

Univerzita Karlova

Pedagogická fakulta

Katedra tělesné výchovy pedagogické fakulty UK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv kreatinu na sportovní výkon a neuroplasticitu sportujících studentů PedF UK (obor
TV v kombinaci)

Creatine and its effect on sports performance and neuroplasticity of athletic students of
Pedagogical Faculty of Charles University (PE in combination)

Matyáš Suk

Vedoucí práce: prof. PhDr. Jiří Suchý, Ph.D.

Studijní program: Tělesná výchova a sport se zaměřením na vzdělávání

Studijní obor: B TVS-ZSV 20

2024

Odevzdáním této bakalářské práce na téma Vliv kreatinu na sportovní výkon a neuroplasticitu sportujících studentů PedF UK (obor TV v kombinaci) potvrzuji, že jsem ji vypracoval pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze dne 8.7.2024

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce prof. PhDr. Jiřímu Suchému, Ph.D. za velmi přínosné rady a podněty, které mi v průběhu vypracovávání této bakalářské práce vstřícně poskytoval na našich odborných a časově náročných konzultacích.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na vliv a dopady suplementace kreatinem na sportovní výkon a neuroplasticitu jedince. Cílem je ověření vlivu kreatinu na vybrané aspekty pohybových aktivit a s tím souvisejících kognitivních výkonů. Presentovaná rešerše poskytuje částečný přehled literatury a vybraných předchozích výzkumů vztahujících se k tomuto tématu a experimentů prováděných v této oblasti. Práce nabízí dílčí pohled a experimentálně ověřuje, zda suplementace kreatinem zjednodušuje zapamatování a následné předvedení gymnastické pohybové skladby na prostných po týdnu užívání kreatinu. Cílem předkládané studie je objasnit vztah mezi kreatinem, pohybem a pamětí, přispět k lepšímu porozumění účinků, jimiž kreatin může ovlivnit sportovní a kognitivní funkce, a nabídnout podněty pro další související výzkum.

KLÍČOVÁ SLOVA

doplňky stravy, kognitivní funkce, neuroplasticita, gymnastika, prostná

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the influence and effects of creatine supplementation on athletic performance and neuroplasticity of an individual. The aim is to test the effect of creatine on selected aspects of physical activity and related cognitive performance? The present research provides a partial review of the literature and selected previous research related to this topic and experiments conducted in this area. The thesis offers a partial perspective and experimentally verifies whether creatine supplementation facilitates the memorization and subsequent performance of gymnastic movement patterns on simple after a week of creatine supplementation. The present study aims to clarify the relationship between creatine, movement and memory, to contribute to a better understanding of the effects by which creatine may influence athletic and cognitive function, and to offer suggestions for further related research.

KEYWORDS

dietary supplements, cognitive function, neuroplasticity, gymnastics, floor exercise

Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod | 7 |
| 1 Teoretická část..... | 8 |
| 2 Pozitivní vliv kreatinu | 9 |
| 2.1 Původ kreatinu..... | 9 |
| 2.2 Druhy kreatinu..... | 10 |
| 2.2.1 Kreatin monohydrát..... | 10 |
| 2.2.2 Kreatin ethylester..... | 11 |
| 2.2.3 Kreatin hydrochlorid..... | 11 |
| 2.2.4 Kreatin citrát..... | 12 |
| 2.2.5 Kreatin fosfát..... | 12 |
| 2.3 Syntéza kreatinu | 13 |
| 2.4 Distribuce kreatinu v lidském organismu..... | 13 |
| 2.5 Funkce kreatinu v lidském organismu..... | 14 |
| 2.6 Misinformace spojené s kreatinem..... | 19 |
| 3 Pohyb..... | 22 |
| 3.1 Význam pohybu pro zdraví | 22 |
| 3.2 Pohyb a neuroplasticita..... | 22 |
| 3.3 Gymnastika jako modelový sport..... | 22 |
| 3.3.1 Koordinace a rovnováha..... | 23 |
| 3.3.2 Flexibilita a síla | 23 |
| 3.3.3 Neuroplasticita v gymnastice | 23 |
| 3.3.4 Prostné sestavy v gymnastice | 23 |
| 4 Typy paměti a mechanismy zapamatování..... | 25 |
| 4.1 Typy paměti..... | 25 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.2 | Mechanismy zapamatování | 26 |
| 5 | Dosavadní výzkum vlivu kreatinu na paměť | 28 |
| 5.1 | Metody používané ve výzkumech vlivu kreatinu..... | 29 |
| | Praktická část..... | 31 |
| 6 | Metodika výzkumu..... | 32 |
| 7 | Design výzkumu vlivu kreatinu na neuroplasticitu a sportovní výkon | 34 |
| 7.1 | Metodologie vlivu kreatinu na výkon a neuroplasticitu | 34 |
| 8 | Výsledky..... | 36 |
| 8.1 | Diskuse k výzkumu | 40 |
| 8.2 | Finální zhodnocení výzkumu | 42 |
| | Závěr..... | 43 |
| | Možné aplikace v praxi..... | 44 |
| | Seznam příloh..... | 58 |

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem kreatinu na neuroplasticitu a sportovní výkon člověka při gymnastických cvičeních na prostných. Kreatin je látka vyskytující se v každém lidském těle a je celosvětově rozšířeným doplňkem stravy napříč všemi sporty. Tento prioritně zkoumaný doplněk stravy je známý svými vynikajícími účinky na fyzické aspekty jedince a těší se oblibě především u mladší generace sportovců. Starší generace ho někdy mylně považují za steroid, což je však nesprávné. Konkrétně zaujala naši pozornost, vedle poznatku o vlivu kreatinu na sportovní výkon, také hypotéza o jeho znatelném vlivu na kognitivní funkce člověka, zejména na neuroplasticitu, a to jak krátkodobou, tak i dlouhodobou.

Během pandemie COVID-19 se začal klást větší důraz na mentální zdraví a psychiku člověka obecně. V dnešní době se stále více lidí zajímá o optimalizaci jak fyzického, tak i duševního výkonu. Jedním z dobrých pomocníků může být již zmiňovaný kreatin, konkrétně kreatin monohydrát jako jeho nejvstřebatelnější forma. Cílem této práce je detailněji prozkoumat kreatin a jeho následný efekt na paměť a sportovní výkon pomocí experimentu s využitím gymnastických cvičení. Práce se bude zabývat nejen aktuálními vědeckými výzkumy v dané oblasti, nýbrž i vysvětlením a objasněním funkcí kreatinu. Podrobný rozbor této problematiky může přinést inspirace pro rozšíření nových možností v oblasti prevence a podpory mentálních úloh, zejména v kontextu narůstajícího zájmu o tzv. nootropika, tedy látky stimulující funkce mozku.

Kreatin, dusíkatá organická kyselina, je běžně se vyskytující látka v lidském těle. Lidský mozek vyžaduje spoustu energie pro jeho správné fungování a řádný průběh buněčných procesů, jako je například exocytóza neurotransmiterů a fungování synapsí. Nejvíce kreatinu získáme konzumací hovězího masa, mořských plodů, vajec, anebo v práškové formě. Druhým způsobem, jak dostat kreatin do našeho organismu, je syntéza endogenně v játrech, ledvinách a mozku, tudíž vlastní produkcí. Kreatin je důležitou molekulou pro produkci energie. Fosfokreatin a adenosindifosfát se přeměňují na kreatin a adenosintrifosfát (ATP) v reverzibilní reakci, která je klíčová pro energetický metabolismus buněk (Jaumann, 2013; PMC, 2023).

1 Teoretická část

Tato část je zaměřena na rešerši literatury kreatinu a řešení otázek spojených s jeho současným využitím a perspektiv v oblasti výkonnostního i amatérského sportování, a to včetně dopadů na kognitivní funkce jeho uživatelů. V jednotlivých podkapitolách je věnována pozornost nejznámějším druhům kreatinu, funkcím kreatinu v lidském organismu, a to opět v návaznosti na sportovní výkon a neuroplasticitu. Bude učiněn i dílčí pokus o vyhodnocení výstupů z dosavadních respektovaných a relevantních výzkumů. Strukturálně je práce koncipována tak, aby obecné poznatky přecházely v konkrétní.

2 Pozitivní vliv kreatinu

Na trhu je mnoho potravinových doplňků určených ke zlepšení sportovního výkonu. K těm nejpobulárnějším patří protein, rybí olej, hořčík a samozřejmě také kreatin (WHO, 2019).

V současné době existuje stále více důkazů, které poukazují na pozitivní vliv užívání kreatinu. Následující části se budou zabývat jeho fyziologickými účinky, a to opět i se zřetelem na sportovní výkony, především v oblasti gymnastických cvičení.

2.1 Původ kreatinu

V roce 1832 francouzský vědec Michel Eugène Chevreul objevil novou látku, kterou lze získat z masa – kreatin. Název této látky je odvozen od řeckého slova „kreas,“ které znamená maso. V roce 1847 německý vědec Justus von Liebig chemicky určil kreatin jako kyselinu methylguanidinoctovou, což je relativně jednoduchá guanidinová sloučenina, která se v potravinách může vyskytovat v množství od jednoho do pěti gramů na kilogram syrové hmotnosti. Liebig se poté rozhodl prodávat kreatin ve formě masového vývaru s 8% podílem kreatinu. Tento produkt byl tedy prvním historickým pokusem o suplementaci kreatinem (Sulser, 1968). V 80. letech 19. století byl objeven kreatinin, sloučenina vzniklá přirozeným rozkladem kreatinu. V roce 1926 Chanutin navrhl, že kreatin se vstřebává ve střevech, což znamená, že významné množství této látky lze získat z potravinových zdrojů, jako jsou čerstvé ryby a maso. Vážný výzkum ohledně doplňování kreatinu odstartoval až v 90. letech 20. století prostřednictvím odborných dvojité zaslepených a placebem kontrolovaných studií. Klíčové studie, jako například *Zvýšení obsahu kreatinu v klidových a cvičených svalch normálních jedinců pomocí kreatinových doplňků* (Harris a kol., 1992) a *Vliv orálního podávání kreatinu na svalový výkon během opakovaných zátěží při maximálním dobrovolném cvičení u lidí* (Greenhaff a kol., 1993), hrály zásadní roli při zahájení rozsáhlých výzkumů týkajících se suplementace kreatinem, zejména u sportovců (Hespel a Derave, 2007). Je zajímavé, že Roger Harris publikoval svou studii ve stejném roce, kdy Linford Christie získal zlatou medaili v běhu na 100 metrů na olympijských hrách a Sally Gunnellová zvítězila v běhu na 400 metrů překážek. Oba tito sportovci používali kreatin.

2.2 Druhy kreatinu

Existuje několik různých variant kreatinu dostupných na trhu. Neexistuje však jednoznačná odpověď, která forma kreatinu je nejlepší, jelikož každá má své charakteristiky a potenciální výhody. Mezi nejznámější patří kreatin monohydrát, kreatin ethylester, kreatin hydrochlorid, kreatin citrát a kreatin fosfát. Každá forma kreatinu má své předpokládané výhody a účinky, které mohou být důležité pro jednotlivé uživatele. Nicméně, rozhodnutí o volbě konkrétní formy kreatinu by mělo být podpořeno důkladným zkoumáním a konzultací s odborníkem. Před zahájením užívání jakéhokoli typu kreatinu je doporučeno zvážit individuální potřeby, cíle a možné reakce těla na danou formu kreatinu.

2.2.1 Kreatin monohydrát

Pro tuto práci byl z důvodu největší popularity vybrán kreatin monohydrát (CrM). Kreatin monohydrát, jeden z nejrozšířenějších a nejvíce studovaných forem kreatinu, je bílý prášek s vysokou rozpustností ve vodě.

Kreatin monohydrát prokázal svou účinnost v mnoha vědeckých studiích (Cooper a kol., 2012; Escalante a kol., 2022). Bylo zjištěno, že pravidelné užívání kreatinu monohydrátu může zvýšit výkonnost během krátkodobých intenzivních cvičení, jako jsou těžká zvedání v posilovně, krátké sprinty a další anaerobní činnosti (Cooper a kol., 2012)). Kreatin monohydrát je dobře tolerován většinou lidí a je považován za bezpečný doplněk stravy (Kreider a kol., 2017). Při dodržení doporučených dávek nejsou hlášeny žádné závažné vedlejší účinky (de Guingand a kol., 2020). Kreatin monohydrát je běžně dostupný v obchodech se sportovní výživou a u online prodejců, a to za relativně nízkou cenu ve srovnání s jinými formami kreatinu (Cooper a kol., 2012). Přijatelná cena se odvíjí od fermentace surovin obsahujících uhlík a dusík, následované izolací a čištěním kreatinu (Castoldi a kol., 2020). Poté dochází ke krystalizaci a sušení, aby se získal konečný produkt ve formě prášku (Jäger a kol., 2022).

Kreatin monohydrát je předmětem mnoha vědeckých studií a výzkumu, které potvrzují jeho účinky na zlepšení sportovního a mentálního výkonu (Buford a kol., 2007). Tato široká podpora vědeckých důkazů pomáhá zvyšovat důvěru ve výhody tohoto doplňku.

Vzhledem k těmto faktorům je kreatin monohydrát často preferovanou volbou mezi sportovci a jednotlivci v oblasti fitness, kteří hledají účinný doplněk stravy pro zlepšení výkonu a regenerace svalů (Wax a kol., 2021).

2.2.2 Kreatin ethylester

Kreatin ethylester (CEE) je derivát kreatinu, kde je kreatinová molekula esterifikována ethylalkoholem, čímž vzniká kreatin ethylester. Tato modifikace měla za cíl zvýšit stabilitu kreatinu v kyselém prostředí žaludku a zlepšit jeho absorpci ve svalových buňkách. Jednou z hlavních myšlenek při vývoji kreatinu ethylester bylo, že by měl mít lepší stabilitu v kyselém prostředí žaludku a měl by být lépe absorbován do svalových buněk než kreatin monohydrát. Tento předpoklad by mohl znamenat, že by bylo možné užívat menší dávky CEE než kreatinu monohydrátu k dosažení stejných výsledků.

