UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

Vliv kofeinu na maximální sílu komplexních cviků

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
Mgr. Vít Třebický, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Daniel Šťastný

Praha, 2023

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

……

podpis diplomanta

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:	Fakulta / katedra:	Datum vypůjčení:	Podpis:

Poděkování

Abstrakt

Název: Vliv kofeinu na maximální sílu komplexních cviků

Cíle: Hlavním cílem této diplomové práce je otestovat vliv kofeinu na maximální sílu cviku mrtvý tah v porovnání s placebem. Dílčími cíli práce je otestovat, zda se velikost efektu kofeinu liší mezi horní polovinou těla oproti dolní polovině, a také zda má kofein vliv na opakovanou produkci maximální síly po nedostatečném odpočinku.

Metody: Randomizovaná dvojitě-zaslepená studie se skládala z 1 úvodního a 2 experimentálních termínů měření. Na začátku experimentálních termínů byl participantům 60 minut před výkonem podán buď kofein (3 mg/kg) nebo placebo. V randomizovaném pořadí byla měřena maximální izometrická síla s dostatečným odpočinkem mezi sériemi u cviků mrtvý tah (IMT) a benchpress (IBP). Následně byla měřena maximální izometrická síla u cviku zádový zdvih (IMTP) po nedostatečném odpočinku. Této studie se zúčastnilo celkem 36 zdravých silově trénovaných mužů zvyklých na konzumaci kofeinu.

Výsledky:. RM ANOVA indikuje, že kofein oproti placebu významně zvýšil výkon u IMT (d = 0.229 [0,61, 0,397]), ale ne oproti výchozímu termínu. U cviku IBP se vliv kofeinu a placeba od sebe významně nelišil, a nejlepší výkony byly pozorovány při úvodním termínu, které se statisticky významně lišily oproti kofeinu (d = 0,127 [0,020, 0,235]) i placebu (d = 0,151 [0,041, 0,261]). Dále jsme neshledali statisticky významný rozdíl mezi vlivem kofeinu na maximální sílu horní poloviny těla oproti té dolní. V poslední řadě jsme nepozorovali významný rozdíl mezi kofeinem a placebem v poklesu maximálních silových výkonu u IMTP.

Klíčová slova: stimulant, mrtvý tah, benchpress, dávka, izometrická síla

Abstract

Title: Effect of caffeine on maximal strength of the complex exercises

Objectives: The main aim of this theses is to investigate caffeine's effect on the maximum strength of the deadlift exercise. The sub-objectives of the thesis are to test whether the magnitude of the effect of caffeine differs between the upper half of the body compared to the lower half, and also whether caffeine has an effect on the production of maximal strength after insufficient rest.

Methods: The randomized double-blind study consisted of 1 baseline and 2 experimental sessions . At the start of the experimental sessions, participants were given either caffeine (3 mg/kg) or placebo 60 min before testing. In a randomized order, maximal isometric strength with sufficient rest between reps was measured for the deadlift (IMT) and benchpress (IBP) exercises. Subsequently, maximal isometric strength was measured for the isometric mid-thigh (IMTP) exercise after insufficient rest. A total of 36 healthy resistance-trained men habituated to caffeine consumption participated in this study

Results: RM ANOVA showed that caffeine increased performance at IMT, compared to placebo (d = 0.229 [0.61, 0.397]), but not compared to baseline. For the IBP exercise, caffeine has no effect compared to placebo, but baseline session was statistically significantly different from both caffeine (d = 0.127 [0.020, 0.235]) and placebo (d = 0.151 [0.041, 0.261]). Furthermore, we did not find a statistically significant difference between the effect of caffeine on upper versus lower body maximal strength. Finally, we did not observe a significant difference between caffeine and placebo in the decline in maximal strength performance in IMTP.

Keywords: stimulant, deadlift, benchpress, dose, isometric strength

OBSAH

ÚVOD 9
1. TEORETICKÁ ČÁST 10
Kofein 10
1.1.1 Vliv kofeinu na centrální nervovou soustavu 10
1.1.2 Návykovost a tolerance kofeinu 11
1.2.3 Zdroje kofeinu 12
1.2.4 Konzumace kofeinu a dávka 14
1.2.5 Metabolismus kofeinu 14
1.2 Kofein a zdraví člověka 15
1.2.1 Negativní účinky kofeinu na zdraví 16
1.2.2 Pozitivní účinky kofeinu na zdraví 19
1.3 Kofein a sport 23
1.4 Mechanismy účinku kofeinu na sportovní výkon 23
1.5 Optimalizace užívání kofeinu 24
1.6 Vliv kofeinu na sportovní výkon 26
1.6.3 Vliv kofeinu na maximální sílu 27
2. PRAKTICKÁ ČÁST 29
2.1 Cíle práce 29
2.2 Výzkumné otázky 29
2.3 Predikce 29
2.4 Materiál a metody 30
2.4.1 Procedura 30
2.4.2 Participanti 31
2.4.3 Účelový a standardizovaný dotazník 32
2.4.4 Antropometrie a měření tělesného složení 32
2.4.5 Tablety kofeinu a placeba 32
2.4.6 Výkonnostní testy 33
2.4.7 Statistická analýza 35
2.5 Výsledky 37
2.5.1 Participanti 37
2.5.2 Rozdíl mezi vlivem kofeinu a placeba na maximální výkon v izometrickém mrtvém tahu 39

2.5.3 Rozdíl mezi vlivem kofeinu a placeba na maximální výkon v izometrickém benchpressu Test maximální síly- IBP 43
2.5.3 Rozdíl velikosti efektu vlivu kofeinu na horní a dolní polovinu těla 46
2.5.4 Vliv kofeinu na izometrický zádový zdvih po nedostatečném odpočinku 50
2.6 Diskuze 52
2.6.1 Limitace 55
3. Závěr 58
4. Seznam literatury 59
5. Seznam obrázků, tabulek a grafů 83
5. Přílohy 85
I. Návrh ke schválení Etické Komisi UK FTVS 85
II. Informovaný souhlas k žádosti 177/2022 88
III. Ukázka reklamy na sociálních sítích a TV panelu UK FTVS 93
IV. Ukázka reklamy na letáku 94
V. Výstup pro participanty 95
VI. Modifikovaná verze standardizovaného dotazníku 97
VII. Účelový dotazník 99
VIII. Poster z konference Scientia Movens 103

ÚVOD

Mnoho sportujících osob hledá efektivní způsoby, jak zvýšit svou výkonnost během tréninkového či soutěžního vytížení. Jedním z nejrozšířenějších a nejoblíbenějších prostředků pro dosažení lepšího výkonu, a to jak fyzického, tak i mentálního, je konzumace kofeinu. Kofein, přírodní stimulant nacházející se v kávě, čaji a dalších nápojích, potravinách či doplňcích stravy, je známý právě svou schopností ovlivňovat nervový systém a zvyšovat pocit nabuzení. Nicméně sportovci si jeho konzumaci často spojují s ergogenními účinky, které jsou ve vědeckém poznání zatím spíše předmětem diskuze.

V současnosti nalézáme řadu studií a evidence poukazující na jeho ergogenní efekty pro různé aspekty kognitivních funkcí a fyzického výkonu. Co se týče sportovního výkonu, nejvíce byl studován vliv kofeinu na střednědobou a dlouhodobou aerobní činnost, kde má kofein nejpřesvědčivější účinky. Na explozivní a rychlostní výkon v podobě výšky výskoku, agility, samostatných i opakovaných sprintů pravděpodobně působí tento suplement též ergogenním účinkem. Dalším aspektem sportovního výkonu, kde dostupná evidence též naznačuje, že jej kofein pravděpodobně zlepšuje, jsou kognitivní funkce jako pozornost nebo přesnost.

Naopak ohledně vlivu kofeinu na maximální sílu se v současné literatuře vyskytuje několik nejasností. Odborníci zabývající se tímto tématem se neshodují, zda kofein významně zlepšuje tento aspekt sportovního výkonu a zda je tento efekt limitován pouze pro horní polovinu těla, nebo i polovinu dolní. Dále v současně dostupné literatuře chybí studie, která by se zabývaly vlivem této látky na maximální sílu celotělových výkonů jako je například mrtvý tah. V poslední řadě si nejsme vědomi žádné studie, která by zkoumala vliv kofeinu na výkony při opakovaném provádění maximálních silových výkonů po nedostatečném odpočinku.

V této práci se proto zabýváme nejprve souhrnem současného poznání o vlivu kofeinu na maximální sílu, limitům doposud provedených studií a primárně provedení vlastní ranodmizované experimentální studii o vlivu kofeinu na výkon v komplexních cvicích.

1. TEORETICKÁ ČÁST

Kofein

Kofein neboli 1,3,7- methylxantin je alkaloid fytochemického původu, který můžeme jej tak nalézt nejméně v 60 druzích rostlin. Mezi ty nejznámější patří kávovník, čajovník a kakaovník, nicméně v nižších koncentracích se nachází třeba i v citrusech jako pomerančovník či citrónovník (Ashihara et al., 2017; Ashihara & Suzuki, 2004). Alkaloidy mohou být při konzumaci jedovaté a mají přirozeně nepříjemnou hořkou chuť. Rostliny si v průběhu evoluce vyvinuly jejich produkci pravděpodobně za účelem ochrany proti predátorům a parazitům. Funkce kofeinu v přírodě jsou tak zejména pesticidní a insekticidní (Ashihara & Crozier, 2001). Diskutují se i jiné účinky tohoto alkaloidu u rostlin jako zlepšení interakce s půdními mikroorganismy či regulace růstu rostliny, nicméně to je stále předmětem výzkumu (Ashihara et al., 2017).

Konzumace kofeinu však má i jiné účinky než jen ty pesticidní. Tento alkaloid patří do skupiny, která v určitých koncentracích působí jako stimulant (Glade, 2010). Zatímco na malého živočicha kofein působí i v malé dávce jako jed (Ashihara et al., 2017), na člověka je jeho efekt v určitých (však malých) dávkách naopak pozitivně stimulující díky ovlivnění funkce centrální nervové soustavy (Fiani et al., 2021). Konzumace vyšších jednorázových dávek však může být i pro člověka fatální, kdy za toxické jednorázové množství se udává 15– 30 mg/kg (Higdon & Frei, 2006)

1.1.1 Vliv kofeinu na centrální nervovou soustavu

Nejběžněji diskutovaný stimulační mechanismus působení kofeinu je jako antagonista adenosinu a jeho A1 a A2 receptorů v mozku. Adenosin je neuromodulátor a homeostatický regulátor, který má na centrální nervovou soustavu a organismus inhibiční účinky, navozuje stavy únavy a usínání (J. M. Davis et al., 2003). Jelikož molekuly kofeinu (a jeho metabolitu paraxantinu) mají podobnou strukturu jako adenosin, má tento stimulant potenciál obsadit receptory adenosinu a efektivně adenosin blokovat. To má za následek stimulační účinky, jako zrychlení nervových signálů v centrálním nervovém systému a navození stavu bdělosti (neboli zablokování nástupu stavu únavy) (Heckman et al., 2010).

Na blokaci adenosinových receptorů reaguje mozek zvýšenou aktivitou v dopaminergních systémech (Volkow et al., 2015). Dopamin je neurotransmiter

nejčastěji spojován s vlivem na motivaci, učením, návykovostí či regulací dalších hormonů (Berke, 2018). V mozku působí skrze dopaminové receptory, na jejichž počet a afinitu má kofein pozitivní vliv (Volkow et al., 2015). Souhra těchto dějů v mozku (blokace adenosinových receptorů, stimulace dopaminergních systémů) déle zabraňuje inhibici noradrenalinu, acetylcholinu, serotoninu, glutamátu a kyseliny gama-aminomáselné (GABA). Zvýšené koncentrace těchto neurotransmiterů tak potencují pozitivní vliv kofeinu na náladu, bdělost a kognitivní funkce (Fiani et al., 2021). Kofein též působí jako inhibitor fosfodiesteráz, enzymů zodpovědných za rozklad adenosinmonofosfátu. Zabránění rozkladu této molekuly má za důsledek další neurostimulační účinky (Echeverri et al., 2010). Z této kaskády dějů ovlivňujících centrální nervovou soustavu tedy vyplívá, že konzumace kofeinu působí jako tzv „zesilovač“ daného podnětu (Ferré, 2016), a není tedy divu, že je konzumace tohoto stimulantu opakovaně vyhledávána.

1.1.2 Návykovost a tolerance kofeinu

Řada alkaloidů včetně kofeinu je návyková (Budney et al., 2013). Nejznámější příklad u ostaních druhů pozorují vědci na včelách, kdy i nízká koncentrace kofeinu v květinovém nektaru posiluje paměť včel na vůni těchto květů tím, že mění reakci neuronů v jejich mozku (Chittka & Peng, 2013). Včely a jiní opylovači se tak stávají doslova závislí na kofeinu. Díky tomu se vracejí právě k těmto rostlinám, které jsou častěji opilovány, což má pozitivní vliv na rozmnožování rostliny (Couvillon et al., 2015; Thomson et al., 2015).

Díky stimulujícím účinkům kofeinu na centrální nervovou soustavu si na jeho konzumaci snadno vypěstuje návyk i člověk, a to už při konzumaci jednoho až dvou šálků kávy či čaje denně, tedy při dávkách ~100mg/den (Satel, 2006). Návyk se obecně projevuje vzestupem tolerance ke konzumované látce. Následuje tak potřeba zvyšování dávek, často vedoucí k dychtěním po této látce až ztrátou kontroly nad užíváním (Budney et al., 2013). Vysoká míra (fyzické i psychické) závislosti na kofeinu se nazývá kofeinismus, který se udává jako denní příjem kofeinu ≥ 600mg (Aguiar et al., 2012).

Tolerance znamená, že při opakovaném užití dané dávky látky se snižuje účinek, a pro dosažení obdobného účinku nebo normálního fungování potřebuje organismus dávku vyšší (Pickering & Kiely, 2019). Pravidelný konzument je tedy nucen kofeinové dávky stále stupňovat, aby na něj například káva působila i nadále povzbudivým účinkem. Jak je již zmíněno výše, hlavním účinkem kofeinu je obsazení adenosinových receptorů. Při

pravidelné konzumaci kofeinu dochází k tzv. upregulaci (zvyšování počtu) těchto receptorů (Svenningsson et al., 1999), a proto se musí také zvyšovat příjem kofeinu, aby mohly být tyto (nové) receptory i nadále obsazovány v co největší míře. Mimo jiné také dochází při pravidelné konzumaci kofeinu ke zvýšení produkce enzymů primárně metabolizujících kofein (Doepker et al., 2016), a přijatý kofein je tak tělem metabolizován rychleji. Tyto adaptační procesy jsou však zvratné a s vysazením užívání kofeinu se tolerance k němu snižuje. Díky těmto adaptačním mechanismům je doporučováno jednou za čas kofein vysadit (Pickering & Kiely, 2019) k udržení stimulujícího účinku i nižších dávek kofeinu.

Dalším znakem závislosti a zvýšené tolerance na látku je přítomnost abstinenčních příznaků při nízké nebo nulové hladině dané látky v organismu (European Food Safety Authority, 2015). Po vysazení kofeinu se můžeme setkat s bolestí hlavy, únavou a propady energie, ospalostí, depresivními stavy, potížemi se soustředěním a podrážděností (Satel, 2006). Tyto příznaky se obvykle objevují po 12-24 hodinách abstinence od kofeinu a trvají 2 až 9 dní, v závislosti především na předchozím množství pravidelně konzumovaného kofeinu (Juliano et al., 2012).

1.2.3 Zdroje kofeinu

Kofein můžeme najít v mnoha potravinách, nápojích či doplňcích stravy, a proto v dnešní době není snadné se jeho konzumaci úplně vyhnout. Za jeho tradiční zdroje jsou považovány nápoje ze stejnojmenných rostlin- káva z kávovníku a čaj z čajovníku (DePaula & Farah, 2019). V posledních desetiletích však roste počet i jiných nápojů obsahující kofein, a to například (kolových) limonád a energetických nápojů. Přehled množství kofeinu ve vybraných nápojích můžeme nalézt v tabulce 1.

Tabulka 1- Množství kofeinu ve vybraných nápojích

Název nápoje	Porce	Množství kofeinu
Káva překapávaná	120 ml	82,7 mg
Káva instantní	120 ml	28,9 mg
Káva McDonald's	473 ml	145 mg
Černý čaj	236 ml	42 mg

Zelený čaj	236 ml	18 mg
Ledový čaj Lipton	500 ml	21,1 mg
Coca-Cola	500 ml	47,9 mg
Coca-Cola Zero	500 ml	47.9 mg
Pepsi	500 ml	53,5 mg
Red Bull	250 ml	80mg

Zdroj: (Caffeineinformer.com, 2023; Šťastný & Pavelka, 2021)

V potravinách se významnější množství kofeinu nachází zejména v produktech s obsahem kakaa a čokoládových výrobcích z něj. Na trhu je dále dostupná celá řada povzbuzujících doplňků stavy obsahující i vyšší množství kofeinu jako energetické gely, tyčinky, žvýkačky, až po ve sportu a fitness odvětví oblíbené předtréninkové suplementy a spalovače tuku (Wickham & Spriet, 2018). Přehled množství kofeinu ve vybraných potravinách a produktech je k dispozici v tabulce 2.

Tabulka 2- *Množství kofeinu ve vybraných potravinách a produktech*

Název potraviny/produktu	**Porce**	**Množství kofeinu**
Kakaový prášek	5g	11,5 mg
Hořká čokoláda 70-85%	100g	80 mg
KitKat tyčinka	42g	6 mg
BigShock energy tyčinka	65g	100 mg
Energy žvýkačka	1 kus	100 mg
Agrezz Extrifit	20,8 g	283 mg
Fatall Ultimate fat burner Extrifit	2 kapsle	160 mg
Nakopávač Aktin	15 g	200 mg
Aktin Spalovač	4 kapsle	200 mg

Kofeinová tablety	1 kus	obvykle 200 mg

Zdroj: (Caffeineinformer, 2023; Šťastný & Pavelka, 2021)

1.2.4 Konzumace kofeinu a dávka

Hlavní zdroje kofeinu v běžné stravě člověka představuje káva, čaj, sladké nápoje (včetně energetických drinků) a čokoláda (European Food Safety Authority, 2015). Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) například uvádí, že průměrný denní příjem kofeinu občanů zemí Evropské unie se pohybuje v následujících rozmezí: dospělí 37-319 mg, adolescenti 0,4 - 1,4 mg/kg tělesné hmotnosti, děti 0,2 - 2 mg/kg tělesné hmotnosti (European Food Safety Authority., 2015). U dospělých jsou hlavními zdroji kofeinu káva a čaj. U dětí jsou hlavními zdroji sycené nealkoholické nápoje a čaj (Verster & Koenig, 2018). Reprezentativní studie z celého světa shodně tedy ukazují, že průměrný denní příjem kofeinu je nižší než doporučení světových zdravotnických organizací jako Health Canada (400 mg pro dospělé a 2,5 mg/kg tělesné hmotnosti pro děti a dospívající) a EFSA (400 mg pro dospělé a 3 mg/kg tělesné hmotnosti pro děti a dospívající) (Verster & Koenig, 2018). V posledním desetiletí zůstal denní příjem kofeinu na osobu stabilní, a to i přes zavádění na trh nových produktů obsahujících kofein. Obecně lze však říci, že v důsledku rostoucí populace je pozorován především u evropských zemí importujících kávu nárůst spotřeby kofeinu v průběhu času, zatímco pokles je zaznamenán především u zemí vyvážejících kávu na africkém kontinentu (Quadra et al., 2020)

Při překročení doporučené jednorázové dávky (přibližně od 6 mg/kg) však hrozí výskyt vedlejších účinků, jako je nervozita, bolest hlavy, gastrointestinální potíže, svalový třes a zrychlený srdeční tep (De Souza et al., 2022). Za toxickou dávku se považuje 15 – 30 mg/kg. Smrtelnou dávku kofeinu pro dospělého člověka představuje při orálním užití 10-200 mg/kg, což je v průměru 10 g, tedy přibližně 50 - 200 šálků kávy (Higdon & Frei, 2006). Je tak téměř nemožné zemřít na nadměrnou konzumaci kofeinových nápojů, avšak je známo několik případů smrti na předávkování kofeinem (N = 92), nejčastěji kofeinovými tabletami (Cappelletti et al., 2018).

1.2.5 Metabolismus kofeinu

Jelikož je kofein obsažen ve stravě, jeho užívání je tak výhradně perorální. V lidském organismu se kofein může vstřebat již na úrovni sliznice v ústech (Thakur et al., 2007), drtivá většina se však vstřebá střevem a přibližně 45 minut od konzumace lze pozorovat

jeho zvýšené hodnoty v krvi (Magkos & Kavouras, 2005). Kofein se dále zpracovává v játrech, kde je štěpen na jednodušší molekuly tzv. demetylací, a to konkrétně na metabolity paraxantin, theobromin a theofilin (Gummadi et al., 2012). Většina kofeinu je metabolizována právě na paraxantin díky enzymu CYP1A2. jehož funkce je silně geneticky podmíněna (Womack et al., 2012) a ovlivňuje tak celou farmakokinetiku kofeinu.

Funkce tohoto enzymu je tedy u člověka variabilní a dochází tak k interidnividuální variabilitě metabolizace kofeinu. Přítomnost alely C na genu CYP1A2 má za následek zpomalení funkce tohoto enzymu a tedy zpomalení odbourávání kofeinu, přítomnost alely A naopak vede ke zrychlení odbourávání (Nehlig, 2018). Z tohoto důvodu se setkáváme s pojmy jako „rychlý metabolizér" u genotypu AA či „pomalý metabolizér" u genotypu CC, kdy u jedinců s genotypem AA je větší pravděpodobnost, že dojde ke zlepšení výkonnosti oproti jedincům s genotypem CC. (Grgic et al., 2021). Metabolismus tohoto stimulantu je ovlivňován i dalšími exogenními a endogenními faktory, jako pohlaví, věk, kouření, zdarvotní stav, nebo interakce s léky díky čemuž je jeho poločas rozpadu v lidském organismu velmi variabilní, kdy některé studie uvádí rozmezí 2,3 – 9,9 hodin (Blanchard & Sawers, 1983; Nehlig, 2018).

Metabolity kofeinu jsou dostatečně lipofilní k tomu, aby prošly všemi buněčnými membránami do celého těla, a to včetně hematoencefalické bariéry. Mohou tak působit na centrální nervovou soustavu v mozku, kosterní svalstvo a další orgány (Barcelos et al., 2020). Prostupnost buněčnými membránami a rozsáhlá aktivita po celém těle tak dělá z kofeinu široce diskutovanou látku v oblasti zdraví. Pouze 0,5 - 3 % zkonzumovaného kofeinu je vyloučeno močí v nezměněné podobě, což naznačuje, že většina se účastní procesů v organismu (Magkos & Kavouras, 2005).

1.2 Kofein a zdraví člověka

Vzhledem k prevalenci užívání, byl kofein ve spojitosti se zdravím hojně testován (Grosso et al., 2017). Nárůst potravinářských výrobků obsahujících kofein zvyšuje zájem ze strany zdravotních úřadů a regulačních orgánů ohledně celkové spotřeby kofeinu a jeho potenciálních kumulativních účinků na chování a fyziologii (European Food Safety Authority., 2015). Znepokojení vyvolává zejména míra příjmu kofeinu mezi populacemi, které jsou potenciálně zranitelné vůči jeho negativním účinkům, a regulační orgány v

minulosti upozornily na riziko jeho konzumace u těhotných a kojících žen, dětí, dospívajících, mladých dospělých a lidí se srdečními a jinými zdravotními problémy (European Food Safety Authority, 2015).

1.2.1 Negativní účinky kofeinu na zdraví

Kofein je oblíbený díky svému stimulačnímu efektu, který má nejen díky již zmíněným účinkům na centrální nervovou soustavu, ale také díky vlivu na produkci hormonů nadledvin (Barcelos et al., 2020). Nadledviny jsou párový endokrinní žlázy, které hrají klíčovou roli v reakci těla na stres díky vyplavování stresových hormonů, zejména adrenalinu, noradrenalinu a kortizolu (Harvey et al., 1984). Jelikož kofein stimuluje nadledviny právě ke zvýšené sekreci těchto hormonů (Kamimori et al., 2000; Lovallo et al., 2005), bývá jeho konzumace spojována s projevy jako zvýšení srdečního tepu, tlaku či výskytem arytmií (Turnbull et al., 2017).

Práce souhrnné poznání o vlivu kofeinu na kardiovaskulární zdraví naznačuje, že účinky projevující se při dávkách do 600 mg/den, jsou ve většině případů mírné a bez trvalých nežádoucích účinků (Turnbull et al., 2017). Navíc dávku, kdy může příjem kofeinu způsobit poškození kardiovaskulárního systému, nelze blíže specifikovat, jelikož data o účincích denního příjmu vyššího než 600 mg jsou velmi omezené. Současné práce tak uvádí, že normální příjem kofeinu není spojen se zvýšeným rizikem kardiovaskulárního onemocnění (Turnbull et al., 2017).

Jedna z nejaktuálnějších metaanalýz (Xie et al., 2018) dokonce ukazuje, že konzumace kávy byla inverzně spojena s rizikem hypertenze v závislosti na počtu šálků za den. Relativní rizika hypertenze byla 0,97 (95% CI 0,95 – 0,99) při konzumaci 2 šálků/den, 0,95 (95% CI 0,91 – 0.99) pro 4 šálky/den, 0,92 (95% CI 0,87 – 0,98) pro 6 šálků/den, a 0,90 (95% CI 0,83 – 0,97) pro 8 šálků/den , ve srovnání s jedinci bez příjmu kávy (Xie et al., 2018).

Z dřívějších studií víme, že vysoké dávky kofeinu způsobují výskyt arytmie u zvířat (El Agaty & Seif, 2015). Metaanalýza Zuchinali a kol. (2016) uvádí, že údaje z intervenčních studií u lidí neukazují významný vliv konzumace kofeinu na výskyt arytmií. Nedostatečný počet důkazů o negativním vlivu kofeinu na zvýšení krevního tlaku či arytmií zdůrazňuje i Americká kardiologické společnost (P. Wilson & Bloom, 2016).

Možný vliv kofeinu na srdeční frekvenci zkoumaly desítky experimentálních studií. Jejich shrnutí nabízí přehledová práce Turnbul a kol. (2017). Jednorázová dávka kofeinu (130 - 560 mg) sice zvýšila srdeční frekvenci v 15 studiích, ale také snížila srdeční frekvenci v 19 studiích (dávky 80 - 350 mg). Srdeční frekvence se pak nezměnila v 55 studiích po konzumaci kofeinu v rozmezí 250 - 570mg. Tato práce se dále zabývala také vlivem opakované konzumace kofeinu na srdeční frekvenci, kdy z 22 studií 2 zaznamenaly zvýšení srdeční frekvence, 4 naopak snížení, a u 16 nebyl pozorován žádný významný vztah (Turnbull et al., 2017).

Spánek je jedním z klíčovým faktorů ovlivňující zdraví člověka (Lo et al., 2018). Aktuální systematická rešerše literatury zabývající se vlivem kofeinu na kvalitu spánku zahrnující 24 studií (Gardiner et al., 2023) uvádí, že konzumace tohoto stimulantu zkracuje celkovou dobu spánku průměrně o 45 min a dobu latence nástupu spánku prodlužuje o 9 min. Dále s příjmem kofeinu dochází k delšímu trvání (+6,1 min) a většímu podílu (+1,7 %) lehkého spánku na úkor doby trvání (-11,4 minut) a podílu (-1,4 %) hlubokého spánku (Gardiner et al., 2023). Také ve studii z roku 2022, která nebyla zařazena v předchozím systematickém přehledu, byla u vzorku 886 studentů konzumace kofeinu spojena s horší kvalitou spánku (Riera-Sampol et al., 2022). Za zmínku stojí studie, kde byla participantům podávána dávka 400mg kofeinu těsně před spánkem, 3 hodiny a 6 hodin před spánkem. Díky vlivu na kortizol i dlouhotrvajícím poločasu rozpadu kofeinu popsaném v kapitole 1.2.5 došlo ve všech 3 podmínkách příjmu kofeinu k významnému zhoršení kvality spánku oproti skupině s placebem (Drake et al., 2013).

