

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Optimální podmínky užívání kofeinu a jeho vliv na sportovní  
výkon**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

**PhDr. Radim Pavelka, Ph.D.**

Vypracoval:

**Daniel Šťastný**

Praha, květen 2021

Prohlašuji, že jsem závěrečnou bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl 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 studenta

## Evidenční list

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

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

---

## Poděkování

Děkuji PhDr. Pavelkovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování závěrečné práce. Poděkování také patří mé rodině a přátelům za podporu a trpělivost během celého studia.

# ABSTRAKT

**Název:** Optimální podmínky užívání kofeinu a jeho vliv na sportovní výkon

**Cíle:** Na základě současného vědeckého poznání shrnout, jaký má kofein vliv na různé aspekty sportovního výkonu, a také stanovit optimální předpoklady užívání této látky pro maximalizaci ergogenního efektu.

**Metody:** Systematická literární rešerše

**Výsledky:** Ideální dávka kofeinu pro zlepšení sportovního výkonu je v rozmezí 3– 6 mg/kg, a nejvhodněji ve formě tablet 60 minut před výkonem. Tato látka u sportovců prokazatelně zlepšuje vytrvalostní výkon aerobního charakteru, rychlost sprintů a kognitivní funkce jako přesnost a pozornost. Kofein u trénovaných jedinců může zlepšit také anaerobní vytrvalost, maximální i vytrvalostní sílu, čas jednoduché reakce i další kognitivní funkce, ale je potřeba dalších studií.

**Klíčová slova:** sport, suplementace, aspekty výkonu, podmínky užívání, stimulace, alkaloidy

## **ABSTRACT**

**Title:** Optimal conditions of caffeine use and its effect on sports performance

**Objectives:** Based on current scientific knowledge, summarize the effect of caffeine on various aspects of sports performance, and also to determine the optimal conditions for the use of this substance to maximize the ergogenic effect.

**Methods:** Systematic literary research

**Results:** The ideal dose of caffeine to improve athletic performance is in the range of 3–6 mg/kg, and most preferably in the form of tablets 60 minutes before exercise. This substance has been shown to improve aerobic endurance performance, sprint speed and cognitive function such as accuracy and attention in athletes. Caffeine in trained individuals may also improve anaerobic endurance, maximum and endurance strength, simple reaction time and other cognitive functions, but further studies are needed.

**Keywords:** sport, supplementation, aspects of performance, conditions of use, stimulation, alkaloids

# OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	9
ÚVOD .....	10
CÍLE A METODIKA PRÁCE .....	11
1 CHARAKTERISTIKA KOFEINU .....	12
1.1 Alkaloidy.....	12
1.2 Chemické vlastnosti kofeinu .....	12
1.3 Přírodní zdroje.....	13
1.4 Historie.....	14
1.5 Metabolismus kofeinu a mechanismus účinku .....	15
2 SPORTOVNÍ VÝKON.....	18
2.1 Vytrvalost.....	18
2.2 Síla.....	18
2.3 Rychlost.....	19
2.4 Kognitivní funkce.....	19
3 KONZUMACE KOFEINU .....	20
3.1 Běžné zdroje.....	20
3.2 Spotřeba kofeinu .....	20
3.3 Suplementy.....	22
4 KOFEIN A ZDRAVÍ ČLOVĚKA.....	24
4.1 Pozitivní vliv na zdraví .....	24
4.2 Negativní vliv na zdraví a doporučený příjem.....	25
4.3 Kofein a závislost.....	27
5 KOFEIN A SPORT .....	30
5.1 Vliv kofeinu na sportovní výkon, mechanismy účinku .....	30

5.2	Formy kofeinu ve sportu .....	31
5.3	Dávkování .....	33
5.4	Načasování příjmu kofeinu .....	35
6	KOFEIN A VYTRVALOST .....	37
6.1	Aerobní výkon.....	37
6.2	Anaerobní výkon.....	40
6.3	Shrnutí vlivu kofeinu na vytrvalost.....	41
7	KOFEIN A SÍLA .....	42
7.1	Maximální síla.....	42
7.2	Vytrvalostní síla .....	43
7.3	Shrnutí vlivu kofeinu na sílu .....	44
8	KOFEIN A RYCHLOST .....	45
8.1	Rychlost pohybu.....	45
8.2	Rychlost reakce .....	47
8.3	Shrnutí vlivu kofeinu na rychlost .....	48
9	KOFEIN A KOGNITIVNÍ FUNKCE .....	49
9.1	Přesnost, pozornost, bdělost .....	49
9.2	Nálada, výběrová reakce, myšlení .....	50
9.3	Shrnutí vlivu kofeinu na kognitivní funkce .....	52
	DISKUZE .....	53
	ZÁVĚR .....	58
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	59
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68



# SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BMI: Body mass index

1RM: jedno opakovací maximum

ICO: International Coffee Organization

CNS: centrální nervová soustava

$VO_{2max}$ : maximální spotřeba kyslíku

E-shopy: internetové obchody

E-sporty: elektronické (počítačové) sporty

EFSA: Evropský úřad pro bezpečnost potravin (European Food Safety Authority)

ČSÚ: Český statistický úřad

## ÚVOD

Kofein je bez pochyby jednou z nejužívanějších a také nejstudovanějších látek na světě. Tato látka je v posledních letech velmi diskutované téma, jelikož potraviny a nápoje, které kofein obsahují, stále více plní regály obchodů či stránky e-shopů se sportovní výživou. Žijeme ve světě plném informací, tzv. "informačním chaosu", a o kofeinu tudíž kolují kvanta různých zpráv a článků. Spousta z nich ale obsahují nepravdivé informace a mýty, a tento fakt se bohužel týká i sportovního prostředí. Kofein a produkty, které jej obsahují, byly původně určeny zejména pro pokročilé a vrcholové sportovce, nicméně v poslední době se tyto suplementy masivně konzumují i mezi rekreačními sportovci, začátečníky, nebo dokonce i nesportovci. Snad každý, kdo někdy sportoval, si určitě vzpomene na někoho z okolí, kdo musel mít pravidelně před tréninkem kávu, energy drink či jiný "nakopávač". Existence spousty nepravdivých informací a mýtů ve spojitosti s faktem, že kofeinové produkty jsou konzumovány populací všech výkonnostních kategorií, dává vzniknout skutečnosti, že kofein může být mnohdy používán málo efektivně, nebo dokonce chybně a tím pádem zbytečně. Tímto se dostávám k důvodu, proč jsem si tohle téma vybral pro svou bakalářskou práci, jelikož se i já osobně setkávám s kofeinem a jeho produkty ve sportovním prostředí čím dál tím častěji. Chtěl bych se tedy o problematice této látky ve spojitosti se sportovním výkonem dozvědět co nejvíce, na základě současného vědeckého poznání pak sepsat všechny podstatné poznatky o vlivu kofeinu na vybrané aspekty sportovního výkonu a jak jej, co nejefektivněji, pro tento účel použít. Od práce očekávám zejména spoustu úsilí se získáváním vhodných informací a jejich zpracováním, nicméně věřím, že výsledky by mohly být přínosné a stát za to.

## CÍLE A METODIKA PRÁCE

Cílem bakalářské práce je stanovení optimálních podmínek užívání kofeinu pro největší ergogenní efekt na sportovní výkon a dále analýza vlivu této látky na vybrané aspekty sportovního výkonu.

Otázky:

- Jaké je optimální množství, forma, a načasování příjmu kofeinu před výkonem?
- Jak kofein ovlivňuje vytrvalost, sílu, rychlost a kognitivní funkce?

Tato bakalářská práce je prací teoretickou, kdy jsem potřebné informace získával z dostupných odborných článků, metaanalýz a studií. K vyhledávání převážně většiny zdrojů jsem použil databáze Google Scholar a PubMed. Též jsem čerpal z knih dostupných ve fyzických knihovnách, nebo teď nově digitálně zpracovaných v Národní digitální knihovně. Při hledání prací na internetu ve zmíněných databázích jsem do vyhledávacích řádků zadával slova či výrazy jako: caffeine, effect caffeine on performance, effect caffeine on health, caffeine and sport, caffeine and endurance performance, caffeine and strenght performance, caffeine use in sport, atd. Při zadávání těchto slov či kombinací mi zmíněné databáze našly desítky tisíc výsledků, proto jsem musel být při zadávání konkrétnější a také pečlivější při výběru článku/studie do mé bakalářské práce.