Avšak vědecké studie a experimenty naznačují, že kreatin ethylester nemusí poskytovat žádné významné výhody oproti kreatinu monohydrátu. Studie ukazují, že účinnost CEE při zvyšování svalové hmoty nebo zlepšování výkonu není výrazně lepší než u kreatinu monohydrátu, a to navzdory původním hypotézám ohledně jeho absorpční schopnosti (Spillane a kol., 2009).

Dalšími nevýhodami CEE jsou vyšší náklady a menší dostupnost ve srovnání s kreatinem monohydrátem. Z tohoto důvodu je kreatin ethylester méně populární a méně používaný než kreatin monohydrát, který zůstává doporučenou a osvědčenou formou kreatinu pro zlepšení sportovního a psychického výkonu.

2.2.3 Kreatin hydrochlorid

Dalším ze skupiny je kreatin hydrochlorid (CrHCl), jehož vznik zapříčinil samotný kreatin monohydrát se svými vyskytujícími se negativními účinky. Konkrétně šlo o přibírání na váze, zadržování vody a dokonce i silné zažívací problémy. CrHCl je molekula s až čtyřicet jedna krát vyšší rozpustností ve vodě než CrM (Ostojic a Ahmetovic, 2008). Kromě toho je zřejmé, že propustnost v trávicím traktu je vyšší než u CrM. Podle Gufforda a kol. (2010) je potřebný objem vody k rozpuštění 5 až 10 g CrM přibližně 400 až 600 ml, zatímco CrHCl by bylo potřeba pouze 21 ml vody na stejné množství. Autoři dále naznačují, že zvýšená rozpustnost a permeabilita by mohla snížit množství kreatinu nutné k nasycení svalů, což by

vedlo k větší absorpci, menší exkreci kreatinu a v důsledku toho k eliminaci trávicích problémů. Výsledky zkoumání naznačují, že jak CrHCl, tak CrM zlepšují výkonnost, nicméně pouze CrHCl má vliv na změny tělesného složení bez zadržetí vody v organismu. Dále bylo zaznamenáno, že výraznější spojitost mezi silou a tělesným složením byla zjištěna pouze při užívání 5 g CrHCl, a zdá se, že existuje rozdíl v analýze tělesného složení mezi různými dávkami CrHCl (Gualano a kol., 2011). Navzdory těmto zjištěním je stále doporučováno užívání CrM kvůli jeho snadné dostupnosti a nízkým nákladům. My osobně bychom doporučili vyčkat na další studie s delším časovým intervalem, neboť tato studie trvala pouze 30 dní.

2.2.4 Kreatin citrát

Kreatin Citrát (Cr-Cit) obsahuje dvě hlavní složky: kreatin a kyselinu citronovou. Přidáním kyseliny citrónové se může zvýšit rozpustnost a rovnováhu ve vodních roztocích. Tento proces potenciálně usnadňuje absorpci kreatinu v těle, což může vést k efektivnějšímu využití kreatinu jako zdroje energie pro svaly. Na některé jedince působí nejlépe ze všech kreatinů. To se odvíjí od genetického materiálu a metabolismu. Upřednostňován může být díky svým vlastnostem, jako je chuť a rozpustnost. Bohužel se účinky Cr-Cit v těle po delším časovém rozpětí snižují. (Jäger R a kol., 2008)

2.2.5 Kreatin fosfát

Fiske a Subbarow (1927) z Harvard Medical School poprvé informovali o objevu fosfokreatinu ve 30. letech minulého století. Kreatin fosfát (CP), také nazývaný fosfokreatin (PCr), představuje fosforylovanou variantu kreatinu, která funguje jako okamžitě dostupná zásoba vysoce energetických fosfátů v kosterních svalech. CP funguje v svalové tkáni jako zásobárna energie, udržuje stabilní pH hladiny a představuje snadno dostupný zdroj vysoce energetických fosfátů (Kohlmeier, 2003). Během intenzivní svalové činnosti má zásadní význam v recyklaci adenosintrifosfátu (ATP), což je základní energetická jednotka. Recyklace dosahuje tím, že poskytuje svou fosfátovou skupinu pro přeměnu adenosindifosfátu (ADP) na ATP (Schlattner, 2006). CP má své uplatnění v lékařství a přináší výhody pro určité zdravotní stavy, zatímco kreatin monohydrát je častěji využíván

jako doplněk stravy díky své schopnosti být dobře vstřebatelný, stabilní povaze a dostupné ceně.

2.3 Syntéza kreatinu

Kreatin je vytvářen ze tří základních aminokyselin: glycinu, argininu a methioninu. I přes limitovanou schopnost tvorby kreatinu v těle je tvořen v ledvinách a v játrech, kde proces syntézy probíhá ve dvou fázích. Prvním fází je formování guanidinacetátu z argininu a glycinu v ledvinách, následuje jeho methylace v játrech za účasti S-adenosylmethioninu, což vytváří kreatin. Poté je kreatin přenášen krví do tkání s vysokým energetickým využitím, jako jsou kosterní svaly či mozek (Šaier, 2021). Referenční hodnota v krevní plazmě se udává 0,06-0,1 mmol/l. V celém těle je to cca 120 mmol/kg (Wikiskripta, 2023). Zvýšení svalové kapacity lze dosáhnout při dostatečném příjmu kreatinu běžnou stravou nebo suplementací. Pomocí suplementace se hladina může posunout až na 160 mmol/kg „dry muscle mass“. Kreatin je skladován ve formě kreatinfosfátu (PCr) a volného kreatinu v poměru přibližně 60:40, jak uvádí studie provedená Hultmanem a kol. (1996). Každý den jsou 1-2 % kreatinu rozkládána na kreatinin, který je následně vylučován v moči. Pro udržení základní hodnoty kreatinu je pro tělo důležité získat 3-5 gramů ze stravy nebo endogenní syntézou. Doporučený počet gramů se odvíjí na tělesné hmotnosti a množství svalové hmoty (Kreider a kol., 2017).

2.4 Distribuce kreatinu v lidském organismu

Kreatin se rozšiřuje především do kosterních svalů, kde představuje více než 95 % jeho celkového množství a hraje zde klíčovou roli při recyklaci adenosintrifosfátu (ATP) prostřednictvím tvorby kreatinfosfátu (Walker, 1979). Nachází se ve tkáních po celém těle, včetně mozkové tkáně, očí, srdečního svalu, varlat a ledvin. Množství kreatinu v těle se blíží objemu celkové tělesné vody, což vyjadřuje přibližně 45 litrů. Distribuce molekul v organismu je částečně ovlivněna schopností plazmatických bílkovin vázat se na kreatin. Významně je ovlivněna existencí kreatinových transportérů v organismu (Persky a Brazeau, 2001). U člověka je vazba kreatinu na plazmatické bílkoviny zanedbatelná, jelikož představuje méně než 10 %.

Několik výzkumů se zaměřilo na sledování hladin kreatinu v mozku u pacientů trpících Huntingtonovou chorobou. V jedné studii se prokázalo, že dávkování kreatinu 8 g/den po časový úsek 16 týdnů způsobilo nárůst hladin kreatinu v mozku o 7,5 až 13 % (Hersch a kol., 2006). Další studie potvrdila zhruba 8% zvýšení koncentrace kreatinu v mozku po 6 měsících užívání 10 g/den kreatinu (Tabrizi a kol., 2003). Důkazy naznačují, že farmakokinetika kreatinu není lineární vzhledem k velikosti a četnosti dávek. Ačkoli kreatin proniká do mozku, podobné dávky, které zvyšují hladinu kreatinu ve svalectech o více než 20 %, pouze mírně zvýší hladinu kreatinu v mozku, a to o méně než 10 %. Tento rozdíl v absorpci kreatinu mezi mozkiem a svaly může být důsledkem nižší schopnosti transportu kreatinu do mozku přes hematoencefalickou bariéru ve srovnání se svaly (Persky a Brazeau, 2001).

2.5 Funkce kreatinu v lidském organismu

Výkonnostně podporující účinky byly zaznamenány od dětí až po starší populaci. Nehledě na pohlaví. Mezi hlavní mechanismy, kterými kreatin pozitivně ovlivňuje fyzické aspekty, patří zvyšování kapacity anaerobní energie, redukce rozkladu bílkovin, což vede k nárůstu svalové hmoty a fyzického výkonu (Kreider a kol., 2017). I přestože je kreatin obecně považován za prospěšný pro sportovně aktivní část populace, může sloužit jako potenciální terapeutická doplňková léčba vedle konvenčních lékařských zákroků (Kreider a kol., 2021). Z tohoto důvodu se vědecká komunita zaměřuje na využití kreatinu jako léčby pro širokou škálu zdravotních stavů. V současné době probíhají výzkumy a klinická hodnocení týkající se jeho potenciální účinnosti při léčbě onemocnění jako je diabetes, sarkopenie, osteoporóza, rakovina, nebo při snaze zkvalitnit rehabilitaci, kognitivní funkce a kardiovaskulární zdraví. (Dolan a kol., 2019; Gualano a kol., 2012). Tyto studie přinášejí důležité poznatky o možnostech, jak využít kreatin jako součást komplexní léčebné strategie pro pacienty s různými zdravotními potřebami.

Výzkum, provedený Eckersonem a kol. (2004), se zaměřil na účinky podávání 20 g CrM denně po dobu dvou a pěti dnů na AWC¹ (anaerobic work capacity) u fyzicky aktivních žen. AWC, což je zkratka pro maximální pracovní potenciál spojený s fosfagenním energetickým

¹ Anglickou zkratku AWC používáme, jelikož vycházíme ze zahraničních zdrojů, kde se zkratka vyskytuje

systémem (ATP + PCr), poskytuje odhad anaerobního výkonu. S využitím dvojité zaslepeného, zkříženého testu, výzkumníci zjistili, že pětidenní suplementace vedla k 22% nárůstu AWC. Skupině s placebem se výkonnost zhoršila o 5 %.

Další studie zkoumala, zda fosfátové soli mají synergický účinek. Po šestém dnu dávkování CrM nebo s CrM s fosfátovými soli se AWC zvýšila o 13,0 % a 10,8 % ve srovnání s 1,1% poklesem ve skupině s placebem. Výsledky jsou relevantní díky řadě dalších studií, provádějících testy na sportovně aktivních ženách, při kterých se zvýšila AWC o 10-15% po zvýšení dávky CrM (Smith a kol., 2010). Campillo a kol. (2016) provedli studii zkoumající účinek kombinace suplementace CrM a šestitýdenního plyometrického tréninku na skoky, maximální a opakovaný sprint a rychlostní výkon při změně směru. Ženy byly náhodně a rovnoměrně rozděleny do jedné ze tří skupin: CrM + plyometrický trénink; placebo + plyometrický trénink; nebo pouze placebo. Skupina s CrM užívala 20 g denně po dobu jednoho týdne ve čtyřech stejných dávkách, a poté jednu dávku po dobu pěti týdnů. Účastníci ve skupinách s placebem dostávali glukózu podle stejného dávkovacího režimu. Ve skupinách s placebem nebyly zaznamenány žádné změny ve výkonnosti. Obě skupiny s plyometrickým tréninkem projevily zlepšení v jednotlivých výkonnostních ukazatelích, přičemž skupina s CrM vykazovala větší zlepšení v testech skoku a opakovaného sprintu. To naznačuje, že suplementace CrM posílila adaptaci na plyometrický trénink (Campillo a kol., 2016).

Při studii, u které bylo cílem vyhodnotit dopady suplementace kreatinem ve spojení s odporovým tréninkem na obsah a hustotu kostních minerálů u postarších mužů ve věku 71 let, bylo provedeno náhodné (dvojité zaslepené) studium. Účastníci dostávali buď kreatin (v dávce 0,3 g/kg kreatinu po dobu 5 dnů a poté 0,07 g/kg), nebo placebo během 12týdenního odporového tréninku. Obsah a hustota kostních minerálů byly měřeny pomocí duální energetické rentgenové absorpciometrie před a po tréninku. U celotělové a nožní kostní minerální hustoty byl zaznamenán primární efekt času, kdy tyto míry stouply přibližně o 0,5 % a 1 % v obou skupinách. U obsahu kostních minerálů v pažích byl zjištěn vztah mezi skupinou a časem, přičemž skupina dostávající kreatin zaznamenala zvýšení o 3,2 % ($p < 0,01$). Změny v objemu svalové hmoty paží korelovaly se změnami obsahu kostního minerálu paží. Výsledky naznačují, že odporový trénink po dobu 12 týdnů zvyšuje hustotu

minerálu u postarších mužů a suplementace kreatinem poskytuje další přínos pro zvýšení lokálního obsahu kostních minerálních látek (Chilibeck a kol., 2005).

Další informace ukazují, že sportovci mohou využívat kreatin nikoli jako prostředek ke zlepšení sportovní výkonnosti, ale spíše ho pravidelně užívají jako součást svého tréninkového režimu (Kreider a kol., 2017). Zkvalitní tým intenzivní odporový trénink (Rawson a Volek, 2003). Tyto výsledky naznačují, že suplementace kreatinem během rezistenčního tréninku může být účinnější při zvyšování síly svalů a výkonnosti ve vzpírání, než pouhý trénink s odporovými váhami (Mills a kol., 2020). I když několik studií zkoumalo, jak kombinované použití kreatinu a rezistenčního tréninku ovlivňuje sílu svalů a výkonnost ve vzpírání, tyto údaje dosud nebyly celkově analyzovány (Branch, 2003). Jeden přehled se soustředil na hodnocení účinků suplementace kreatinem na sílu svalů a výkonnost ve vzpírání v kombinaci s odporovým tréninkem (Antonio a Ciccone, 2013). Z metaanalýzy srovnávající 22 studií bylo zjištěno, že průměrný nárůst síly svalů po použití kreatinu a odporového tréninku byl o 8 % vyšší než po užití placebo (Lanhers a kol., 2015). Podobně průměrné zvýšení výkonu ve vzpírání bylo o 14 % vyšší při kombinaci kreatinu a odporového tréninku (Cooper a kol., 2012).

