 100 korun více než míček. Kolik stojí míček? \_\_\_ korun.

Pokud 5 strojům trvá 5 minut vyrobit 5 tužek, jak dlouho by trvalo 100 strojům vyrobit 100 tužek? \_\_\_ minut.

V jezeře se nachází lekníny. Každý den se jejich plocha zdvojnásobí. Pokud trvá 48 dní, než se pokryje celé jezero, za jak dlouho se pokryje polovina jezera? \_\_\_ dní.

3) Doplňte následující číselné řady

1      2      4      7      11      16      22      \_\_\_

1      2      4      8      16      32      64      \_\_\_

8      6      4      8      0      10      -4      \_\_\_

4) Na plátně uvidíte písmeno. Napište co nejvíce slov začínajících oním písmenem. Máte jednu minutu.

**Příloha č. 2: Kognitivní test skupina B****B****Pohlaví:****Rok narození:****Číslo:*****Užil/a jste dnes kofein?******ANO NE******Vykouřil/a jste v posledních 24 hodinách cigaretu nebo užil/a jiný výrobek obsahující nikotin?******ANO NE******Spal/a jste dnes kvalitním spánkem\* (délka spánku alespoň 7 hodin, po probuzení pocit vyspání)******ANO NE***

**1) Uvidíte krátké video ve kterém vám bude prezentováno 15 slov. Vaším úkolem je co nejvíce jich zapsat. V průběhu videa si nesmíte dělat žádné poznámky. Máte dvě minuty.**

**2) Odpovězte na následující otázky**

**Tomáš měl 15. nejlepší i 15. nejhorší známku ve třídě. Kolik studentů je ve třídě? \_\_\_\_ studentů.**

**Muž koupí prase za 60 dolarů, prodá ho za 70 dolarů, koupí ho zpět za 80 dolarů a nakonec ho prodá za 90 dolarů. Kolik vydělal? \_\_\_\_ dolarů.**

**Jestliže Jan dokáže vypít jeden barel vody za 6 dní a Marie dokáže vypít jeden barel vody za 12 dní, jak dlouho by jim trvalo vypít jeden barel vody společně? \_\_\_\_ dní.**

**3) Doplňte následující číselné řady**

**2      5      8      11      14      17      20      \_\_\_**

**0      1      3      7      15      31      63      \_\_\_**

**1      0      3      1      5      2      7      \_\_\_**

**4) Na plátně uvidíte písmeno. Napište co nejvíce slov začínajících oním písmenem. Máte jednu minutu.**