# 1 CHARAKTERISTIKA KOFEINU

## 1.1 Alkaloidy

Alkaloidy jsou již podle názvu látky alkalické povahy, které obsahují ve svých molekulách jeden nebo více atomů dusíku a tvoří nejpočetnější skupinu sekundárních metabolitů. V podobě solí organických kyselin se vyskytují ve více než 4000 rostlinných druzích. Význam alkaloidů pro rostliny není jednoznačně vysvětlen, ale obecně se předpokládá, že díky jejich toxickému účinku pomáhají rostlinám v boji o přežití. Některé rostliny jsou tímto způsobem například chráněny před parazity či spásáním býložravými živočichy (Mareček & Honza, 2000; Spilková et al., 2016).

Většina alkaloidů specifickým způsobem ovlivňuje funkci centrální nervové soustavy živočichů, avšak mnohé jsou prudce jedovaté. V malých dávkách mohou působit povzbudivě, ve větším množství naopak smrtelně. Nicméně některé alkaloidy mají využití v lékařství, proto jsou vyráběny také synteticky. Uplatňují se tak třeba jako analgetika a narkotika, lokální anestetika, chemoterapeutika, antiarytmika a také jako prostředky ovlivňující krevní tlak a dýchání (Mareček & Honza, 2000; Spilková et al., 2016).

## 1.2 Chemické vlastnosti kofeinu

- Sumární vzorec:  $C_8H_{10}N_4O_2$
- Teplota tání: 235– 238 °C
- Teplota varu: 178– 180 °C
- Hustota: 1,23 g/cm<sup>3</sup>
- Biologický poločas (v plazmě): 3– 7 hodin
- Vlastnosti: bílý krystal nebo prášek, lehce hořká chuť, bez zápachu
- Chemický název: 1,3,7 - trimethylxanthin
- Třída: Purinové alkaloidy (Spiller, 1998).

### 1.3 Přírodní zdroje

Kofein byl nalezen ve 13 řádech rostlinné říše a můžeme jej najít až v 60 rostlinách, z nichž většina jsou dvouděložné. Obsah kofeinu v semenech různých druhů kávovníků se pohybuje od 0,4 do 2,4 % v sušině. Kávovník je stále zelená dřevina, která dosahuje výšky 1,5– 15 metrů. Nejvýznamnějšími druhy kávovníků jsou arabský (Arabica) a robusta (Robusta). Arabica je považována za kvalitnější odrůdu než Robusta, a je také více pěstována. Koncentrace kofeinu se v tomto druhu pohybuje od 0,8 do 1,9 %, a je distribuován hlavně v listech. Druhy kávovníků obsahující vysokou hladinou kofeinu jsou například statný či liberijský. Teprve pět let po vysazení poskytne tato rostlina první plody (Ashihara & Suzuki, 2004; Pössl Martin, 2010).

Kofein se také hojně vyskytuje v čajovnících, z nichž hlavní je čajovník čínský, od kterého se pak odvozují další odrůdy. Tato rostlina se vyskytuje v stále zelených keřících, které se upravují zhruba do metrové výšky, a pěstuje se až do výšek 3000 metrů nad mořem. První sklizeň je možno provést po sedmi letech od vysazení. Obsah kofeinu v této rostlině byl naměřen 2– 3 %, a více jak 99 % tohoto kofeinu bylo distribuováno v listech (Ashihara & Suzuki, 2004; Pössl Martin, 2010).

Kakaovník je rovněž zdrojem kofeinu, nicméně zde už není dominantním purinovým alkaloidem kofein, nýbrž teobromin. Dorůstá až do výšky 15 m, nicméně zhruba na 6 metrech se zastříhuje kvůli sklizni. Ideální podmínky pro jeho pěstování jsou vysoká teplota a vlhkost, tudíž se pěstuje hlavně v zemích tropického pásu. Tato rostlina může mít až 70 plodů, a jeden takový plod dosahuje hmotnosti až 1,5 kilogramů (Ashihara & Suzuki, 2004; Burda, 2013).

Kofein i jiné purinové alkaloidy se také vyskytují v semenech kolovníků, listech Cesmíny paraguayské - maté či v semenech Paulinie nápojně - guarany. I v květinách různých druhů citrusů bylo zjištěno významné množství kofeinu. Menší, ale přesto významné, koncentrace kofeinu obsahoval dokonce i nektar (Ashihara & Suzuki, 2004; Spilková et al., 2016).