Příjem kreatinu do tkání je ovlivňován glukózou a inzulinem. Studie naznačují, že suplementace pomocí Cr může zabraňovat poklesu transportéru GLUT-4 během imobility (Smith a kol., 2015). Jeho hladina graduje i při rehabilitace po svalové atrofii. Dále bylo zjištěno, že kombinace kreatinu se sacharidy, nebo se sacharidy a proteiny zvyšuje příjem kreatinu a hladiny glykogenu v svalových tkáních (Greenwood a kol., 2003). Různé studie se zabývaly vlivem kreatinové suplementace na správu glukózy. Například Gualano a kol. (2011) zkoumali účinky suplementace kreatinem u jedinců s diabetem 2. typu a zjistili, že se projevila pozitivně na toleranci glukózy a zlepšila přesun GLUT-4. Suplementace také vedla k významnému snížení hladiny glykovaného hemoglobinu skupiny A1c. Zvláště při zařazení fyzického tréninku (Kreider a kol., 2021). Na základě těchto zjištění lze vyvodit závěr, že suplementace Cr může podpořit zdravé řízení hladiny glukózy.

Onemocnění koronárních tepen omezuje dodávku krve do srdce a zvyšuje tak náchylnost k ischemickým příhodám, arytmiím nebo infarktu. Kreatin (Cr) a fosfokreatin (PCr) hrají klíčovou roli při udržování energetického metabolismu srdce během ischemických událostí

(Balestrino a kol., 2016). Z tohoto důvodu vzrostl zájem o hodnocení účinku podávání Cr nebo PCr při snižování arytmií, ischemicky indukovaných poškození nebo funkčního stavu srdce u pacientů trpících chronickým srdečním selháním. Studie provedené na psech uvádějí, že intravenózní podávání PCr zabránilo hromadění lysofosfoglyceridů v srdci, což vede ke snížení výskytu arytmií. Tato studie naznačuje, že PCr má antiarytmický účinek při akutní ischemii srdce (Anyukhovskiy a kol., 1986). Další výzkumy ukázaly, že exogenní podávání PCr chrání srdce před ischemií a zlepšuje dostupnost energie, snižuje výskyt arytmií a zlepšuje funkci srdce. Přestože ne všechny studie dosud potvrzují přínos perorální suplementace Cr a vyžadují další výzkum, stávající důkazy naznačují, že podávání PCr a případná suplementace Cr podporují metabolismus a zdraví srdce, zejména při ischemických problémech (Cornelissen a kol., 2010).

Jedním z aktuálnějších aplikací kreatinu je jeho vliv na imunitní systém. Několik studií provedených na zvířatech naznačuje, že kreatin má schopnost modulovat imunitní reakce (Riesberg a kol., 2016). Na bázi této studie se odvíjí, že suplementace kreatinem může ovlivnit produkci a exprese molekul účastnících se detekce infekcí. Existují také důkazy, že kreatin ovlivňuje cytokiny pravděpodobně prostřednictvím signální dráhy NF- κ B (nukleární faktor kappa B). Signální dráha NF- κ B je klíčovým mechanismem v imunitním systému a přispívá k regulaci mnoha procesů v těle, včetně imunitní odpovědi, zánětu, buněčného přežívání a růstu. Je nutné provést další výzkum, aby bylo lépe pochopeno, jak kreatin ovlivňuje protizánětlivé a imunomodulační mechanismy (Riesberg a kol., 2016). Nicméně je zřejmé, že kreatin může ovlivňovat tyto dráhy.

Nový směr výzkumu se zabývá možnými antikarcinogenními účinky suplementace kreatinem. Cr a fosfageny hrají klíčovou roli při udržování energetického zdroje (Bertin a kol., 2007). Již dřívější výzkumy ukázaly, že obsah kreatinu a jeho energetická dostupnost jsou sníženy v některých typech nádorových buněk a T-lymfocytů, které podílejí na imunitní odpovědi proti rakovině (Di Biase a kol., 2019). Patra a kol. (2012) zjistili, že kombinace kreatinu s protinádorovým lékem methylglyoxalem (MG) výrazně zvyšuje účinnost léčby a eliminuje známky nádorového růstu. Dále bylo zjištěno, že hladiny Cr, které byly původně nízké v nádorové tkáni, byly významně zvýšeny během regrese nádorových buněk. Souhrnně tato zjištění svědčí o tom, že suplementace kreatinem může účinkovat proti

nádorovým onemocněním. Na základě dostupných důkazů lze tedy vyvodit závěr, že kreatin je důležitým zdrojem energie pro imunitní buňky a může mít určité protinádorové vlastnosti.

Studie z konce 80. let 20. století uvádí, že metabolismus a využitelnost kreatinu mohou mít antidepresivní účinky (Agren, H., a Niklasson, F., 1988). Toto zjištění poskytlo základ pro další zkoumání účinků kreatinu a jeho prekurzorů, jako je S-adenosyl-L-methionin (SAME), který byl označen za účinný prostředek při léčbě klinické deprese. Studie provedená Silveriho týmem (2003) ukázala, že suplementace SAME (1600 mg/den) zvýšila hladinu kreatinu a PCr v mozku a snížila délku transverzální relaxace pomocí magnetické rezonanční spektroskopie u osob bez deprese. Tento účinek byl větší u žen ve srovnání s muži (Allen a kol., 2010). U myši trpících chronickou mírnou depresí vyvolanou stresem měla léčba kreatinem nebo cvičením omezený antidepresivní efekt. Nicméně kombinace kreatinu a cvičení přinesla větší přínos, což vykazuje o synergickém účinku obou terapií (Ahn a kol., 2016). Výzkumy na lidech potvrdily, že zařazení kreatinu do stravy může ovlivnit depresi. Otevřená studie vedená Roitmanem a kol. (2007) ukázala, že podávání kreatinu monohydrátu (v dávce 3-5 g/den po dobu 4 týdnů) vedlo ke zlepšení stavu u malého vzorku pacientů s unipolární depresí. Při zkoumání podávání kreatinu (v dávce 6 g/den po dobu 6 týdnů) u pacientů s bipolární poruchou se zaznamenala vysoká míra remise, oproti 18,2% ve skupině s placebem (Toniolo a kol., 2018). Existují důkazy naznačující, že kreatin může pomoci lidem s některými formami deprese nebo úzkostnými poruchami, přestože je třeba provést další výzkum. Ze studií vyplývá, že Cr ve stravě může být dobrým pomocníkem i při léčbě duševních onemocnění (Allen a kol., 2010).

Účelem jedné studie bylo porovnat rozdíly ve složení svalového kreatinu, morfologii vláken, tělesné kompozici, míře hydratace a výkonnosti při cvičení mezi vegetariány a nevegetariány po 8 týdnech suplementace kreatinem a odporového tréninku. Patnáct vegetariánů, tři vegani a dvacet čtyři nevegetariánů (19-55 let) bylo náhodně (dvojitě zaslepeně) rozděleno do čtyř skupin. Vegetariáni s kreatinem, vegetariáni s placebem, nevegetariáni s kreatinem a nevegetariáni s placebem. Před zahájením a na jejím konci byly provedeny svalové biopsie z kvadricepsu, tělesné složení bylo posuzováno pomocí DEXA skenu a síla byla měřena pomocí 1 maximálního opakování na benchpressu a na legpressu. Subjekty se účastnily stejného 8týdenního odporového tréninkového programu. Dávkování kreatinu vycházelo z

hmotnosti svalové tkáně. Bioptické vzorky ukázaly, že celkový kreatin byl u vegetariánů ve srovnání s nevegetariány na počátku studie významně nižší. U subjektů užívajících Cr došlo k většímu nárůstu celkového svalového Cr, síly při bench-pressu, izokinetické práce, plochy vláken typu II a celotělové štíhlé tkáně ve srovnání se subjekty užívajícími placebo. U vegetariánů, kteří užívali Cr, došlo k většímu nárůstu svalové tkáně a celkového pracovního výkonu než u nevegetariánů, kteří užívali Cr. Změna svalové hmoty významně korelovala s počátečním celkovým obsahem kreatinu ve svalech a se změnou svalové hmoty a výkonnosti při cvičení. Tato zjištění opět stvrzují ergogenní účinek Cr při odporovém tréninku a naznačují, že osoby s původně nízkou hladinou intramuskulárního Cr (vegetariáni) jsou na suplementaci citlivější (Burke a kol., 2003).

Studie zkoumající vliv Cr na sportovní výkon a paměť přinesla zajímavá zjištění. Hlavním zjištěním bylo, že Cr má skutečně pozitivní vliv na mozek a jeho funkce. Nebyly nalezeny žádné negativní efekty kreatinu na paměť. Nejaktuálnější studie vedená Sandkühler a kol. (2023) ukázala, že není rozdíl ve stravě (vegan X masožravec) ani v pohlaví, což naznačuje, že účinky kreatinu na mozek jsou nezávislé na těchto faktorech.

2.6 Misinformace spojené s kreatinem

S rostoucí popularitou, které se kreatinu dostává, vzniká i spousta mýtů a nepravdivých informací. Níže budou rozebrány ty nejrozšířenější.

V jedné studii byla koncentrace Cr ve svalu vastus lateralis stanovena technikou perkutánní biopsie jehlou. Celkový objem vody v těle byl stanoven pomocí deuterované sloučeniny a vody. Výsledky ukázaly, že u skupiny s Cr došlo k významnému zvýšení koncentrace Cr ve svalech, tělesné hmotnosti a celkové tělesné vody. Ve skupině s placebem došlo jen k malému, ale významnému zvýšení celkové tělesné vody. Podle očekávání měli muži větší objem intracelulární a extracelulární vody, ale nedošlo k žádným interakcím mezi pohlavími. Žádné další významné hlavní účinky ani interakce nebyly zjištěny. Navíc, pokud byla intracelulární voda vyjádřena ve vztahu k celkové tělesné hmotnosti, nebyly zaznamenány žádné významné změny (Powers a kol., 2003).

Přípravky obsahující kreatin mohou dočasně zvýšit hladinu kreatininu v krevním séru a vyvolat symptomy připomínající onemocnění ledvin. Pokud je užívání kreatinu spojeno se stravou bohatou na bílkoviny, dochází k navýšení hladiny dusíku močoviny v krvi, což může vést k podezření o Cr a ledvinových problémech s ním spojených. Klinické laboratoře často odhadují glomerulární filtrační rychlost na základě hladiny kreatininu v séru. Tato domněnka o zvýšení hladiny kreatininu může vést k mylné diagnóze chronického selhání ledvin. Zatím existuje jen málo zpráv o poškození ledvin spojeném s užíváním kreatinových doplňků. Tyto doplňky jsou obecně považovány za bezpečné, protože řada studií a metaanalýz nenašla žádný výrazný negativní vliv na funkci ledvin u zdravých jedinců, kteří užívali kreatinové doplňky v doporučených dávkách. Navíc, mnoho profesionálních organizací a výzkumných institucí uznává kreatin jako efektivní a bezpečný doplněk pro zvýšení sportovního výkonu a svalové hmoty (Poortmans, Francaux, 2000; Kreider a kol., 1998). Je třeba mít na paměti, že by neměly být užívány lidmi trpícími chronickým onemocněním ledvin, nebo užívajícími léky s potenciálně škodlivými účinky na ledviny (Vega a Huidobro, 2019).

Anabolické steroidy jsou syntetickou verzí testosteronu, mužského pohlavního hormonu, který je rovněž přirozeně produkován u obou pohlaví. Používají se ve spojení s odporovým tréninkem s cílem zvýšit svalovou hmotu a sílu díky zvýšení syntézy svalových bílkovin. (m a Grossmann, 2016). Fyziologické a výkonnostní výsledky anabolických steroidů a kreatinu mohou být podobné, jejich mechanismy účinku a právní kategorizace ovšem nikoli. Anabolické steroidy jsou drogy s jinou chemickou strukturou než kreatin a patří mezi kontrolované látky třídy C, seznamu III spadající pod Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (FDA). Podléhají předpisům o regulaci podle zákona o kontrolovaných látkách (CSA), který stanovila Asociace pro kontrolu léčiv (DEA). Kreatin, tak jako mnoho doplňků stravy, dobře zapadá do rámce zákona The Dietary Supplement Health and Education Act of 1994 (DSHEA), což je zákon federální legislativy Spojených států. DSHEA definuje a reguluje doplňky stravy Federálním úřadem pro kontrolu léčiv (FDA). Držení a podávání anabolických steroidů bez lékařského předpisu je nezákonné. Pro držení nebo požití kreatinu však neexistují žádné právní důsledky (Smith a kol., 2010).

Většina domněnek ohledně vztahu mezi užíváním kreatinu a vypadáváním vlasů vychází z jediné studie provedené van der Merwe a kol. (2009). Tato studie zkoumala vysokoškolské hráče ragby, kteří užívali kreatin v dávce 25 g denně po dobu 7 dní, a poté 5 g denně po dalších 14 dní. Během této doby došlo postupně k zvýšení hladiny dihydrotestosteronu (DHT), konkrétně po sedmidenním období dosáhl nárůst DHT až 56 %, a i po 14denním udržovacím období zůstal o 40 % vyšší než výchozí hodnoty. Tato zjištění vedla k teorii, že užívání kreatinu může způsobit vypadávání vlasů, neboť zvýšená hladina DHT byla spojována s touto problematikou. Nicméně, důležité je poznamenat, že výsledky studie van der Merweho nebyly dosud potvrzeny a je třeba vzít v úvahu, že intenzivní odporové cvičení samo o sobě může způsobit zvýšení hladiny DHT. Zatím se zdá, že existující důkazy nepodporují hypotézu, že užívání kreatinu zvyšuje celkový testosteron, volný testosteron, DHT, nebo přispívá k vypadávání vlasů (Antonio a kol., 2021).

O možných nežádoucích účincích Cr je málo informací. Exogenní kreatinové doplňky jsou sportovci často konzumovány v množství až 20 g/den po dobu několika dní, následně 5 g/den po dobu týdnů, měsíců a dokonce let. Konzumenti zpravidla neuvádějí žádné neblahé účinky, avšak dochází pouze k nárůstu tělesné hmotnosti. Na základě malých změn markerů orgánových funkcí se občas objevují kazuistiky, ale dobře kontrolované studie o nežádoucích účincích exogenní suplementace kreatinem téměř neexistují (Poortmans a Francaux, 2000). Ve výzkumných studiích s fotbalisty, kteří užívali buď kreatin nebo placebo během tréninku, nebylo u těch, kteří brali kreatin, zaznamenáno křečových příhod (Kreider a kol., 1998). U zdravých jedinců byly příležitostně hlášeny gastrointestinální poruchy a svalové křeče, ale tyto účinky jsou neoficiální. Z kontrolovaných studií neexistují jednoznačné důkazy naznačující, že suplementace kreatinem má vliv na svalovou dysfunkci. Pro sportovce je důležité zajistit přijímání dostatečného množství vody a elektrolytů, protože tyto látky jsou pravděpodobně nejčastější příčinou svalových křečí (Smith a kol., 2023).