Jedním z mechanismů, jak kofein spánek ovlivňuje, je snížení 6-sulfatoxymelatoninu (hlavního metabolitu melatoninu) v nadcházející noci, a to zejména když je konzumován v době, kdy se melatonin vyplavuje, tedy odpoledne a večer (Shilo et al., 2002). Příjem kofeinu také stimuluje vyplavování dalšího stresového hormonu nadledvin, kortizolu (Lovallo et al., 2005), který má s melatoninem inverzní vztah, tedy zatímco jednomu hormonu hladina stoupne, hladina toho druhého klesne (Zisapel et al., 2005). Například konzumace 250 mg kofeinu v 1 odpoledne vedla ke zvýšeným hladinám kortizolu ještě v 7 večer oproti placebu (Lovallo et al., 2005).

Kofein má též vliv na metabolismus vápníku, kdy zvyšuje jeho vyplavováni a využití ve svalových buňkách a tedy může potenciálně snižovat jeho zásoby v těle (Endo, 2009). Spekuluje se pak i dalších vlivech jako snížená aktivita osteoblastů díky inhibici A1 a A2

receptorů adenosinu (Mediero & Cronstein, 2013) či potlačení funkce vitaminu D změnou exprese receptoru pro tento vitamín (Rapuri et al., 2007), a také zvýšené vylučování vápníku močí (Berman et al., 2022). To, že kofein zhoršuje zdraví kostí zmíněnými mechanismy, nachází oporu v in vitro (Rapuri et al., 2007) studiích i studiích na zvířatech (Liu et al., 2011; Shin et al., 2015; Yeh & Aloia, 1986). Co se týče studií na lidech, tak práce Bermana a kolektivu (2022) vyvozuje, že i přes omezený počet populačních studií výsledky naznačují možné negativní ovlivnění kostního metabolismu a mírně zvýšené riziko osteoporózy a zlomenin (zejména u starších dospělých a zejména žen po menopauze), a to u denní konzumace kofeinu v množství odpovídajícím 2 a více šálkům kávy (Berman et al., 2022). Rodak a kolektiv (2021) taktéž uvádí, že příjem kofeinu může mít malý negativní vliv na hladinu vápníku, ale neexistuje dostatek důkazů, které by ověřily robustnost této souvislosti mezi konzumací kávy a rizikem osteoporózy.

Ve své rozsáhlé práci se věnovali tématu negativního vlivu kofeinu na zdraví také odborníci z Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (European Food Safety Authority, 2015). Tato práce hodnotila ty nejdiskutovanější vlivy kofeinu na zdraví včetně kardiovaskulárních účinků i rovnováhu vápníku a zdraví kostí, ale také akutní toxicitu, riziko rakoviny, mužnou plodnost či chování. Skupina těchto odborníků vyvodila, že příjem kofeinu ze všech zdrojů až do 400 mg denně (asi 5,7 mg / kg tělesné hmotnosti u 70 kg dospělé osoby) nemusí vyvolávat obavy o bezpečnost zdravých dospělých v běžné populaci, s výjimkou těhotných a kojících žen. Pro tyto specifické skupiny déle doporučuje, že denní příjem kofeinu ze všech zdrojů do 200 mg nemusí vyvolávat obavy o bezpečnost plodu nebo kojeného dítěte. V poslední řadě pak EFSA uvádí, že pro děti a dospívající jsou dostupné informace nedostatečné pro stanovení bezpečného příjmu kofeinu, nicméně odvozují, že příjem kofeinu, který nemusí vzbuzovat obavy pro tyto skupiny populace, by mohl být 3 mg/kg tělesné hmotnosti za den (European Food Safety Authority, 2015).

Výsledky systematického přehledu Wikoffa a kolektivu (2017), též neshledaly u dospělých spojitost mezi konzumací kofeinu v doporučené denní dávce (tj. do 400mg/den) a negativními účinky na zdraví kardiovaskulární, kostní, reprodukční, akutní toxicitu a chování. Nicméně autoři upozorňují, že je třeba více výzkumů, které by se měly zaměřit na potenciálně zranitelnější skupiny populace vůči kofeinu (např. děti a adolescenti, těhotné, lidé s různými nemocemi), či které budou měřit více podmínek (například společnou konzumaci více látek). Je totiž možné, že určití jedinci v určitých

podmínkách mohou být vystaveni většímu riziku ve srovnání se zdravými dospělými (Wikoff et al., 2017).

Na závěr je důležité zmínit, že konzumaci kofeinových nápojů jako káva mají lidé spojenou s návyky dalšími, které jsou často nevhodné pro lidské zdraví. Může se jednat například o konzumaci různých sladkých pokrmů či kouření. Studie zahrnující 376 mladých Britů (Hewlett & Smith, 2006) například ukázala, že významně vyšší procento kuřáků je ze skupiny konzumentů kofeinových nápojů (24,8 %) oproti těm, co tyto nápoje nekonzumují (16 %). Zajímavý je také vztah konzumace kofeinu a alkoholu, kdy z pravidelných konzumentů kofeinu pouze 7 % nepilo alkohol, zatímco ve skupině nekonzumentů kofeinu bylo abstinentů 19 % (Hewlett & Smith, 2006). Pozitivní asociace mezi konzumací kofeinu a kouřením také našla observační studie zkoumající vzorek (n= 31025) z Holandska a Velké Británie. Kuřáctví bylo spojeno s konzumací většího denního množství kofeinu (+57,9 mg u Nizozemců a +83,2 mg u Britů). Navíc každá další vykouřená cigareta za den byla spojena s vyšší denní spotřebou kofeinu (+3,7 mg kofeinu /cigareta u Nizozemců a +8,4 mg kofeinu/cigareta u Britů) (Treur et al., 2016).

1.2.2 Pozitivní účinky kofeinu na zdraví

Pokud je kofein konzumován v doporučeném denním množství, tj. do 400mg pro dospělého člověka (European Food Safety Authority, 2015) zejména ve formě tradičních zdrojů jako káva a čaj, může mít na zdraví i pozitivní účinky (Poole et al., 2017). Velká část přehledových prací spojujících konzumaci kofeinu s celkovým zdravím a sníženou mortalitou (Abalo, 2021; Grosso et al., 2017; Poole et al., 2017; van Dam et al., 2020), spíše dává větší váhu pozitivním účinkům látkám obsažených v kávě a čaji než samotnému kofeinu. V těchto nápojích se totiž nachází také antioxidanty (např. bioaktivní fytochemikálie jako polyfenoly), kterých jsou káva i čaj pro monoho lidí nejvýznamnějšími zdroji ve stravě (Wang & Ho, 2009). Mezi nejhojněji zastoupené polyfenoly v čaji patří katechiny a theaflaviny, zatímco v kávě to je kyselina kávová a její derivát kyselina chlorogenová (Wang & Ho, 2009). Systematická přehledová práce (Doepker et al., 2022) například uvádí, že pitím jednoho šálku kávy denně by bylo možné zabránit odhadem 3,35 % ztracených let zdravého života důsledkem nemoci, a ještě větší přínos by bylo možné zaznamenat při pití 3 šálků kávy denně, kdy se odhaduje 6 % ztracených let zdravého života v důsledku nemoci (Doepker et al., 2022).

Často zmiňovaným účinkem kofeinu je pozitivní vliv na inzulinovou senzitivitu. Metaanalýza (Carlström & Larsson, 2018) shrnující 30 prospektivních kohortových studií přišla s výsledkem, že konzumace každého šálku kávy navíc (až do 8 šálků/24h) snižuje riziko vzniku diabetu mellitu o 6 %. Výsledky se však statisticky významně nelišily mezi kávou s kofeinem či bez kofeinu, a autoři tak opět přisuzují pozitivní účinek spíše ostatním látkám, které se v kávě nachází, než samotnému kofeinu (Carlström & Larsson, 2018). V tomto kontextu je zajímavá studie z roku 2020 (Alperet et al., 2020), během které byly podávány 126 lidem s nadváhou po dobu 6 měsíců buď 4 šálky denně instantní kávy nebo placeba. Inzulínová senzitivita se u skupiny s kávou nelišila od skupiny s placebem, což tedy nepodporuje tvrzení předchozí metaanalýzy (Carlström & Larsson, 2018). Nicméně za zmínku stojí, že skupina s kofeinem zaznamenala statisticky významný rozdíl ve ztrátě tělesného tuku (rozdíl v průměrech -3,7 kg, [-6,3, -1,1])(Alperet et al., 2020).

Výzkumné práce zabývající se vztahem kofeinu a energetického metabolismu naznačují, že kofein může ovlivnit energetickou bilanci zvýšením energetického výdeje (Hursel et al., 2011) či snížením energetického přijmu (Jessen et al., 2005; Tremblay & Houde, 1988), a potenciálně tak přispět k redukci (Tabrizi et al., 2019) či udržení (Icken et al., 2016) tělesné hmotnosti. Děje se tak díky jeho stimulačním účinkům na vyplavení stresových hormonů a sympatický nervový systém, což má za následek zvýšenou mobilizaci mastných kyselin z tukových zásob a následnou oxidaci, zvýšenou tvorbu tepla a tedy bazálního i celkového energetického výdeje (Harpaz et al., 2017). Metaanalýza (Tabrizi et al., 2019) randomizovaných kontrolovaných studií (N = 13) se zabývala právě tímto tématem, a její výsledky ukazují, že konzumace kofeinu měla vliv na redukci hmotnosti (β = 0,29, [0,19, 0,40]), BMI (β = 0,23, [0,09, 0,36]) i množství tělesného tuku (β = 0,36, [0,24, 0,48]). Hursel a kolektiv (Hursel et al., 2011) ze své metaanalýzy odhadují, že zvýšení dávky kofeinu o 1 mg přinese zvýšení průměrného energetického výdeje o 0,44 kJ [0,23 - 0,65], a zvýšení dávky kofeinu o 1 mg společně s katechiny obsaženy v čaji pak přinese zvýšení průměrného energetického výdeje o 0,53 kJ [0,20 - 0,86]. Autoři déle uvádí, že byl pozorován průměrný denní nárust energetického výdeje o 428 kJ (102 kcal) ve spojitosti s konzumací kofeinu oproti placebu (Hursel et al., 2011).

Další oblastí, kde můžeme pozorovat pozitivní dopady konzumace kofeinu, je prevence neurodegenerativních onemocnění. Progresivní zánik neuronů u starší populace, a tedy

rozvoj neurodegenerativních onemocnění jako Alzheimerova choroba, demence či Parkinsonova nemoc, je vážným problémem současnosti (Olazarán et al., 2023). Jelikož kofein působí v mozku na centrální nervovou soustavu (viz. kapitola 1,1,1), kdy nejen inhibicí adenosinových receptorů zajišťuje zvýšené hodnoty neurotransmiterů (Fiani et al., 2021), ale také zvýšením aktivity v dopaminergních systémech (Volkow et al., 2015) či antioxidační aktivitě (Barcelos et al., 2020) může potencionálně pomoci bojovat proti zániku neuronů v mozku (Kolahdouzan & Hamadeh, 2017).

Většina rozsáhlých kohortových (Kolahdouzan & Hamadeh, 2017; Wu et al., 2017) i experimentálních (Londzin et al., 2021) studií se shoduje, že kofein může být účinným pomocníkem proti rozvoji či při léčbě těchto druhů onemocnění. Například studie (Eskelinen et al., 2009) trvající 21 let (875 žen, 534 mužů) zjistila, že průměrná denní konzumace kávy (3 - 5 šálků) podstatně snižuje riziko vzniku Alzheimerovy choroby (o 62 - 64 %) a demence (o 65 - 70 %) v pozdějším věku ve srovnání s nízkou konzumací kávy (0 - 2 šálky). Další práce však uvádí podstatně nižší snížení rizika Alzheimerovy choroby při pravidelné konzumaci kávy, a to o 18 % (Kim et al., 2015). Většina studií však zkoumá konzumaci kofeinu ve formě kávy, a tudíž není jasné, zda za benefitní vlivy na neurodegenerativní onemocnění může kofein či látky obsaženy v kávě. Poznání této oblasti je navíc založeno především na pozorovacích kohortových studiích, které neumožňují ověřovat příčinné vztahy.

Na závěr, otázku bezpečnosti kofeinu jako takového či ve formě kávy asi nejobsáhleji shrnuje zastřešující systematická analýza 132 metaanalýz observačních studií a 9 metanaalýz randomizovaných kontrolovaných studií (Grosso et al., 2017). Většina těchto prací se zaměřila na kávu (N = 121), a na základě výsledků pravděpodobně konzumace tohoto nápoje snižuje riziko (risk ratio, RR): několik typů rakovin (kolorektální 0,98, prsu 0,98, prostaty 0,90, tlustého střeva 0,91, endometria 0,80), kardiovaskulárního onemocnění (0,95), úmrtnost na kardiovaskulární onemocnění (0,89), Parkinsonovu nemoc (0,70) a diabetes 2. typu (0,71). Výrazně menší počet metaanalýz (N = 20) zaměřující se čistě na kofein zahrnutých v této souhrnné studii vyvozuje, že jeho konzumace pravděpodobně snižuje riziko pouze u Parkinsonovy nemoci (0,67) a diabetu 2. typu (0,70). Naopak konzumace kofeinu by mohla pravděpodobně zvýšit riziko potratu (1,21). Z výsledků tedy vyplívá, že z řad diskutovaných zdravotních benefitů konzumace kávy mohou pravděpodobně spíše jiné látky přítomné v kávě než kofein samotný (Carlström & Larsson, 2018). Nicméně je nutno připomenout velký nepoměr v počtu

metaanalýz zabývajících se vlivem kávy či samotného kofeinu na zdraví. Autoři tak vyvozují, že právě malý počet prací se samotným kofeinem by mohlo být možná důvodem, proč je nižší pravděpodobnost rizik pouze u pár zdravotních parametrů oproti kávě (Grosso et al., 2017).

Pro shrnutí, i přes některé reportované negativní dopady se v současnosti kofein jako takový jeví jako nezávadná, možná i prospěšná látka, pokud je konzumována v doporučené dávce. Nicméně za určitých okolností (nadměrné množství, genotyp CC v genu CYP1A2, těhotenství, neoptimální načasování) může mít i negativní projevy vzhledem k našemu zdraví.

1.3 Kofein a sport

Sportovci se často uchylují k různým strategiím a prostředkům za účelem maximalizace svého výkonu. Jedním z významných trendů v oblasti sportovní výživy je užívání doplňků pro podporu výkonu. Díky ohromné dostupnosti, vysoké bezpečnosti a možným ergogenním účinkům na fyzický i mentální výkon, je právě kofein považován za jednu z nejužívanějších látek ve sportu.

Vzhledem k hlášenému (zne)užívání kofeinu při sportovních soutěžích (Delbeke & Debackere, 1984)) byla tato látka v roce 1984 zařazena na seznam dopingových látek. Aby se odlišilo společenské užívání kofeinu od dopingových prohřešků, stanovily antidopingové orgány povolenou hranici koncentrace kofeinu v moči nejprve na 15 mg/mL a v roce 1985 na 12 μg/ml (Del Coso et al., 2011). Tato hraniční hodnota však vyvolala kontroverzi, jelikož se ukázalo, že i po konzumaci kofeinu v ergogenním množství (tzn. od 3 do 6 mg/kg tělesné hmotnosti) je hodnota kofeinu v moči výrazně nižší než 12 μg/ml (Del Coso et al., 2011). Sportovci tedy mohli plně čerpat ergogenních benefitů kofeinu i během tohoto restriktivního období. Od ledna 2004 je tento stimulant opět legální v jakémkoliv množství. Za zmínku stojí, že například prevalence koncentrace kofeinu v moči >12 μg/ml u španělských sportovců byla pouhých 0,79 % v roce 2004 (N = 2788), 0,87 % v roce 2008 (N = 2543) a 0,60 % v roce 2015 (N = 2157) (Aguilar-Navarro et al., 2019). Ani prevalence užívání kofeinu jako takového se napříč lety nijak dramaticky nezměnila; procenta vzorků s detekovatelným kofeinem byla 70,3 % v roce 2004, 69,8 % v roce 2008 a 75,7 % v roce 2015, a nejvyšší medián koncentrace kofeinu v moči u sportovců byl v roce 2015, a to 0.9 μg/ml (IQR = 0,1 – 2,4 μg/ml) (Aguilar-Navarro et al., 2019).

1.4 Mechanismy účinku kofeinu na sportovní výkon

Primárním mechanismem účinku kofeinu na sportovní výkon je jeho stimulační vliv na centrální nervovou soustavu díky působení jako antagonista adenosinu (Davis et al., 2003) a vlivu na produkci stimulujících neurotransmiterů (Alasmari, 2020) popsaných v kapitole 1.1.

Vliv na centrální nervovou soustavu je sice primárním, ale ne jediným z mechanismů ergogenního působení kofeinu v organismu. Co se týče změny fyzického výkonu a svalové funkce, kofein například reguluje využívání svalového glykogenu při svalové

práci díky zvýšené oxidaci mastných kyselin, díky čemuž může dojít k šetření svalového glykogenu a tedy potenciálně zlepšení dlouhodobého vytrvalostního výkonu (Jeukendrup & Randell, 2011). Dále také zvyšuje vyplavování vápníku ze sarkoplasmatického retikula a tím zvyšuje afinitu myofilamentu k tomuto vápníku, což potenciálně může vést k zapojení více svalových vláken, tedy náboru motorických jednotek (Bazzucchi al., 2011), a tedy teoretického zlepšení silového či rychlostního výkonu (Bazzucchi et al., 2011).

Vliv kofeinu na kůru nadledvin a zvýšení sekrece stresových hormonů adrenalinu, noradrenalinu a kortizolu je též dobře známým mechanismem účinku, který tak díky stimulačním účinkům na organismus sekundárně podporuje sportovní výkon (Kamimori et al., 2000). Díky tomuto efektu jsou umocněny termogenní a lipolytické procesy v tle, což může najít uplatnění v estetických sportech či sportech s hmotnostními kategoriemi (Dalbo et al., 2008). Není proto divu, že kofein můžeme najít v drtivé většině fitness komunitou oblíbených skupin doplňků stravy jako „nakopávače“ (předtréninkové doplňky) či „spalovače“.

1.5 Optimalizace užívání kofeinu

Pro účinné užívání jakékoliv doplňku stravy v rámci sportovní výživy je nezbytné znát optimální parametry tohoto užívání. Jedná se především o množství, časování (neboli timing) a formu.

Množství kofeinu je zásadní, ale silně individuální proměnná. Stejná dávka tohoto stimulantu může vyvolat u dvou lidí stejných tělesných parametrů odlišnou reakci, a to na základě genetického podkladu (Guest et al., 2018; Loy et al., 2015)či míry vybudované tolerance (Haskell et al., 2005). V drtivé většině uvádí odborná literatura za optimální ergogenní množství 3 - 6 mg/kg (VanDusseldorp et al., 2021). Nicméně novější práce naznačují, že srovnatelně erogenních benefitů kofeinu lze dosáhnout i po menších dávkách jako 1 - 2g/kg (Grgic, 2022).

Načasování a forma jsou dva na sobě závislé parametry při užívání této látky, jelikož každá forma má jinou rychlost vstřebání, a tedy dosažení vrcholové koncentrace v krvi. Kofein bývá v drtivé většině případů konzumován sportovci ve 3 základních formách, a to kapsli, roztoku kofeinu ve formě nápoje či gelu, nebo žvýkačce (Wickham & Spriet, 2018). V rámci experimentálních studiích zabývajících se sportovním výkonem, se

nejčastěji setkáváme s kofeinem ve formě kapslí, a tato forma je odbornou veřejností nejvíce doporučována (Guest et al., 2021). Nicméně, v porovnání s ostatními formami je rychlost vstřebání kofeinu z kapsle nejpomalejší. Tuto formu je třeba zkonzumovat 60 min před výkonem pro dosažení optimálního nástupu účinku (Kamimori et al., 2002).

Nejpohotovější forma kofeinu, tzn. s nejrychlejším vstřebáním, je žvýkačka, jelikož vstřebání probíhá již na úrovni sliznice úst (Aslani & Jalilian, 2013). Optimální načasování této formy je 15 minut před výkonem (Kamimori et al., 2002), a může se tak uživatelům hodit při neočekávaných situacích, kdy je potřeba co nejrychlejší nástup účinku.

Pití kávy, nejkonzumovanějšího zdroje kofeinu vůbec, před výkonem je velmi oblíbenou volbou formou kofeinu velké části sportovců (Pickering & Kiely, 2019). Avšak limitací konzumace kávy je, že nelze jednoznačně stanovit, kolik přesně kofeinu se v dané kávě nachází. Koncentrace kofeinu v kávě závisí na mnoha faktorech jako například odrůda kávy, metoda a doba přípravy, stupeň pražení či teplotě a množství vody při přípravě (Olechno et al., 2021). Navíc, jeden běžný šálek kávy pravděpodobně nedosáhne ani na spodní hranici obecného doporučení (tj. 3 mg/kg); například jedno espresso obsahuje kolem 85 mg kofeinu a porce instantní kávy 60 mg kofeinu (Burdan, 2015). Tyto limitace může řešit energetický nápoj, další forma kofeinu, která v posledních letech stoupá na oblibě (Sampasa-Kanyinga et al., 2020). Nejenže je stanoveno, kolik kofeinu se v daném energetickém nápoji nachází, ale množství kofeinu se ve většině případech přibližuje již zmíněné hranici 3 mg/kg, jelikož například velká 500 ml plechovka obsahuje zpravidla 160 mg kofeinu (Alford et al., 2001). Tyto nápoje však obsahují i několik jiných látek, což může mít své výhody (například přítomnost prokazatelně ergogenních sacharidů) i nevýhody (přítomnost dalších látek, které nemají prokazatelný vliv na výkon, nebo jsou přítomny v zanedbatelných a neefektivních množstvích, či ještě není znám jejich vliv na zdraví člověka) (Cao et al., 2020; Wilson et al., 2013). U tekutých forem kofeinu (káva, energetické nápoje, atd.) je za optimální načasování konzumace před výkonem považováno rozmezí 30 - 45min, po této době dochází k vrcholným hodnotám kofeinu v krvi (Liguori, 1997).

Je však důležité zmínit, že na konzumaci kofeinu reaguje náš organismus adaptací, tedy zvýšením tolerance mechanismy uvedenými v kapitole 1.1.2. Práce z roku 2019 (Pickering & Kiely, 2019) udává, že pro dosažení stejné míry stimulace je tedy třeba

dávku kofeinu zvyšovat nebo konzumaci strategicky cyklovat, a sportovci pravidelně užívajícímu kofein je tedy, pro využití maximálního ergogenního potenciálu, doporučeno zvýšit před samotným výkonem dávku tohoto stimulantu nad jeho běžně zkonzumované množství za den (Pickering & Kiely, 2019). Rešerše a metaanalýza z roku 2022 (Carvalho et al., 2022) však toto tvrzení vyvrací, jelikož přišla s výsledy, že konzumace dávky kofeinu, která byla nižší než obvykle konzumované množství, byla stejně účinná jako konzumace dávky, která byla vyšší než dávka obvyklá. Autoři tak udávají, že k ergogenním účinkům ze suplementace kofeinem není nutné vysazení kofeinu (Carvalho et al., 2022).

Pro shrnutí na závěr, za optimální parametry užívání kofeinu pro sportovce zůstává: 3 - 6 mg/kg ve formě tablety 60min před výkonem (VanDusseldorp et al., 2021).

1.6 Vliv kofeinu na sportovní výkon

Vliv tohoto stimulantu na různé aspekty sportovního výkonu je testován již po několik desetiletí. V současné odborné literatuře nalézáme řadu studií a evidence poukazující na jeho ergogenní efekty od kognitivních funkcí až po fyzický výkon (Guest et al., 2021) Co se týče sportovního výkonu, nejvíce byl studován vliv kofeinu na střednědobou a dlouhodobou aerobní činnost. Dle meta-analýzy 46 studií (N = 1001,Southward et al., 2018), tento druh výkonu zlepšuje kofein s největší podpůrnou evidencí, však s malou až triviální velikostí efektu (ES), a to v průměru o 2 - 3 %, $ES_{Hedges' g}$ = 0,41, SD = 0,2. Na rychlostní výkon v podobě jak samostatných ($ES_{Glass's \Delta}$ = 0,16 [0,02, 0,30]) tak opakovaných ($ES_{Glass's \Delta}$ = 0,14 [0,03, 0,25]) sprintů působí tento suplement též (relativně malým) ergogenním účinkem (N = 466, Salinero et al., 2019). Dalším aspektem sportovního výkonu, kde dostupná evidence poukazuje, že jej kofein pravděpodobně zlepšuje, jsou kognitivní funkce jako pozornost (Calvo et al., 2021) nebo přesnost (Chia et al., 2017). Užívání tohoto suplementu může zlepšovat i jiné druhy sportovního výkonu jako je anaerobní vytrvalost (Davis & Green, 2009) nebo maximální síla (Grgic et al., 2018). Nicméně výzkum zde zatím přináší spíše smíšenou evidenci vlivem malého množství dosud provedených studií či jiné nejasnosti, na jejichž základě je zatím těžké vyvozovat závěry.

1.6.3 Vliv kofeinu na maximální sílu

Silový výkon, jako aspekt hrající důležitou roli v mnoha sportovních disciplínách, je ve spojitosti s kofeinem poměrně hojně testován (Diaz-Lara et al., 2016; Ratamess, 2011) Literatura přináší evidenci, že kofein zlepšuje silovou vytrvalost (Polito et al., 2016, N = 248, ES = 0,38 [0,29, 0,48]), výbušnou (Grgic et al., 2018, N = 145, ES = 0,17) i maximální sílu (Grgic et al., 2018, N = 149, ES = 0,20). Nicméně zejména u posledního zmíněného druhu síly (běžně vyjádřeného jako výkon pro jedno maximální opakování – 1RM) může být efekt kofeinu v některých případech nejasný (Grgic et al., 2018). Výsledky již zmíněné metaanalýzy (Grgic et al., 2018) totiž ukazují, že oproti placebu kofein zvýšil maximální sílu horní poloviny těla v průměru o 3,2 kg (ES = 0,21), ale dolní poloviny pouze o 1,7 kg (ES = 0,15). Aktuálnější shrnutí tohoto poznání od stejného autora (Grgic, 2021) ale uvádí, že v nových studiích se zlepšení benchpressu ($ES_{Cohenovo\ d}$= 0,11- 0,45) od zlepšení dřepu ($ES_{Cohenovo\ d}$ = 0,27) po konzumaci kofeinu významně nelišilo.