## 1.4 Historie

Lidé již odedávna touží po zvyšování síly, vytrvalosti, rychlosti či agresivity, a proto požívání různých látek za účelem zvýšení fyzického či psychického výkonu je spjata s celou historií lidstva. První písemnou zmínku o suplementaci můžeme najít na tisíce let starých sumerských destičkách, kde bylo zmiňováno požití opia, lékořice či tymiánu. Například bájný řecký hrdina Achilleus podle Homéra konzumoval kostní dřevěň lvů za účelem zvýšení síly, nebo válečníci Berserkové zase podle norských legend pojídaly psychoaktivní houby. Z dochovaných pramenů je také známo, že již na řeckých olympiádách se konzumovaly býčí varlata či halucinogenní houby. Nicméně doplňky stravy tak, jak je známe dnes, mají poměrně krátkou historii. Prvním komerčně dostupným vitamínem byl v roce 1934 Redoxon - vitamín C, první proteinové nápoje se začaly objevovat až v polovině 20. století, nebo všelijaké předtréninkové "nakopávače" byly k dostání až v 80. letech minulého století- do té doby byla používána jednoduše káva (Šindelář & Roubík, 2020).

O objevení povzbudivých účinků kávy koluje několik legend, nicméně dnes nikdo zaručeně neví, které z nich jsou založeny na pravdě a které ne. Historikové se ale shodují, že dnešní Etiopie byla pravlastí kávovníku. Avšak jeho pěstování a rozšiřování začalo v Arábii - dnešním Jemenu. Na expanzi kávy a kávovníku se nejvíce podílely nomádské kočovné kmeny a také obchodníci s karavany. Káva se už pila někdy ve 13. století, nicméně pouze v omezené míře, a nápojem plně-dostupným se stala až v 16. století. Pokud se ale přesuneme do Evropy, tak zde se káva dostala ve větším měřítku až o 200 let později. Největší podíl na tom měli Angličani, Holanďané a Francouzi, když přepravili sazenice kávovníku do svých kolonií na Srí-lance, Jávě, Indii a Martiniku (Burda, 2013; Pössl Martin, 2010).

První náklad kávy na území Evropy dorazil roku 1630 do přístavu v Benátkách. V roce 1645 pak v tomto městě vznikla první kavárna, což má za následek postupný vznik dalších kaváren v Itálii, Británii, Francii, Německu a Nizozemsku. V naší zemi byla otevřena první kavárna v roce 1702 v Brně (Burda, 2013).

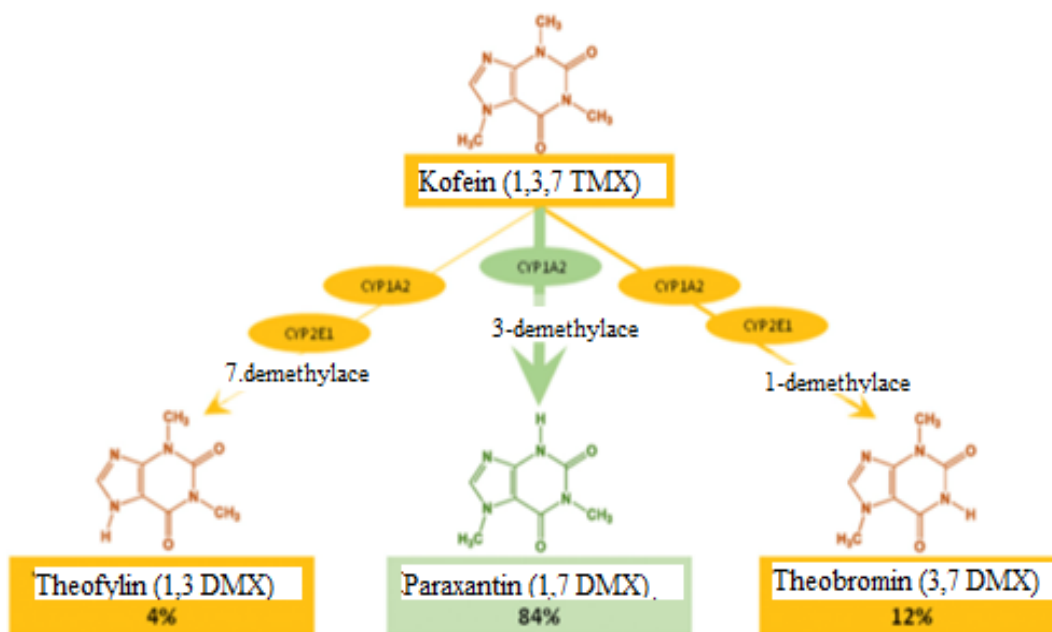
Čajovník je rostlinou s dlouhodobou tradicí a kulturou, a jeho objev je též opředen řadou legend. Zemí původu je pravděpodobně Čína, kde byla tato rostlina známa již před 5000 lety. Do Evropy se čaj dostal v 16. století zásluhou holandských obchodníků a jezuitů z Portugalska. Mezi první země, kde mohli lidé tento nápoj ochutnat, patřilo