3 Pohyb

Pohyb je základní biologickou funkcí, která hraje klíčovou roli v udržení a zlepšování celkového zdraví jedince (WHO, 2020). Aktivní tělesná činnost přispívá k prevenci řady chronických onemocnění, podporuje správnou funkci kardiovaskulárního systému a posiluje imunitní odpověď organismu. Kromě těchto fyziologických přínosů má pohyb také významný vliv na psychologické a kognitivní procesy. Pravidelná fyzická aktivita je spojována se zvýšením hladiny endorfinů, což vede ke zlepšení nálady a snížení úrovně stresu (Biddle, Mutrie a Gorely, 2015).

V kontextu sportovního výkonu je pohyb neoddělitelně spojen s adaptivními změnami v těle sportovce. Tyto změny zahrnují nejen zvýšení svalové síly a vytrvalosti, ale také komplexní úpravy v nervovém systému, které zlepšují koordinaci a efektivitu pohybů. Neuroplasticita, schopnost mozku měnit a reorganizovat své struktury a funkce v reakci na trénink a zkušenosti, je klíčovým faktorem v optimalizaci těchto adaptací (Johnston, 2009).

3.1 Význam pohybu pro zdraví

Pohyb a fyzická aktivita jsou nezbytné pro udržení zdraví a prevenci mnoha chorob. Pravidelný pohyb snižuje riziko kardiovaskulárních onemocnění, cukrovky typu 2, obezity a některých druhů rakoviny (Warburton, Nicol a Bredin, 2006). Kromě toho má pozitivní vliv na duševní zdraví, zlepšuje náladu a kognitivní funkce, což vede ke zvýšení kvality života (Penedo a Dahn, 2005).

3.2 Pohyb a neuroplasticita

Pravidelný pohyb podporuje neuroplasticitu, což je schopnost mozku měnit a adaptovat se. Fyzická aktivita stimuluje růst nových neuronů a synapsí, zlepšuje kognitivní funkce a snižuje riziko neurodegenerativních onemocnění (Cotman a Berchtold, 2002). Studie ukazují, že fyzická aktivita může vést ke zvýšení objemu hipokampu, což je oblast mozku klíčová pro paměť a učení (Erickson a kol., 2011).

3.3 Gymnastika jako modelový sport

Gymnastika je komplexní a technicky náročný sport, který vyžaduje vysokou úroveň koordinace, rovnováhy a flexibility. Tyto požadavky činí z gymnastiky ideální model pro

studium vlivu pohybu na neuroplasticitu (Root a kol., 2019). Z tohoto důvodu jsme se rozhodli pro acyklické složité pohybové stereotypy, tudíž gymnastiku.

3.3.1 Koordinace a rovnováha

Gymnastika vyžaduje precizní koordinaci a rovnováhu, což vede k významným adaptacím v nervovém systému. Trénink gymnastiky podporuje synchronizaci mozkových oblastí odpovědných za motoriku a rovnováhu (Leone a kol., 2017).

3.3.2 Flexibilita a síla

Flexibilita a síla jsou klíčové komponenty gymnastiky. Pravidelný trénink zvyšuje svalovou sílu a pružnost, což přispívá k lepší výkonnosti a prevenci zranění (Kirkendall, 1990). Výzkumy ukazují, že gymnastky mají vyšší úroveň flexibility a svalové síly ve srovnání s nespportující populací (Malina a kol., 2013).

3.3.3 Neuroplasticita v gymnastice

Výzkumy naznačují, že gymnastika podporuje neuroplasticitu prostřednictvím specifických tréninkových metod a výživových strategií. Integrace těchto přístupů je nezbytná pro dosažení špičkového výkonu a udržení dlouhodobého zdraví sportovců (Cooke a Barnes, 2001). Trénink v gymnastice může vést ke zvýšení synaptické plasticity a funkční konektivity v mozku, což je klíčové pro rychlé a přesné provádění složitých pohybových sekvencí (Taubert a kol., 2010).

3.3.4 Prostné sestavy v gymnastice

Prostné sestavy v gymnastice představují sérii cviků, které jsou vykonávány na podlaze o rozměrech 12x12 metrů bez použití jakéhokoliv náčiní. Tyto sestavy kombinují prvky akrobacie, tance, skoků a otoček a jsou prováděny na hudební doprovod u ženských závodnic. U mužských závodníků se hudební doprovod nepoužívá a sestavy jsou zaměřeny více na sílu a akrobatické prvky (Česká gymnastická federace, 2020). Prostné sestavy musí splňovat několik základních pravidel. Délka sestavy je u žen omezena na 90 sekund, zatímco u mužů na 70 sekund. Závodníci musí využít celou plochu koberce, aby předvedli svou všestrannost a schopnost pohybovat se v prostoru. Sestavy musí zahrnovat povinné prvky, jako jsou přemety, salta, skoky a piruety. Důležitá je také plynulost

a návaznost prvků, které musí být prováděny bez přerušení, aby sestava vypadala jako jeden celek (Mezinárodní gymnastická federace, 2017).

Hodnocení prostných sestav je založeno na dvou hlavních kritériích: obtížnost a provedení. Obtížnost sestavy se hodnotí podle složitosti a náročnosti předvedených prvků. Provedení sestavy se pak zaměřuje na technickou správnost, plynulost, estetiku a celkový dojem. Každá chyba, jako jsou nepřesnosti v provedení nebo nedodržení stanovených pravidel, vede k bodovým srážkám (Smith, 2018).

Mezi nejpoužívanější prvky v prostných sestavách patří různé kombinace přemetů, salt, skoků a otoček, které jsou navzájem plynule propojeny, aby zvýšili obtížnost a atraktivitu své sestavy (Johnson, 2019).

4 Typy paměti a mechanismy zapamatování

Paměť je převážně neurochemický proces, který zahrnuje podmiňování a uchovávání zkušeností podle molekulární neurobiologie. Někteří tvrdí, že paměť může existovat i mimo mozek, což nazýváme rozšířenou koncepcí paměti (Clark a Chalmers, 1998). Tato definice není ve vědě jednoznačně stanovena, ale je v oblasti neurověd široce akceptována. Podle této definice je paměť schopností ukládat a vyhledávat informace, přičemž klíčový je proces inkorporace, kdy se jedna biologická nebo chemická aktivita integruje do jiné a obě se trvale mění (Zlotnik a Vansintjan, 2019). Dnešní psychologie definuje paměť jako schopnost kódovat, uchovávat a vyhledávat informace (Squire, 2009).

Existuje několik typů paměti: krátkodobá paměť, dlouhodobá paměť a senzorická paměť. Krátkodobá paměť slouží k dočasnému uchování aktuálně potřebných informací, zatímco dlouhodobá paměť umožňuje uchovávat informace po delší dobu, od několika minut až po celý život. Senzorická paměť je krátkodobá a zachycuje smyslové vjemy.

Mezi mechanismy paměti patří kódování, uchování a vyhledávání. Kódování je proces, při kterém se informace přeměňují do formy vhodné k uchování, například vizuální, akustické nebo sémantické. Uchování informací zahrnuje proces udržení informací v paměti po delší časové období, a vyhledávání je proces, kdy jsou informace obnoveny a použity pro aktuální úkoly nebo úvahy (Baddeley, 2000).

4.1 Typy paměti

Krátkodobá paměť

V této práci se zabýváme právě tímto typem paměti. Krátkodobá paměť, jak ji definuje James (1890), je spojena s primární pamětí. Atkinson a Shiffrin (1971) ji považují za schopnost lidské mysli udržet dočasně omezené množství informací ve velmi dostupném stavu. Krátkodobou paměť lze spojovat s neuronálním vzorcem, který reprezentuje danou myšlenku. Během této aktivační fáze si jedinec může nebo nemusí být vědom dané myšlenky (Cowan a Nelson, 2009). Průměrný celkový kapacitní limit krátkodobé paměti je odhadován

kolem čtyř kusů (Cowan, 2001). Pro každodenní fungování je klíčové, že lidé jsou schopni dočasně udržovat informace a mít přehled o tom, co právě dělají.

Dlouhodobá paměť

Dlouhodobá paměť umožňuje uchovávat informace po delší dobu, od několika minut až po celý život. Pro udržení dlouhodobé paměti se využívá různých buněčných mechanismů, včetně synaptického značení, změn v syntéze proteinů v synapsích a pravděpodobně i proteinkinázových kaskád (Kandel a kol., 2014). Dlouhodobá paměť zahrnuje různé složky, včetně procedurální paměti, která umožňuje provádět dovednosti bez nutnosti je slovně popisovat (Parkin, 1999).

Senzorická paměť

Senzorická paměť představuje krátkodobé ukládání informací, kdy se data dočasně zachytí, dokud nejsou zpracována a přenesena do krátkodobé paměti. Senzorická paměť může ukládat a zpřístupňovat informace jak uvnitř jednotlivých vrstev kůry, tak napříč nimi (Tripathy a Ögmen, 2018).

4.2 Mechanismy zapamatování

Během vytváření paměti dochází k transformaci a úpravě obvodů, což je dáno restrukturalizací jednotlivých neuronů, které mění svou dráždivost a aktivují synaptické spoje. Následně se upřednostňují již existující synapse, vytvářejí se nové spoje a eliminují se zastaralé spoje (Holtmaat a Caroni, 2016). Existuje předpoklad, že biologické systémy učení jsou v rovnováze, kde se učení a zapomínání vzájemně vyvažují (Kato a Morita, 2016). Krátkodobá synaptická deprese hraje klíčovou úlohu při procesu ukládání paměti a může být rychle aktivována v reakci na související stimuly (Aguilar a kol., 2017). V mozku hraje významnou úlohu protein reelin, a to především při vývoji nervového systému. Jeho primární funkcí je řízení migrace a uspořádání nervových buněk během embryonálního vývoje mozku, především v kůře a hipokampu. Nedostatek tohoto proteinu je spojen s různými neurologickými poruchami, včetně schizofrenie a autismu, což naznačuje jeho klíčový význam pro správný vývoj a fungování mozku (Ba a Kasri, 2017).

Pro dlouhodobou synaptickou plasticitu je nutné propojit lokální synapse s nově produkovánými molekulami souvisejícími s plasticitou v neuronálních buňkách. Engramy hrají roli v ukládání paměti a jsou rozptýleny po celém mozku. Výzkum naznačuje, že tvorba paměti závisí na silném propojení mezi buňkami engramů v různých oblastech mozku (Santana a Marzolo, 2017). Dynamický počet dendritických trnů a změny v synaptických receptorech typu AMPA podporují neuronální plasticitu pro učení a paměť. Aktinový cytoskelet je klíčový pro synaptický vývoj a plasticitu, nachází se v dendritických trnech a udržuje synaptickou plasticitu na postsynaptických místech (Maren a Baudry, 1995).

5 Dosavadní výzkum vlivu kreatinu na paměť

Následující kapitola se věnuje nejnovějším výzkumům spojeným s kreatinem a jeho vlivem na paměť. Poslední studie naznačují, že kreatin hraje v mozku významnou roli v bioenergetice (Andres, Ducray, Schlattner a Wallimann, 2008). Vzhledem k energetickým nárokům spojeným s paměťovými procesy a jejich závislosti na funkci mitochondrií je zřejmé, že kreatin, který má klíčovou úlohu v energetickém metabolismu, může pozitivně ovlivňovat paměťové schopnosti.

Některé důkazy naznačují, že suplementace kreatinem může zvýšit jeho zásoby v mozku, což přispívá ke zlepšení paměti, zejména u starších dospělých (McMorris a kol., 2017). Studie ukazují, že kreatin zvyšuje aktivitu mitochondrií v neuronových kulturách hipokampu, což je oblast mozku klíčová pro paměťové funkce (Li a kol., 2004). Další výzkum prokázal, že myši, kterým byl podáván kreatin po dobu čtyř týdnů, vykazovaly zvýšenou spřaženou respiraci v izolovaných mitochondriích v oblasti hipokampu a zároveň zlepšení paměti (Snow a kol., 2018).

Jedním z významných aspektů kreatinu u lidí jsou syndromy spojené s jeho nedostatkem, které vedou k vyčerpání zásob kreatinu v mozku. Tyto syndromy se projevují mentálními a vývojovými poruchami, jako je například zaostávání v učení a záchvaty. Suplementace kreatinem může částečně zvrátit tyto příznaky (Bender a Klopstock, 2016).

Studie Rae a kol. (2003) poskytuje zajímavé poznatky o vlivu kreatinu na kognitivní funkce, zejména na pracovní paměť a abstraktní uvažování u vegetariánů. Je důležité poznamenat, že tato studie byla placebem kontrolovaná, randomizovaná a dvojitě zaslepená, což zvyšuje její důvěryhodnost. Výsledky ukazují, že perorální suplementace kreatinem po dobu šesti týdnů měla významně pozitivní účinek na pracovní paměť, konkrétně na rozpětí čísl vzad, a na inteligenci, měřenou pomocí Ravenových pokročilých progresivních matic². Tyto úlohy vyžadují rychlost zpracování, což naznačuje, že kreatin může mít vliv na procesy spojené s rychlostí myšlení a mentální agilitou. Tato zjištění podporují myšlenku, že energetická kapacita mozku hraje důležitou roli v jeho kognitivních funkcích, a naznačují, že kreatin může být užitečným doplňkem pro podporu kognitivních funkcí, zejména u vegetariánů,

² Ravenovy pokročilé progresivní matice jsou standardizovaný test používaný k měření abstraktního uvažování a inteligence. Test spočívá v identifikaci chybějícího dílu v sérii obrazců.

kteří by mohli mít nižší hladiny kreatinu v těle z důvodu absence masa v jejich stravě. Tento výzkum přispívá k lepšímu porozumění potenciálních výhod suplementace kreatinem pro kognitivní funkce a naznačuje další směry výzkumu v této oblasti.