Dosavadní literatura tedy uvádí efekty kofeinu na maximální silový výkon pro horní (benchpress) a dolní (dřep/legpress) polovinu těla, které se zdají být obdobné. Nicméně v pracích Grgic a kol. (Grgic, a kol., 2019) ani Grgic (2021) třeba nebyla žádná studie ohledně výkonu v mrtvém tahu, i když autoři předpokládají, že velikost efektu by měla být porovnatelná s již zmíněnými cviky. Tento silový výkon celého těla, který mrtvý tah reprezentuje, je důležitý parametr v řadě sportů, jako jsou například úpoly (Ratamess, 2011) či silový trojboj (Aasa et al., 2022) a stojí tedy za další zkoumání. Nedávné 3 studie, které testovaly vliv kofeinu na maximální sílu izometrického zádového zdvihu (poslední fázi mrtvého tahu), dospěly ke smíšeným výsledkům. Zatímco ve studii Harty a kol. (2020, N = 29) suplementace kofeinem zlepšila tento výkon (d = 0,21), ve druhé studii od Burke a kol. (2021, N = 11) nebyl pozorován rozdíl mezi kofeinem a placebem (g = 0,12) jako statisticky významný. Ve studii Tamilio a kol (2022, N = 22) se pak vliv kofeinu oproti placebu testoval 3 krát, kdy u prvního termínu došlo po konzumaci kofeinu ke zhoršení (d = -0,32), u druhého ke zlepšení (d = 0,34) a u třetího k žádnému rozdílu (d = 0,08). Dále nám jsou známy 2 studie s mrtvým tahem a kofeinem (Duncan et al., 2013; Ferreira et al., 2022). Starší studie Duncana a kol. (2013, N = 11) se týkala silové vytrvalosti, kdy konzumace kofeinu zlepšila maximální počet opakování oproti konzumaci placeba (19,6 ± 3,7 vs 18,5 ± 4,1), avšak výsledky nemůžeme jednoduše zobecnit na samotný mrtvý tah, jelikož výsledek testu na maximální počet opakování s 60

% 1RM není v této práci uveden jen pro samotný mrtvý tah, ale pouze souhrnně pro všechny cviky dohromady (mrtvý tah, benchpress, dřep, přítah činky v leže na lavici). Novější studie Ferreiry a kol. (2022, N = 21) zkoumala vliv kofeinu na sílu mrtvého tahu pomocí testu na 10 opakování, z čehož pak predikovali jedno opakovací maximum. Konzumace kofeinu měla statisticky významný ergogenní vliv oproti placebu, a to jak u dávky 6 mg/kg (d = 0,6), tak i 8 mg/kg (d = 0,78).

Další důležitý parametr a druh výkonu v řadě sportů je schopnost provádět maximální celotělový silový výkon opakovaně a po nedostatečném odpočinku mezi opakováními. Takové podmínky se vyskytují například v zápase v judu a wrestlingu (Baić et al., 2022), při soutěži strongmanů (Winwood et al., 2015) ale i při běžném fitness tréninku. Nejsme si však vědomi žádné studie, které by se zabývala vlivem kofeinu na takový projev silového výkonu.

Dle dostupné evidence má kofein ergogenní efekt na celé spektrum výkonů, ať aerobních, tak anaerobních a pohybují se rámcově ve zlepšení 2 - 3 %, tedy malých efektů. Při testování vlivu kofeinu na maximální sílu se výzkumníci zabývali porovnáním obou polovin těla, kde v jedné části studií kofein vedl ke většímu zlepšení síly horní poloviny oproti dolní, aktuálnější evidence však takový rozdíl již nepozoruje. Seč se očekává, že změna výkonu bude v podobné míře, zatím se kupodivu ví jen velmi málo o vlivu kofeinu na maximální sílu celotělového silového výkonu jako mrtvý tah. Též si nejsme vědomi evidence o vlivu kofeinu na maximální opakovaný silový výkon po nedostatečném odpočinku.

Tato studie si proto bere za cíl přispět k předchozí evidenci a otestovat vliv 3mg/kg kofeinu na výkon v mrtvém tahu a cviku na horní polovinu těla (benchpress) při izometrickém provedení v porovnání s placebem a bez podání žádné látky. Dále si tato práce bere za cíl otestovat, zda kofein ovlivňuje udržení maximální síly u cviku izometrický zádový zdvih během několika opakování s nedostatečným odpočinkem mezi nimi. V poslední řadě pak porovnat výkon izometrického zádového zdvihu (výkon dolní poloviny těla) s výkonem horní poloviny těla.

2. PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Cíle práce

1. Otestovat vliv kofeinu na maximální svalovou sílu u komplexního cviku (mrtvý tah) a cviku na horní polovinu těla (benchpress) při statickém (izometrickém) provedení.
2. Porovnat efekt kofeinu na maximální sílu u prvního opakování cviku izometrický zádový zdvih (dolní polovina těla) a cviku izometrický benchpress (horní polovina těla).
3. Otestovat možný ergogenní vliv kofeinu na udržení maximální síly izometrického zádového zdvihu při opakováních s nedostatečným odpočinkem.

2.2 Výzkumné otázky

1. Má suplementace kofeinem ergogenní efekt na maximální izometrický výkon u komplexních celotělových cviků?
2. Liší se velikost efektu suplementace kofeinem na maximální sílu mezi cvikem na dolní polovinu těla a cviku pro horní polovinu těla?
3. Má kofein ergogenní účinky na schopnost udržení maximální síly po neúplném zotavení?

2.3 Predikce

1. Očekáváme, že výkon maximální izometrické síly v komplexním celotělovém cviku (mrtvý tah) se při suplementaci kofeinem oproti placebu zvýší.
2. Očekáváme, že výkon maximální izometrické síly ve cviku pro horní polovinu těla (benchpress) se při suplementaci kofeinem oproti placebu zvýší.
3. Očekáváme, že efekt suplementace kofeinem na maximální sílu mezi cvikem pro dolní polovinu těla a cvikem pro horní polovinu těla se nebude rozlišiteleně lišit.
4. Očekáváme ergogenní efekt kofeinu na udržení maximální síly po neúplném zotavení oproti placebu.

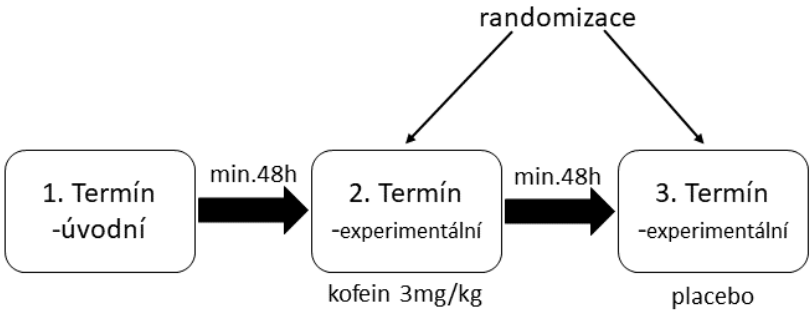
2.4 Materiál a metody

Protokol studie a návrh všech analýz pořízených dat byl registrován na Open Science Framework (https://osf.io/befxp/?view_only=6fa01b47b6664665b03b9b53a5f904ee). Návrh tohoto projektu byl před svou realizací podán ke schválení Etické komisi UK FTVS (č. 177). Dokumenty návrhu i informovaného souhlasu jsou nahrány v přílohách práce (viz. příloha I a II). Projekt proběhl ve spolupráci s Katedrou gymnastiky a úpolových sportů a Laboratoří tréninkové adaptace FTVS UK.

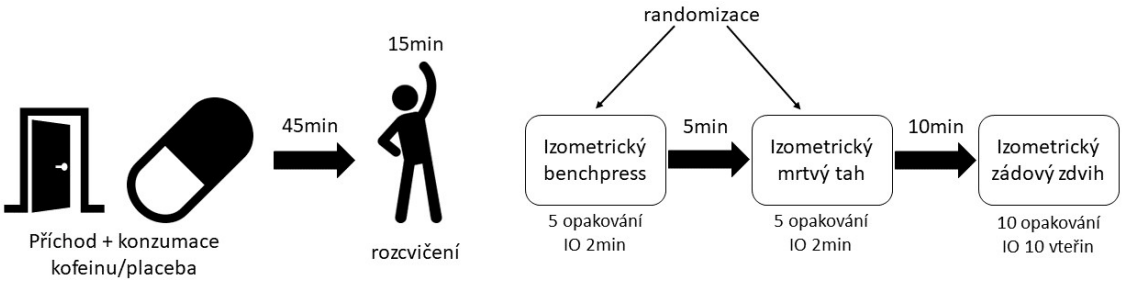
2.4.1 Procedura

Celá studie se skládala ze 3 termínů měření – jednoho úvodního a dvou experimentálních. V prvním úvodním termínu byli participanti obeznámeni s průběhem studie, byl jim předložen k podpisu informovaný souhlas, vyplnili účelově sestavený dotazník, bylo provedeno antropometrické měření a měření tělesného složení. Dále v tomto termínu proběhnulo po familiarizaci první měření maximální izometrické síly bez užití kofeinu či placeba pro seznámení se s testy a stanovení výchozích hodnot. V dalších dvou experimentálních termínech proběhlo měření výkonů po požití 3 mg/kg kofeinu a placeba. Pořadí těchto dvou termínů bylo pro každého participanta randomizováno a podání dávky kofeinu a placeba bylo dvojitě zaslepeno. Mezi každým termínem měření uplynulo minimálně 48 hodin pauza (Tallis & Yavuz, 2017) pro zajištění dostatečné regenerace. Harmonogram průběhu studie je vyobrazen na Obrázku 1. Participanti byli požádání, aby se 12 hodin před každým termínem měření vyvarovali konzumaci jakéhokoliv produktu obsahujícího kofein (Filip-Stachnik et al., 2021). Dále byli instruováni, aby den před termínem měření neprováděli žádnou významnou a cílenou fyzickou zátěž (běh, posilování atd.), také aby si donesli své vlastní vhodné sportovní oblečení, obuv a pomůcky (vzpěračské popruhy, pás, atd.).

Během dvou experimentálních termínů měření participanti požili ihned po příchodu buď placebo nebo 3 mg/kg kofeinu. Po 45 minutách klidu následovalo patnáctiminutové standardizované rozcvičení (Geethavani et al., 2014) Následně se participanti podrobili testům maximální izometrické síly na jedno opakování u cviků mrtvý tah a benchpress. Pořadí těchto dvou testů bylo randomizováno. Jako poslední byl proveden test izometrického zádového zdvihu na 10 opakování s nedostatečným intervalem odpočinku. Harmonogram experimentálního termínu měření je znázorněn na Obrázku 2.



Obrázek 1- Harmonogram průběhu studie



Obrázek 2- Harmonogram průběhu experimentálního termínu měření (IO= interval odpočinku mezi opakováními)

2.4.2 Participanti

Participanti byly rekrutování z řad studentů UK FTVS, a to pomocí reklamy na sociálních sítích, letáky v prostorách fakulty (k nahlédnutí v přílohách) a metodou sněhové koule. Jelikož se jednalo o studii s návykovou látkou, mohly se z etických důvodů zúčastnit jen osoby, které sami, dobrovolně a běžně užívají kofein, a řadily se tak mezi normální denní uživatele (minimálně 100 mg/den) (Fine et al., 1994) Dále se participanty mohli stát pouze muži ve věkovém rozmezí 18 až 40 let, všeobecně zdraví a aktivní sportovci, kteří měli zkušenosti se silovým tréninkem (minimálně jeden rok aktivního silového tréninku s frekvencí minimálně 2× týdně) a cvikem mrtvý tah a benchpress (minimálně roční zkušenost s těmito cviky a zařazení do tréninku minimálně jednou za 2 týdny). Tato kritéria byla ověřena dotazníky viz. níže. Participanti byli dále požádání, aby se vyvarovali 12 hodin před každým termínem měření konzumaci jakéhokoliv produktu obsahujícího kofein pro zajištění minimálních hodnot kofeinu v organismu před samotným měřením. Během posledního dne měření bylo participantům nabídnuto, zda chtějí zaslat své výsledky (ukázka výstupu v příloze III).

2.4.3 Účelový a standardizovaný dotazník

Participanti obdrželi k vyplnění účelově sestavený dotazník a modifikovanou verzi standardizovaného dotazníku během úvodního termínu měření pro ověření splnění požadavků pro participaci, což byly dostatečné zkušenosti se silovým tréninkem a aktivní užívání kofeinu. Pomocí účelového dotazníku jsme zjišťovali jejich základní demografické údaje jako věk, dále jejich zkušenosti se silově-vytrvalostním tréninkem (například délku tréninku, intenzitu, sebehodnocenou úroveň výkonu a techniky) a konkrétně s prováděním cviků mrtvý tah a benchpress. U těchto cviků uvedli svůj maximální výkon, jak hodnotí svou techniku provedení, četnost zařazování do tréninku a délku zkušenosti s prováděním těchto cviků. Dále jsme se v tomto dotazníku participantů tázali, jaký minimální efekt (v procentech) by suplementace kofeinem měla na maximální silový výkon mít, aby pro ně byla potenciálně zajímavá a k zařazení do suplementace, nicméně to není součástí této práce.

Ke zjištění průměrného denního příjmu kofeinu a jeho zdroje u participantů byla použita modifikovaná verze standardizovaného dotazníku The Caffeine Intake Questionnaire (Lachenmeier et al., 2013). Na základě tohoto dotazníku jsme byli schopní určit míru konzumace kofeinu za den, a ověřit tak, zda participanty považovat za aktivní průměrné denní uživatele (minimálně 100 mg/24hod, což je např. jedno větší espresso, litr kolového nápoje, jeden dávka běžného preworkout suplementu, apod.). Oba dotazníky jsou k dispozici k nahlédnutí v přílohách IV a V.

2.4.4 Antropometrie a měření tělesného složení

Ke zjištění základních antropometrických údajů participantů během úvodního termínu měření, jsme měřili tělesnou výšku pomocí stadiometru, tělesnou hmotnost a tělesné složení (množství kosterního svalstva, procento tělesného tuku) pomocí bioimpedační váhy (Tanita MC-980). Měření tělesného složení proběhlo za standardizovaných podmínek, tedy po vyprázdnění močového měchýře, obdobné najezení a hydratování, a ve spodním prádle (Gualdi-Russo & Toselli, 2002)

2.4.5 Tablety kofeinu a placeba

Obdobně jako v předchozích studiích (Durkalec-Michalski et al., 2019; Glaister et al., 2008; Harty et al., 2020) byl použit čistý farmaceutický kofein a maltodextrin (z eshopu 4fitness.cz) jako placebo podané ve formě kapslí(velikost 00, želatinové, z eshopu futunatura.cz). Kapsle s kofeinem (3 mg/kg) a placebem (3 mg/kg) byly připraveny pro

každého participanta individuálně na základě jeho tělesné hmotnosti zjištěné při úvodním termínu měření (například pro participanta s hmotností 70 kg byly připraveny kapsle s 210 mg kofeinu a 210 mg placeba). Hmotnost látek v kapslích byla měřena s přesností ± 1mg se zaokrouhlením dolů.

Každá kapsle byla uložena v sáčku označeném kódem příslušného participanta a kódem označujícím, zda obsahoval kofein nebo placebo. Pro dvojité zaslepení byl tento kód znám pouze osobě, která chystala kapsle, ale nepracovala s participanty při měření. Kódování potom bylo předáno řešiteli tohoto projektu až po dokončení zaslepené analýzy dat. Pořadí kdy kdo dostane kterou tabletu bylo taktéž znáhodněno stejnou osobou, která nepracovala s participanty. Randomizace proběhla přes webovou stránku randomizer.org. V každém experimentálním termínu měření byla participantům podána jedna kapsle, kterou zapili poskytnutou sklenicí vody.

Možným projevem nástupu účinku kofeinu je zvýšení klidové srdeční frekvence v průměru o 4 tepy/min (Geethavani et al., 2014). Z hlediska bezpečnosti jsme tak u každého participanta vždy před rozcvičením zahájili monitoring srdeční frekvence pomocí hrudního pásu (Polar H10), které následně trvalo až do konce termínu měření.

2.4.6 Výkonnostní testy

K určení maximální síly jsme použili izometrické provedení u cviků benchpress, mrtvý tah (mid-shin pull) a zádový zdvih (mid-tigh pull). Toto izometrické provedení ukazují vysokou test-retest reliabilitu jak u benchpressu (ICC v rozsahu 0,89 - 0,97) (Young et al., 2014)tak u zádového zdvihu (ICC = 0,97) (de Witt et al., 2018). Vrcholná síla (peak force) izomerického zádového zdvihu (r = 0,55) i mrtvého tahu (r = 0,78) navíc pozitivně koreluje s 1RM mrtvého tahu klasickým provedením s volnou činkou (Bartolomei et al., 2019).

Pro zajištění bezpečnosti a podání maximálních výkonů, 45 minut od konzumace kapsle participanti provedli standardizované rozcvičení (Tufano et al., 2020) pro silové výkony dle pokynů výzkumného pracovníka, který prováděl. Toto rozcvičení se skládalo ze cviků v následujícím pořadí: jízda na bicyklovém ergometru (odpor 100 W, 5 minut), dynamické protažení svalových skupin přední (kvadricepsů) a zadní (hamstringů) stany stehen (6 opakování na každou nohu), dřepy s hmotností vlastního těla (10 opakování), dynamické výpady (10 opakování na každou nohu), výskoky s hmotností vlastního těla

(5 opakování, 75% maximálního úsilí), dynamické protažení prsních svalů (6 opakování na každou stranu), kliky s hmotností vlastního těla (10 opakování).

Po rozcvičení byly participantům předvedeny a vysvětleny všechny cviky, které si následně vyzkoušel. Při této familiarizaci byla provedena případná korekce techniky. Na konci této fáze účastníci opakovaně provedli daný cviku se zvyšujícím se úsilím (50 %, 75 %, 90 % 1RM). Následně přišlo na řadu testování samotné maximální izometrické síly, kdy participanti provedl 5 pokusů maximální izometrické síly u obou cviků. Pokus trval maximálně 5 vteřin a mezi jednotlivými pokusy byl interval odpočinku 2 minuty (Comfort et al., 2019). Pauza mezi těmito dvěma cviky byla 5 minut. Jako poslední participanti provedli test maximální síly izometrického zádového zdvihu. Počet opakování u tohoto testu byl 10 a mezi nimi interval odpočinku 10 vteřin (Freitas De Salles et al., 2009). Během každého opakování byl participant povzbuzován a informován výzkumným pracovníkem stejnými slovy o co nejvíc podobné intenzitě.

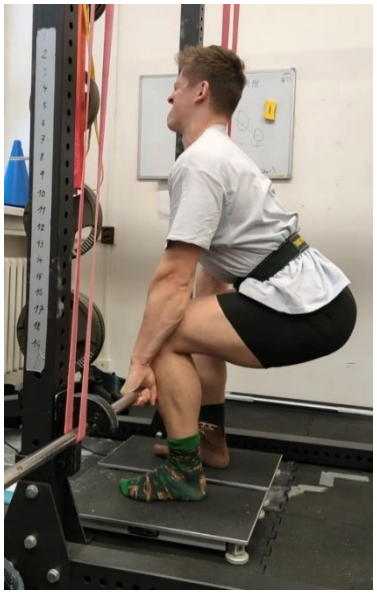
Abychom simulovali výkony za běžných podmínek u daného participanta, směl použít běžně používané pomůcky, na které byl zvyklý při provádění těchto cviků s maximálním úsilím (vzpěračský opasek, magnezium apod.). Zvolené pomůcky však musel použít při všech termínech měření. Vzpěračské popruhy (trhačky) byly pro všechny povinné.

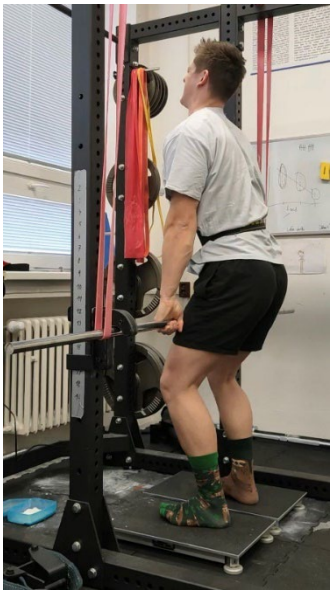
Všechny testy maximální izometrické síly byly provedeny v laboratoři (Tufano et al., 2020) ve speciální posilovací kleci se zarážecími výstupy a stacionární osou. K měření izometrické síly byly použity siloměrné desky (Hawkin Dynamics G3 Bilateral Force Plate). Během cviků izometrický mrtvý tah (osa upevněna 45 cm nad zemí) či zádový zdvih (osa upevněna tak, aby byl úhel v kolenou participanta v rozmezí 125 -145° a v kyčlích 140 - 150°) participanti stáli na siloměrných deskách. Během cviku izometrický benchpress (flexe v loktech 90°) pak participanti leželi na posilovací lavici (horizontální postavení), která byla umístěna na silových deskách. Následně provedli maximální izometrickou kontrakci proto stacionární ose upevněné v kleci. Ukázky provedení cviků se nachází na obrázcích 3-5.

Výstup z měření (Hawkin Dynamics G3 Bilateral Force Plate) jsme zaznamenávali v jednotkách Newton (N), Newton za sekundu (N/s) a Newton na kilogram (N/kg). Silové desky a jejich software nám poskytnul i další údaje jako vrcholná síla (Peak Force), relativní vrcholná síla (Relative Peak Force), rychlost nástupu síly (Rate of Force

Development), čas dosažení vrcholné síly (Time to Peak Force). Pro účely této práce byla využita pouze hodnota Peak force.

Obrázky 3-5: Provedení cviků izometrický mrtvý tah, izometrický benchpress, izometrické zádový zdvih





2.4.7 Statistická analýza

Ke statistické analýze všech pořízených dat jsme použili program Jamovi (The Jamovi Project, 2022, verze 2.3.28) a Jasp (JASP, 2023, verze 0.18.1). Nejprve jsme provedli základní deskriptivní statistiku pro každý termín a cvik, jako velikost vzorku, průměr se směrodatnou odchylkou, minimum a maximum. U těchto hodnot jsme ověřili, zda splňují předpoklady normality rozložení pomocí Shapiro-Wilk testu a vizuální inspekcí Q-Q grafů.

Následně jsme ověřili reliabilitu a konzistenci měření výkonu v rámci všech pokusů .pro každý cvik a termín. K tomu jsme použili Intra-class korelace (ICC) (Koo & Li, 2016) a analýzu reliability pomocí Jamovi modulu SimplyAgree, verze 0.1.0 (Caldwell Aaron, 2021). Použili jsme ICC two-way fixed model měřící konzistenci (typ ICC3). Výsledné ICC jsme uvedli včetně 95 % konfidenčního intervalu (CI) a za dostatečnou hranici shody jsme považovali hodnotu ICC ≥ 0,7.

Také jsme provedli explorační korelační analýzu síly asociace mezi výkony a stavy samostatně pro každý cvik, tedy například jak moc koreluje výkon ve stavu 1 se stavem 2, 3 pro mrtvý tah (MT). K tomuto účelu jsme použili Pearsonův (r) korelační koeficient včetně 95 % CI.

K ověření předpokladu 1 (kofein zvyšuje výkon v MT) (k jsme použili jednocestnou analýzu rozptylu s opakovaným měřením (one-way RM ANOVA), kde jako závislá proměnná byla maximální síla MT a prediktor s opakovaným měřením byl termín (tedy úvodní, placebo, 3mg). Kromě hlavního efektu (celkového rozdílu mezi termíny/stavy) jsme provedli post-hoc porovnání rozdílu mezi Placebo-Kofein, Výchozí-Placebo a Výchozí-Kofein. Stejný test byl proveden pro Bench Press, tedy predikci 2. Pro každou one-way RM ANOVA jsme provedli ověření sféricity (Mauchly´s test) dat.

Pro ověření predikce 3 o rozdílu velikosti efektů mezi cviky, jsme využili postup dle Altmana (Altman & Bland, 2003). Vypočítali jsme rozdíl mezi cviky jako d = Efekt_IMTP-Efekt_BP a jejich střední chybu jako $Se(d) = \sqrt{[\mathrm{SE}(\mathrm{Efekt}_{\mathrm{IMTP}})^2 + \mathrm{SE}\ (\mathrm{Efekt}_{\mathrm{BP}})^2}$ a 95% CI jako $\mathrm{d} - 1{,}96$ x SE (d) $a\ d + 1{,}96$ x $SE(d)$.

Predikci 4 jsme ověřili prostřednictvím generalizované lineární regrese. V této analýze sloužila jako závislá proměnná síla v jednotlivých opakováních maximální síly izometrického zádového zdvihu, jako prediktory sloužila jednotlivá opakování (jako kovariát) a termín (jako faktor). Sledovanými parametry v tomto modelu byly rozdíly ve sklonu regresních přímek vztahu maximální síly a počtu opakování mezi termíny měření.

Velikost efektu (vysvětlenou varianci) RM ANOVA testů jsme uvedli v η^2, pro regresní analýzu jako β a R^2. *Post-hoc* porovnání jsme provedli s Bonferroni korekcí pro mnohonásobná porovnání. Pro dílčí párová porovnání jsme uvedli velikost efektu v Cohenovo d. Všechny velikosti efektu a střední rozdíly byly doprovozeny jejich 95% CI a standardizované velikosti efektů (např. Cohenovo d) převedeny na relativní procentuální změny. Soubor s daty byl vložen do elektronických suplementů práce.

2.4.7.1 Síla testu a zdůvodnění velikosti vzorku

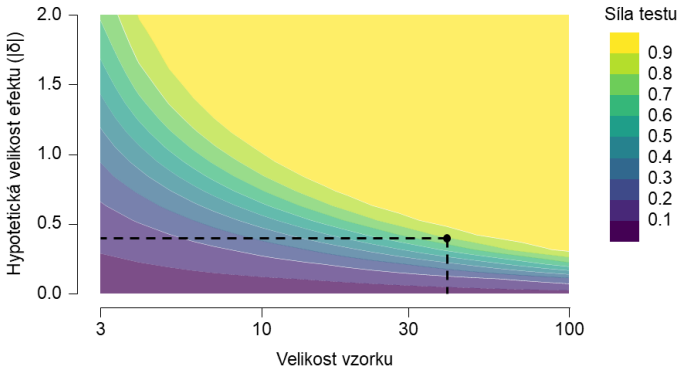
Jednotlivé předchozí studie, které se zabývaly vlivem suplementace kofeinu a jeho různých dávek na spektrum sportovních výkonů, jsou obvykle založeny velmi malých vzorcích (n = 6 - 30) (Grgic et al., 2018) a meta-analytické odhady poukazují na převážně malé velikosti efektů. Řada dílčích studí nereportuje veškeré údaje (jako síla korelace mezi opakovanými měřeními) nutné k provedení dostatečně informované a priori analýzy síly testu (Power analýzy). Proto pro tuto vnitro-subjektovou studii jsme naplánovali vzorek 40 participantů, který byl významně větší než v předešlých studiích (modus = 17) (Třebický, 2023) a poskytoval nám tak větší šanci s nižším procentem chyb 1. a 2. druhu

zachytit i relativně malé efekty. Sběr dat byl ukončen, když bylo dosaženo 40 participantů nebo do 15.4.2023.

Na základě analýzy sensitivity síly testu pomocí G*Power (Erdfelder & Buchner, 1996) nám tento vzorek poskytuje sílu testu (power) 80 % při hladině statistické významnosti 0,05 (pro jednostranný test; předpokládáme zvýšení výkonu oproti placebu) pozorovat efekty (velikosti rozdílů v post-hoc porovnáních) o hodnotě Cohenovo d = 0,4 (k dispozici na grafu 1). Výsledek post-hoc testu uvádí korigovanou p hodnotu pro dvoucestný test. Pro zjištění jednocestné p hodnoty tohoto testu bude výsledná p hodnota vydělena 2.

Pro test jednocestné ANOVA s opakovaným měřením (1 hlavní efekt, 3 opakovaná měření, korekce nesféricity dat 1; jelikož literatura neposkytuje informace o průměrné korelaci mezi opakovanými měřeními, byla použita defaultní hodnota G*Power 0,5) nám vzorek 40 participantů poskytuje sensitivitu při síle testu 80 % a hladině statistické významnosti 0,05 pozorovat celkové rozdíly s malým efektem o hodnotě Cohenovo f = 0,19, nebo-li η^2 0,035. Dataset a soubory analýz budou k dispozici v elektronických přílohách práce.