Nizozemí, Itálie, Portugalsko, Francie a Německo. Do Anglie, kde se později stal čaj národním nápojem, se dostal až v druhé polovině 17. století (Burda, 2013; Pössl, 2010).

Ačkoliv kofein z rostlin byl požíván již v dávné historii, tato látka byla jako taková pojmenována a izolována až v první polovině 19. století. Objevil jej mladý lékař Friedlieb Ferdinand Runge v roce 1819. Přestože chemická látka kofein byla objevena až na začátku 19. století, byla káva i čaj vždy považovány za drogy (Weinberg & Bealer, 2002).

### **1.5 Metabolismus kofeinu a mechanismus účinku**

Po orálním požití kofeinu je 99 % rychle absorbováno v gastrointestinálním traktu během 45 minut. Větší část je vstřebána v tenkém střevě, zbylých 20 % v žaludku, a již po 30 minutách od požití můžeme pozorovat zvýšení hladiny kofeinu v krvi. Tuto látku metabolizují primárně játra, a dochází zde díky enzymům k demethylaci kofeinu. Enzym CYP1A2 je prakticky zodpovědný za většinu biochemických reakcí týkajících se kofeinu a jeho metabolitů, z nichž jsou 3 nejdůležitější Paraxantin, Theobromin a Theofylin. Schéma demethylace a vznik těchto metabolitů znázorňuje obrázek 1. Kofein je dostatečně lipofilní, aby prošel všemi buněčnými membránami, včetně hematoencefalické bariéry a placentární bariéry. Zhruba 3– 10 % kofeinu je vyloučeno močí v nezměněné formě a během 3– 6 hodin po konzumaci je cirkulující koncentrace snížena o 50– 75 %. Metabolismus kofeinu je ovlivňován mnoha exogenními a endogenními faktory, jako jsou genetické determinanty, věk, pohlaví, těhotenství, strava, životní styl, kouření, léky a nemoci (Goldstein et al., 2010; Nehlig, 2018; Šindelář & Roubík, 2020).



Obrázek 1 Demethylace kofeinu a vznik metabolitů (Nehlig 2018)

Za zmínku určitě stojí genetické determinanty, které metabolismus kofeinu významně ovlivňují. Již zmíněný enzym CYP1A2, který je nejvíc zodpovědný za metabolismus kofeinu, je totiž z velké části ovlivněn geneticky. Na základě aktivity tohoto enzymu z hlediska získaných alel od našich rodičů můžeme populaci dělit na genotyp AA, AC a CC. Jedinci s genotypem AA jsou tzv. rychlí metabolizéři, a tvoří 40 % populace. Genotyp AC pak tvoří 50 % populace, a jsou to tzv. středně-pomalí metabolizéři. Poslední skupinou jsou lidé s genotypem CC, kterých je v populaci 10 %, a říká se jim tzv. pomalí metabolizéři. Dosavadní vědecké poznání naznačuje, že jedinci s genotypem AA mají nejvíce znatelný ergogenní účinek kofeinu, zatímco lidem s genotypem CC může kofein dokonce i uškodit a snížit sportovní výkon. Příkladem toho může být nedávná studie, kde bylo zkoumáno na 101 sportovcích všech tří typů genotypu, jak se u nich bude lišit výkon na cyklistické trase dlouhé 10 km po požití kofeinu oproti placebo. Sportovci s genotypem AA měli po příjmu kofeinu o 6,8 % lepší časy oproti skupině s placebem. Genotyp AC nezaznamenal žádný výraznější rozdíl oproti placebo, nicméně časy participantů s genotypem CC se po požití kofeinu zhoršily o 13,7 %. Autoři studie na základě výsledků doporučují, že rozhodování, zda by sportovec měl ke zvýšení vytrvalostního výkonu používat kofein, je třeba vzít v úvahu genotyp CYP1A2 (Guest et al., 2018; Šindelář & Roubík, 2020).