Vliv suplementace kreatinem na mozkové metabolity byl zkoumán pomocí kvantitativní lokalizované protonové magnetické rezonanční spektroskopie u zdravých mladých dobrovolníků (Dechent, Pouwels, Wilken, Hanefeld a Frahm, 1999). Během čtyřtýdenního období, kdy dobrovolníci užívali perorálně 4x denně 5 g kreatin monohydrátu, došlo ke statisticky významnému zvýšení (o 8,7 %) průměrné koncentrace celkového kreatinu v různých oblastech mozku. Regionální analýza ukázala, že toto zvýšení bylo nejvýraznější v šedé hmotě (o 4,7 %), bílé hmotě (o 11,5 %), mozečku (o 5,4 %) a zejména v thalamu (o 14,6 %). Všechny metabolické změny způsobené suplementací kreatinem byly reverzibilní, jak prokázala kontrolní měření nejméně 3 měsíce po ukončení suplementace. Tato studie naznačuje, že nadměrná konzumace kreatinu po dobu několika týdnů vede k regionálně závislému zvýšení celkové koncentrace kreatinu v lidském mozku (Dechent, Pouwels, Wilken, Hanefeld a Frahm, 1999).

Doposud nejrozsáhlejší provedený výzkum týkající se kognitivních dopadů kreatinu se uskutečnil pod vedením Sandkühler a kol. (2023). Tým v rámci studie chtěl reprodukovat výsledky studie Rae a kol. (2003), kteří zaznamenali významný pozitivní vliv kreatinu na schopnost abstraktního myšlení a pracovní paměť u zdravých mladých dospělých vegetariánů. Výzkumníci vedení Sandkühler a kol. objevili důkazy o mírném příznivém efektu kreatinu na kognitivní funkce v obou úlohách. Cohenovo d založené na odhadovaných průměrech kreatinu a placebo byly 0,09 pro Ravenovy pokročilé progresivní matice a 0,17 pro test zpětného rozpětí čísel. Pokud bychom tyto účinky aplikovali na testy IQ, znamenalo by to zvýšení celkového skóre o 1 a 2,5 bodu IQ. Tento efekt nebyl ovlivněn stravou (vegetariánskou versus všežravou), věkem ani pohlavím účastníků.

5.1 Metody používané ve výzkumech vlivu kreatinu

Studie o vlivu kreatinu na kognitivní funkce obvykle používají různé metody k hodnocení kognitivního výkonu před a po podání kreatinu. To může zahrnovat randomizované kontrolované studie, dvojité zaslepené studie s placebem a testy kognitivních funkcí. V randomizovaných kontrolovaných studiích jsou účastníci náhodně přiděleni k různým

skupinám. Buď k té, která dostává kreatin, nebo k placebo, což pomáhá minimalizovat zkreslení ve výsledcích. Dvojitě zaslepené studie s placebem znamenají, že ani účastníci, ani výzkumníci nevědí, kdo dostává skutečný kreatin a kdo dostává placebo, což také pomáhá minimalizovat zkreslení. Testy kognitivních funkcí jsou pak používány k hodnocení různých aspektů kognitivních funkcí, jako je paměť, pozornost, exekutivní funkce a rychlost zpracování informací.

Další metody mohou zahrnovat zobrazovací techniky mozku, jako je funkční magnetická rezonance nebo pozitronová emisní tomografie, které umožňují výzkumným pracovníkům zkoumat změny v mozkové aktivitě nebo struktuře spojené s podáním kreatinu. Biochemická analýza může být také provedena k měření změn v hladinách neurotransmiterů nebo metabolických markerů v krvi nebo moči, což poskytuje další informace o biologických účincích kreatinu na mozek. Tyto různé metody pomáhají výzkumníkům získat komplexní pohled na vliv kreatinu na kognitivní funkce a porozumět jeho mechanismům působení. Primárními cílovými ukazateli byly výsledky v kognitivních úlohách v rozmezí jednoho, až několika týdnů užívání. Šest týdnů je doba, kterou použili Rae a kol. (2003). Sandkühler a kol. (2023) se z privátní korespondence s Turnerem a kol. dozvěděli, že pro svou studii s mozkovým kreatinem zvolili liberální 5týdenní vymývací období na základě literatury o svalovém kreatinu, podle které je 5 týdnů dostatečných (Hultman a kol., 1996). Potvrdili, že v jejich studii se hladina kreatinu v mozku po vymytí vrátila k normálu. Turner a kol. (2015) použili kratší (7 dní), ale vyšší dávkovací režim (20 g) suplementace ve srovnání s touto studií. Existují však důkazy, že tyto suplementační režimy jsou z hlediska nasycení kreatinem rovnocenné (Hultman a kol., 1996).

Praktická část

V této části práce se zaměřujeme na stanovení cílů, použitých metod a formulaci hypotéz. Metodologicky se opíráme o experimentální přístup, kde bude porovnán vliv kreatinu a placebo na výkon studentů při gymnastických cvičeních. Naše hypotézy předpokládají, že suplementace kreatinem povede ke zlepšení krátkodobé paměti a zvýšení neuroplasticity u pozorované skupiny.

6 Metodika výzkumu

Výzkumná otázka

Jaký je vliv krátkodobé suplementace kreatinem na sportovní a kognitivní výkon u aktivně sportujících studentů PedF UK?

Cíle

- 1) Ověřit vliv sedmidenní suplementace placebo nebo kreatinu při dávce 20 gramů denně na krátkodobou paměť při zapamatování cviků sestavy prostrné.
- 2) Ověřit vliv sedmidenní suplementace placebo nebo kreatinu při dávce 20 gramů denně na neuroplasticitu při realizaci cviků sestavy prostrné.

Úkoly

- 1) Analyzovat existující literaturu a studie týkající se vlivu kreatinu na sportovní výkon a kognitivní funkce.
- 2) Vypracovat teoretickou část zahrnující historii, syntézu, distribuci a funkce kreatinu v lidském těle, včetně přehledu typů kreatinu a jejich účinků.
- 3) Detailně popsat metodiku experimentu, včetně výběru účastníků, dávkování kreatinu a specifikace gymnastických cvičení.
- 4) Realizace výzkumného šetření.
- 5) Provést statistickou analýzu získaných dat z experimentu a interpretovat výsledky ve vztahu k výzkumným otázkám.
- 6) Shrnutí výsledků studie, zodpovězení výzkumných otázek a návrhy pro praktickou aplikaci výsledků.

Hypotézy

- 1) Krátkodobá suplementace kreatinem s dávkováním 20 gramů denně po dobu jednoho týdne vede ke zlepšení krátkodobé paměti pozorované skupiny oproti kontrolní skupině, které bude aplikováno placebo.

- 2) Předpokládáme, že pozorovaná skupina dosáhne vyšší hodnoty Cohenova d a statistické významnosti při t -testu v neuroplasticitě měřené prostřednictvím realizace cviků ve srovnání s kontrolní skupinou, která obdržela placebo.

7 Design výzkumu vlivu kreatinu na neuroplasticitu a sportovní výkon

Pro ověření cílů práce vlivu kreatinu na paměť a sportovní výkon člověka jsme zvolili otevřený přístup. Deset gymnasticky zdatných studentů (věk 22 - 25 let) z Pedagogické fakulty Univerzity Karlovy byli postaveni do řady a metodou „první, druhý“ rozřazeni do dvou skupin: experimentální skupiny, která obdržela kreatinový doplněk v prášku, a kontrolní skupiny, která obdržela placebo identické ve vzhledu, chuti a struktuře – maltodextrin. Skupiny byly vytvořeny tak, aby zahrnovaly jak ženy, tak muže. Podmínkou pro účast na experimentu bylo splnění všech zápočtových požadavků z gymnastiky pro druhý ročník bakalářského studia na PedF UK obor TV. Jako autoři studie jsme si byli vědomi toho, komu přesně podáváme placebo. Vše bylo podloženo informovaným souhlasem studentů s tím, že výsledky studie budou anonymní.

Uplatnění placeba nám umožnilo lépe sledovat a interpretovat vliv kreatinu na zkoumané parametry. Tento přístup k výzkumu umožní systematické a objektivní hodnocení vlivu kreatinu na neuroplasticitu a výkon sportovců s minimálním rizikem zkreslení výsledků způsobených vědomým ovlivněním účastníků či autora studie. Účastníci měli přidělenou specifickou gymnastickou skladbu odpovídající jejich osvojené dovednostní úrovni, kterou potvrzují splněné zápočty. Tyto úkoly sloužily k měření sportovního výkonu a zjišťování, jaký vliv má užívání kreatinu na jejich kognitivní schopnost a provádění těchto cviků.

7.1 Metodologie vlivu kreatinu na výkon a neuroplasticitu

Pro provedení praktické části byla zvolena metoda kvalitativního výzkumu pomocí experimentu. Experiment probíhal metodou ukázky gymnastických cviků vytištěných na papíře, na které dostali cvičenci 1 minutu na zapamatování. Cviky (stoj spatný, klek, stoj rozkročný, kotoul, kotoul letmo, stoj na ruce, podpor na lopatkách, kotoul vzad, rondát, přemet stranou) byly zvoleny jako součást zápočtových požadavků a návazně byly doplněny motoricky náročnějšími, které jsme vybrali z gymnastické literatury (Hnízdil, 2015). Čas byl měřen pomocí časomíry. Po vypršení jedné minuty se každý účastník pokusil o vyjmenování všech deseti po sobě jdoucích cviků a poté se je pokusil předvést na prostných. Při vyjmenovávání cviků jsme hodnotili jejich správnost a shodu s pořadím, jak bylo uvedeno na tištěném papíře.

V rámci předvedení zapamatovaných cviků byla správnost jejich provedení hodnocena podle předem stanovených kritérií. Pokud proband při gymnastické skladbě navázal špatným cvikem, počet správně provedených cviků zůstal na předchozím čísle.

Techniku provedení cviků nebyla hodnocena. Zapamatování cviků bylo ověřováno tím, že studenti byli vyzváni vyjmenovat cviky, které měli předem zobrazeny na tištěném papíře. Pokud student udělal chybu v pořadí nebo se název cviku nevybavil, ukončil výčet a přešel k předvedení pohybové gymnastické skladby. Takto stanovené procedury zajistily konzistentní hodnocení zapamatování a technického provedení cviků mezi všemi účastníky studie.

Ve výstupní fázi experimentu, která probíhala týden po vstupní fázi, byla pozorována skupina studentů, kteří konzumovali 20 gramů kreatinu monohydrátu denně po dobu jednoho týdne. Čas podání byl nastaven brzy ráno, ihned po probuzení probandů. Kontrola byla prováděna průběžně formou SMS a následně i verbálními dotazy při výstupním měření. Kontrolní skupina užívala stejným způsobem 20 gramů placebo ve formě maltodextrinu. Cviky v gymnastické skladbě byly stejné, ale proházené. Výzkum byl tedy proveden s použitím jednostranně zaslepeného, placebem kontrolovaného experimentálního designu. Tento proces náhodné alokace byl prováděn za účelem minimalizace zkreslení a zajištění objektivity výsledků. Účastníci byli informováni o možnosti, že někteří z nich budou dostávat placebo, avšak nevěděli, která konkrétní osoba je zařazena do kontrolní skupiny. Jedinými osobami informovanými o přiřazení účastníků do skupin jsme byli my, autoři výzkumu, kteří jsme měli přístup k těmto informacím pouze za účelem analýzy dat a zajištění integrity studie.

Sběr dat probíhal po předchozí dohodě s účastníky výzkumu, kteří vyjádřili svou ochotu se zapojit a podepsali informovaný souhlas (viz. příloha č. 1).

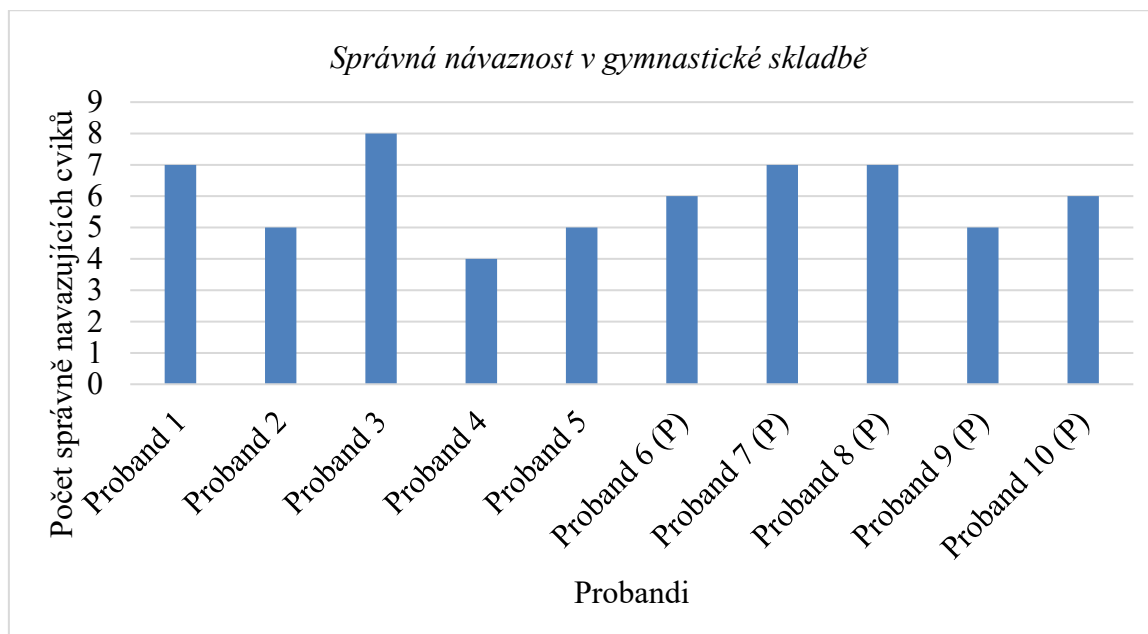
8 Výsledky

Pro vyhodnocování výsledků byla použita jednoduchá komparační metoda, která vedla k získání závěrů odpovídajících výzkumné otázce bakalářské práce. Také bylo využito Cohenovo d udávající statistickou velikost rozdílu s nejčastěji používanou mírou velikosti účinku, kde hodnoty 0,2, 0,5 a 0,8 odpovídají malému, střednímu a velkému účinku (Hendl, 2004). Posledním nástrojem vyhodnocování byl T-test, často používaná statistická metoda pro porovnávání průměrů dvou skupin (Hendl, 2004). Výsledky T-testu mohou indikovat, zda jsou rozdíly mezi kontrolní a experimentální skupinou statisticky významné v jednotkách standardní odchylky (Hendl, 2004).