Graf 1- Analýza senzitvity testu (power analýza) pro rozdíl mezi průměry v párovém porovnání



Pozn. Černý bod značí sílu testu jednocestné ANOVA pozorovat velikost efektu 0,4 s velikostí vzorku 36

2.5 Výsledky

2.5.1 Participanti

Celkem se této studie zúčastnilo 37 participantů. Jeden participant však studii nedokončil, a proto je finální počet participantů 36. (věk: 23,6, SD = 3,2 let, tělesná hmotnost: 84,7, SD = 9.5 kg, tělesná výška: 181,48, SD = 6,79). Popisná statistika vzorku se nachází v Tabulce 3.

Tabulka 3- Základní popisná statistika o participantech

	Průměr	Směrodatná odchylka	Minimum	Maximum
Věk	23,56	3,24	19,0	31,0
Výška (cm)	181,48	6,79	166,3	196,4
Hmotnost (kg)	84,66	9,50	68	105,3
Tělesný tuk (%)	12,43	4,78	4,5	25,9
Svalová hmota (kg)	70,24	6,49	57,9	87,4

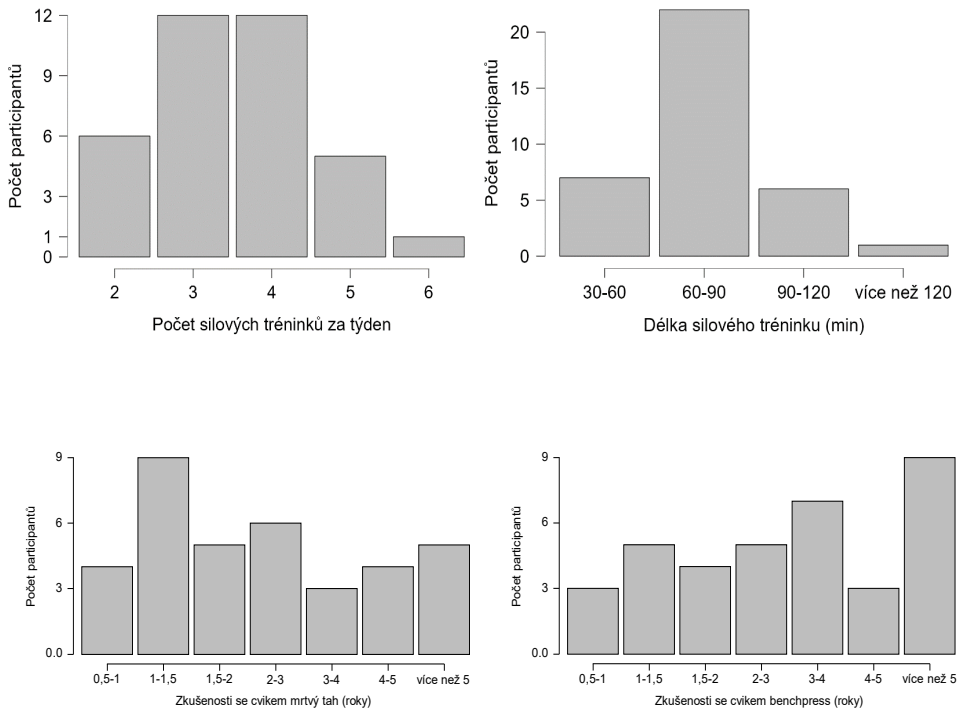
U výsledného vzorku participantů bylo ověřeno, zda participanti splňovali podmínky účasti, kdy na základě poskytnutých informací z dotazníků (Lachenmeier et al., 2013) byli všichni participanti vyhodnoceni jako obvyklí konzumenti kofeinu (obvyklá denní konzumace: 399,9; SD 246,8 mg, tedy vyšší než 100 mg). a silově trénovaní jedinci (zkušenosti se silovým tréninkem: 6,7; SD 4 let- tedy vyšší než 1 rok, uvedený maximální výkon u cviku mrtvý tah: 170,6; SD 33.8 kg, maximální výkon u cviku benchpress: 109,6; SD 19,7 kg). Přehled se nachází v tabulce 4.

Tabulka 4- Údaje o obvyklé denní konzumaci kofeinu a silové trénovanosti participantů

	Průměr	Směrodatná odchylka	Min	Max
Konzumace kofeinu (mg/den)	399,9	246,79	125,2	1131,9
Silový trénink (roky)	6,68	4,04	2	17
Max. výkon mrtvý tah (kg)	170,64	33,75	100	230
Max. výkon benchpress (kg)	109,6	19,72	70	150

Další informace z dotazníku k trénovanosti participantů (obvyklý počet tréninkových jednotek za týden, obvyklá délka tréninkové jednotky, zkušenosti se cviky mrtvý tah a benchpress) jsou znázorněny na grafu 2..

Graf 2- Přehled parametrů trénovanosti ze standardizovaného dotazníku

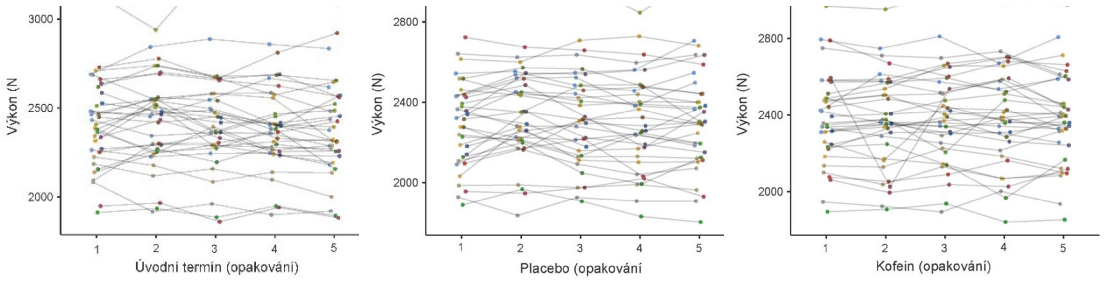


2.5.2 Rozdíl mezi vlivem kofeinu a placeba na maximální výkon v izometrickém mrtvém tahu

Participanti prováděli celkem 5 opakování cviku izometrický mrtvý tah v každém termínu měření, tudíž jsme prvně ověřili pro každý termín jejich konzistenci pomocí koeficientu intratřídní korelace (ICC3). Hodnota tohoto koeficientu byla 0,936 [0,907 - 0,960] pro úvodní termín, 0,948 [0,923 - 0,967] pro termín s placebem a 0,929 [0,896 - 0,955] pro termín s kofeinem. Tyto výsledky tak ukazují dostatečnou konzistenci (≥ 0,7) výkonů. Pro další analýzy tak jednotlivá opakování v rámci podmínky agregujeme a používáme jejich průměr průměr. Obrázek 5znázorňuje trend výkonů každého participanta u cviku mrtvý tah během všech 5 opakování během všech termínů měření.

Obrázek 4- ICC u cviku mrtvý tah během všech termínů měření

G



)

Po ověření reliability mezi jednotlivými termíny jsme provedli popisnou statistiku pro všechny termíny měření (průměr, SD, min a max), která se nachází v Tabulce 4. Následně jsme ověřili, že data splňují předpoklady normality rozložení pomocí Shapiro-Wilk testu (Tabulka 4) a vizuální inspekcí Q-Q grafů (v elektronických suplementech práce).

Tabulka 4- Popisná statistika u cviku mrtvý tah

					Shapiro-Wilk	
	Průměr (N)	SD	Minimum	Maximum	W	p
Úvodní	2429	282	1915	3172	0,946	0,077
Placebo	2342	262	1881	3063	0,964	0,289
Kofein	2403	261	1887	3072	0,974	0,531

Dále jsme u cviku mrtvý tah provedli explorační korelační analýzu síly asociace mezi výkony a stavy, k čemuž jsme použili Pearsonův korelační koeficient. Výkony ve všech stavech silně pozitivně a statisticky signifikantně korelovaly, (r = 0,921 - 0,963, Tabulka 5).

Tabulka 5- Korelace mezi jednotlivými termíny měření u cviku mrtvý tah

		Úvodní	Placebo	Kofein
Úvodní	Pearsonovo r	—		
	p-hodnota	—		
	95% CI Horní	—		
	95% CI Dolní	—		
	N	—		
Placebo	Pearsonovo r	0,921	—	
	p-hodnota	< ,001	—	
	95% CI Horní	0,959	—	
	95% CI Dolní	0,850	—	
	N	36	—	
Kofein	Pearsonovo r	0,922	0,963	—
	p-hodnota	< ,001	< ,001	—
	95% CI Horní	0,960	0,981	—
	95% CI Dolní	0,851	0.928	—
	N	36	36	—

Pro ověření rozdílů v průměrných výkonech mezi stavy u cviku mrtvý tah jsme použili jednocestnou analýzu rozptylu s opakovaným měřením (one-way RM ANOVA). Jako první krok jsme provedli ověření sféricity dat Mauchly´s testem. Výsledky tohoto testu

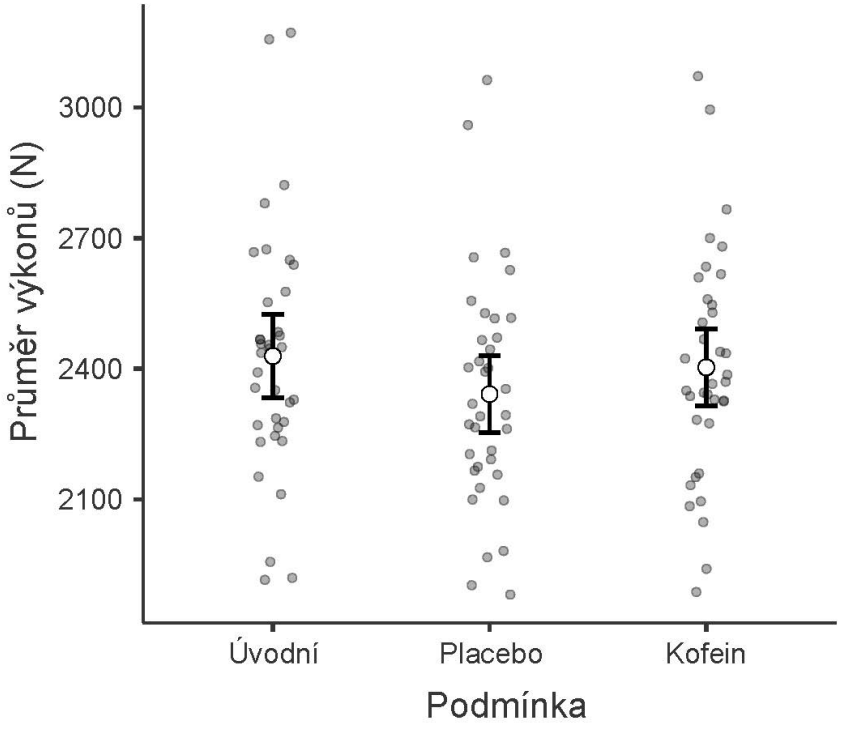
(Tabulka 6) ukazují narušenou sféricitu, a proto uvádíme následující výsledky one-way RM ANOVA s Greenhouse-Geisser korekcí.

Tabulka 6- Test sféricity dat u cviku mrtvý tah

	Mauchlyho W	p	Greenhouse-Geisserovo ε	Huynh-Feldtovo ε
Podmínka	0,774	0,013	0,816	0,850

Výsledky one-way RM ANOVA testu ukázaly, statisticky rozlišitelný rozdíl mezi podmínkami s $F_{1,63 \text{ a } 57,1} = 15,00$, $p = <0,001$, $\eta^2 = 0,019$ (Graf 5).

Graf 5- Rozdíly v průměrech u cviku mrtvý tah



Pozn: bílá kolečka= průměry všech participantů, chybové úsečky= 95% konfidenční intervaly, šedá kolečka= průměry výkonů jednotlivých participantů

Následný post-hoc test statisticky významný rozdíl mezi placebo (průměr = 2342 N, SD = 262) termínem a kofeinovým (průměr = 2403 N, SD = 261) termínem (t = -3,745, p_{bonf} = 0.001, Cohenovo d = -0,229, [-0,397, -0,061]). Statisticky významný rozdíl však nebyl mezi výchozím (průměr = 2429, SD= 282) termínem a kofeinem (t = 1,580, p_{bonf} = 0,178, Cohenovo d = 0,097, [-0,059, 0,252]). Mezi výchozím termínem a placebem jsme též

pozorovali statisticky významný rozdíl (t = 5,325, p_{bonf} = <,001, Cohenovo d = 0,325 [0,144, 0,507]). Přehled těchto výsledků je uveden v tabulce 7.

Tabulka 7- Post-hoc u cviku mrtvý tah

			95% CI pro rozdíly průměrů					95% CI pro Cohenovo d		
		Rozdíly průměrů	Dolní	Horní	SE	t	Cohenovo d	Dolní	Horní	p_{bonf}
Úvodní	Placebo	87,400	47,138	127,662	16,414	5,325	0,325	0,144	0,507	< ,001
	Kofein	25,933	-14,329	66,195	16,414	1,580	0,097	-0,059	0,252	0,178
Placebo	Kofein	-61,467	-101,729	-21,205	16,414	-3,745	-0,229	-0,397	-0,061	0,001

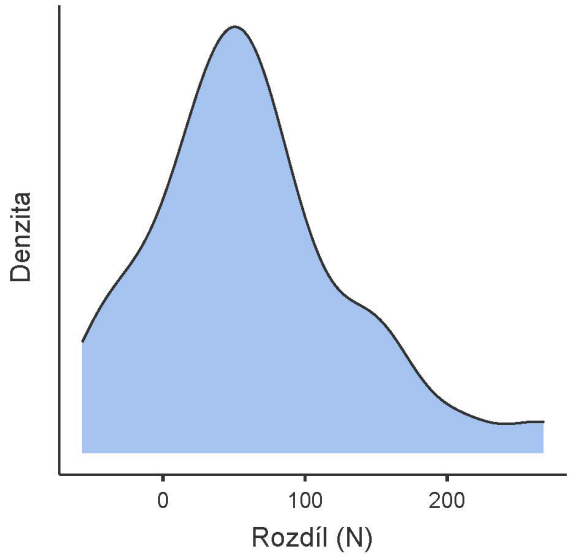
Pozn.: Uvedené p-hodnota pro jednostranný test(one-tailed)

Na závěr jsme ještě spočítali samotný rozdíl mezi vlivem kofeinu a placeba u cviku mrtvý tah pro každého participanta. Z tabulky 8 a grafu 6 je patrné, že kofein měl ve většině případů pozitivní efekt na mrtvý tah oproti placebu a v 6 případech došlo ke zhoršení tohoto výkonu po jeho požití.

Tabulka 8- Rozdíl mezi kofeinem a placebem u cviku mrtvý tah

	Rozdíl (N)
Průměr	61,5
Minimum	-56,6
Maximum	268

Graf 6- Distribuce rozdílů mezi kofeinem a placebem u cviku mrtvý tah



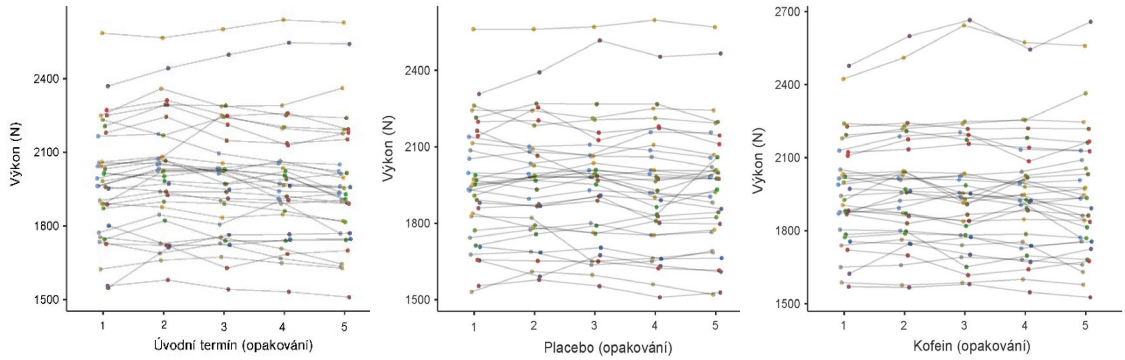
2.5.3 Rozdíl mezi vlivem kofeinu a placeba na maximální výkon v izometrickém benchpressu Test maximální síly- IBP

Part

Obrázek 5- ICC u cviku benchpress během všech termínů měření

term

koeficientu intratřídní korelace (ICC3). Hodnota tohoto koeficientu byla 0,967 [0,951 - 0,979] pro úvodní termín, 0,963 [0,945 - 0,977] pro termín s placebem a 0,969 [60,954 - 0,981] pro termín s kofeinem. Tyto výsledky tak ukazují dostatečnou konzistenci (≥ 0,7) výkonů. Pro další analýzy tak jednotlivá opakování v rámci podmínky agregujeme a používáme jejich průměr. Obrázek 6 znázorňuje trend výkonů každého participanta u cviku benchpress během všech 5 opakování během všech termínů měření.



Po ověření reliability mezi jednotlivými termíny jsme provedli popisnou statistiku pro všechny termíny měření (průměr, SD, min a max), která je v tabulce 9. Následně jsme ověřili, že data splňují předpoklady normality rozložení pomocí Shapiro-Wilk testu a vizuální inspekcí Q-Q grafů, jelikož byla normálně rozložena.

Tabulka 9- Popisná statistika u cviku benchpress

					Shapiro-Wilk	
	Průměr (N)	SD	Minimum	Maximum	W	p
Úvodní	1987	232	1543	2604	0,972	0,495
Placebo	1952	231	1544	2572	0,977	0,634
Kofein	1957	236	1558	2589	0,954	0,141

Dále jsme u cviku benchpress provedli explorační korelační analýzu síly asociace mezi výkony a stavy, k čemuž jsme použili Pearsonův korelační koeficient. Výkony ve všech

stavech vysoce korelovaly, což lze pozorovat ve výsledcích, které jsou k dispozici v tabulce 10.

Tabulka 10- Korelace mezi jednotlivými termíny měření u cviku benchpress

		Úvodní	Placebo	Kofein
Úvodní	Pearsonovo r	—		
	df	—		
	p-value	—		
	95% CI Horní	—		
	95% CI Dolní	—		
Placebo	Pearsonovo r	0,980	—	
	df	34	—	
	p-hodnota	< ,001	—	
	95% CI Horní	0,990	—	
	95% CI Dolní	0,961	—	
Kofein	Pearsonovo r	0,971	0,963	—
	df	34	34	—
	p-hodnota	< ,001	< ,001	—
	95% CI Horní	0,985	0,981	—
	95% CI Dolní	0,944	0,928	—

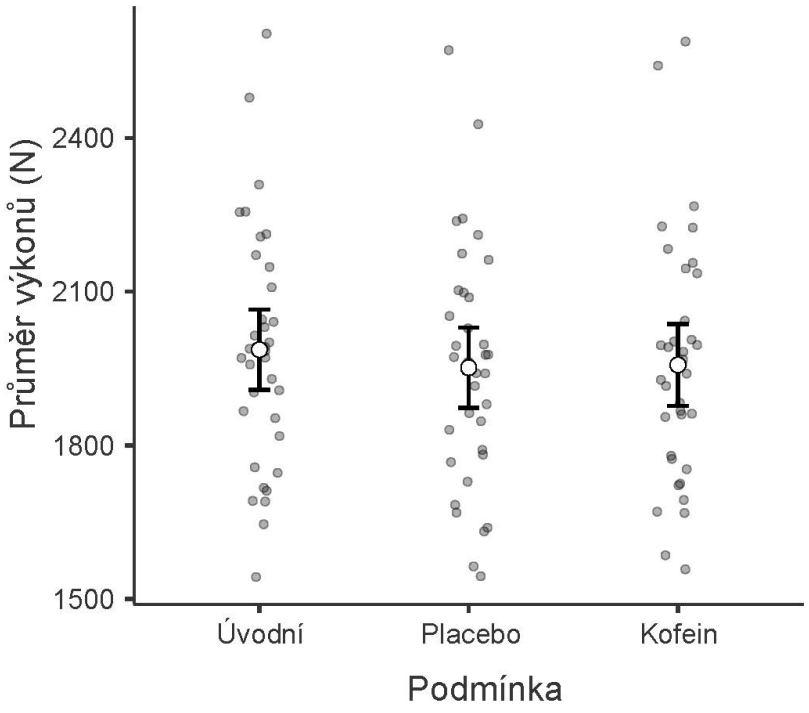
Pro one-way RM ANOVA cviku benchpress jsme provedli ověření sféricity dat Mauchly´s testem, která nebyla narušena (Tabulke 11).

Tabulka 11- Test sféricity u cviku benchpress

	Mauchlyho W	p	Greenhouse-Geisserovo ε	Huynh-Feldtovo ε
Podmínka	0,870	0,094	0,885	0,929

Déle byl proveden omnibus test, který ukázal, že ANOVA ukazuje statisticky rozlišitelné rozdíly mezi podmínkami s $F_{2\ a\ 70} = 8{,}22$, $p = 0{,}001$, $\eta^2 = 0{,}004$. Rozdíl v průměrech je naznačen na grafu 8.

Graf 7- Rozdíly v průměrech výkonů maximální síly u cviku benchpress



Pozn: bílá kolečka= průměry všech participantů, chybové úsečky= 95% konfidenční intervaly, šedá kolečka= průměry výkonů jednotlivých participantů

Post-hoc porovnání rozdílů odhalilo u cviku benchpress statisticky významný rozdíl mezi úvodním (průměr = 1987 N, SD = 232) termínem a placebo (průměr = 1952, SD = 231) termínem (t = 3,767, p_{bonf} = 0,001, Cohenovo d = 0,151, [0,041, 0,261]) i kofeinovým (průmě r= 1957, SD 236) termínem (t = 3,180, p_{bonf} = 0,004, Cohenovo d = 0,127, [0,020, 0,235]). Nicméně nepozorovali jsme žádný statisticky významný rozdíl maximální síly mezi placebem a kofeinem (t = 0,586, p_{bonf} = 0,500, Cohenovo d = -0,023, [-0,124, 0,077]). Přehled těchto výsledků je k dispozici v tabulce 12.

Tabulka 12- Post-hoc test u cviku benchpress

			95% CI pro rozdíl průměrů					95% CI pro Cohenovo d		
		Rozdíl průměrů	Dolní	Horní	SE	t	Cohenovo d	Dolní	Horní	p_{bonf}
Úvodní	Placebo	35,094	12,240	57,949	9,317	3,767	0,151	0,041	0,261	0,001
	Kofein	29,633	6,779	52,488	9,317	3,180	0,127	0,020	0,235	0,004
Placebo	Kofein	-5,461	28,316	17,394	9,317	0,586	-0,023	0,124	0,077	0,500

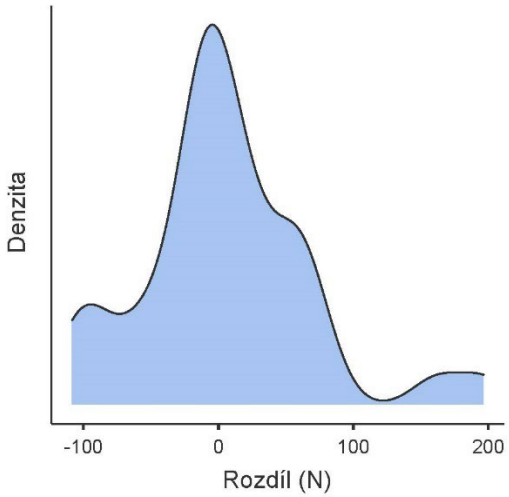
Pozn.: Uvedené p-hodnota pro jednostranný test (one-tailed)

Na závěr jsme ještě spočítali samotný rozdíl mezi vlivem kofeinu a placeba u cviku benchpress. Z tabulky 13 a grafu 9 je patrné, že v převážné e většině případů byl efekt blízko nuly. Také jsme zjistili, že u tohoto cviku měl kofein u více participantů efekt výkon zhoršující (menší než 0, N = 20) než zlepšující (větší než 0, N = 16).

Tabulka 13- Rozdíl mezi kofeinem a placebem u cviku benchpress

	Rozdíl (N)
Průměr	5.46
Minimum	-108
Maximum	197

Graf 8- Distribuce rozdílů mezi kofeinem a placebem u cviku benchpress



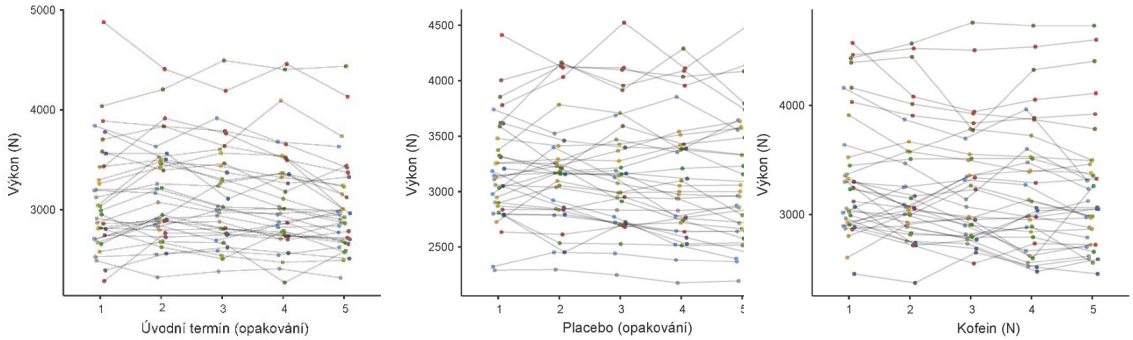
2.5.3 Rozdíl velikosti efektu vlivu kofeinu na horní a dolní polovinu těla

Pro proveditelnost tohoto srovnání jsme provedli pro prvních 5 opakování u cviku izometrický zádový zdvih (IMTP- cvik pro dolní polovinu těla) stejný postup statistické analýzy jako pro benchpress (cvik pro horní polovinu těla).

Nejprve jsme ověřili pro každý termín měření konzistenci participantů pomocí koeficientu intratřídní korelace (ICC3). Hodnota tohoto koeficientu byla 0,892 [0,845 - 0,931] pro úvodní termín, 0,899 [0,853 - 0,935] pro termín s placebem a 0,930 [0, 898 - 0,956] pro termín s kofeinem. Tyto výsledky tak ukazují dostatečnou konzistenci (≥ 0,7) výkonů. Pro další analýzy tak jednotlivá opakování v rámci podmínky agregujeme a

používáme jejich průměr. Obrázek 7 znázorňuje trend výkonů každého participanta u cviku IMTP během všech 5 opakování během všech termínů měření.

Obrázek 6- ICC u cviku izometrický zádový zdvih během všech termínu měření



Po ověření reliability mezi jednotlivými termíny jsme provedli popisnou statistiku pro všechny termíny měření (průměr, SD, min a max), která se nachází v Tabulce 14. Následně jsme ověřili, že data splňují předpoklady normality rozložení pomocí Shapiro-Wilk testu a vizuální inspekcí Q-Q grafů (v elektronických suplementech práce), jelikož byla normálně rozložena.

Tabulka 14- Popisná statistika u cviku izometrický zádový zdvih

					Shapiro-Wilk	
	Průměr(N)	**SD**	**Minimum**	**Maximum**	**W**	**p**
Úvodní	3108	479	2383	4413	0,929	0,024
Placebo	3152	542	2240	4643	0,925	0,018
Kofein	3266	493	2580	4526	0,940	0,051

Dále jsme u cviku IMTP provedli explorační korelační analýzu síly asociace mezi výkony a stavy, k čemuž jsme použili Pearsonův korelační koeficient. Výkony ve všech stavech vysoce korelovaly, což lze pozorovat ve výsledcích, které jsou k dispozici v tabulce 15.