V dávkách typicky obsazených v kávě je hlavní mechanismus působení kofeinu jako



antagonista adenosinových receptorů v mozku, což má za následek stimulační účinky na centrální nervový systém. Protože má kofein podobnou strukturu molekuly jako adenosin, přičemž oba mají srovnatelnou kruhovou strukturu s dvojnou vazbou, má kofein potenciál obsadit místa receptoru adenosinu, primárně A1 a A2a. A1 jsou umístěny ve všech částech mozku s největší koncentrací v hipokampu, mozkové kůře a thalamových jádrech. Receptory A2a se nacházejí v oblastech mozku bohatých na dopamin. Poté co se kofein napojí na tyto receptory, dojde k blokování adenosinu. Toto blokování způsobí zastavení inhibičních účinků adenosinu podporujících spánek, což má za následek zrychlení neuronů místo zpomalení (Heckman et al., 2010).

## **2 SPORTOVNÍ VÝKON**

Podle Dovalila a kol. (2012) bývá sportovní výkon realizován ve specifických pohybových činnostech, jejichž obsah tvoří řešení úkolů, které jsou vymezeny pravidly daného sportu. Sportovní výkon se skládá z několika faktorů, nicméně tato práce se zaměří pouze na faktory, které byly nejčastěji předmětem studií ve spojitosti s kofeinem. K hodnocení výkonu se používá široké spektrum laboratorních funkčních zátěžových testů i terénních vyšetření, a také výkonových motorických testů (Bartůňková et al., 2013).

### **2.1 Vytrvalost**

Vytrvalost je charakterizována zejména jako schopnost provádět danou aktivitu v požadované intenzitě co nejdélší možnou dobu. Vyznačuje se velkou ekonomizací nervosvalového systému, a celkově se vykonává velký objem práce. Pro tuto schopnost je typické zatížení kardiorepiračního systému, a je determinována asi ze 70 %. Vytrvalost se nejčastěji dělí dle doby trvání na rychlostní, krátkodobou, střednědobou a dlouhodobou. První dvě jmenované jsou anaerobního charakteru, druhé dvě naopak aerobního. K testování aerobních parametrů se v laboratorních podmínkách nejčastěji používá zátěžový test na běhacím pásu nebo bicyklovém ergometru. Tyto testy mají několik způsobů, kdy testování provádějí například předem danou nebo postupně zvyšující se zátěž do vyčerpání, či nejlepší možný výkon po danou dobu/vzdálenost. Jedním z nejrozšířenějších anaerobních testů je 30 s Wingate test, který bývá prováděn na bicyklovém nebo klikovém ergometru (Bartůňková et al., 2013; Dovalil et al., 2012).

### **2.2 Síla**

Síla je definována jako schopnost překonávat nebo udržovat svalovou kontrakci vnější odpor břemene. Svalovou kontrakci dělíme na izometrickou, koncentrickou a excentrickou. Při izometrické kontrakci nedochází ke změně délky svalu, ale svalové napětí se zvyšuje. Opakem je kontrakce izotonická, která se dále dělí na excentrickou (sval se prodlužuje) a koncentrickou (sval se zkracuje). U obou těchto kontrakcí se svalové napětí nemění (Bartůňková et al., 2013).

Díky těmto druhům kontrakcí rozlišujeme sílu na statickou a dynamickou. Nejběžnější testy statické síly jsou různé izometrické dynamometrie - například test síly stisku horní končetiny. Typické testy na sílu dynamickou jsou testy maximální síly - například test 1RM na benchpress, vytrvalostní síly - například test maximálního počtu opakování na benchpressu s 50– 70 % 1RM, nebo výbušné síly - například test výšky výskoku (Grgic et al., 2019; Guest et al., 2021).