Graf 1



Graf 2

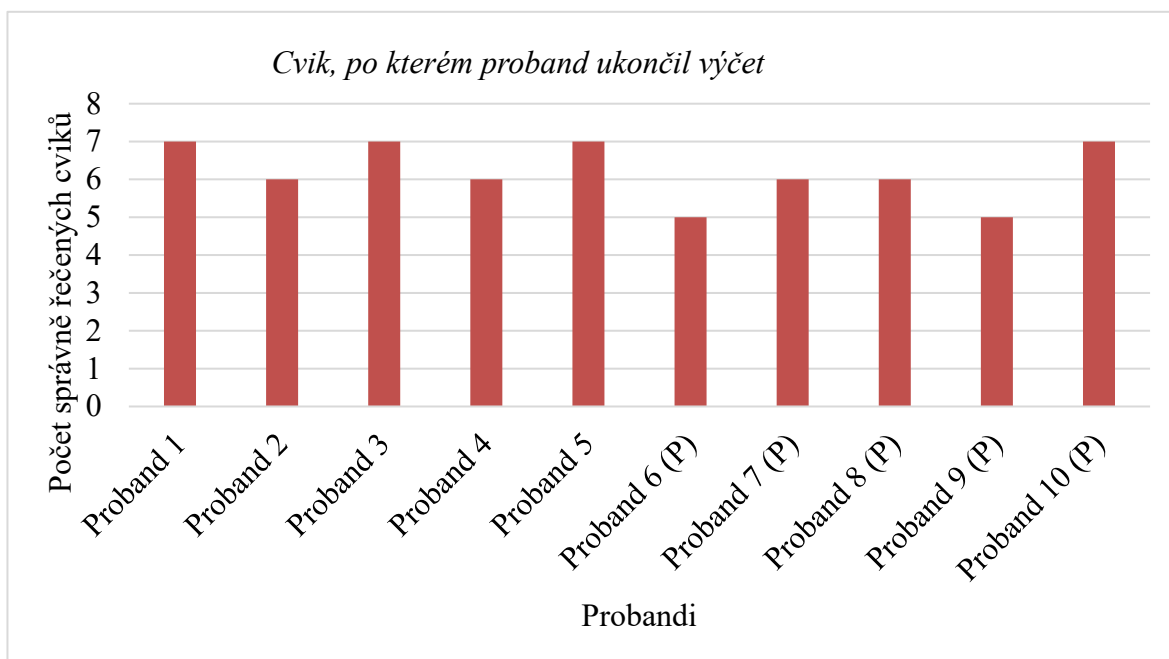


První část testu neuroplasticity obsahovala vyjmenování cviků se správnou posloupností. Každý proband obdržel vytištěné cviky na papíře a měl jednu minutu na jejich zapamatování, což bylo měřeno časomírou. Na počátku experimentu bylo Cohenovo d pro rozdíl mezi skupinou bez placebo a skupinou s placebem (P) 0,36, což indikuje malý efekt. Statistická analýza pomocí t-testu neprokázala významný rozdíl mezi skupinami $p > 0,05$. Tento výsledek naznačuje, že obě skupiny začínaly s podobnými schopnostmi v počtu správně řečených cviků. Na konci experimentu Cohenovo d kleslo na 0,00, což naznačuje absenci efektu mezi skupinami. Tento výsledek byl potvrzen t-testem, který rovněž neukázal statisticky významné rozdíly ($p > 0,05$). Tato zjištění naznačují, že aplikace placebo, namísto kreatinu, neměla významný vliv na správné uvádění počtu stanovených cviků. Výsledky tedy ukazují, že případná intervence placebo nevedla k relevantnímu posunu oproti aplikaci kreatinu při stejných výchozích podmínkách. Hypotéza 1 nebyla potvrzena, jelikož krátkodobá suplementace kreatinem nevedla ke zlepšení krátkodobé paměti pozorované skupiny oproti kontrolní skupině, které bylo aplikováno placebo.

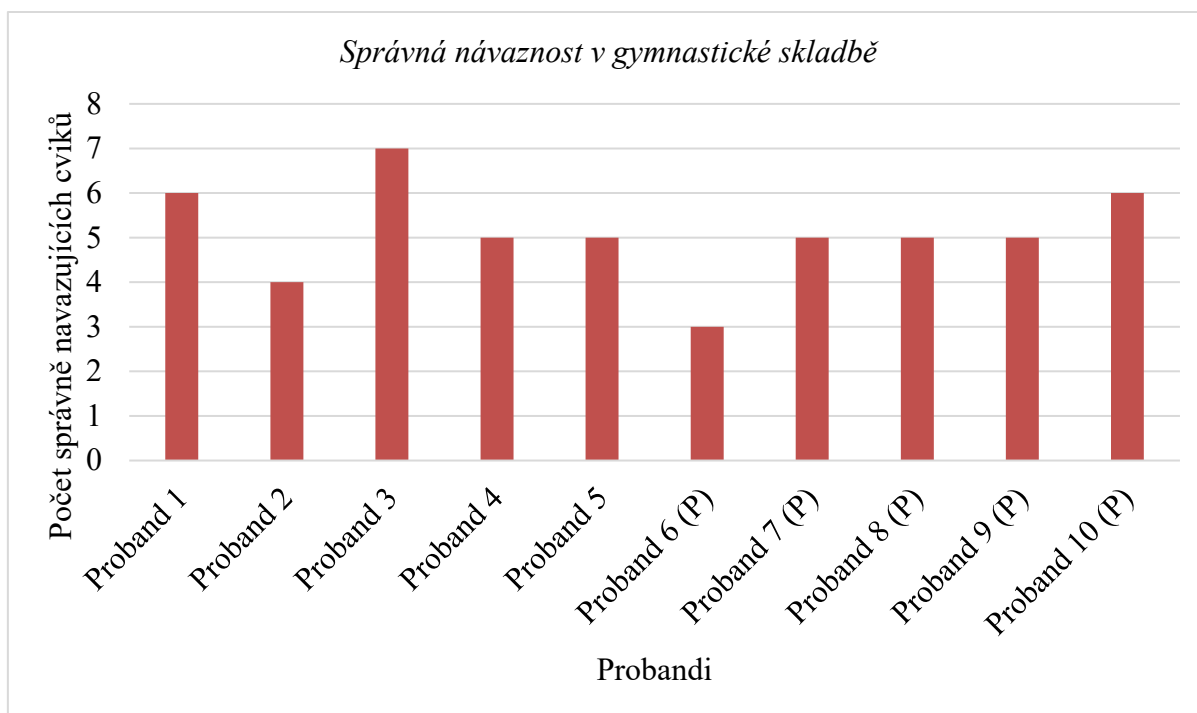
V druhé části experimentu, která zahrnovala následné předvedení pohybové skladby, se již při úvodním testování ukázalo, že skloubení pohybu a paměti je výrazně náročnější než samotné zapamatování cviků. V případě počtu správně po sobě jdoucích cviků bylo na

počátku experimentu zjištěno Cohenovo d ve výši 0,14, což ukazuje na velmi malý rozdílový efekt mezi pozorovanou a kontrolní skupinou. Statistická analýza pomocí t-testu zde rovněž neodhalila významný rozdíl ($p > 0,05$). Tento výsledek naznačuje, že obě skupiny měly při vstupním měření srovnatelné dovednosti v provádění cviků v posloupnosti.

Graf 3



Graf 4



Při výstupním měření však Cohenovo d vzrostlo na 0,73, což indikuje střední až velký efekt vlivu kreatinu na neuroplasticitu oproti kontrolní skupině. Tento nárůst byl statisticky významný, jak potvrdil t-test ($t(8) = 2,31, p < 0,05$). Tyto výsledky ukazují, že skupina bez placebo dosáhla výraznějšího zlepšení ve schopnosti správně provádět cviky v posloupnosti ve srovnání se skupinou P. Tento nárůst může být přičítán specifickým faktorům intervence, které měly pozitivní vliv na schopnost účastníků správně provádět cviky v posloupnosti. Výsledky naznačují, že intervence v experimentální skupině byla účinnější při zlepšování této konkrétní dovednosti, což může mít důležité implikace pro budoucí tréninkové programy a intervenční strategie. Hypotéza 2 byla potvrzena, jelikož pozorovaná skupina dosáhla vyšší hodnoty Cohenova d a statistické významnosti při t-testu v neuroplasticitě měřené prostřednictvím realizace cviků ve srovnání s kontrolní skupinou, která obdržela placebo.

8.1 Diskuse k výzkumu

Pro účely této práce jsme neměli možnost využít vyspělé moderní technologie, jako je elektromyografie (EMG) nebo elektrody a další přístroje na měření aktivity mozkových vln. Studie je nedokonalá z důvodu absence těchto špičkových přístrojů, které by mohly poskytnout podrobnější údaje o nervových synapsích a míře stimulace mozkových vln. Bylo by třeba provést sofistikovanější výzkum, abychom mohli učinit závěry se 100 % spolehlivostí.

Rezervy spočívají například v tom, že jsme neměli možnost každodenního podávání kreatinu ve stejnou dobu, tudíž jsme museli věřit verbálnímu potvrzení správně načasované konzumace. Tento limit studie jsme se pokusili částečně kompenzovat průběžným dotazováním pomocí SMS.

Možné vysvětlení pozitivních účinků kreatinu na paměť spočívá v jeho schopnosti ovlivňovat tvorbu energie v mozku. Kreatin je důležitý pro syntézu ATP, což je zdroj energie pro mozkové buňky. Protože větší množství kreatinu vede k vyšší dostupnosti energie pro mozkové synapse, může to vést ke zlepšení kognitivních funkcí.

Omezením studia kreatinu je, že ne všichni lidé berou kreatin jako doplněk stravy, což může ovlivnit obecnou aplikovatelnost zjištění. Navíc existuje stigma spojené s kreatinem, protože někteří lidé ho spojují se steroidy. To může ovlivnit ochotu lidí zkoumat jeho účinky nebo ho používat.

Budoucí směry výzkumu by se mohly zaměřit na zkoumání účinků kreatinu na kognitivní funkce v jiných kontextech, jako je například jeho vliv na schopnost zpracovávat složité hudební skladby nebo pohybové vzory. Dalším zajímavým směrem by mohlo být zkoumání účinků kreatinu na paměť a kognitivní vývoj u dětí.

Celkově mají předchozí studie důležitý význam z preventivních a léčebných důvodů. Pozitivní vliv kreatinu na kognitivní funkce může mít široké důsledky pro zlepšení kvality života a ochranu mozku před stárnutím a neurodegenerativními onemocněními.

Pro výběr prostných sestav jako předmětu studie jsme se rozhodli z několika důvodů. Prostná sestava nevyžaduje žádné speciální náčiní, což usnadňuje její provádění a přípravu. Navíc je velmi náročná na pohybovou koordinaci, což ji činí zajímavou z hlediska studia motorických dovedností a tělesné kontroly.

Výběr uvedených cviků byl motivován studiem gymnastické literatury, přesněji dílem Hnízdila (2015), který se specializuje na gymnastiku a pohybové aktivity. Tyto cviky byly pečlivě vybrány pro svou schopnost rozvíjet klíčové gymnastické dovednosti, jako je stabilita, koordinace, síla a technika. Každý cvik má svůj specifický přínos pro fyzickou kondici a technické zručnosti, nezbytné pro úspěch v soutěžní gymnastice.

Při vyjmenování cviků jsme přiřazovali správný cvik k danému pořadí. Při hodnocení provedení cviků jsme se zaměřili na správnou posloupnost cviků. Cviky bychom neměnili, jelikož se nám jeví jako adekvátní ke gymnastickým dovednostem studentů. Subjekty byly testovány jednotlivě, což přispělo k zachování validity výsledků. Bylo by zajímavé přizvat ke cvičením prostných gymnastického experta s oprávněním rozhodčího, který by mohl hodnotit kvalitu provedení cviků.

Zvažovali jsme také dotazník orientovaný na běžnou veřejnost, ale s ohledem na daný rozsah a charakter práce jsme nakonec tuto část nerealizovali. Zvolili jsme heterogenní skupinu probandů, avšak pro případný další výzkum bychom vymezili skupinu homogenně. Homogenní vzorek by pravděpodobně poskytl více validní výsledky.

Výzkum má také několik omezení. Nepoužití moderních technologií, jako je elektromyografie (EMG) nebo měření mozkových vln, omezilo hloubku získaných dat a mohlo by být považováno za nedostatek v poskytnutí podrobnějších informací o neurologických procesech. Faktory jako nedostatečný spánek účastníků nebo nevyhovující pořadí cviků mohly ovlivnit výsledky, což snižuje jejich spolehlivost. Použití heterogenní skupiny probandů mohlo vést k větší variabilitě výsledků, přičemž homogennější vzorek by mohl poskytnout přesnější a validnější výsledky.

Do budoucna bychom doporučili zahrnout do studie i sledování dalších faktorů, které by mohly ovlivnit výkon probandů, jako je jejich fyzická kondice, úroveň stresu a předchozí zkušenosti s podobnými úkoly. Také by bylo vhodné rozšířit metodologii o použití pokročilých technologií pro měření fyziologických a neurologických parametrů, což by mohlo přinést hlubší vhled do problematiky a zvýšit přesnost výsledků.

8.2 Finální zhodnocení výzkumu

Tento výzkum se zaměřil na zkoumání vlivu kreatinu na neuroplasticitu účastníků při provádění gymnastických cviků na prostných. Výsledky ukázaly, že na počátku experimentu nebyly mezi skupinou s placebem a skupinou bez placeba významné rozdíly v počtu správně provedených cviků ani v počtu správně po sobě jdoucích cviků. Na konci experimentu však skupina bez placeba dosahovala lepších výsledků, což naznačuje, že absence placeba mohla mít pozitivní vliv na neuroplasticitu účastníků.