Tabulka 15- Korelace mezi jednotlivými termíny měření u cviku izometrický zádový zdvih

		Úvodní	Placebo	Kofein
Úvodní	Pearsonovo r	—		
	df	—		
	p-hodnota	—		
	95% CI Horní	—		
	95% CI Dolní	—		
	N	—		
Placebo	Pearsonovo r	0,723	—	
	df	34	—	
	p-hodnota	< ,001	—	
	95% CI Horní	0,850	—	
	95% CI Dolní	0,517	—	
	N	36	—	
Kofein	Pearsonovo r	0,800	0,810	—
	df	34	34	—
	p-hodnota	< ,001	< ,001	—
	95% CI Horní	0,894	0,899	—
	95% CI Dolní	0,640	0,656	—
	N	36	36	—

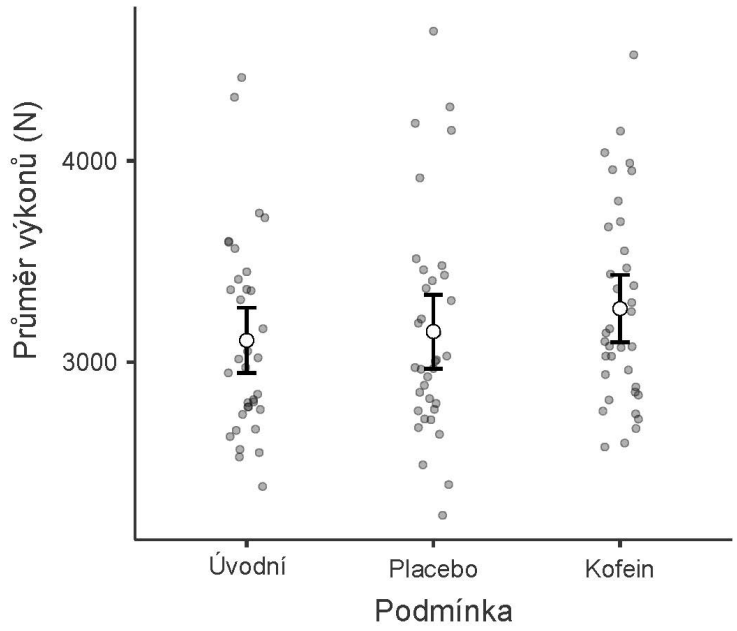
Pro one-way RM ANOVA cviku benchpress jsme provedli ověření sféricity dat Mauchly´s testem, která nebyla narušena. Výsledky jsou k dispozici v tabulce 16.

Tabulka 16- Test sféricity u cviku izometrický zádový zdvih

	Mauchlyho W	p	Greenhouse-Geisserovo ε	Huynh-Feldtovo ε
Podmínka	0,919	0,240	0,925	0,975

Déle byl proveden omnibus test, který ukázal, že ANOVA ukazuje statisticky rozlišitelné rozdíly mezi podmínkami s $F_{2 \text{ a } 70} = 4{,}13$, $p = 0{,}020$, $\eta^2 = 0{,}017$. Rozdíl v průměrech je naznačen na grafu 11.

Graf 10- Rozdíly v průměrech výkonů maximální síly u cviku izometrický zádový zdvih



Pozn: bílá kolečka= průměry všech participantů, chybové úsečky= 95% konfidenční intervaly, šedá kolečka= průměry výkonů jednotlivých participantů

Post-hoc porovnání rozdílů odhalilo u prvních 5 opakování cviku IMTP statisticky významný rozdíl mezi úvodním (průměr = 3108 N, SD = 479) termínem a kofeinovým (průměr = 3266, SD = 493) termínem (t = -2,784, p_{bonf} = 0,011, Cohenovo d = -0.312 [-0,605, 0,019]). Nicméně nebyl pozorován žádný statisticky významný vliv jak mezi termínem s placebem (průměr = 3152, SD = 542) a kofeinem (t = -2,010, p_{bonf} = 0,073, Cohenovo d = -0,225 [-0,511, 0,061]), tak mezi úvodním termínem a placebem (t = -0,774, p_{bonf} = 0,500, Cohenovo d = -0,087 [-0,366, 0,193]. Přehled těchto výsledků je k dispozici v tabulce 17.

Tabulka 17- Post-hoc analýza u cviku izometrická zádový zdvih

			95% CI pro rozdíl průměrů					95% CI pro Cohenovo d		
		Rozdíl průměrů	Dolní	Horní	SE	t	Cohenovo d	Dolní	Horní	p_{bonf}
Úvodní	Placebo	-43,850	182,844	95,144	56,666	-0,774	-0,087	-0,366	0,193	0,500
	Kofein	-157,761	296,755	-18,767	56,666	-2,784	-0,312	-0,605	-0,019	0,011
Placebo	Kofein	-113,911	252,905	25,083	56,666	-2,010	-0,225	-0,511	0,061	0,073

Pozn.: Uvedené p-hodnota pro jednostranný test (one-tailed)

Dále jsme si tedy vypočítali velikost efektu u prvních pěti opakování cviku pro tento cvik. Zjistili jsme, že v porovnání s placebem (průměr 3152 N, SD = 542) neměl kofein (průměr = 3266 N, SD = 494) statisticky významný ergogenní účinek (t = 2,01, p_{bonf} = 0,073, Cohenovo d = 0,225 [-0,061, 0,511]).

Následně jsme mohli vypočítat rozdíl mezi velikostmi efektu u IMTP (horní poloviny těla) a benchpressem /dolní poloviny těla pomocí rovnice podle Altmana a Blanda (2003) uvedené v kapitole 2.4.7.

Po výpočtu jsme dostali výsledek rozdílu tohoto efektu Cohenovo d = 0,202, [-3,121, 3,525], SE= 1,695. Jelikož 95% konfidenční interval rozdílu mezi efekty obsahuje 0, efekty kofeinu (v porovnání s placebem) se v našem souboru mezi horní a dolní polovinou těla významně neliší.

2.5.4 Vliv kofeinu na izometrický zádový zdvih po nedostatečném odpočinku

Participanti prováděli celkem 10 opakování cviku izometrický zádový zdvih (IMTP) s pauzou 10 sekund mezi opakováními, tedy po nedostatečném odpočinku. K analýze jsme použili generalizovaný lineární model, kde jako závislá proměnná síla, faktor podmínka (termín) a jako covariát pokus. Interakce mezi pokusem a podmínkou byla R = 0,045.

Z ANOVA Omnibus testů vyšlo pro pokus $F_{1\ a\ 1074}$ = 25,465, p <,001, η^2 = 0,023, podmínku (termín) $F_{2\ a\ 1074}$ = 12,329, p <,001, η^2 = 0,022, a pro pokus x podmínku $F_{2\ a\ 1074}$ = 0,563, p = 0,001, η^2 = 0,001. Z výsledků těchto testů je patrné, že bez ohledu na podmínku měl počet opakování statisticky odlišný vliv na výkon, stejně také že podmínka bez ohledu na opakování. Nicméně jsme nepozorovali statisticky odlišitelné rozdíly ve výkonu v interakci pokusu a podmínky.

Následně jsme udělali odhad efektů, kdy jsme pozorovali pokles výkonu se vzrůstajícím počtem opakování β = -0,15 s odhadem -27,08 N [-37,6, -16,5]. Další výsledky jsou k dispozici v tabulce 18.

Tabulka 18- Odhady efektů u izometrického zádového zdvihu

Název	Efekt	Odhad	SE	95% Konfidenční interval		β	df	t	p
				Dolní	Horní				
(Zachyceno)	(Zachyceno)	3105,53	15,41	3075,3	3135,8	0.000	1074	201,487	< ,001
Opakování	Opakování	-27,08	5,37	-37,6	-16,5	-0,150	1074	-5,046	< ,001
Podmínka 1	Úvodní -Kofein	-187,36	37,75	-261,4	-113,3	-0,362	1074	-4,963	< ,001
Podmínka 2	Placebo - Kofein	-99,43	37,75	-173,5	-25,4	-0,192	1074	-2,634	0,009
Opakování ✻ Podmínka 1	Opakování ✻ Úvodní - Kofein	-9,27	13,14	-35,1	16,5	-0,051	1074	-0,705	0,481
Opakování ✻ Podmínka 2	Opakování ✻ Placebo - Kofein	4,38	13,14	-21,4	30,2	0,024	1074	0,333	0,739

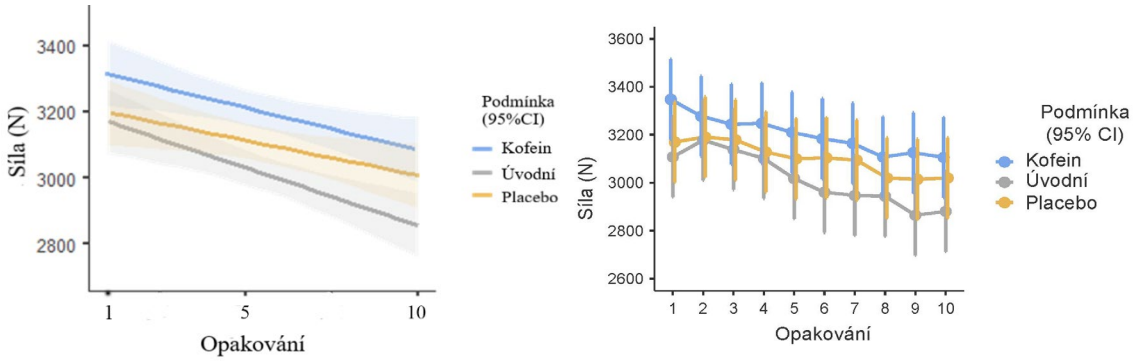
Pro porovnání rozdílů mezi podmínkami bez ohledu na opakování jsme spočítali také post-hoc test, jehož výsledky jsou k dispozici v tabulce 19.

Tabulka 19- Post-hoc analýza u cviku izometrický zádový zdvih

Porovnání			Rozdíl	SE	t	df	p_{bonf}	Cohenovo d
Podmínka		Podmínka						
Kofein	-	Úvodní	187,4	37.8	4,96	1074	< ,001	0,827
Kofein	-	Placebo	99,4	37.8	2,63	1074	0,026	0,438
Úvodní	-	Placebo	-87,9	37.8	-2,33	1074	0,060	-0,388

Klíčovými sledovanými parametry v tomto modelu byly rozdíly ve sklonu regresních přímek vztahu maximální síly a počtu opakování mezi termíny měření, které jsou vyobrazeny na obrázku 8. Z tohoto vyobrazení je patrné, že efekt kofeinu se úpadek maximální síly při několika opakováních s nedostatečným odpočinkem nijak významně nelišil oproti efektu placeba.

Obrázek 7- Sklon regresních přímek u izometrického zádového zdvihu po nedostatečném odpočinku



Pozn.: Levý graf představuje vizualizaci výsledků regresního koeficientu β (viz. tabulka 18), kdy chybové pásy značí 95% konfidenční intervaly. Pravý graf znázorňuje průměrný odhad maximální síly při jednotlivých pokusech, kdy chybové úsečky značí 95% konfidenční intervaly.

2.6 Diskuze

Tato diplomová práce se věnovala výzkumu vliv kofeinu na maximální izometrickou sílu komplexních vícekloubových cviků. Po rozsáhlém sběru dat a analýze výsledků jsme přišli na to, že oproti placebu nemá kofein u našeho vzorku statisticky významný ergogenní vliv na izometrický benchpress (IBP) ani izometrický zádový zdvih (IMTP), ale pozorovali jsme statisticky významný ergogenní efekt na výkon izometrického mrtvého tahu (IMT).

Predikovali jsme, že výkon, maximální síly při IMT se po konzumaci kofeinu oproti placebu zvýší . Tuto predikci podporují naše výsledky, a to konkrétně o 2,6 % (Cohenovo d = 0,229, [0,61, 0,397]). Nicméně v porovnání s výchozím termínem měření (bez kofeinu či placeba) se výkony při požití kofeinu rozlišitelně nelišily (-1,1 %, Cohenovo d = 0,097 [-0,059, 0,252]). Naše další predikce byla, že kofein bude mít ergogenní vliv na IBP oproti placebu, nicméně výkony v těchto dvou podmínkách se od sebe též rozlišitelně nelišily (+0,3%, Cohenovo d = 0,023 [-0,077, 0,124]). V případě IBP jsme pozorovali nejlepší výkony při úvodním termínu, které se statisticky významně lišily oproti zbylým dvěma podmínkám (+1,5 % oproti kofeinu, Cohenovo d = -0,127 [0,020, 0,235] a + 1,8 % oproti placebu, Cohenovo d = 0,151 [0,041, 0,261]). Tyto výsledky tak naši druhou predikci nepodporují. Dále jsme porovnávali rozdíl velikosti efektu kofeinu vůči placebu u cviků pro horní polovinu těla (IBP) s cvikem pro dolní polovinu těla (IMTP). Predikovali jsme, že se efekt kofeinu na tyto různé části těla statisticky významně lišit nebude. V našem souboru se, v souladu s naší predikcí, skutečně velikosti efektů nelišily (rozdíl Cohenovo d = 0,202 [-3,121, 3,525]). Nakonec jsme predikovali, že kofein bude

mít ergogenní efekt na opakovanou maximální sílu u IMTP po nedostatečném odpočinku. I když konzumace kofeinu zvýšila průměrný výkon při prvních 5 opakováních u tohoto cviku oproti placebu (+3,6 %, Cohenovo d = 0,225 [-0,061, 0,511], rozdíl v poklesu výkonu v kontextu všech 10 opakování (β = -0,15 s odhadem -27,08 N [-37,6, -16,5] nebyl statisticky významný.

Avšak je třeba zmínit, že většina námi pozorovaných statisticky významných efektů (d = 225, d = 151, apod.) se nacházela pod naší hladinou (d ≥ 0,4) 80% senzitivity pro zachycení rozdílů v průměrných výkonech. Měli jsme tak šanci detekovat vyšší efekty, než byly ve skutečnosti pozorovány, a tyto přítomné efekty tak měly vyšší pravděpodobnost chyby 1. a 2. typu.

Cviky izometrický zádový zdvih či mrtvý tah byly ve spojitosti s kofeinem doposud testovány poměrně sporadicky. První „kofeinové studie“ zabývající se izometrickým zádovým zdvihem (Burke et al., 2021; Harty et al., 2020) došly ke smíšeným výsledkům. Aktuálnější studie z posledních let (Ferreira et al., 2022; Chen et al., 2023; Tamilio et al., 2022) však naznačují možný ergogenní potenciál kofeinu na tento typ silového výkonu. Ferreira a kol (2022, N = 21) ukazují statisticky významné zlepšení mrtvého tahu při protokolu na 10 maximálních opakování (10RM) po konzumaci 6 mg/kg (d = 0,6) i 8 mg/kg (d = 0,78) kofeinu oproti placebu. Chen a kol. (2023, N = 19) zase prezentují statisticky významná zlepšení rumunského mrtvého tahu (modifikace mrtvého tahu) v kontextu 5 sérií na dynamometrickém trenažeru po konzumaci 200 mg kofeinu ($d_{\text{koncentrická síla}}$ = 0,44, $d_{\text{excentrická síla}}$ = 0,55, $d_{\text{celková práce}}$ = 0,28). Tamilo a kol. (2022) pak zkoumali vliv kofeinu na maximální sílu IMTP ve 3 termínech, kdy po konzumaci 3 mg/kg kofeinu v prvním termínu došlo ke statisticky významnému zhoršení oproti placebu (d = - 0,32), ve druhém ke zlepšení (d = 0,34) a ve třetím k žádnému rozdílu (d = 0,08). Výsledky naše studie jsou tak, kromě Tamila a kol. (2022), v souladu s těmito novými studiemi, jelikož kofein měl oproti termínu s placebem statisticky významný ergogenní účinek na IMT, seč menší (d = 0,229). Důležité je ale zmínit, že se u nás tento efekt nelišil v porovnání s výchozím termínem měření, který sice zmíněné práce také měly, nicméně do statistických analýz nebyl zařazen a byly tedy porovnávány rozdíly pouze mezi experimentálními termíny po požití kofeinu nebo placeba. Další práce by tak měly do svých analýz zařazovat i výchozí termíny měření bez kofeinu či placeba, což může poskytnout důležitý vhled do této problematiky a pomoci rozlišit význam možného placebo efektu.

Benchpress je jedním z nejčastějších cviků, kterými se testuje vliv kofeinu na maximální sílu (Ferreira et al., 2021; Grgic, 2021; Grgic et al., 2018). Většina těchto prací poukazuje na jeho ergogenní efekt na tento cvik (Cohenovo d = 0,11- 0,45). Naše práce však tento efekt neshledává (d = 0,023). Možným důvodem je zařazení izometrické varianty cviku místo dynamické. Linnamo a kolektiv (2003) uvádí, že izometrická kontrakce má vyšší práh pro aktivaci motorických jednotek oproti koncentrické. Právě větší nábor motorických jednotek je jedním ze spekulovaných mechanismů účinku kofeinu na maximální sílu, a proto užití izometrické varianty cviku mohlo překrýt možný ergogenní efekt kofeinu. I když je ergogenní vliv kofeinu na izometrické testy maximální síly často popisován (Harty et al., 2020; Lopes-Silva et al., 2021), byly tyto druhy testů v kofeinových studiích spíše využívány pro menší svalové skupiny (extenze v kolenním kloubu, stisk ruky) a ne pro komplexní cviky jako třeba izometrický benchpress v naší studii.

Některé práce uvádí jiné vlivy konzumace kofeinu na horní oproti dolní polovinu těla, což shrnuli Grgic a kol (2018) a Ferreira a kol.(2021) v jejich metaanalýzách (d = 0,21 vs 0,15 a WMD = 2,01 vs 8,49). Autoři tak spekulují, že komplexní cviky na dolní polovinu těla vyžadují větší nábor motorických jednotek, ve srovnání s cviky jako benchpress, a pro tyto cviky je tedy vyžadována vyšší dávka kofeinu, aby se dosáhlo pozitivní ergogenní odezvy v oblasti svalové síly s ohledem na přímé působení kofeinu v kosterním svalu. Naproti tomu Warren a kol (2010) udává, že větší svalové skupiny (dolní polovina těla) mají při příjmu kofeinu vyšší kapacitu pro nábor motorických jednotek než menší svaly, a tudíž mají vyšší tendenci pro ergogenní účinky kofeinu (dolní polovina těla d = .0,29 vs horní polovina těla d = 0,07) Naše práce je v souladu s článkem Grgice (2021) a Grgice a Del Cosa (2021), jejichž metaanalýza shrnuje i aktuálnější studie (Filip-Stachnik et al., 2021; Norum et al., 2020; Wilk et al., 2019), která ukazuje, že se vliv kofeinu na maximální sílu horní poloviny oproti polovině dolní významně neliší (horní polovina d = 0,17 vs dolní polovina d = 0,16),. V naší práci též nepozorujeme rozdíl efektu kofeinu u cviku IMTP (tedy dolní poloviny těla) oproti IBP (horní poloviny těla), kdy jsme po spočítání rozdílů mezi těmito dvěma cviky pozorovali výsledek d = 0,202, [-3,121, 3,525].

Jelikož má kofein vliv na snížení subjektivního vnímání zátěže (RPE) během a po výkonu (Doherty & Smith, 2005), předpokládali jsme, že při déletrvající zátěži, jako bylo 10 opakovaných provedení maximální izometrické kontrakce zádového zdvihu pouze s 10

sekundovými intervaly odpočinku, bude kofein významně ergogenní oproti placebu. Nicméně v našem souboru byly rozdíly ve sklonu (poklesu) regresních přímek vztahu maximální síly a počtu opakování mezi termíny s kofeinem a placebem podobné, tudíž na tento typ výkonu neměl kofein významný ergogenní účinek.

Naše výsledky tak naznačují, že mechanismy účinku či teorie vysvětlující jeho ergogenní vlivy při anaerobním fyzickém výkonu - jako působení na CNS (snížení RPE díky blokaci adenosinových receptorů a vyšším koncentracím neurotransmiterů) (Davis et al., 2003), stimulace sympatického nervového systému (zvýšení uvolňování a aktivity katecholaminů)(Davis & Green, 2009) větší aktivace motorických jednotek (Bazzucchi et al., 2011) a zvýšené uvolňování vápníku ve svalu ze sarkoplazmatického retikula (Endo, 2009) - možná nemají ergogenní vliv na projev maximální síly po dostatečném i nedostatečném intervalu odpočinku, jaký byl doposud kofeinu přikládán. Výsledky metaanalýzy Dohertyho a kolektivu (2005) jsou navíc založeny spíše na studiích s déletrvajícími subaximálními a vytrvalostními výkony, při kterých má kofein pravděpodobně významnější vliv na RPE a tedy zlepšení výkonu oproti maximální síle. Novější práce zabývající se vlivem kofeinu na vztah maximální (1RM) či vytrvalostní síly a RPE (Ferreira et al., 2021; Jones et al., 2021) spíše jsou v souladu se zjištěními v naší práci, jelikož v nich nebyly pozorovány významné rozdíly mezi kofeinem a placebem. Námi zvolený protokol byl tedy trváním pro detekci ergogenního vlivu kofeinu na pokles maximální síly po nedostatečném zotavení možná krátký, nicméně některé práce (Davis et al., 2012; Green et al., 2007; Richardson & Clarke, 2016) zkoumající vliv konzumace kofeinu v kontextu celého silového tréninku (počet opakování u cviků a RPE) též nezaznamenaly ergogenní vliv tohoto stimulantu oproti placebu.

Tato práce tak ukazujeme, že ergogenní efekt kofeinu na izometrické komplexní silové výkony jako mrtvý tah, benchpress a zádový zdvih se oproti placebu či podmínce bez tablety buď neliší, nebo je mírně pozitivní, nicméně v našem souboru statisticky nevýznamně. Na základě výsledků tak můžeme vyvodit, že konzumace 3 mg/kg kofeinu za účelem zvýšení maximálního silového výkonu nepřináší žádný výrazný efekt, tudíž jej sportovci za tímto účelem konzumovat nemusí.

2.6.1 Limitace

Tato práce má několik limitací. Tou první je vysoká variabilita jednotlivých participantů ve smyslu obvyklé denní konzumace kofeinu (min-max: 125 - 1132 mg) a s tím

související zvolená dávka 3 mg/kg. Při volbě dávky pro tuto studii jsme se však inspirovali od Grgice a kol. (2021), kteří uvádí, že na silový výkon mají dávky jako 2 - 3 mg/kg srovnatelně ergogenní efekt jako 6 mg/kg, a také, že úroveň denní konzumace kofeinu nemá na ergogenní efekt kofeinu pro tento typ výkonu vliv. Tato dávka tak byla ve většině případů nižší než obvyklý denní příjem kofeinu (průměr 400 mg, SD = 247). Carvalho a kol. (2022) však uvádí, že konzumace nižší dávky kofeinu než obvykle konzumované množství, je stejně účinné jako konzumace dávky, která je vyšší než obvyklá denní dávka. To je však v rozporu s tvrzením Pickeringa a Kelyho (2019), kteří uvádí, že obvyklá konzumace kofeinu může snižovat jeho ergogenní efekt na výkon, a tedy doporučují před výkonem zvýšit dávku nad běžně užívanou, což u nás ve většině případech nebylo. Dávka 3 mg/kg tak mohla být nedostatečnou pro jedince s vysokým příjmem kofeinu. Například ve studii (Wilk et al., 2019) s participanty konzumující podobné denní množství kofeinu (průměr 411 ± 136 mg) v této studii nevedly ani extrémně vysoké dávky jako 9 mg/kg či 11 mg/kg kofeinu ke zlepšení maximální síly u cviku benchpress, což by potenciálně mohl být důvodem, proč jsme u tohoto cviku nepozorovali rozdíl mezi kofeinem či placebem ani my. Tuto limitaci by tedy mohl řešit budoucí výzkum, a to přidáním další podmínky s vyšší dávkou kofeinu, například 6 mg/kg nebo 8 mg/kg.

Další limitací je volba izometrických komplexních cviků (mrtvý tah, benchpress) oproti jejich dynamickým variantám, které jsou častěji testovány. Seč mají nám zvolené cviku vysokou reliabilitu a pozitivně korelují s dynamickými výkony jednoho opakovacího maxima, je možné, že izometrické cviky zvoleny v naší studii měly o něco větší práh pro nábor motorických jednotek (Linnamo et al., 2003) než dynamické varianty těchto cviků v jiných studiích. Díky tomu jsme možná nepozorovaly statisticky významné zlepšení po konzumaci kofeinu oproti termínu s placebem či výchozím termínu u žádného ze 3 cviků. Této limitaci by se tedy měl věnovat budoucí výzkum, který by zařadil dynamické varianty cviků, a to buď testování 1RM s volnou činkou, nebo třeba 10 RM s využitím predikční rovnice, jako to například udělali Ferreira a kol. (2022).

Další z limitací této práce, ale i jednou ze silných stránek této práce, je velikost pořízeného vzorku. V naší studii jsme měli více něž dvojnásobný počet participantů oproti modu velikosti vzorků ~17 (Třebický, 2023) ostatních studiích zabývajících se vlivem kofeinu na maximální sílu. To poskytovalo větší šanci s nižším procentem chyb 1. a 2. druhu zachytit i relativně malé efekty oproti ostatním. I s N = 40 měla naše studie

senzitivitu 80% zachytit pouze rozdíly v průměrných výkonech (placebo vs kofein) s $d \geq 0,4$. I to však může být větší efekt, než jaký je u kofeinu pozorován, což naznačuje většina studií. Nám se ve vymezeném čase nepodařilo získat plánovaný vzorek N = 40, měli jsme tak senzitivitu pozorovat dokonce pouze o něco větší efekty než bylo stanoveno (d = 0,423). Pro vypořádání se s touto limitací by tak bylo vhodné provést rozsáhlou studii s dostatečnou velikostí vzorku pro získání senzitivity zachytit i efekty, které jsou běžně pozorovány v kofeinových studiích (např. N = 150 pro senzitivitu pozorovat d = 0,204).

Silnou stránku této práce shledáváme v použitém designu, kdy jsme použili 3 stavy (výchozí, placebo, kofein), kterými si každý participant prošel díky vnitro-subjektovému designu. Práce s participanty byla také dvojitě-zaslepena a pořadí cviků či experimentálních termínů měření randomizováno. Tento design tak zajistil co největší podobnost podmínek pro každého participanta. Také zařazení výchozího termínu měření do analýzy dat nám umožnilo porovnat výsledky s další podmínkou a mít tak pohled na výsledky z jiné perspektivy, což hodnotíme jako další silnou stránku oproti ostatním pracím. Díky tomu jsme mohli pozorovat, zda má určitý efekt jen konzumace tablety obecně a nezáleží na obsahu (placebo efekt), či zda má efekt samotný kofein.

Na závěr diskuze tedy shrnujeme, že naše studie nepozorovala významnou evidenci ve prospěch ergogenního účinku kofeinu na zvolené typy silových výkonů. To v nás samozřejmě vzbuzuje otázky, proč v současné literatuře převažují opačné závěry? Buď tedy kofein skutečně ergogenní pro maximální silový výkon je a tyto práce byly schopny efekt detekovat, nebo může být obraz literatury zkreslen, kdy se k publikaci prosadily pouze práce s významným pozitivním efektem a ty nulové či negativní nikoliv. Tato studie proto byla před zahájením sběru dat preregistrována, což přidává na transparentnosti a důvěryhodnosti prezentovaných výsledků.

Vybrané výsledky této práce byly formou posteru (viz příloha VIII) prezentovány na mezinárodní vědecko-popularizační konferenci Scientia Movens 2023, kde obdržela ocenění za nejlepší příspěvek ze sekce posterů.