### **2.3 Rychlost**

Rychlost je definována jako zahájení a provedení určitého pohybu v co nejkratším časovém úseku. Tuto schopnost můžeme dělit na rychlost acyklickou, cyklickou a reakce. Obvyklým laboratorním testem je měření jednoduché či složité reakční doby. K diagnostice rychlostních schopností se používají také terénní motorické testy, z nichž nejpoužívanější a nejvhodnější je sprint (Bartůňková et al., 2013; Perič & Dovalil, 2010).

### **2.4 Kognitivní funkce**

Kognitivní funkce patří mezi základní funkce našeho mozku, které nám umožňují poznávání okolního světa, interakce s okolím a plánování našeho jednání. Používáme je kdykoliv, když přemýšlíme, nebo se učíme. Kognice je komplexní pojem, který zahrnuje alespoň paměť, pozornost, vnímání, výkonné funkce, jazyk a psychomotorické funkce. Každý z těchto jednotlivých aspektů je sám o sobě složitými entitami. Kromě toho jsou všechny tyto zmíněné funkce ovlivňovány různými faktory, jako je nálada, motivace a úroveň vzrušení, bdělost a energie, fyzická pohoda. Pro vyjádření těchto funkcí bývají nejčastěji používány různé testy pozornosti, ostražitosti a reakce, výběru správného řešení a paměti. Kromě toho se také využívá dotazníků pro stanovení například nálady, nervozity a napětí (Malia & Brannagan, 2010; Nehlig, 2010).

## 3 KONZUMACE KOFEINU

### 3.1 Běžné zdroje

Kofein můžeme najít v mnoha potravinách a nápojích, a proto v dnešní době není snadné se jeho konzumaci úplně vyhnout. Za jeho běžné a tradiční zdroje jsou považovány zejména káva, čaj, kakao a čokoláda. Nicméně v posledních desetiletích trvale roste počet i spotřeba jiných potravin a nápojů obsahující kofein, a to například různé nealkoholické limonády, energetické nápoje, energetické tyčinky či gely a podobně. Množství kofeinu ve vybraných nápojích můžeme nalézt v tabulce 1. Zavedení nových potravin a nápojů s kofeinem v posledních desetiletích vyvolalo obavy, protože tyto nové zdroje kofeinu by mohly být konzumovány namísto tradičních zdrojů, jako je káva, čaj a čokoláda. Spotřeba těchto nových kofeinových produktů se zvyšuje především u mladých dospělých a cvičící populaci (Guest et al., 2021; Verster & Koenig, 2018).

Tabulka 1 Množství kofeinu ve vybraných nápojích

Název produktu	velikost	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
Monster energy	500 ml	169,1 mg
Red Bull	250 ml	80 mg

zdroj: [caffeineinformer.com](http://caffeineinformer.com)

### 3.2 Spotřeba kofeinu

V současné době přibližně 80 % světové populace konzumuje kofeinový produkt každý den, zejména pro jeho stimulační účinky, což z něj činí nejvíce konzumovanou psychoaktivní látku na světě. Za posledních 50 let vzrostla světová spotřeba kávy

průměrným ročním tempem růstu 1,9 % na téměř 9,7 milionu tun v roce 2018. Tato skutečnost koreluje s neustálým růstem světové produkce kávy, jehož hodnoty za posledních 30 let ukazuje tabulka 2. K nejvyšší spotřebě kávy dochází zejména v Americe, Evropě a Japonsku. Evropská unie je odpovědná za největší objem spotřeby (asi 28 % z celkové světové spotřeby), ale při rozdělení na jednotlivé země jsou první spotřební zemí USA (asi 16 % z celkové světové spotřeby), následované Brazílií (největší producent kávy s 13 % světové spotřeby), zeměmi Evropské unie a Japonskem. V Evropských zemích, jako je například Finsko (spotřeba kávy 12 kg/osoba/rok), Norsko (9,9 kg/osoba/rok) a Dánsko (8,7 kg/osoba/rok) je spotřeba kávy převládající, a odpovídá za většinu denního příjmu kofeinu u dospělých. Na základě údajů ICO lze tedy připustit, že ve většině zemí světa se konzumuje kofein z větší části ve formě kávy, nicméně existuje i několik výjimek. V zemích Jižní Ameriky, Irsku a Velké Británii, Číně, Indii a dalších asijských zemí se obvykle konzumují jiné nápoje, a to černý a zelený čaj, maté nebo guarana (DePaula & Farah, 2019)