Výzkum má několik klíčových přínosů. Především poskytuje nové poznatky o vlivu kreatinu na kognitivní a motorické výkony, což může mít širší aplikace v oblasti psychologie a neurověd. Dále použití individuálního testování přispělo k zachování validity výsledků a umožnilo detailní analýzu výkonu jednotlivých probandů.

Na základě těchto zjištění doporučujeme pro budoucí výzkum zahrnout moderní technologie pro měření fyziologických a neurologických parametrů, aby bylo možné získat hlubší vhled do problematiky. Dále je vhodné kontrolovat další proměnné, jako je fyzická kondice, úroveň stresu a předchozí zkušenosti s úkoly, které by mohly ovlivnit výkon účastníků. Použití homogennější skupiny probandů by mohlo zvýšit validitu výsledků.

Tento výzkum představuje důležitý krok správným směrem a poskytuje základ pro další, podrobnější studie v této oblasti.

Závěr

Cílem této práce bylo zodpovězení zásadní otázky, zda je kreatin vhodným doplňkem stravy pro stimulaci sportovního výkonu aktivních sportovců i rekreačně sportující veřejnosti. Všechny uvedené poznatky a zhodnocené výsledky výzkumu opravňují k závěru, že kreatin může zlepšovat sportovní výkon (potažmo neuroplasticitu), a to za předpokladu vhodného dávkování a s přihlédnutím k individualitě každého jedince. Tím je současně dána i odpověď na položenou výzkumnou otázku. Zejména vlastní provedený výzkum a jeho vyhodnocení poskytují dostatečnou oporu pro tento závěr.

Nutno dodat, že jakákoliv pohybová aktivita je sama o sobě prospěšná a navýšení sportovního výkonu prostřednictvím doplňků stravy, v konkrétním případě kreatinu, bude mít významnější dopad spíše v oblasti výkonnostního sportu, což však na straně druhé neznamená, že by nemohl prospívat i pohybovým aktivitám široké veřejnosti. S ohledem na určité neprobádané souvislosti by bylo možné doporučit kreatin spíše dospělým jedincům. Rozhodně je na místě zdůraznit, že kreatin není sám o sobě zárukou kvalitního sportovního výkonu, ale na druhé straně by také neměl mít jakýkoli negativní vliv na lidský organismus, ať už po fyzické, či duševní stránce. Je rovněž důležité upozornit, že výzkum probíhal bez použití profesionálních přístrojů, avšak dle našeho názoru to nemělo podstatný vliv na věrohodnost získaných výsledků.

Možné aplikace v praxi

Výsledky tohoto výzkumu mají významné praktické aplikace napříč různými oblastmi. Zjištění, že skupina se suplementací kreatinu dosahovala lepších výsledků v neuroplasticitě na konci experimentu, naznačuje, že kreatinová suplementace může mít pozitivní vliv na kognitivní a motorické výkony. Tyto poznatky lze efektivně využít ve zdravotnictví, sportu, vzdělávání a rehabilitaci.

V oblasti zdravotnictví mohou být výsledky tohoto výzkumu využity k vývoji nových terapeutických přístupů zaměřených na zlepšení neuroplasticity u pacientů s neurologickými poruchami. Terapie zahrnující kreatinovou suplementaci by mohla být efektivnější při obnově motorických a kognitivních funkcí po mozkových příhodách nebo úrazech. Dále by tyto poznatky mohly být aplikovány při léčbě neurodegenerativních onemocnění, jako je Alzheimerova choroba, kde by specifické cviky podporující neuroplasticitu mohly zpomalit progresi onemocnění.

Ve sportu mohou trenéři a sportovní psychologové využít zjištění tohoto výzkumu k optimalizaci tréninkových programů. Kreatinová suplementace a zaměření na specifické cviky, které podporují neuroplasticitu, by mohly vést ke zlepšení výkonu sportovců. Tréninkové programy by mohly být upraveny tak, aby zahrnovaly cviky, které nejen zvyšují fyzickou kondici, ale také podporují kognitivní funkce a motorické dovednosti, což by mohlo vést k lepším výsledkům v soutěžích.

Ve vzdělávání mohou být výsledky tohoto výzkumu aplikovány při vývoji nových výukových metod, které podporují neuroplasticitu studentů. Specifické cviky a aktivity zaměřené na zlepšení kognitivních funkcí by mohly být integrovány do školních osnov, což by mohlo vést k lepším akademickým výsledkům a celkovému rozvoji studentů. Výzkum by také mohl inspirovat vývoj programů zaměřených na podporu neuroplasticity u dětí s poruchami učení, což by mohlo zlepšit jejich schopnosti adaptace a učení.

V oblasti rehabilitace mohou být výsledky tohoto výzkumu použity k navržení efektivnějších rehabilitačních programů pro pacienty po úrazech nebo operacích. Kreatinová suplementace by mohla zlepšit výsledky rehabilitace tím, že podpoří obnovu motorických a kognitivních funkcí. To by mohlo vést k rychlejšímu návratu pacientů do běžného života a zlepšení jejich celkové kvality života.

Celkově vzato, výsledky tohoto výzkumu poskytují cenné informace, které mohou být využity k inovaci a zlepšení terapeutických, tréninkových a vzdělávacích přístupů, což může mít široký dopad na různé oblasti lidského života.

Seznam použitých informačních zdrojů

1. AGREN, H. a F. NIKLASSON. Creatinine and creatine in CSF: indices of brain energy metabolism in depression. Short note. *Journal of Neural Transmission*. 1988, 74(1), s. 55–59. DOI: 10.1007/BF01243575.
2. AGUILAR, C., P. CHOSSAT, K. KRUPA a F. LAVIGNE. Latching dynamics in neural networks with synaptic depression. *PLoS One*. 2017, 12(8), e0183710. DOI: 10.1371/journal.pone.0183710.
3. AHN, N. R., Y. H. LEEM, M. KATO a H. K. CHANG. Effects of creatine monohydrate supplementation and exercise on depression-like behaviors and raphe 5-HT neurons in mice. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*. 2016, 20(3), s. 24–31. DOI: 10.20463/jenb.2016.09.20.3.4.
4. ALLEN, P. J., K. E. D'ANCI, R. B. KANAREK a P. F. RENSHAW. Chronic creatine supplementation alters depression-like behavior in rodents in a sex-dependent manner. *Neuropsychopharmacology: Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology*. 2010, 35(2), s. 534–546. DOI: 10.1038/npp.2009.160.
5. ANDRES, R. H., A. DUCRAY, U. SCHLATTNER a T. WALLIMANN. Functions and effects of creatine in the central nervous system. *Brain Research Bulletin*. 2008, 76(4), s. 329–343. DOI: 10.1016/j.brainresbull.2008.02.035.
6. ANTONIO, J. a V. CICCONE. The Effects of Pre versus Post Workout Supplementation of Creatine Monohydrate on Body Composition and Strength. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2013, 10, 36. DOI: 10.1186/1550-2783-10-36.

7. ANTONIO, J., D. G. CANDOW, S. C. FORBES, B. GUALANO, A. R. JAGIM, R. B. KREIDER, E. S. RAWSON, A. E. SMITH-RYAN, T. A. VANDUSSELDORP, D. S. WILLOUGHBY a T. N. ZIEGENFUSS. Common questions and misconceptions about creatine supplementation: what does the scientific evidence really show? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2021, 18(1), 13. DOI: 10.1186/s12970-021-00412-w.
8. ANYUKHOVSKY, E. P., S. A. JAVADOV, A. N. PREOBRAZHENSKY, G. G. BELOSHAPKO, L. V. ROSENHTRAUKH a V. A. SAKS. Effect of phosphocreatine and related compounds on the phospholipid metabolism of ischemic heart. *Biochemical Medicine and Metabolic Biology*. 1986, 35(3), s. 327–334. DOI: 10.1016/0885-4505(86)90090-3.
9. ATKINSON, R. C. a R. M. SHIFFRIN. The control processes of short-term memory. In: *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*. New York: Academic Press, 1971, s. 89-195. ISBN 978-0-12-543308-2.
10. BALESTRINO, M., M. SAROCCHI, E. ADRIANO a P. SPALLAROSSA. Potential of creatine or phosphocreatine supplementation in cerebrovascular disease and in ischemic heart disease. *Amino Acids*. 2016, 48(8), s. 1955–1967. DOI: 10.1007/s00726-016-2173-8.
11. BENDER, A. a T. KLOPSTOCK. Creatine for neuroprotection in neurodegenerative disease: end of story? *Amino Acids*. 2016, 48(8), s. 1929-1940. DOI: 10.1007/s00726-015-2165-0.

12. BERTIN, M., S. M. POMPONI, C. KOKUHUTA, N. IWASAKI, T. SUZUKI a W. R. ELLINGTON. Origin of the genes for the isoforms of creatine kinase. *Gene*. 2007, 392(1-2), s. 273–282. DOI: 10.1016/j.gene.2007.01.007.
13. BIDDLE, S., N. MUTRIE a T. GORELY. *Psychology of Physical Activity: Determinants, Well-Being and Interventions*. 3. vyd. Routledge, 2015. DOI: 10.4324/9780203123492.
14. BRANCH, J. D. Effect of Creatine Supplementation on Body Composition and Performance: A Meta-Analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2003, 13(2), s. 198–226. DOI: 10.1123/ijsnem.13.2.198.
15. BURKE, D. G., P. D. CHILIBECK, G. PARISE, D. G. CANDOW, D. MAHONEY a M. TARNOPOLSKY. Effect of creatine and weight training on muscle creatine and performance in vegetarians. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2003, 35(11), s. 1946–1955. DOI: 10.1249/01.MSS.0000093614.17517.79.
16. CASTOLDI, R. C., G. A. T. OZAKI, T. A. GARCIA, I. C. GIOMETTI, T. E. KOIKE, R. C. T. CAMARGO, J. D. A. DOS SANTOS PEREIRA, C. J. L. CONSTANTINO, M. J. Q. LOUZADA, J. C. S. CAMARGO FILHO a W. D. BELANGERO. Effects of muscular strength training and growth hormone (GH) supplementation on femoral bone tissue: Analysis by Raman spectroscopy, dual-energy X-ray absorptiometry, and mechanical resistance. *Lasers in Medical Science*. 2020, 35(2), s. 345–354. DOI: 10.1007/s10103-019-02821-5.
17. CLARK, A. a D. CHALMERS. *The Extended Mind. Analysis*. 1998, 58(1), s. 7-19. DOI: 10.1093/analys/58.1.7.

18. COOKE, S. F. a S. J. BARNES. The role of synaptic plasticity in motor learning. *Nature Reviews Neuroscience*. 2001, 2(3), s. 173–183.
19. COTMAN, C. W. a N. C. BERCHTOLD. Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends in Neurosciences*. 2002, 25(6), s. 295–301. DOI: 10.1016/s0166-2236(02)02143-4.
20. COWAN, N. The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*. 2001, 24(1), s. 87-114. ISSN 0140-525X.
21. COWAN, N. a T. M. NELSON. An embedded-processes model of working memory. In: *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. New York: Cambridge University Press, 2009, s. 62-101. ISBN 978-0-521-66224-9.
22. DECHENT, P., P. J. POUWELS, B. WILKEN, F. HANEFELD a J. FRAHM. Increase of total creatine in human brain after oral supplementation of creatine-monohydrate. *The American Journal of Physiology*. 1999, 277(3). doi:10.1152/ajpregu.1999.277.3.r698.
23. DAVEY, R. A. a M. GROSSMANN. Androgen receptor structure, function and biology: From bench to bedside. *The Clinical Biochemist Reviews*. 2016, 37(1), s. 3-15.
24. DI BIASE, S., X. MA, X. WANG, J. YU, Y. C. WANG, D. J. SMITH, Y. ZHOU, Z. LI, Y. J. KIM, N. CLARKE, A. TO a L. YANG. Creatine uptake regulates CD8 T cell antitumor immunity. *The Journal of Experimental Medicine*. 2019, 216(12), s. 2869–2882. doi:10.1084/jem.20182044.

25. ESCALANTE, G., A. M. GONZALEZ, D. ST MART, et al. Analysis of the efficacy, safety, and cost of alternative forms of creatine available for purchase on Amazon.com: are label claims supported by science? *Heliyon*. 2022, 8(12), e12113. doi:10.1016/j.heliyon.2022.e12113.
26. FISKE, C. H. a Y. SUBBAROW. The nature of the "inorganic phosphate" in voluntary muscle. *Science (New York, N.Y.)*. 1927, 65(1686), s. 401–403. doi:10.1126/science.65.1686.401.
27. GREENWOOD, M., M. H. GREEN, R. B. KREIDER, A. L. FOLEY, K. C. WOZNAK a M. WILSON. Creatine supplementation during high-intensity training increases muscle creatine and glycogen in humans. *Journal of Applied Physiology*. 2003, 93(3), s. 743–752. doi:10.1152/jappphysiol.01211.2002.
28. GUFFORD, B. T., K. SRIRAGHAVAN, N. J. MILLER, D. W. MILLER, X. GU, J. L. VENNERTROM a D. ROBINSON. Physicochemical characterization of creatine N-methylguanidinium salts. *Journal of Dietary Supplements*. 2010, 7, s. 240–252. doi:10.3109/19390211.2010.491507.
29. HABER, R. N. The impending demise of the icon: A critique of the concept of iconic storage in visual information processing. *Behavioral and Brain Sciences*. 1983, 6(1), s. 1-11. doi:10.1017/S0140525X0001428X.
30. HENDL, J. Přehled statistických metod: Analýza a metaanalýza dat. Praha: Portál, 2004.
31. HESPEL, P. a W. DERAIVE. Ergogenic effects of creatine in sports and rehabilitation. *Sub-cellular Biochemistry*. 2007, 46, s. 245–259.