3. Závěr

Hlavním zjištěním této práce je, že po konzumaci 3 mg/kg kofeinu jsme oproti placebu či výchozímu termínu nepozorovali statisticky významné zlepšení maximální izometrické síly u cviků mrtvý tah a benchpress. Dále jsme neshledali statisticky významný rozdíl mezi vlivem kofeinu na maximální sílu horní poloviny těla oproti té dolní. V poslední řadě jsme oproti placebu nepozorovali významný vliv kofeinu na opakovaný projev maximální síly izometrického zádového zdvihu po nedostatečném odpočinku. Naše práce tak robustně naznačuje, že kofein možná nemá takové ergogenní účinky na maximální sílu, jaké mu předchozí práce doposud přisuzovaly, a jsou tedy potřeba další studie.. Tyto práce by měly do svých analýz výsledků zařadit i výchozí termín měření, a také se zaměřit na větší velikost vzorku.

4. Seznam literatury

Aasa, U., Bengtsson, V., Berglund, L., & Öhberg, F. (2022). Variability of lumbar spinal alignment among power- and weightlifters during the deadlift and barbell back squat. *Sports Biomechanics*, *21*(6), 701–717. https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1675751

Abalo, R. (2021). Coffee and Caffeine Consumption for Human Health. *Nutrients*, *13*(9), 2918. https://doi.org/10.3390/nu13092918

Aguiar, I., Gomes, S., Moreira, A., Henriques, V., & Silva, H. (2012). P-01—Cafeinism and psychosis—When the habit becomes a threat. *European Psychiatry*, *27*, 1. https://doi.org/10.1016/S0924-9338(12)74168-8

Aguilar-Navarro, M., Muñoz, G., Salinero, J., Muñoz-Guerra, J., Fernández-Álvarez, M., Plata, M., & Del Coso, J. (2019). Urine Caffeine Concentration in Doping Control Samples from 2004 to 2015. *Nutrients*, *11*(2), 286. https://doi.org/10.3390/nu11020286

Alasmari, F. (2020). Caffeine induces neurobehavioral effects through modulating neurotransmitters. *Saudi Pharmaceutical Journal*, *28*(4), 445–451. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2020.02.005

Alford, C., Cox, H., & Wescott, R. (2001). The effects of Red Bull Energy Drink on human performance and mood. *Amino Acids*, *21*(2), 139–150. https://doi.org/10.1007/s007260170021

Alperet, D. J., Rebello, S. A., Khoo, E. Y.-H., Tay, Z., Seah, S. S.-Y., Tai, B.-C., Tai, E.-S., Emady-Azar, S., Chou, C. J., Darimont, C., & van Dam, R. M. (2020). The effect of coffee consumption on insulin sensitivity and other biological risk factors

for type 2 diabetes: A randomized placebo-controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *111*(2), 448–458. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz306

Altman, D. G., & Bland, J. M. (2003). Interaction revisited: The difference between two estimates. *BMJ*, *326*(7382), 219. https://doi.org/10.1136/bmj.326.7382.219

Ashihara, H., & Crozier, A. (2001). Caffeine: A well known but little mentioned compound in plant science. *Trends in Plant Science*, *6*(9), 407–413. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(01)02055-6

Ashihara, H., Mizuno, K., Yokota, T., & Crozier, A. (2017). Xanthine Alkaloids: Occurrence, Biosynthesis, and Function in Plants. In A. D. Kinghorn, H. Falk, S. Gibbons, & J. Kobayashi (Ed.), *Progress in the Chemistry of Organic Natural Products 105* (Roč. 105, s. 1–88). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49712-9_1

Ashihara, H., & Suzuki, T. (2004). Distribution and biosynthesis of caffeine in plants. *Frontiers in Bioscience*, *9*(May 2004), 1864–1876. https://doi.org/10.2741/1367

Aslani, A., & Jalilian, F. (2013). Design, formulation and evaluation of caffeine chewing gum. *Advanced Biomedical Research*, *2*(1), 72. https://doi.org/10.4103/2277-9175.115806

Baić, M., Trajković, N., Đorđević, D., Stanković, M., & Pekas, D. (2022). Strength profile in wrestlers – a systematic review. *ARCHIVES OF BUDO*.

Barcelos, R. P., Lima, F. D., Carvalho, N. R., Bresciani, G., & Royes, L. F. (2020). Caffeine effects on systemic metabolism, oxidative-inflammatory pathways, and exercise performance. *Nutrition Research*, *80*, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.05.005

Bazzucchi, I., Felici, F., Montini, M., Figura, F., & Sacchetti, M. (2011). Caffeine improves neuromuscular function during maximal dynamic exercise. *Muscle & Nerve*, *43*(6), 839–844. https://doi.org/10.1002/mus.21995

Berke, J. D. (2018). What does dopamine mean? *Nature Neuroscience*, *21*(6), 787–793. https://doi.org/10.1038/s41593-018-0152-y

Berman, N. K., Honig, S., Cronstein, B. N., & Pillinger, M. H. (2022). The effects of caffeine on bone mineral density and fracture risk. *Osteoporosis International*, *33*(6), 1235–1241. https://doi.org/10.1007/s00198-021-05972-w

Blanchard, J., & Sawers, S. J. A. (1983). Comparative pharmacokinetics of caffeine in young and elderly men. *Journal of Pharmacokinetics and Biopharmaceutics*, *11*(2), 109–126. https://doi.org/10.1007/BF01061844

Budney, A. J., Brown, P. C., Griffiths, R. R., Hughes, J. R., & Juliano, L. M. (2013). Caffeine Withdrawal and Dependence: A Convenience Survey Among Addiction Professionals. *Journal of Caffeine Research*, *3*(2), 67–71. https://doi.org/10.1089/jcr.2013.0005

Burdan, F. (2015). Caffeine in Coffee. In *Coffee in Health and Disease Prevention* (s. 201–207). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00022-X

Burke, B. I., Travis, S. K., Gentles, J. A., Sato, K., Lang, H. M., & Bazyler, C. D. (2021). The effects of caffeine on jumping performance and maximal strength in female collegiate athletes. *Nutrients*, *13*(8). https://doi.org/10.3390/nu13082496

Caffeineinformer. (2023). *Caffeine Content of Drinks and Food*. https://www.caffeineinformer.com/the-caffeine-database

Caldwell Aaron. (2021). *SimplyAgree: Flexible and Robust Agreement and Reliability Analyses* [Software].

Calvo, J. L., Fei, X., Domínguez, R., & Pareja-Galeano, H. (2021). Caffeine and cognitive functions in sports: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, *13*(3), 1–18. https://doi.org/10.3390/nu13030868

Cao, Y., Liu, H., Qin, N., Ren, X., Zhu, B., & Xia, X. (2020). Impact of food additives on the composition and function of gut microbiota: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *99*, 295–310. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.006

Cappelletti, S., Piacentino, D., Fineschi, V., Frati, P., Cipolloni, L., & Aromatario, M. (2018). Caffeine-Related Deaths: Manner of Deaths and Categories at Risk. *Nutrients*, *10*(5), 611. https://doi.org/10.3390/nu10050611

Carlström, M., & Larsson, S. C. (2018). Coffee consumption and reduced risk of developing type 2 diabetes: A systematic review with meta-analysis. *Nutrition Reviews*, *76*(6), 395–417. https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy014

Carvalho, A., Marticorena, F. M., Grecco, B. H., Barreto, G., & Saunders, B. (2022). Can I Have My Coffee and Drink It? A Systematic Review and Meta-analysis to Determine Whether Habitual Caffeine Consumption Affects the Ergogenic Effect of Caffeine. *Sports Medicine*, *52*(9), 2209–2220. https://doi.org/10.1007/s40279-022-01685-0

Couvillon, M. J., Al Toufailia, H., Butterfield, T. M., Schrell, F., Ratnieks, F. L. W., & Schürch, R. (2015). Caffeinated Forage Tricks Honeybees into Increasing Foraging and Recruitment Behaviors. *Current Biology*, *25*(21), 2815–2818. https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.08.052

Dalbo, V. J., Roberts, M. D., Stout, J. R., & Kerksick, C. M. (2008). Acute effects of ingesting a commercial thermogenic drink on changes in energy expenditure and markers of lipolysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *5*(1), 6. https://doi.org/10.1186/1550-2783-5-6

Davis, J. K., & Green, J. M. (2009). Caffeine and Anaerobic Performance. *Sports Medicine*, *39*(10), 813–832. https://doi.org/10.2165/11317770-000000000-00000

Davis, J. M., Zhao, Z., Stock, H. S., Mehl, K. A., Buggy, J., & Hand, G. A. (2003). Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *284*(2), R399–R404. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00386.2002

Davis, J.-K., Green, J. M., & Laurent, C. M. (2012). Effects of Caffeine on Resistance Training Performance on Repetitions to Failure. *Journal of Caffeine Research*, *2012*. https://doi.org/doi:10.1089/jcr.2012.0005

De Souza, J. G., Del Coso, J., Fonseca, F. D. S., Silva, B. V. C., De Souza, D. B., Da Silva Gianoni, R. L., Filip-Stachnik, A., Serrão, J. C., & Claudino, J. G. (2022). Risk or benefit? Side effects of caffeine supplementation in sport: a systematic review. *European Journal of Nutrition*, *61*(8), 3823–3834. https://doi.org/10.1007/s00394-022-02874-3

Del Coso, J., Muñoz, G., & Muñoz-Guerra, J. (2011). Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the world anti-doping agency list of banned substances. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, *36*(4), 555–561. https://doi.org/10.1139/h11-052

Delbeke, F., & Debackere, M. (1984). Caffeine: Use and Abuse in Sports. *International Journal of Sports Medicine*, *05*(04), 179–182. https://doi.org/10.1055/s-2008-1025901

DePaula, J., & Farah, A. (2019). Caffeine Consumption through Coffee: Content in the Beverage, Metabolism, Health Benefits and Risks. *Beverages*, *5*(2), 37. https://doi.org/10.3390/beverages5020037

de Witt, J. K., English, K. L., Crowell, J. B., Kalogera, K. L., Guilliams, M. E., Nieschwitz, B. E., Hanson, A. M., & Ploutz-Snyder, L. L. (2018). Isometric midthigh pull reliability and relationship to deadlift one repetition maximum. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(2), 528–533. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001605

Diaz-Lara, F. J., Del Coso, J., Portillo, J., Areces, F., García, J. M., & Abián-Vicén, J. (2016). Enhancement of high-intensity actions and physical performance during a simulated brazilian jiu-jitsu competition with a moderate dose of caffeine. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(7), 861–867. https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0686

Doepker, C., Lieberman, H. R., Smith, A. P., Peck, J. D., El-Sohemy, A., & Welsh, B. T. (2016). Caffeine: Friend or Foe? *Annual Review of Food Science and Technology*, *7*(1), 117–137. https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033243

Doepker, C., Movva, N., Cohen, S. S., & Wikoff, D. S. (2022). Benefit-risk of coffee consumption and all-cause mortality: A systematic review and disability adjusted life year analysis. *Food and Chemical Toxicology*, *170*, 113472. https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113472

Doherty, M., & Smith, P. M. (2005). Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: A meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *15*(2), 69–78. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00445.x

Drake, C., Roehrs, T., Shambroom, J., & Roth, T. (2013). Caffeine effects on sleep taken 0, 3, or 6 hours before going to bed. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, *9*(11), 1195–1200. https://doi.org/10.5664/jcsm.3170

Duncan, M. J., Stanley, M., Parkhouse, N., Cook, K., & Smith, M. (2013). Acute caffeine ingestion enhances strength performance and reduces perceived exertion and muscle pain perception during resistance exercise. *European Journal of Sport Science*, *13*(4), 392–399. https://doi.org/10.1080/17461391.2011.635811

Durkalec-Michalski, K., Nowaczyk, P. M., Główka, N., & Grygiel, A. (2019). Dose-dependent effect of caffeine supplementation on judo-specific performance and training activity: A randomized placebo-controlled crossover trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *16*(1). https://doi.org/10.1186/s12970-019-0305-8

Echeverri, D., Montes, F. R., Cabrera, M., Galán, A., & Prieto, A. (2010). Caffeine's Vascular Mechanisms of Action. *International Journal of Vascular Medicine*, *2010*, 1–10. https://doi.org/10.1155/2010/834060

El Agaty, S. M. T., & Seif, A. A. (2015). Cardiovascular effects of long-term caffeine administration in aged rats. *Irish Journal of Medical Science (1971 -)*, *184*(2), 265–272. https://doi.org/10.1007/s11845-014-1098-z

Endo, M. (2009). Calcium-Induced Calcium Release in Skeletal Muscle. *Physiological Reviews*, *89*(4), 1153–1176. https://doi.org/10.1152/physrev.00040.2008

Erdfelder, E., & Buchner, A. (1996). GPOWER: A general power analysis program. In *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* (Roč. 28, Číslo I, s. 1–11).

Eskelinen, M. H., Ngandu, T., Tuomilehto, J., Soininen, H., & Kivipelto, M. (2009). Midlife Coffee and Tea Drinking and the Risk of Late-Life Dementia: A Population-Based CAIDE Study. *Journal of Alzheimer's Disease*, *16*(1), 85–91. https://doi.org/10.3233/JAD-2009-0920

European Food Safety Authority. (2015). *EFSA explains risk assessment: Caffeine.* Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2805/618813

European Food Safety Authority. (2015). Scientific Opinion on the safety of caffeine. *EFSA Journal*, *13*(5). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4102

Ferré, S. (2016). Mechanisms of the psychostimulant effects of caffeine: Implications for substance use disorders. *Psychopharmacology*, *233*(10), 1963–1979. https://doi.org/10.1007/s00213-016-4212-2

Ferreira, L. H. B., Forbes, S. C., Barros, M. P., Smolarek, A. C., Enes, A., Lancha-Junior, A. H., Martins, G. L., & Souza-Junior, T. P. (2022). High Doses of Caffeine Increase Muscle Strength and Calcium Release in the Plasma of Recreationally Trained Men. *Nutrients*, *14*(22), 4921. https://doi.org/10.3390/nu14224921

Ferreira, T. T., da Silva, J. V. F., & Bueno, N. B. (2021). Effects of caffeine supplementation on muscle endurance, maximum strength, and perceived exertion in adults submitted to strength training: A systematic review and meta-analyses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *61*(15), 2587–2600. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1781051

Fiani, B., Zhu, L., Musch, B. L., Briceno, S., Andel, R., Sadeq, N., & Ansari, A. Z. (2021). The Neurophysiology of Caffeine as a Central Nervous System Stimulant and the Resultant Effects on Cognitive Function. *Cureus*. https://doi.org/10.7759/cureus.15032

Filip-Stachnik, A., Wilk, M., Krzysztofik, M., Lulińska, E., Tufano, J., Zajac, A., Stastny, P., & Del Coso, J. (2021). The effects of high doses of caffeine on maximal strength and muscular endurance in athletes habituated to caffeine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *11*(8), 1–10. https://doi.org/10.1186/s12970-021-00421-9

Fine, B. J., Kobrick, J. L., Lieberman, H. R., Marlowe, B., Riley, R. H., & Tharion, W. J. (1994). Effects of caffeine or diphenhydramine on visual vigilance. In *Psychopharmacology* (Roč. 114, s. 233–238).

Freitas De Salles, B., Simão, R., Miranda, F., Da, J., Novaes, S., Lemos, A., & Willardson, J. M. (2009). *Rest Interval between Sets in Strength Training*. Sports Med.

Gardiner, C., Weakley, J., Burke, L. M., Roach, G. D., Sargent, C., Maniar, N., Townshend, A., & Halson, S. L. (2023). The effect of caffeine on subsequent sleep: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, *69*, 101764. https://doi.org/10.1016/j.smrv.2023.101764

Geethavani, G., Rameswarudu, M., & Reddy, R. R. (2014). Effect of Caffeine on Heart Rate and Blood Pressure. *International Journal of Scientific and Research Publications*, *4*(2). www.ijsrp.org

Glade, M. J. (2010). Caffeine-Not just a stimulant. *Nutrition*, *26*(10), 932–938. https://doi.org/10.1016/j.nut.2010.08.004

Glaister, M., Howatson, G., Abraham, C. S., Lockey, R. A., Goodwin, J. E., Foley, P., & Mcinnes, G. (2008). Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *40*(10), 1835–1840. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31817a8ad2

Green, J. M., Wickwire, P. J., McLester, J. R., Gendle, S., Hudson, G., Pritchett, R. C., & Laurent, C. M. (2007). Effects of Caffeine on Repetitions to Failure and Ratings of Perceived Exertion During Resistance Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *2*(3), 250–259. https://doi.org/10.1123/ijspp.2.3.250

Grgic, J. (2021). Effects of Caffeine on Resistance Exercise: A Review of Recent Research. *Sports Medicine*, *51*(11), 2281–2298. https://doi.org/10.1007/s40279-021-01521-x

Grgic, J. (2022). Exploring the minimum ergogenic dose of caffeine on resistance exercise performance: A meta-analytic approach. *Nutrition*, *97*, 111604. https://doi.org/10.1016/j.nut.2022.111604

Grgic, J., & Del Coso, J. (2021). Ergogenic Effects of Acute Caffeine Intake on Muscular Endurance and Muscular Strength in Women: A Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(11), 5773. https://doi.org/10.3390/ijerph18115773

Grgic, J., Pickering, C., Del Coso, J., Schoenfeld, B. J., & Mikulic, P. (2021). CYP1A2 genotype and acute ergogenic effects of caffeine intake on exercise performance: A systematic review. *European Journal of Nutrition*, *60*(3), 1181–1195. https://doi.org/10.1007/s00394-020-02427-6

Grgic, J., Trexler, E. T., Lazinica, B., & Pedisic, Z. (2018). Effects of caffeine intake on muscle strength and power: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *15*(1), 11. https://doi.org/10.1186/s12970-018-0216-0

Grosso, G., Godos, J., Galvano, F., & Giovannucci, E. L. (2017). Coffee, Caffeine, and Health Outcomes: An Umbrella Review. *Annual Review of Nutrition*, *37*(1), 131–156. https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071816-064941

Gualdi-Russo, E., & Toselli, S. (2002). *Influence of various factors on the measurement of multifrequency bioimpedance*. http://www.urbanfischer.de/journals/homo

Guest, N., Corey, P., Vescovi, J., & El-Sohemy, A. (2018). Caffeine, CYP1A2 genotype, and endurance performance in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *50*(8), 1570–1578. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001596

Guest, N., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N. D. M., Arent, S. M., Antonio, J., Stout, J. R., Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Goldstein, E. R., Kalman, D. S., & Campbell, B. I. (2021). International society of sports nutrition position stand: Caffeine and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *18*(1), 1. https://doi.org/10.1186/s12970-020-00383-4

Gummadi, S. N., Bhavya, B., & Ashok, N. (2012). Physiology, biochemistry and possible applications of microbial caffeine degradation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *93*(2), 545–554. https://doi.org/10.1007/s00253-011-3737-x

Harpaz, E., Tamir, S., Weinstein, A., & Weinstein, Y. (2017). The effect of caffeine on energy balance. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, *28*(1), 1–10. https://doi.org/10.1515/jbcpp-2016-0090

Harty, P. S., Zabriskie, H. A., Stecker, R. A., Currier, B. S., Tinsley, G. M., Surowiec, K., Jagim, A. R., Richmond, S. R., & Kerksick, C. M. (2020). Caffeine Timing Improves Lower-Body Muscular Performance: A Randomized Trial. *Frontiers in Nutrition*, *7*. https://doi.org/10.3389/fnut.2020.585900

Harvey, S., Phillips, J. G., Rees, A., & Hall, T. R. (1984). Stress and adrenal function. *Journal of Experimental Zoology*, *232*(3), 633–645. https://doi.org/10.1002/jez.1402320332

Haskell, C. F., Kennedy, D. O., Wesnes, K. A., & Scholey, A. B. (2005). Cognitive and mood improvements of caffeine in habitual consumers and habitual non-consumers of caffeine. *Psychopharmacology*, *179*(4), 813–825. https://doi.org/10.1007/s00213-004-2104-3

Heckman, M. A., Weil, J., & de Mejia, E. G. (2010). Caffeine (1, 3, 7-trimethylxanthine) in foods: A comprehensive review on consumption, functionality, safety, and regulatory matters. *Journal of Food Science*, *75*(3). https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01561.x

Hewlett, P., & Smith, A. (2006). Correlates of daily caffeine consumption. *Appetite*, *46*(1), 97–99. https://doi.org/10.1016/j.appet.2005.10.004

Higdon, J. V., & Frei, B. (2006). Coffee and Health: A Review of Recent Human Research. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *46*(2), 101–123. https://doi.org/10.1080/10408390500400009

Hursel, R., Viechtbauer, W., Dulloo, A. G., Tremblay, A., Tappy, L., Rumpler, W., & Westerterp-Plantenga, M. S. (2011). The effects of catechin rich teas and caffeine on energy expenditure and fat oxidation: A meta-analysis. *Obesity Reviews*, *12*(7). https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00862.x

Chen, C.-H., Wu, S.-H., Shiu, Y.-J., Yu, S.-Y., & Chiu, C.-H. (2023). Acute enhancement of Romanian deadlift performance after consumption of caffeinated chewing gum. *Scientific Reports*, *13*(1), 22016. https://doi.org/10.1038/s41598-023-49453-y

Chia, J. S., Barrett, L. A., Chow, J. Y., & Burns, S. F. (2017). Effects of Caffeine Supplementation on Performance in Ball Games. *Sports Medicine*, *47*(12), 2453–2471. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0763-6

Chittka, L., & Peng, F. (2013). Caffeine Boosts Bees' Memories. *Science*, *339*(6124), 1157–1159. https://doi.org/10.1126/science.1234411

Icken, D., Feller, S., Engeli, S., Mayr, A., Müller, A., Hilbert, A., & De Zwaan, M. (2016). Caffeine intake is related to successful weight loss maintenance. *European Journal of Clinical Nutrition*, *70*(4), 532–534. https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.183

JASP, T. (2023). *JASP* (0.18.1) [Software].

Jessen, A., Buemann, B., Toubro, S., Skovgaard, I. M., & Astrup, A. (2005). The appetite-suppressant effect of nicotine is enhanced by caffeine*. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, *7*(4), 327–333. https://doi.org/10.1111/j.1463-1326.2004.00389.x

Jeukendrup, A., & Randell. (2011). Fat burners: Nutrition supplements that increase fat metabolism. *Obesity reviews*. https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00908.x

Jones, L., Johnstone, I., Day, C., Le Marquer, S., & Hulton, A. T. (2021). The Dose-Effects of Caffeine on Lower Body Maximal Strength, Muscular Endurance, and Rating of Perceived Exertion in Strength-Trained Females. *Nutrients*, *13*(10), 3342. https://doi.org/10.3390/nu13103342

Juliano, L. M., Huntley, E. D., Harrell, P. T., & Westerman, A. T. (2012). Development of the Caffeine Withdrawal Symptom Questionnaire: Caffeine withdrawal symptoms cluster into 7 factors. *Drug and Alcohol Dependence*, *124*(3), 229–234. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2012.01.009

Kamimori, G. H., Karyekar, C. S., Otterstetter, R., Cox, D. S., Balkin, T. J., Belenky, G. L., & Eddington, N. D. (2002). The rate of absorption and relative bioavailability of caffeine administered in chewing gum versus capsules to normal healthy volunteers. *International Journal of Pharmaceutics*, *234*(1–2), 159–167. https://doi.org/10.1016/S0378-5173(01)00958-9

Kamimori, G. H., Penetar, D. M., Headley, D. B., Thorne, D. R., Otterstetter, R., & Belenky, G. (2000). Effect of three caffeine doses on plasma catecholamines and alertness during prolonged wakefulness. *European Journal of Clinical Pharmacology*, *56*(8), 537–544. https://doi.org/10.1007/s002280000186

Kim, Y.-S., Kwak, S. M., & Myung, S.-K. (2015). Caffeine Intake from Coffee or Tea and Cognitive Disorders: A Meta-Analysis of Observational Studies. *Neuroepidemiology*, *44*(1), 51–63. https://doi.org/10.1159/000371710

Kolahdouzan, M., & Hamadeh, M. J. (2017). The neuroprotective effects of caffeine in neurodegenerative diseases. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, *23*(4), 272–290. https://doi.org/10.1111/cns.12684

Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, *15*(2), 155–163. https://doi.org/10.1016/J.JCM.2016.02.012

Lachenmeier, D., Bühler, E., Lachenmeier, D. W., Schlegel, K., & Winkler, G. (2013). *Development of a tool to assess the caffeine intake among teenagers and young adults*. https://doi.org/10.4455/eu.2014.011

Liguori, A. (1997). Absorption and Subjective Effects of Caffeine from Coffee, Cola and Capsules. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *58*(3), 721–726. https://doi.org/10.1016/S0091-3057(97)00003-8

Linnamo, V., Moritani, T., Nicol, C., & Komi, P. V. (2003). Motor unit activation patterns during isometric, concentric and eccentric actions at different force levels. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *13*(1), 93–101. https://doi.org/10.1016/S1050-6411(02)00063-9

Liu, S. H., Chen, C., Yang, R. S., Yen, Y. P., Yang, Y. T., & Tsai, C. (2011). Caffeine enhances osteoclast differentiation from bone marrow hematopoietic cells and reduces bone mineral density in growing rats. *Journal of Orthopaedic Research*, *29*(6), 954–960. https://doi.org/10.1002/jor.21326

Lo, K., Woo, B., Wong, M., & Tam, W. (2018). Subjective sleep quality, blood pressure, and hypertension: A meta-analysis. *The Journal of Clinical Hypertension*, *20*(3), 592–605. https://doi.org/10.1111/jch.13220

Londzin, P., Zamora, M., Kąkol, B., Taborek, A., & Folwarczna, J. (2021). Potential of Caffeine in Alzheimer's Disease—A Review of Experimental Studies. *Nutrients*, *13*(2), 537. https://doi.org/10.3390/nu13020537

Lopes-Silva, J. P., Rocha, A. L. S. da, Rocha, J. C. C., Silva, V. F. dos S., & Correia-Oliveira, C. R. (2021). Caffeine ingestion increases the upper-body intermittent dynamic strength endurance performance of combat sports athletes. *European Journal of Sport Science*. https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1874058

Lovallo, W. R., Whitsett, T. L., al'Absi, M., Sung, B. H., Vincent, A. S., & Wilson, M. F. (2005). Caffeine Stimulation of Cortisol Secretion Across the Waking Hours in Relation to Caffeine Intake Levels. *Psychosomatic Medicine*, *67*(5), 734–739. https://doi.org/10.1097/01.psy.0000181270.20036.06

Loy, B. D., O'Connor, P. J., Lindheimer, J. B., & Covert, S. F. (2015). Caffeine Is Ergogenic for Adenosine 2A Receptor Gene T Allele Homozygotes: A Pilot Study. *Journal of Caffeine Research*, *5*(2), 73–81. https://doi.org/10.1089/jcr.2014.0035

Magkos, F., & Kavouras, S. A. (2005). Caffeine Use in Sports, Pharmacokinetics in Man, and Cellular Mechanisms of Action. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *45*(7–8), 535–562. https://doi.org/10.1080/1040-830491379245

Mediero, A., & Cronstein, B. N. (2013). Adenosine and bone metabolism. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, *24*(6), 290–300. https://doi.org/10.1016/j.tem.2013.02.001

Nehlig, A. (2018). Interindividual differences in caffeine metabolism and factors driving caffeine consumption. *Pharmacological Reviews*, *70*(2), 384–411. https://doi.org/10.1124/pr.117.014407

Norum, M., Risvang, L. C., Bjørnsen, T., Dimitriou, L., Rønning, P. O., Bjørgen, M., & Raastad, T. (2020). Caffeine increases strength and power performance in resistance-trained females during early follicular phase. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *30*(11), 2116–2129. https://doi.org/10.1111/sms.13776

Olazarán, J., Carnero-Pardo, C., Fortea, J., Sánchez-Juan, P., García-Ribas, G., Viñuela, F., Martínez-Lage, P., & Boada, M. (2023). Prevalence of treated patients with

Alzheimer's disease: Current trends and COVID-19 impact. *Alzheimer's Research & Therapy*, *15*(1), 130. https://doi.org/10.1186/s13195-023-01271-0