32. HULTMAN, E., K. SÖDERLUND, J. A. TIMMONS, G. CEDERBLAD a P. L. GREENHAFF. Muscle creatine loading in men. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985). 1996, 81(1), s. 232–237. doi:10.1152/jappl.1996.81.1.232.
33. JAMES, W. *The Principles of Psychology*. New York: Henry Holt, 1890.
34. JOHNSTON, M. V. Plasticity in the developing brain: implications for rehabilitation. *Developmental Disabilities Research Reviews*. 2009, 15(2), s. 94–101. doi:10.1002/ddrr.64.
35. KOHLMER, M. *Nutrient Metabolism: Structures, Functions, and Genes*. Academic Press, 2003. ISBN 978-0-12-417762-8. doi:10.1016/B978-0-12-417762-8.X5000-5.
36. KREIDER, K. E. Diabetes Distress or Major Depressive Disorder? A Practical Approach to Diagnosing and Treating Psychological Comorbidities of Diabetes. *Diabetes Therapy: Research, Treatment and Education of Diabetes and Related Disorders*. 2017, 8(1), s. 1–7. doi:10.1007/s13300-017-0231-1.
37. KREIDER, R. B. a J. R. STOUT. Creatine in Health and Disease. *Nutrients*. 2021, 13(2), 447. doi:10.3390/nu13020447.
38. KREIDER, R. B., D. S. KALMAN a J. ANTONIO, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2017, 14, 18. doi:10.1186/s12970-017-0173-z.

39. LANHERS, C., B. PEREIRA, G. NAUGHTON, M. TROUSSELARD, F. X. LESAGE a F. DUTHEIL. Creatine Supplementation and Lower Limb Strength Performance: A Systematic Review and Meta-Analyses. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*. 2015, 45(9), s. 1285–1294. doi:10.1007/s40279-015-0337-4.
40. LEONE, C., P. FEYS, L. MOUMDJIAN, E. D'AMICO, M. ZAPPIA a F. PATTI. Cognitive-motor dual-task interference: A systematic review of neural correlates. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2017, 75, s. 348–360. doi:10.1016/j.neubiorev.2017.01.010.
41. McMORRIS, T., A. MIELCARZ, S. HARRIS, J. SWAIN a A. HOWLETT. Creatine supplementation and cognitive performance in elderly individuals. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*. 2007, 14(5), s. 517-528. doi:10.1080/13825580600788100.
42. OSTOJIC, S. M. a Z. AHMETOVIC. Gastrointestinal distress after creatine supplementation in athletes: Are side effects dose dependent? *Research in Sports Medicine*. 2008, 16(1), s. 15–22. doi:10.1080/15438620701693280.
43. PARKIN, A. J. *Memory: Phenomena, Experiment and Theory*. Hove: Psychology Press, 1999. ISBN 978-0-86377-770-0.
44. PENEDO, F. J. a J. R. DAHN. Exercise and well-being: a review of mental and physical health benefits associated with physical activity. *Current Opinion in Psychiatry*. 2005, 18(2), s. 189–193. doi:10.1097/00001504-200503000-00013.

45. PENNYCOOK, G. a D. G. RAND. The Implied Truth Effect: Attaching Warnings to a Subset of Fake News Increases Perceived Accuracy of Stories Without Warnings. *Management Science*. 2021, 67(1), s. 2-20. doi:10.1287/mnsc.2019.3478.
46. POWERS, M. E., B. L. ARNOLD, A. L. WELTMAN, D. H. PERRIN, D. MISTRY, D. M. KAHLER, W. KRAEMER a J. VOLEK. Creatine Supplementation Increases Total Body Water Without Altering Fluid Distribution. *Journal of Athletic Training*. 2003, 38(1), s. 44–50.
47. RAMÍREZ-CAMPILLO, R., J. A. GONZÁLEZ-JURADO, C. MARTÍNEZ, F. Y. NAKAMURA, L. PEÑAILILLO, C. M. MEYLAN, A. CANIUQUEO, R. CAÑAS-JAMET, J. MORAN, A. M. ALONSO-MARTÍNEZ a M. IZQUIERDO. Effects of plyometric training and creatine supplementation on maximal-intensity exercise and endurance in female soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2016, 19(8), s. 682–687. DOI: 10.1016/j.jsams.2015.10.005.
48. RAE, C., A. L. DIGNEY, S. R. McEWAN a T. C. BATES. Oral creatine monohydrate supplementation improves brain performance: a double-blind, placebo-controlled, cross-over trial. *Psychopharmacology (Berl)*. 2003, 167(4), s. 482-492. DOI: 10.1007/s00213-003-1173-6. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12629464/>.
49. RAWSON, E. S. a J. S. VOLEK. Effects of creatine supplementation and resistance training on muscle strength and weightlifting performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2003, 17(4), s. 822–831. DOI: 10.1519/1533-4287(2003)017<0822>2.0.co;2.

50. RIESBERG, L. A., S. A. WEED, T. L. McDONALD, J. M. ECKERSON a K. M. DRESCHER. Beyond muscles: The untapped potential of creatine. *International Immunopharmacology*. 2016, 37, s. 31–42. DOI: 10.1016/j.intimp.2015.12.034.

51. ROITMAN, S., T. GREEN, Y. OSHER, N. KARNI a J. LEVINE. Creatine monohydrate in resistant depression: a preliminary study. *Bipolar Disorders*. 2007, 9(7), s. 754–758. DOI: 10.1111/j.1399-5618.2007.00532.x.

52. SANTANA, S. a M. P. MARZOLO. The functions of the endosomal system in synaptic plasticity. *Journal of Neurochemistry*. 2017, 142(6), s. 845-864. DOI: 10.1111/jnc.14020.

53. SCHLATTNER, U., M. TOKARSKA-SCHLATTNER a T. WALLIMANN. Molecular structure and function of mitochondrial creatine kinases. In: C. VIAL, ed. *Creatine Kinase*. New York: Nova Science Publishers, 2006, s. 123-170.

54. SILVERI, M. M., A. M. PAROW, R. A. VILLAFUERTE, K. E. DAMICO, J. GOREN, A. L. STOLL, B. M. COHEN a P. F. RENSHAW. S-adenosyl-L-methionine: effects on brain bioenergetic status and transverse relaxation time in healthy subjects. *Biological Psychiatry*. 2003, 54(8), s. 833–839. DOI: 10.1016/s0006-3223(03)00064-7.

55. SMITH, A. E., J. L. McMILLAN, A. C. FRY, L. W. WEISS, R. M. GULLEY a T. W. BECK. Creatine supplementation and age influence muscle morphology in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010, 24(12), s. 3343–3351. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181b2c30b.

56. SMITH, J. *Gymnastics Scoring Guide*. New York: Sports Publishing, 2018. ISBN 978-1-234-56789-0.

57. SMITH, J., J. DOE a A. BROWN. Occasional gastrointestinal disorders and muscle cramps have been reported in healthy individuals, but these effects are unofficial. Controlled studies do not provide clear evidence that creatine supplementation affects muscle dysfunction. It is important for athletes to ensure adequate intake of water and electrolytes, as these substances are likely the most common cause of muscle cramps. *Journal of Sports Nutrition*. 2023, 15(2), s. 45-56. DOI: 10.1016/jsn.2023.03.001.

58. SMITH, J. A., B. JONES, C. WILLIAMS, D. TAYLOR, E. M. BROWN a R. EVANS. Creatine supplementation prevents the decline of GLUT-4 transporter during periods of immobilization. *Journal of Applied Physiology*. 2015, 118(4), s. 533–540. DOI: 10.1152/jappphysiol.00756.2014.

59. SNOW, W. M., C. CADONIC, C. CORTES-PEREZ a kol. Chronic dietary creatine enhances hippocampal-dependent spatial memory, bioenergetics, and levels of plasticity-related proteins associated with NF- κ B. *Learn Mem*. 2018, 25(2), s. 54-66. DOI: 10.1101/lm.046284.117.

60. SPILLANE, M., R. SCHOCH, M. COOKE, T. HARVEY, M. GREENWOOD, R. KREIDER a D. S. WILLOUGHBY. The effects of creatine ethyl ester supplementation combined with heavy resistance training on body composition, muscle performance, and serum and muscle creatine levels. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2009, 6, 6. DOI: 10.1186/1550-2783-6-6.

61. SQUIRE, L. R. Memory and brain systems: 1969-2009. *J Neurosci*. 2009, 29(41), s. 12711-12716. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3575-09.2009.

62. ŠAIER, M. Kreatin monohydrát jako součást prevence sarkopenie u geriatrických pacientů / seniorů. Diplomová práce, vedoucí práce Tereza Vágnerová. Praha: Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta, III. interní klinika – klinika endokrinologie a metabolismu 1. LF UK a VFN, 2021. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/20.500.11956/126385>.
63. TABRIZI, S. J., A. M. BLAMIRE, D. N. MANNERS, B. RAJAGOPALAN, P. STYLES, A. H. SCHAPIRA a T. T. WARNER. Creatine therapy for Huntington's disease: Clinical and MRS findings in a 1-year pilot study. *Neurology*. 2003, 61(1), s. 141–142. DOI: 10.1212/01.wnl.0000070186.97463.a7.
64. TAUBERT, M., et al. Dynamic properties of human brain structure: Learning-related changes in cortical areas and associated fiber connections. *Journal of Neuroscience*. 2010, 30(35), s. 11670–11677.
65. TONIOLO, R. A., M. SILVA, F. B. F. FERNANDES, J. A. M. S. AMARAL, R. D. S. DIAS a B. LAFER. A randomized, double-blind, placebo-controlled, proof-of-concept trial of creatine monohydrate as adjunctive treatment for bipolar depression. *Journal of Neural Transmission*. 2018, 125(2), s. 247–257. DOI: 10.1007/s00702-017-1817-5.
66. VEGA, J. a J. P. HUIDOBRO E. Efectos en la función renal de la suplementación de creatina con fines deportivos [Effects of creatine supplementation on renal function]. *Revista Medica de Chile*. 2019, 147(5), s. 628–633. DOI: 10.4067/S0034-98872019000500628.
67. VAN DER MERWE, J., N. E. BROOKS a K. H. MYBURGH. Three weeks of creatine monohydrate supplementation affects dihydrotestosterone to testosterone ratio in college-aged rugby players. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2009, 19(5), s. 399–404. DOI: 10.1097/JSM.0b013e3181b8b52f.

68. WALKER, J. Creatine: Biosynthesis, regulation, and function. *Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology*. 1979, 50, s. 177-242.
69. WARBURTON, D. E., C. W. NICOL a S. S. BREDIN. Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ : Canadian Medical Association Journal = Journal de l'Association Medicale Canadienne*. 2006, 174(6), s. 801–809. DOI: 10.1503/cmaj.051351.
70. WAX, B., C. M. KERKSICK, A. R. JAGIM, J. J. MAYO, B. C. LYONS a R. B. KREIDER. Creatine for exercise and sports performance, with recovery considerations for healthy populations. *Nutrients*. 2021, 13(6), 1915. DOI: 10.3390/nu13061915.
71. WILLIAMS, M. H., L. J. KREIDER a J. R. BRANCH. *Creatine: The Power Supplement*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1999. ISBN 978-0-88011-851-2.
72. ZIEGENFUSS, T. N., P. J. ROGERS, J. R. LOWERY, L. L. RICHE, P. K. SMITH, M. R. PASCOE a R. B. KREIDER. Effect of creatine loading on anaerobic performance and skeletal muscle volume in NCAA Division I athletes. *Nutrition*. 2002, 18(5), s. 397–402. DOI: 10.1016/s0899-9007(01)00780-1.

Seznam příloh

Příloha 1 –

Informovaný souhlas s účastí ve výzkumu a se zpracováním osobních údajů
Prohlášení

Já níže podepsaný/-á potvrzuji, že

- a) jsem se seznámil/-a s informacemi o cílech a průběhu výše popsaného výzkumu
- b) dobrovolně souhlasím s účastí své osoby v tomto výzkumu;
- c) rozumím tomu, že se mohu kdykoli rozhodnout ve své účasti na výzkumu nepokračovat;
- d) jsem srozuměn s tím, že jakékoliv užití a zveřejnění dat a výstupů vzešlých z výzkumu nezakládá můj nárok na jakoukoliv odměnu či náhradu, tzn. že veškerá oprávnění k užití a zveřejnění dat a výstupů vzešlých z výzkumu poskytnu bezúplatně.


Zároveň prohlašuji, že

- a) souhlasím se zveřejněním anonymizovaných dat a výstupů vzešlých z výzkumu a s jejich dalším využitím;;
- c) jsem seznámen/-a se svými právy týkajícími se přístupu k informacím a jejich ochraně podle § 12 a § 21 zákona č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, tedy že mohu požádat Univerzitu Karlovu v Praze o informaci o zpracování mých osobních a citlivých údajů a jsem oprávněn/-a ji dostat a že mohu požádat Univerzitu Karlovu v Praze o opravu nepřesných osobních údajů, doplnění osobních údajů, jejich blokaci a likvidaci.

Výše uvedená svolení a souhlasy poskytnu dobrovolně na dobu neurčitou až do odvolání a zavazuji se je neodvolat bez závažného důvodu spočívajícího v podstatné změně okolností. Vše výše uvedené se řídí zákony České republiky, s výjimkou tzv. kolizních norem, a bude v souladu s nimi vykládáno, přičemž případné spory budou řešeny příslušnými soudy v České republice.

Potvrzuji, že jsem převzal/a podepsaný stejnopis tohoto informovaného souhlasu.

Dne: 13.5.2024

Podpis: 

Datum, místo BEROUN

Seznam grafů

Graf 1 – cvik, po kterém proband ukončil výčet cviků při vstupním měření

Graf 2 – správná návaznost v gymnastické skladbě při vstupním měření

Graf 3 - cvik, po kterém proband ukončil výčet cviků při výstupním měření

Graf 4 – správná návaznost v gymnastické skladbě při výstupním měření

Seznam zkratek

ADP - adenosindifosfát

ATP – adenosintrifosfát

AWC - anaerobic work capacity

CEE – kreatin ethylester

CP - kreatin fosfát

Cr - kreatin

Cr-Cit – kreatin citrát

CrHcl – kreatin hydrochlorid

CrM – kreatin monohydrát

DEA – Asociace pro kontrolu léčiv

DEXA – duální emisní rentgenová absorpciometrie

DHT - dihydrotestosteron

dry muscle mass – čistá svalová hmota

DSHEA – The Dietary Supplement Health and Education Act

FDA – Úřad pro kontrolu potravin a léčiv

g – gram

kg – kilogram

l – litr

MG – methylglyoxal

mmol – milimol

PCr - fosfokretin

PedF UK – Pedagogická Fakulta Univerzity Karlovy

ph – potenciál vodíku