Olechno, E., Puścion-Jakubik, A., Zujko, M. E., & Socha, K. (2021). Influence of Various Factors on Caffeine Content in Coffee Brews. *Foods*, *10*(6), 1208. https://doi.org/10.3390/foods10061208

Pickering, C., & Kiely, J. (2019). What Should We Do About Habitual Caffeine Use in Athletes? *Sports Medicine*, *49*(6), 833–842. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0980-7

Polito, M. D., Souza, D. B., Casonatto, J., & Farinatti, P. (2016). Acute effect of caffeine consumption on isotonic muscular strength and endurance: A systematic review and meta-analysis. *Science & Sports*, *31*(3), 119–128. https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.01.006

Poole, R., Kennedy, O. J., Roderick, P., Fallowfield, J. A., Hayes, P. C., & Parkes, J. (2017). Coffee consumption and health: Umbrella review of meta-analyses of multiple health outcomes. *BMJ*, j5024. https://doi.org/10.1136/bmj.j5024

Quadra, G. R., Paranaíba, J. R., Vilas-Boas, J., Roland, F., Amado, A. M., Barros, N., Dias, R. J. P., & Cardoso, S. J. (2020). A global trend of caffeine consumption over time and related-environmental impacts. *Environmental Pollution*, *256*, 113343. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113343

Rapuri, P. B., Gallagher, J. C., & Nawaz, Z. (2007). Caffeine decreases vitamin D receptor protein expression and 1,25(OH)2D3 stimulated alkaline phosphatase activity in human osteoblast cells. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, *103*(3–5), 368–371. https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2006.12.037

Ratamess, N. (2011). *Strength and Conditioning for Grappling Sports*. Strenght and Conditioning Journal. http://journals.lww.com/nsca-scj

Riera-Sampol, A., Rodas, L., Martínez, S., Moir, H. J., & Tauler, P. (2022). Caffeine Intake among Undergraduate Students: Sex Differences, Sources, Motivations, and Associations with Smoking Status and Self-Reported Sleep Quality. *Nutrients*, *14*(8), 1661. https://doi.org/10.3390/nu14081661

Richardson, D. L., & Clarke, N. D. (2016). Effect of Coffee and Caffeine Ingestion on Resistance Exercise Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(10), 2892–2900. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001382

Rodak, K., Kokot, I., & Kratz, E. M. (2021). Caffeine as a Factor Influencing the Functioning of the Human Body—Friend or Foe? *Nutrients*, *13*(9), 3088. https://doi.org/10.3390/nu13093088

Salinero, J. J., Lara, B., & Del Coso, J. (2019). Effects of acute ingestion of caffeine on team sports performance: A systematic review and meta-analysis. *Research in Sports Medicine*, *27*(2), 238–256. https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1552146

Sampasa-Kanyinga, H., Masengo, L., Hamilton, H. A., & Chaput, J.-P. (2020). Energy Drink Consumption and Substance Use among Middle and High School Students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(9), 3110. https://doi.org/10.3390/ijerph17093110

Satel, S. (2006). Is Caffeine Addictive?—A Review of the Literature. *The American Journal of Drug and Alcohol Abuse*, *32*(4), 493–502. https://doi.org/10.1080/00952990600918965

Shilo, L., Sabbah, H., Hadari, R., Kovatz, S., Weinberg, U., Dolev, S., Dagan, Y., & Shenkman, L. (2002). The effects of coffee consumption on sleep and melatonin secretion. *Sleep Medicine*, *3*(3), 271–273. https://doi.org/10.1016/S1389-9457(02)00015-1

Shin, J., Choi, Y., Kim, J., Yu, A., Shin, J., Choi, Y., & Roh, J. (2015). High doses of caffeine reduce in vivo osteogenic activity in prepubertal rats. *Journal of Anatomy*, *227*(1), 10–20. https://doi.org/10.1111/joa.12332

Southward, K., Rutherfurd-Markwick, K. J., & Ali, A. (2018). The Effect of Acute Caffeine Ingestion on Endurance Performance: A Systematic Review and Meta–Analysis. *Sports Medicine*, *48*(8), 1913–1928. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0939-8

Svenningsson, P., Nomikos, G. G., & Fredholm, B. B. (1999). The Stimulatory Action and the Development of Tolerance to Caffeine Is Associated with Alterations in Gene Expression in Specific Brain Regions. *The Journal of Neuroscience*, *19*(10), 4011–4022. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.19-10-04011.1999

Šťastný, D., & Pavelka, R. (2021). *Optimální podmínky užívání kofeinu a jeho vliv na sportovní výkon* [Bakalářská práce]. Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy.

Tabrizi, R., Saneei, P., Lankarani, K. B., Akbari, M., Kolahdooz, F., Esmaillzadeh, A., Nadi-Ravandi, S., Mazoochi, M., & Asemi, Z. (2019). The effects of caffeine intake on weight loss: A systematic review and dos-response meta-analysis of randomized controlled trials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(16), 2688–2696. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1507996

Tallis, J., & Yavuz, C. M. (2017). The Effect of Low and Moderate Dose Caffeine: Supplementation on Upper and Lower Body Maximal Voluntary Concentric and Eccentric Muscle Force. In *Appl. Physiol. Nutr. Metab. Downloaded from www.nrcresearchpress.com by Laurentian University on* (Roč. 10, s. 17). Applied Physiology, Nutrition and Metabolism. www.nrcresearchpress.com

Tamilio, R. A., Clarke, N. D., Duncan, M. J., Morris, R. O., & Tallis, J. (2022). How Repeatable Is the Ergogenic Effect of Caffeine? Limited Reproducibility of Acute Caffeine (3 mg.kg−1) Ingestion on Muscular Strength, Power, and Muscular Endurance. *Nutrients*, *14*(20), 4416. https://doi.org/10.3390/nu14204416

Thakur, R. A., Michniak, B. B., & Meidan, V. M. (2007). Transdermal and Buccal Delivery of Methylxanthines Through Human Tissue In Vitro. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, *33*(5), 513–521. https://doi.org/10.1080/03639040600901994

The Jamovi Project. (2022). *Jamovi* (2.3.28) [Software].

Thomson, J. D., Draguleasa, M. A., & Tan, M. G. (2015). Flowers with caffeinated nectar receive more pollination. *Arthropod-Plant Interactions*, *9*(1), 1–7. https://doi.org/10.1007/s11829-014-9350-z

Tremblay, A., & Houde, A. (1988). Caffeine Reduces Spontaneous Energy Intake in Men but not in Women. *Nutrition Research*.

Treur, J. L., Taylor, A. E., Ware, J. J., McMahon, G., Hottenga, J.-J., Baselmans, B. M. L., Willemsen, G., Boomsma, D. I., Munafò, M. R., & Vink, J. M. (2016). Associations between smoking and caffeine consumption in two European cohorts: Smoking and caffeine consumption. *Addiction*, *111*(6), 1059–1068. https://doi.org/10.1111/add.13298

Třebický, V. (2023, květen 17). *Evidence-Based Efffect Size Distributions: A Case Study of Caffeine Ergogenics*. Scientia Movens, Praha.

Tufano, J. J., Omcirk, D., Malecek, J., Pisz, A., Halaj, M., & Scott, B. R. (2020). Traditional sets versus rest-redistribution: A laboratory-controlled study of a specific cluster set configuration at fast and slow velocities. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *45*(4), 421–430. https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0584

Turnbull, D., Rodricks, J. V., Mariano, G. F., & Chowdhury, F. (2017). Caffeine and cardiovascular health. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *89*, 165–185. https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.07.025

van Dam, R. M., Hu, F. B., & Willett, W. C. (2020). Coffee, Caffeine, and Health. *New England Journal of Medicine*, *383*(4), 369–378. https://doi.org/10.1056/NEJMra1816604

VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N. D. M., Arent, S. M., Antonio, J., Stout, J. R., Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Goldstein, E. R., Kalman, D. S., & Campbell, B. I. (2021). International society of sports nutrition position stand: Caffeine and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *18*(1), 1–37. https://doi.org/10.1186/s12970-020-00383-4

Verster, J. C., & Koenig, J. (2018). Caffeine intake and its sources: A review of national representative studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *58*(8), 1250–1259. https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1247252

Volkow, N. D., Wang, G.-J., Logan, J., Alexoff, D., Fowler, J. S., Thanos, P. K., Wong, C., Casado, V., Ferre, S., & Tomasi, D. (2015). Caffeine increases striatal

dopamine D2/D3 receptor availability in the human brain. *Translational Psychiatry*, *5*(4), e549–e549. https://doi.org/10.1038/tp.2015.46

Wang, Y., & Ho, C.-T. (2009). Polyphenolic Chemistry of Tea and Coffee: A Century of Progress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(18), 8109–8114. https://doi.org/10.1021/jf804025c

Warren, G. L., Park, N. D., Maresca, R. D., Mckibans, K. I., & Millard-Stafford, M. L. (2010). Effect of Caffeine Ingestion on Muscular Strength and Endurance: A Meta-Analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *42*(7), 1375–1387. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cabbd8

Wickham, K. A., & Spriet, L. L. (2018). Administration of Caffeine in Alternate Forms. *Sports Medicine*, *48*(s1), 79–91. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0848-2

Wikoff, D., Welsh, B. T., Henderson, R., Brorby, G. P., Britt, J., Myers, E., Goldberger, J., Lieberman, H. R., O'Brien, C., Peck, J., Tenenbein, M., Weaver, C., Harvey, S., Urban, J., & Doepker, C. (2017). Systematic review of the potential adverse effects of caffeine consumption in healthy adults, pregnant women, adolescents, and children. *Food and Chemical Toxicology*, *109*, 585–648. https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.04.002

Wilk, M., Krzysztofik, M., Filip, A., Zajac, A., & Del Coso, J. (2019). The effects of high doses of caffeine on maximal strength and muscular endurance in athletes habituated to caffeine. *Nutrients*, *11*(8). https://doi.org/10.3390/nu11081912

Wilson, J. M., Fitschen, P. J., Campbell, B., Wilson, G. J., Zanchi, N., Taylor, L., Wilborn, C., Kalman, D. S., Stout, J. R., Hoffman, J. R., Ziegenfuss, T. N., Lopez, H. L., Kreider, R. B., Smith-Ryan, A. E., & Antonio, J. (2013). International

Society of Sports Nutrition position stand: Energy drinks. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *10*(1), 6.

Wilson, P., & Bloom, H. (2016). Caffeine Consumption and Cardiovascular Risks: Little Cause for Concern. *Journal of the American Heart Association*, *5*(1), e003089. https://doi.org/10.1161/JAHA.115.003089

Winwood, P. W., Cronin, J. B., Posthumus, L. R., Finlayson, S. J., Gill, N. D., & Keogh, J. W. L. (2015). Strongman vs. Traditional Resistance Training Effects on Muscular Function and Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(2), 429–439. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000629

Womack, C. J., Saunders, M. J., Bechtel, M. K., Bolton, D. J., Martin, M., Luden, N. D., Dunham, W., & Hancock, M. (2012). The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *9*(1), 7. https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-7

Wu, L., Sun, D., & He, Y. (2017). Coffee intake and the incident risk of cognitive disorders: A dose–response meta-analysis of nine prospective cohort studies. *Clinical Nutrition*, *36*(3), 730–736. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.05.015

Xie, C., Cui, L., Zhu, J., Wang, K., Sun, N., & Sun, C. (2018). Coffee consumption and risk of hypertension: A systematic review and dose–response meta-analysis of cohort studies. *Journal of Human Hypertension*, *32*(2), 83–93. https://doi.org/10.1038/s41371-017-0007-0

Yeh, J. K., & Aloia, J. F. (1986). Differential effect of caffeine administration on calcium and vitamin D metabolism in young and adult rats. *Journal of Bone and Mineral Research*, *1*(3), 251–258. https://doi.org/10.1002/jbmr.5650010303

Young, K. P., Haff, G. G., Newton, R. U., & Sheppard, J. M. (2014). Reliability of a novel testing protocol to assess upper-body strength qualities in elite athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(5), 871–875. https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0332

Zisapel, N., Tarrasch, R., & Laudon, M. (2005). The relationship between melatonin and cortisol rhythms: Clinical implications of melatonin therapy. *Drug Development Research*, *65*(3), 119–125. https://doi.org/10.1002/ddr.20014

Zuchinali, P., Ribeiro, P. A. B., Pimentel, M., da Rosa, P. R., Zimerman, L. I., & Rohde, L. E. (2016). Effect of caffeine on ventricular arrhythmia: A systematic review and meta-analysis of experimental and clinical studies. *Europace*, *18*(2), 257–266. https://doi.org/10.1093/europace/euv261

5. Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázek 1- Harmonogram průběhu studie..... 31

Obrázek 2- Harmonogram průběhu experimentálního termínu měření (IO= interval odpočinku mezi opakováními)..... 31

Obrázky 3-5: Provedení cviků izometrický mrtvý tah, izometrický benchpress, izometrické zádový zdvih..... 35

Obrázek 5- ICC u cviku mrtvý tah během všech termínů měření..... 39

Obrázek 6- ICC u cviku benchpress během všech termínů měření..... 43

Obrázek 7- ICC u cviku izometrický zádový zdvih během všech termínu měření..... 47

Obrázek 8- Sklon regresních přímek u izometrického zádového zdvihu po nedostatečném odpočinku..... 52

Tabulka 1- Množství kofeinu ve vybraných nápojích..... 12

Tabulka 2- Množství kofeinu ve vybraných potravinách a produktech..... 13

Tabulka 3- Základní popisná statistika o participantech..... 38

Tabulka 4- Popisná statistika u cviku mrtvý tah..... 40

Tabulka 5- Korelace mezi jednotlivými termíny měření u cviku mrtvý tah..... 40

Tabulka 6- Test sféricity dat u cviku mrtvý tah..... 41

Tabulka 7- Post-hoc u cviku mrtvý tah..... 42

Tabulka 8- Rozdíl mezi kofeinem a placebem u cviku mrtvý tah..... 42

Tabulka 9- Popisná statistika u cviku benchpress..... 43

Tabulka 10- Korelace mezi jednotlivými termíny měření u cviku benchpress..... 44

Tabulka 11- Test sféricity u cviku benchpress..... 44

Tabulka 12- Post-hoc test u cviku benchpress..... 45

Tabulka 13- Rozdíl mezi kofeinem a placebem u cviku benchpress..... 46

Tabulka 14- Popisná statistika u cviku izometrický zádový zdvih..... 47

Tabulka 15- Korelace mezi jednotlivými termíny měření u cviku izometrický zádový zdvih..... 48

Tabulka 16- Test sféricity u cviku izometrický zádový zdvih..... 48

Tabulka 17- Post-hoc analýza u cviku izometrická zádový zdvih..... 49

Tabulka 18- Odhady efektů u izometrického zádového zdvihu..... 51

Tabulka 19- Post-hoc analýza u cviku izometrický zádový zdvih..... 51

Graf 1- Analýza senzitvity testu (power analýza) pro rozdíl mezi průměry v párovém porovnání..... 37

Graf 2- Přehled parametrů trénovanosti ze standardizovaného dotazníku..... 39

Graf 3- ICC u cviku mrtvý tah během všech termínů měření 39
Graf 4- ICC u cviku mrtvý tah během všech termínů měření 39
Graf 5- Rozdíly v průměrech u cviku mrtvý tah..... 41
Graf 6- Distribuce rozdílů mezi kofeinem a placebem u cviku mrtvý tah 42
Graf 8- Rozdíly v průměrech výkonů maximální síly u cviku benchpress 45
Graf 9- Distribuce rozdílů mezi kofeinem a placebem u cviku benchpress 46
Graf 10- ICC u cviku izometrický zádový zdvih během všech termínu měření 47
Graf 11- Rozdíly v průměrech výkonů maximální síly u cviku izometrický zádový zdvih 49

5. Přílohy

I. Návrh ke schválení Etické Komisi UK FTVS

CHARLES UNIVERSITY
FACULTY OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORT
José Martího 31, 162 52 Prague 6-Veleslavín

Application for Approval by UK FTVS Ethics Committee

of a research project, thesis, dissertation, or seminar work involving human subjects

The title of a project: The effect of caffeine and its different doses on the maximum strength of complex exercises

Project form: research project

Period of realization of the project: September 2022 – November 2023

The research will be carried out in accordance with the valid epidemiological measures of the Ministry of Health of the Czech Republic.

Applicant: Daniel Šťastný, Ba (Department of Technical and Combat Sports, Faculty of Physical Education and Sports, Charles University)

Main researcher: Daniel Šťastný, Ba (Department of Technical and Combat Sports, Faculty of Physical Education and Sports, Charles University)

Workplace: Laboratory of Training Adaptation UK FTVS, Laboratory of Sports Biochemistry UK FTVS

Co-researcher(s): Radim Pavelka, PhD. (Department of Technical and Combat Sports, Faculty of Physical Education and Sports, Charles University)

Supervisor: Vít Třebický, PhD. (Department of Technical and Combat Sports, Faculty of Physical Education and Sports, Charles University)

Financial support: no financial support

Project description: This project investigates the effect of caffeine and its different doses on the maximum strength in complex exercises, bench-press and deadlift.

Aims of the research:
- To test the effect of caffeine on maximum muscle strength in complex exercise (deadlift) and upper body exercise (bench press) in static (isometric) performance.
- To compare the effect of caffeine on maximum strength between complex exercise and upper body exercise
- To compare the effects of two different doses (3 and 6 mg/kg) of caffeine on maximum strength.
- To test the effect of caffeine on maintaining maximum strength during isometric mid-thigh pull repetitions.

Materials and Methods:
This project has the character of a double-blinded randomized within-subject experimental study. Only non-invasive laboratory and standardised tests and data collection procedures will be used.
Procedure:
Participants will attend four data collection sessions. Before each session, they will be asked not to consume any form of caffein at least 12 hours before participation. During the first (familiarisation) session, anthropometric and body composition measurements will be taken, questionnaires will be administered, and measures of muscle strength will be collected. In the following three experimental sessions (each two days apart), caffeine and placebo pills will be administered, and muscle strength measures will be collected.
Anthropometric and body composition measurements:
Only non-invasive methods will be used to collect basic anthropometric and body composition measurements. A trained researcher will collect body morphology measurements (e.g., height, weight, body segment length). We will perform a bioelectrical impedance analysis (Tanita) of the participant's body composition.
Questionnaires:We will record basic demographic information and experiences with weightlifting in the purpose-built questionnaires. Next, participants will fill in a Czech modified version of a standardised questionnaire, the Caffeine Intake Questionnaire (Lachenmeier, et al., 2013, 10.4455/eu.2014.011).
Muscle strength performance:After a standardised and supervised (by a trained and certified research assistant) warming up session, participants will perform the maximum isometric strength tests for bench-pressing (5 reps), mid-shin pull (5 reps), and mid-thigh pull (10 reps).
*Caffeine and placebo pills:*During the three experimental sessions, in a double-blinded and randomised design, participants will ingest a placebo (3 mg/kg of maltodextrin), or 3 mg/kg caffeine, or 6 mg/kg caffeine in the form of a capsule. A trained researcher at the LSB will individually prepare capsules with caffeine and placebo for each participant.

1

*Heart rate:*Using a non-invasive method (chest strap heartbeat monitor Polar), we will monitor the heart rate of all participants after administration of the capsules.

Characteristics of participants in the research:
We plan to recruit a sample of ~40 men between 18 and 40 years of age. Only healthy and active athletes experienced with strength training (at least 1 year with an average training frequency at least twice a week) and weightlifting (deadlift and bench-press exercises performing et least one 1 year with an average frequency at least once a week), and who use caffeine on their own, voluntarily and regularly (normal daily users, at least 100 mg of caffeine intake a day) will be allowed to participate.
Potential participants will be notified of these criteria before the first session, and the verification will take place based on completed questionnaires.
We will recruit participants mainly via advertising on social media networks (webpages, Facebook, Instagram, Twitter profiles operated by the Faculty of Physical Education and individual research team members), leaflets and posters distributed on Faculty of Physical Education premises, and via personal contacts.
Potential participants that had been injured prior to the data collection or are in convalescence will not be allowed to participate. Further contraindications are: joint instability or inflammation, unhealed fractures, osteoporosis or postoperative restrictions, uncontrolled hypertension, acute myocarditis, pericarditis and other cardiovascular diseases and pre-existing co-morbidities limiting exercise or caffein intake tolerance.

Ensuring safety within the research:
Caffeine is an addictive substance, and its use may lead to physical and mental dependence. To avoid any possible adverse effects of caffeine use (such as the onset of habit and addiction or ingestion of higher than recommended and safe doses), only individuals who regularly consume caffeine-containing foods, drinks and/or dietary supplements on their own, voluntarily in their everyday lives may participate in the study.
Selected doses of caffeine (3 and 6 mg/kg) are comparable to previously published studies in this area of research (Grgic et al., 2018, 10.1186/s12970-018-0216-0). They are within the recommendations of the International Sports Nutrition Society and significantly lower than potentially hazardous doses.
Anthropometry, bioimpedance body composition, heart rate, and measurements of muscle performance (maximum strength) are non-invasive standard methods, and their use entails no direct or indirect risks. The measurement of muscle performance (maximum strength) does not represent loads or risks any higher than the customarily practised sports activities of the target group. All measurements, as mentioned above, will be performed by trained and experienced researchers in the LTA, a specialised lab for this type of research.
In addition, to minimise the possible adverse effects of physical activity and avoid injuries during physical tests, each participant will warm up following a standardised and supervised (by a certified research assistant) routine before the testing and be familiarised and advised with the exercises under the supervision.
Participants will be supervised, monitored, and continuously asked by a researcher assistant about their condition during all sessions. In case of any discomfort, their participation will be terminated. All participants will be informed that at any time and without providing any reason, they are allowed to end their participation in a given term or the entire study.
Potential negative subjective manifestations of caffeine consumption may include an increase in urine output, sensations of tachycardia, gastrointestinal irritation or headache.

Ethical aspects of the research:
Only healthy and adult individuals will be allowed to participate. No individuals belonging to vulnerable groups will participate in this research.
Though the administration of a placebo may constitute an ethical issue, it is the golden standard procedure in this area of research (Grgic et al., 2018, 10.1186/s12970-018-0216-0) and a methodological necessity. Placebo represents a 'base state' allowing us to measure and distinguish the potential physiological effects of caffeine on muscle strength - the key aim of the proposed project. As this study is based on a within-subject design, all participants will receive all of the three capsules. Thus, no one will be excluded or prohibited from receiving the potentially effective substance (caffeine) and dosage. Participants will be told that they will be given a capsule with different amounts of the effective substance, and only after their participation will they be told when they have received the placebo and caffeine (the condition will be double-blinded).
Although the effect of caffein ingestion on physical performance is frequently investigated topic in sports science, the body of available evidence is predominantly focused on endurance. Our project aims on maximal strength performance, a topic where the available literature is surprisingly limited and an area of fitness where caffein consumption in high doses is frequent. Previous studies of maximal strength tested mainly the performance of individual body parts of only lower or upper body. However, very little is known about the effect of caffeine on maximal performance with the simultaneous involvement of large muscle groups of both upper and lower body, such as the deadlift.

We are also unaware of any study investigating the effect of caffeine on maintaining maximal muscle strength during subsequent repetitions with insufficient rest intervals.
Potential conflict of interest: In this research, we are not aware of any potential or actual conflict of primary (e.g., participants and broader public welfare, or the validity of research) or secondary interests (e.g., financial and other gains or personal rivalry) that may influence the integrity and objectivity of the study.
Protection of personal data: The data collected in this project by the methods described above will be collected and processed following the General Data Protection Regulation of the European Union No. 2016/679 and Law No. 110/2019 Code. Only the following personal data will be collected: age, body height and weight, lean mass and body fat percentage, amount and type of caffeine-containing food regularly consumed per day, previous experience with strength training and given exercises and other data from the methods listed above. All obtained data will be stored on a computer secured by a password in a locked room accessible only to researchers of this project. The data will be processed in an anonymous form, i.e., participants will be identified by assigned codes in the dataset, and the data will not contain any information that, individually or in its summary, may lead to the identification of a specific person. Any personal data that may be acquired during experimental sessison which could potentially lead to identifying a specific person will be anonymised at the latest one day after the data collection. The data will only be used for scientific and research purposes and will not be passed on to third parties. The obtained data will be processed, securely stored, and published anonymously in scientific journals, scientific data repositories, and monographs and presented at conferences or used in further research work and qualification thesis at FPES CUNI.
Taking photographs/videos/audio recordings of the participants: This research project will collect no audio-visual recordings of participants.

I shall ensure that the research data will not be misused to the maximum extent possible.

Text of informed consent (IS): Informed consent is attached to this application.

It is the duty of **all participants of the research team** to protect life, health, dignity, integrity, the right to self-determination, privacy, and protection of the personal data of all research subjects, and to undertake all possible precautions. Responsibility for the protection of all research subjects lies on the researcher(s) and not on the research subjects themselves, even if they gave their consent to participate in the research. All participants of the research team must take into consideration ethical, legal, and regulative norms and standards of research involving human subjects applicable not only in the Czech Republic but also internationally.
I confirm that this project description corresponds to the plan of the project and, in case of any change, especially of the methods used in the project, I will inform the UK FTVS Ethics Committee, which may require a re-submission of the application form.

In Prague, 20/06/ 2022 Applicant's signature:

Approval of UK FTVS Ethics Committee

The Committee: Chair: Doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.
Members: Prof. PhDr. Pavel Slepička, DrSc. Prof. MUDr. Jan Heller, CSc.
PhDr. Pavel Hráský, Ph.D. Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.
Mgr. Tomáš Ruda, Ph.D. MUDr. Simona Majorová

The research project was approved by UK FTVS Ethics Committee under the registration number: 177/2022
Date of approval: 29.6.2022

UK FTVS Ethics Committee reviewed the submitted research project and **found no contradictions** with valid principles, regulations, and international guidelines for carrying out research involving human subjects.

The applicant has met the necessary requirements for receiving approval of the UK FTVS Ethics Committee.

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu
José Martího 31, 162 52, Praha 6
Stamp of UK FTVS

Signature of the Chair of
UK FTVS Ethics Committee

II. Informovaný souhlas k žádosti 177/2022

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
José Martího 31, 162 52 Praha 6-Veleslavín

INFORMOVANÝ SOUHLAS k žádosti 177/2022

Vážený pane,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv, nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů a dalšími obecně závaznými právními předpisy *(jakož jsou zejména Helsinská deklarace, přijatá 18. Světovým zdravotnickým shromážděním v roce 1964 ve znění pozdějších změn (Fortaleza, Brazilie, 2013); Zákon o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zejména ustanovení § 28 odst. 1 zákona č. 372/2011 Sb.) a Úmluva o lidských právech a biomedicíně č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné),* Vás žádám o souhlas s Vaší účastí ve výzkumném projektu na FTVS UK v rámci diplomové práce s názvem *Vliv kofeinu a jeho rozdílných dávek na maximální sílu komplexních cviků* prováděné ve spolupráci Katedry technických a úpolových sportů a Laboratoři tréninkové adaptace FTVS UK.

1. Projekt bude probíhat v období únor 2023– duben 2023

Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

2. Projekt není financován.

3. Cíle výzkumného projektu je otestovat vliv různých dávek kofeinu na maximální svalovou sílu u komplexního cviku (mrtvý tah) a cviku na horní polovinu těla (benchpress) při statickém (izometrickém) provedení. Dále chceme otestovat možný ergogenní vliv kofeinu na udržení maximální síly mezi opakováními.

   V rámci tohoto projektu se zúčastníte celkem 3 termínů měření. První (úvodní) termín měření, kterého se nyní účastníte, je seznamovací. V jeho rámci vyplníte dva dotazníky (ohledně základních demografických údajů, zkušeností se sportem a konzumace kofeinu), budou Vám změřeny základní tělesné rozměry (jako výška, obvod hrudi, pasu, bicepsu) a pomocí bio-impedance určeno tělesné složení (např. procento svalové hmoty a podkožního tuku). Po následném rozcvičení s Vámi provedeme testy maximální izometrické (statické) síly u cviků mrtvý tah a benchpress pod vedením výzkumného pracovníka. U každého cviku uděláte 5 pětisekundových opakování a mezi každým tímto opakováním bude 120 sekund odpočinek. Mezi těmito dvěma cviky bude pauza 5 minut. Následovat bude 10 minut pauza, po které přejdete k poslednímu testu, a to udržení maximální síly izometrického zádového zdvihu během 10 opakování. Délka každého opakování bude opět 5 sekund a po každém opakování bude pauza 10 sekund.

   Následující 2 termíny měření budou experimentální. Na každém termínu dostanete kapsli, která bude obsahovat jednu ze 2 možných dávek kofeinu (každá kapsle bude individuálně připravena vzhledem k Vaší tělesné hmotnosti). Kapsle budou konzumovány v souladu s návodem výrobce. Následně setrváte 50 minut v klidu v sedě. Po uplynutí tohoto času proběhne rozcvičení a testy maximální izometrické síly u cviků mrtvý tah a benchpress a udržení maximální síly izometrického zádového zdvihu, stejně jako při úvodním termínu. Od konzumace kofeinu po konec každého experimentálního měření Vám bude měřena srdeční frekvence pomocí hrudního pásu.

   Všechny zmíněné metody jsou neinvazivní. Riziko nepřesahuje rizika běžně očekávaná u daných pohybových aktivit či měření.

   Navíc budou provedeny zaškoleným výzkumným pracovníkem a pod dohledem výzkumného asistenta laboratoře.

4. První termín měření bude trvat přibližně 60 minut, každý z následujících tří termínů měření bude trvat přibližně 120 minut. Tyto čtyři termíny měření budou od sebe odděleny minimálně 48 hodinami. Celková doba Vaší participace na výzkumu tak bude 1-2 týdny.

   Žádáme Vás, abyste se 12 hodin před každým termínem měření vyvarovali konzumaci jakéhokoliv produktu obsahujícího kofein pro zajištění minimálních hodnot kofeinu v organismu před samotným měřením.

1

4. První termín měření bude trvat přibližně 60 minut, každý z následujících tří termínů měření bude trvat přibližně 120 minut. Tyto čtyři termíny měření budou od sebe odděleny minimálně 48 hodinami. Celková doba Vaší participace na výzkumu tak bude 1-2 týdny.

   Žádáme Vás, abyste se 12 hodin před každým termínem měření vyvarovali konzumaci jakéhokoliv produktu obsahujícího kofein pro zajištění minimálních hodnot kofeinu v organismu před samotným měřením.

   Kofein je potenciálně nebezpečný stimulant, který se řadí mezi návykové látky a jeho užívání vede ke vzniku fyzické i psychické závislosti. Abychom v maximální možné míře zamezili možným negativním dopadům užívání kofeinu, jako je vznik návyku nebo požití vyšších než doporučených a bezpečných dávek, je možné se této studie zúčastnit jen pod podmínkou, že sami a dobrovolně ve svém běžném životě konzumujete potraviny a/nebo doplňky stravy obsahující kofein. K výzkumu vlivu kofeinu v této studii byly zvoleny dávky nejen běžné ve srovnatelných výzkumech, ale také v souladu s doporučením Mezinárodní společnosti sportovní výživy, tedy významně nižší než dávky potenciálně ohrožující zdraví. Samotná výroba individuálních kapslí bude provedena v laboratorních podmínkách Laboratoře sportovní biochemie FTVS UK zaškoleným výzkumným pracovníkem.
   Měření výkonu (maximální síly) proběhne v podmínkách Laboratoře tréninkové adaptace, která je specializovaným pracovištěm pro tento typ výzkumu a zátěže. Druh měřeného výkonu pro Vás nepředstavuje vyšší zátěž ani riziko zranění než běžně provozované sportovní aktivity. Zároveň, abychom minimalizovali možné negativní dopady fyzické zátěže a nedošlo ke zranění při fyzických testech, se před každým začátkem testování řádně rozcvičíte a dané cviky si vyzkoušíte pod dohledem certifikovaného specialisty.

   Po celou dobu účastni na každém termínu měření budete pod dohledem výzkumného pracovníka a bude monitorována Vaše tepová frekvence. V průběhu všech termínů budete výzkumným pracovníkem průběžně dotazováni na Váš stav a v případě diskomfortu (například vlivem stimulace) bude Vaše účast ukončena. Možnými negativními subjektivními projevy konzumace kofeinu mohou být častější močení, pocity rychlejšího bušení srdce (tachykardie), gastrointestinální potíže nebo bolest hlavy. Kdykoliv a bez udání důvodu můžete svou účast v daném termínu i celé studii ukončit.

5. Účastníky tohoto projektu se mohou stát pouze:

   - muži
   - ve věku 18-40 let
   - **pravidelní konzumenty kofeinu** (minimálně 100 mg/24hod, což je např. jedno větší espresso, litr kolového nápoje, poloviční až jedna celá dávka předtréninkového přípravku apod.)
   - **mají zkušenost s nejvyšší dávkou, která bude podána v rámci výzkumu – tj. 6 mg/kg** (tj. 480 mg kofeinu pro 80 kg vážící osobu v krátkém časovém úseku, což je např. dvojitá dávka předtréninkového přípravku, 4 silnější espressa, 3 energetické nápoje, apod.)
   - se zkušenosti se silovým tréninkem (minimálně jeden rok aktivního silového tréninku s frekvencí minimálně 2x týdně)
   - prováděním cviků mrtvý tah a benchpress (minimálně roční zkušenost s těmito cviky a zařazení do tréninku minimálně jednou týdně)

Účastnit se nemohou osoby, které během 12 hodin před měřením konzumovali kofein v jiné, pro ně běžné podobě.

Tohoto projektu se nemohou zúčastnit osoby, které patří do vulnerabilních skupin.

Účastnit se nemohou osoby, které se v nedávné době zranili či jsou v rekonvalescenci. Další kontraindikace jsou následující: nestabilita kloubů či záněty v kloubech, nezahojené zlomeniny, osteoporózo či pooperační restrikce, nekontrolovaná hypertenze, akutní myokarditida, perikarditida a další kardiovaskulární onemocnění a komorbidity, které nedovolují plnou tělesnou zátěž a nebo užívání kofeinu.

6. **Z výzkumu můžete kdykoli bez udání důvodu odstoupit**.
7. Seznámíme Vás s procesem testování a kdykoliv se můžete zeptat na doplňující informace. Dostanete prostor šatny (včetně sprch), kde se převléct. Poté se pod dohledem trenéra rozcvičíte na výkon.
8. Přínosem tohoto výzkumného projektu pro Vás bude možnost zjistit své složení těla, změřit své silové výkony ve standardizovaných podmínkách Laboratoře tréninkové adaptace, a dozvědět se jaký vliv na Vaše silové výkony kofein má. Díky tomu se pak můžete rozhodnout, zda-li a jak kofeinové stimulanty do svého tréninku zařazovat.
9. Odměnou za Vaši účast v projektu bude kompletní přehled Vašich výsledků tělesného složení a měření maximální síly pod vlivem jednotlivých dávek kofeinu. Získáte tak informace, jak velký vliv na Vás kofein má. V případě zájmu pak můžete výsledky prokonzultovat s certifikovaným výživovým specialistou. Své osobní výsledky můžete získat nejpozději do 1 dne po testování. Poté budou data anonymizována a nebude Vám možné předat Vaše osobní data.
10. Data v tomto projektu budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly obecným nařízením o ochraně osobních údajů Evropské unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb., o zpracování osobních údajů. Budou získávány pouze následující osobní údaje: věk, tělesná výška a hmotnost, množství netukové hmoty a procento tělesného tuku, množství a druh pravidelně konzumované potraviny (produktu) obsahující kofein za den, předchozí zkušenost se silovým tréninkem a danými cviky a ostatní data z výše uvedených metod. Všechna získaná data budou uchována a zpracována pouze v anonymní formě, tedy data nebudou obsahovat jakékoliv informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby. Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotlivé osoby nebyly rozpoznatelné v žádném z textů prací, které budou výsledkem tohoto výzkumu. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou bezprostředně do 1 dne po ukončení testování anonymizována.

    Přístup k pořízeným údajům budou mít pouze řešitelé tohoto výzkumného projektu. Data budou použita pouze pro vědecké účely v rámci univerzitního výzkumu a nebudou předány třetím stranám. Získaná data budou zpracována, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v diplomové práci (popř. jiné kvalifikační práci), případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS. Data budou uložena v repozitářích dat.
11. V průběhu výzkumu nebudou pořizovány fotografie, audio nahrávky ani video záznam.

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
José Martího 31, 162 52 Praha 6-Veleslavín

12. S celkovými výsledky a závěry výzkumného projektu se můžete seznámit po jeho ukončení v odborných publikacích, na webových stránkách a sociálních sítích Fakulty tělesné výchovy a sportu UK. Budete-li mít jakékoliv dotazy týkající se této studie, kontaktujte nás na 31355183@cuni.cz.
13. V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Jméno a příjmení předkladatele projektu ..... Podpis: .....

Jméno a příjemní hlavního řešitele a spoluřešitelů .....

Jméno a příjmení osoby, která provedla poučení ..... Podpis:.....

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím s účastí ve výše uvedeném projektu a že jsem měl(a) možnost si řádně a v dostatečném čase zvážit všechny relevantní informace o výzkumu, zeptat se na vše podstatné týkající se účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. **Potvrzuji, že pravidelně dobrovolně konzumuji kofein (minimálně 100 mg/24hod.) a zároveň že mám zkušenost s nejvyšší dávkou kofeinu, která mi bude podána v rámci výzkumu – tj. 6 mg/kg (tj. 480 mg kofeinu pro 80 kg vážící osobu v krátkém časovém úseku) a dále že mám zkušenosti se silovým tréninkem (minimálně jeden rok aktivního silového tréninku s frekvencí minimálně 2x týdně).** Byl(a) jsem poučen(a) o právu odmítnout účast ve výzkumném projektu nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS, která bude následně informovat předkladatele projektu. Dále potvrzuji, že mi byl předán jeden originál vyhotovení tohoto informovaného souhlasu.

Místo, datum .....

Jméno a příjmení účastníka ..... Podpis: .....

III. Ukázka reklamy na sociálních sítích a TV panelu UK FTVS

IV. Ukázka reklamy na letáku

V. Výstup pro participanty

Vliv kofeinu na maximální sílu- výstup

Vaše číslo: 4

Hmotnost (kg): 72,9
Tělesný tuk (%): 9.0
Svalová hmota (kg): 63.0

Uhádnul jsem kdy kofein: NE

1. experimentální termín: placebo
2. experimentální termín: kofein

Výkony maximální síly (Peak Force) po dostatečném odpočinku (120 sec, 5 opak.)

Benchpress "výchozí" (N):	1903.4		
Benchpress "placebo" (N):	1847.2	změna oproti "výchozí":	-2.95%
Benchpress "3mg/kg kofein" (N):	1867.4	změna oproti "výchozí":	-1.89%
		změna oproti "placebo":	1.09%
Mrtvý tah "výchozí" (N):	1919.2		
Mrtvý tah "placebo" (N):	1966.6	změna oproti "výchozí":	2.47%
Mrtvý tah "kofein 3mg/kg" (N):	2047.4	změna oproti "výchozí":	6.68%
*hodnoty výše jsou průměry ze všech 5ti opakování		změna oproti "placebo":	4.11%

Výkony maximální síly (Peak Force) po nedostatečném odpočinku (10 sec, 10 opak)

Zádový zdvih (dotah) "výchozí"

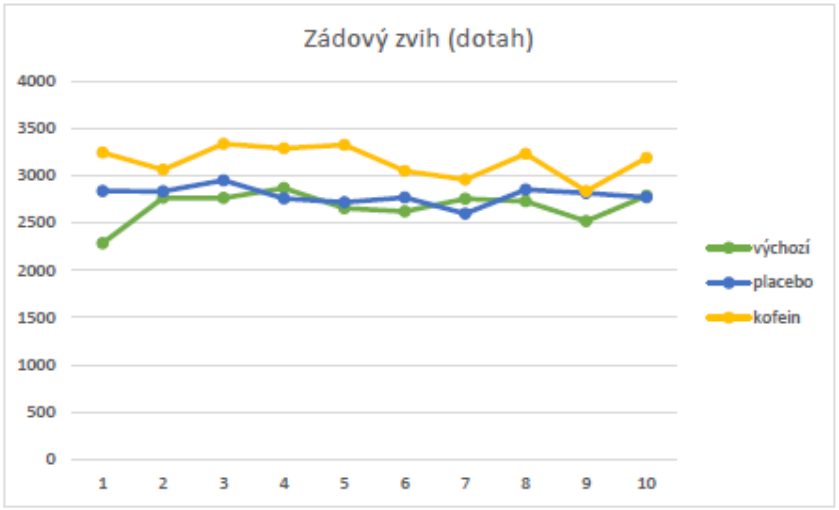
průměr všech opakování(N):	2675.2		
maximální opakování N:	2868		

Zádový zdvih (dotah) "placebo"

průměr všech opakování (N):	2790.7	změna oproti "výchozí":	4.32%
maximální opakování (N):	2951	změna oproti "výchozí":	2.89%

Zádový zdvih (dotah) "kofein 3 mg/kg"

průměr všech opakování (N):	3152.5	změna oproti "výchozí":	17.84%
		změna oproti "placebo":	12.96%
maximální opakování (N):	3337	změna oproti "výchozí":	16.35%
		změna oproti "placebo":	13.08%



Vliv kofeinu na maximální sílu- výstup

Srovnání s ostatními participanty:

*vybráno vaše nejlepší opakování napříč všemi termíny a relativizováno na vaši hmotnost

Benchpress: pořadí 7. z 36

Mrtvý tah: pořadí 25. z 36

Zádový zdvih (dotah): pořadí 9. z 36

VI. Modifikovaná verze standardizovaného dotazníku

DATUM: _____ **ID PARTICIPANTA: _____**

Dotazník konzumace kofeinu

Nyní Vás požádáme o vyplnění údajů o Vaší konzumaci kofeinu během průměrného dne. Uvádějte prosím pouze pravdivé údaje.

Připomínáme, že tento dotazník je zcela anonymní. Všechny získané informace budou využity pouze k vědecko-výzkumným účelům a nebudou poskytnuty třetím stranám.

Na následující stránce naleznete tabulku, do které dle příkladu níže zaznamenejte Váš denní příjem kofeinu během průměrného dne. Dva řádky „Jiné" na konci tabulky slouží k volnému doplnění či specifikaci produktů s kofeinem, které v tabulce nejsou ale běžně jej konzumujete. Sloupec „Jindy" na konci tabulky slouží k volnému doplnění či specifikaci doby konzumace kofeinu. Pokud si s něčím nebudete vědět rady, zeptejte se výzkumného pracovníka.

Příklad vyplnění

Pokud jste během dne vypil dva větší šálky instantní kávy (jeden dopoledne a jeden odpoledne), také jste snědl kus čokolády a dal si jednu dávku pre-workoutového nápoje, vyplníte tabulku následovně:

			Snídaně	Dopoledne	Oběd	Odpoledne	Večeře	Po večeři	Před tréninkem	Během tréninku	Po tréninku
Káva instantní	1 lžička	2 g		I		I					
Pre-workout	1 dávka								I		
Čokoláda	Čtvereček	4 g									
	Řádek	16 g				II					

			Snídaně	Dopoledne	Oběd	Odpoledne	Večeře	Po večeři	Před tréninkem	Během tréninku	Po tréninku	Jindy*
Káva instantní	lžička	2 g										
Káva Překap./ filtrovaná	šálek	236 ml										
Espresso (silná káva)	Šálek	60 ml										
Čaj zelený	Sáček	1ks										
	Směs (luh.)	2 g										
Čaj černý	Sáček	1ks										
	Směs (luh.)	2 g										
Kakao (prášek)	1 lžíce	5 g										
Ledový Čaj	Malá sklenice	250 ml										
	Velká sklenice	500 ml										
Kolové nápoje	Plech/ Sklo	330 ml										
	Velká sklenice	500 ml										
Energy drink	Malá plech.	250 ml										
	Velká Plech.	500 ml										
Pre-workout	Dávka											
Spalovač	Dávka											
Kofein. tableta	Tableta	1 ks										
Energy shot	60 ml											
Čokoláda	Čtverečk	4 g										
	Řádek	16 g										
Čokolád. tyčinka	1 kus	42 g										
Jiné*												
Jiné*												

Vyplňte údajů o Vaší konzumaci kofeinu během průměrného dne

VII. Účelový dotazník

DATUM: _____ **ID PARTICIPANTA:** _____

Účelový dotazník

Vliv kofeinu a jeho rozdílných dávek na maximální sílu komplexních cviků

Nyní Vás požádáme o vyplnění několika údajů o Vás, Vašich zkušenostech se silovým tréninkem a zkušenostech s konzumací kofeinu.

Uvádějte prosím pouze pravdivé údaje. Pokud nechcete na některou otázku odpovědět, raději ji přeskočte, než abyste odpovídal nepravdivě. Připomínáme, že tento dotazník je zcela anonymní. Všechny získané informace budou využity pouze k vědecko-výzkumným účelům a nebudou poskytovány třetím stranám."

Pokud si nebudete vědět s něčím rady, zeptáte se výzkumného pracovníka.

1. Kde jste se o tomto výzkumu dozvěděl?

- ☐ Facebook
- ☐ Instagram
- ☐ TV panel ve vestibulu FTVS UK
- ☐ Osobní doporučení
- ☐ Jiné (uveďte jaké): _____

2. Kolik je Vám let?

_____

3. Jak dlouho se věnujete silovému tréninku - tj. cílenému druhu cvičení s vnějším odporem (například s činkami, na stroji či hmotností vlastního těla) za účelem zvýšení své fyzické síly? (Uveďte v letech):

_____

4. Jak dlouho se věnujete silovému tréninku na pravidelné bázi – tj. aspoň 2 tréninkové jednotky týdně? (Uveďte v letech):

_____

5. Kolikrát týdně se obvykle věnujete silovému tréninku? (Vyberte jednu z možností)

0 ×	1 ×	2 ×	3 ×	4 ×	5 ×	6 ×	7 ×	Více než 7 ×

6. Jaká je obvyklá délka Vaší jedné silové tréninkové jednotky? (Vyberte jednu z možností)

Méně než 30 min	30–60 min	60–90 min	90–120 min	Více než 120 min

7. Jak dlouho zařazujete pravidelně (tj. alespoň jednou za 14 dní) do svého silového tréninku cvik mrtvý tah (klasické či sumo provedení)? (Vyberte jednu z možností)

Nezařazuji	Méně než 0,5 roku	0,5-1 rok	1-1,5 roku	1,5-2 roky	2-3 roky	3-4 roky	4-5 let	Více než 5 let

8. Jak dlouho zařazujete pravidelně (tj. alespoň jednou za 14 dní) do svého silového tréninku cvik bench press, tj. všechny druhy tlakových cvičení s velkou činkou na horizontální/mírně nakloněné lavici? (Vyberte jednu z možností)

Nezařazuji	Méně než 0,5 roku	0,5-1 rok	1-1,5 roku	1,5-2 roky	2-3 roky	3-4 roky	4-5 let	Více než 5 let

9. Jak často zařazujete do svého silového tréninku cvik mrtvý tah (klasické či sumo provedení) v poslední době, tj. posledních 6 měsíců? (Vyberte jednu z možností)

Méně než 1- krát za měsíc	1- krát za měsíc	1- krát za 2 týdny	1- krát za týden	2- krát za týden	Více než 2- krát za týden

10. Jak často zařazujete do tréninku cvik bench press v poslední době, tj. posledních 6 měsíců? (Vyberte jednu z možností)

Méně než 1- krát za měsíc	1- krát za měsíc	1- krát za 2 týdny	1- krát za týden	2- krát za týden	Více než 2- krát za týden

11. Jaký je Váš osobní rekord (maximální uzvednutá váha na 1 opakování) u cviku mrtvý tah (včetně osy)? (Uveďte v kilogramech)

_ _ _ _ _

12. Jaký je Váš osobní rekord (maximální uzvednutá váha na 1 opakování) u cviku mrtvý tah v posledním roce (včetně osy)? (Uveďte v kilogramech)

_ _ _ _ _

13. Jaký je Váš osobní rekord u cviku bench press (včetně osy)? (Uveďte v kilogramech)

_ _ _ _ _

14. Jaký je Váš osobní rekord u cviku bench press v posledním roce (včetně osy)? (Uveďte v kilogramech)

_ _ _ _ _

15. Za jak dobrou považujete svou techniku při provádění cviku mrtvý tah? Ohodnoťte na škále od 1-10; 1 - velmi špatná, 10 - velmi dobrá. (Vyberte jednu z možností)

1 - velmi špatná	2	3	4	5	6	7	8	9	10 - velmi dobrá

16. Za jak dobrou považujete svou techniku při provádění cviku bench press? Ohodnoťte na škále od 1-10, 1 velmi špatná, 10 velmi dobrá. (Vyberte jednu z možností)

1 - velmi špatná	2	3	4	5	6	7	8	9	10 - velmi dobrá

17. Používáte při sportování kofein?(Lze zaškrtnout víc možností):

- ☐ Ne, nepoužívám
- ☐ Ano, ke zlepšení koncentrace
- ☐ Ano, pro pocit nabuzení
- ☐ Ano, pro oddálení únavy
- ☐ Ano, pro zlepšení aerobního výkonu, tj. středně a dlouhotrvající výkon nízké až střední intenzity (např. 5 km běh, 20 km jízda na kole)
- ☐ Ano, pro zlepšení anaerobního výkonu, tj. krátkodobý výkon vysoké intenzity trvající do 90 vteřin (např. 400 m běh, interval jednoho střídání hokejové lajny)
- ☐ Ano, pro zlepšení rychlostního výkonu (např. 60 m sprint)
- ☐ Ano, pro zlepšení silového výkonu (např. 1 maximální opakování u cviku bench press)
- ☐ Ano, z jiných důvodů (uveďte jaké) _

18. Jaký má podle Vás kofein obecně efekt na sportovní výkon? Ohodnoťte na škále od -5 do 5, -5 zcela negativní, 0 žádný, 5 zcela pozitivní. (Vyberte jednu z možností)

-5 Zcela negativní	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5 Zcela pozitivní

19. O kolik procent podle vás kofein mění:

- Aerobní vytrvalost (např. běh 5 km, jízda na kole 20 km): _ _ _ _
- Anaerobní vytrvalost (např. 400 m běh, interval jednoho střídání hokejové lajny): _ _ _ _
- Maximální silový výkon (např. 1 maximální opakování u cviku bench press): _ _ _ _
- Rychlostní výkon (např. 60 m sprint): _ _ _ _
- Kognitivní výkon (např. přesnost, pozornost, rychlost rozhodování): _ _ _

20. Jaký minimální efekt by kofein na silový výkon musel mít, abyste ho za tímto účelem používal? (Uveďte v procentech; například 1% zlepšení u 100 kg na bench press by znamenalo zvednout 101 kg):

_ _ _ _

DĚKUJEME ZA VYPLNĚNÍ.

VIII. Poster z konference Scientia Movens

THE EFFECT OF CAFFEINE ON MAXIMAL STRENGTH IN COMPLEX EXERCISES

Daniel Šťastný* & Vít Třebický
Department of Gymnastics and Combat Sports, Faculty of Physical Education and Sport, Charles University
*danielhappy1818@seznam.cz

INTRODUCTION

Across various sports, caffeine is frequently used to enhance athletic performance, such as endurance, strength and speed [1]. Surprisingly, the evidence regarding its effect on maximal strength in complex and full-body exercises (e.g. deadlift) is somewhat limited [2]. The current knowledge about caffeine-induced ergogenic effects is based only on small samples of participants within individual studies (especially for maximal strength performance) [3]. These factors hinder the sensitivity of individual studies to observe potential *true* effects, bringing mixed evidence and little chance to interpret or generalise the reached findings about caffeine's effect.

This study aims to test the effect of caffeine on the isometric performance in the deadlift and bench press.

MATERIALS & METHODS

- Aims, procedures, and analyses preregistered (osf.io/befxp/)
- Double-blinded within-subject design
- 36 trained men (M = 23.6 yrs, SD = 3.24)
- Three sessions; baseline and two experimental
- Caffeine (3 mg/kg) or a placebo in a randomized order
- Isometric deadlift (mid-shin pull) and benchpress on force plates (5 reps and 120-sec rest, 60 min after consumption) (Figure 1)

Figure 1 – Isometric benchpress (left) and deadlift (right)

REFERENCES

1. Grgic, J., Grgic, I., Pickering, C., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J., & Pedisic, Z. (2020). Wake up and smell the coffee: Caffeine supplementation and exercise performance—an umbrella review of 21 published meta-analyses. *British Journal of Sports Medicine*, *54*(11), 681–688. https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100278

2. Grgic, J., Sabol, F., Venier, S., Tallis, J., Schoenfeld, B. J., Coso, J. D., & Mikulic, P. (2019). Caffeine supplementation for powerlifting competitions: An evidence-based approach. *Journal of Human Kinetics*, *68*(1), 37–46. https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0054

3. Grgic, J., Trexler, E. T., Lazinica, B., & Pedisic, Z. (2018). Effects of caffeine intake on muscle strength and power: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *15*(1), 11. https://doi.org/10.1186/s12970-018-0216-0

RESULTS

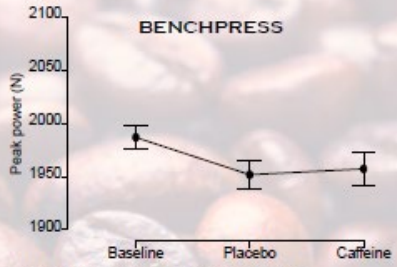


Figure 2 – Mean differences in benchpress peak force
RM ANOVA $F_{2, 70} = 8.215$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.190$
No statistically discernable difference in peak power between caffeine and placebo (Mean Diff. = 5.46N, d = 0.023, $p_{bonf} = 1.000$). The baseline differs statistically discernibly from both caffeine (Mean Diff. = 29.63N, d = 0.127, $p_{bonf} = 0.007$) and placebo (Mean Diff. = 35.09N, d = 0.151, $p_{bonf} = 0.001$).
Note: The black dots represent means; error bars are their 95% CI.

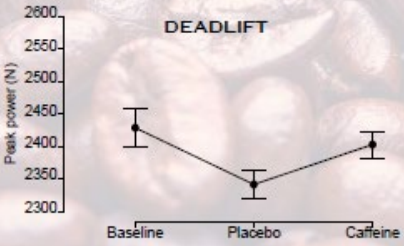


Figure 3 – Mean differences in deadlift peak force
RM ANOVA $F_{(Greenhouse-Geisser\ 1.63, 57.10)} = 14.957$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.299$
The mean peak force in the caffeine condition was statistically discernibly greater than in the placebo (Mean Diff. = 61.47N, d = 0.229, $p_{bonf} = 0.001$), but not from baseline (Mean Diff = 25.93N, d = 0.097, $p_{bonf} = 0.366$). The baseline differs statistically discernable from the placebo (Mean Diff = 87.4N, d = 0.325, $p_{bonf} < 0.001$).
Note: The black dots represent means; error bars are their 95% CI.

CONCLUSIONS

In contrast to previous evidence [1,2,3], our study does not support caffeine's ergogenic effect on maximal strength in the bench press, compared to placebo.

Although we observed a difference in performance between caffeine and placebo in the deadlift, the caffeine did not differ from the baseline. Further, the observed effect size was below our sample's pre-defined (80 %) sensitivity threshold.

Our results suggest that caffeine (3 mg/kg) has a minimal practical effect on maximal strength in complex exercises.