Tabulka 2 Světová produkce kávy

rok	počet tisíců 60kg pytlů
1990/1991	93 230
1995/1996	87 321
2000/2001	113 746
2005/2006	111 169
2010/2011	140 078
2015/2016	156 126
2019/2020	165 053

zdroj: International Coffee Organization

V České republice se nejvíc prodává káva označována jako "standardní směs", která obsahuje 70 % kávy Arabica a 30 % kávy Robusta. U Čechů je nejvíce v oblibě káva formou "turka" (72 %), dále pak káva překapávaná (11 %) a instantní (10 %) (Mach, 2012). Spotřebu vybraných potravin obsahujících kofein v ČR za rok 2019, a import kávy do ČR v posledních desetiletích můžeme najít v tabulkách 3 a 4.

Tabulka 3 Spotřeba vybraných kofeinových potravin na osobu v ČR za rok 2019

Potravina	množství v kg
Zrnková káva	2,2
Čaj	0,2
Kakaové boby	2,8
Kakaový prášek	0,5
Čokoláda	2,6

zdroj: ČSÚ, 2020

Tabulka 4 Import kávy do ČR

Rok	počet tisíců 60kg pytlů
1990	659
1995	553
2000	809
2005	1063
2010	951
2015	2068
2019	1609

zdroj: International Coffee Organization, 2019

### 3.3 Suplementy

Doplňky stravy jsou definovány jako potraviny, které mají za účel doplňovat běžnou stravu, a jsou koncentrovaným zdrojem látek s nutričním či fyziologickým účinkem. Ve sportovním prostředí bývají tradičně označovány jako suplementy. Jejich poptávka v posledních letech pořád roste, a to zejména i díky velkému rozšíření mezi začátečníky a rekreační sportovce. Nicméně právě pro tyto skupiny je potřeba zdůraznit, že tyto produkty by měly skutečně pouze doplňovat vhodně sestavený a dodržovaný jídelníček a trénink vzhledem k speciálním cílům daného sportovce. Například žena usilující o redukci hmotnosti může mít ten nejlepší "spalovač" na trhu, ale pokud bude denně v pozitivní energetické bilanci, budou výsledky užívání tohoto suplementu ve skutečnosti nulové. U pokročilých nebo profesionálních sportovců, kteří již z pravidla mívají vhodně nastavený jídelníček a trénink, však může používání suplementů znamenat další posun ve sportovní výkonnosti (Mach, 2012; Roubík et al., 2018).

Doplňky stravy obsahující kofein spadají do skupiny suplementů zvyšující sportovní výkon. Jedná se zejména o stimulanty a NO produkty, a spalovače tuků. Seznam vybraných produktů tohoto typu dostupných na českém trhu nalezneme v tabulce 5. Stimulanty a NO produkty neboli tzv. "preworkout" doplňky stravy mají hlavní cíl stimulaci centrální a periferní nervové soustavy, a také zvýšení průtoku krve do svalů. Na trhu v současnosti najdeme obrovské množství těchto suplementů, nicméně nejčastěji obsažené látky v těchto produktech jsou již zmiňovaný kofein, arginin, beta alanin, citrulin, taurin a guarana. Spalovače tuku se používají k redukci tukové tkáně při hubnutí, a to hlavně díky obsahu látek ovlivňujících metabolismus tuků, které zvyšují podíl využití tuků ze zásob jako zdroj energie. Využívají je zejména ženy, ale také sportovci například v estetických sportech. V produktech tohoto typu se vyskytují látky jako kofein, taurin, synefrin, extrakt z guarany, extrakt ze zeleného čaje, karnitin, extrakty z pepřů, extrakt z banaby a kyselina hydroxycitronová. Na trhu je v tuto chvíli více než 120 patentovaných produktů pro redukci tělesné hmotnosti (Kleiner, 2010; Roubík et al., 2018).

Tabulka 5 Vybrané suplementy s kofeinem na českém trhu

Název a značka produktu	množství	množství kofeinu
Agrezz Extrifit	20,8 g	283 mg
Helgel Extrifit	80 g	233 mg
Fatall Ultimate fat burner Extrifit	2 kapsle	160 mg
Thor GymBeam	14 g	300 mg
N1 Preworkout Nutrend	17 g	200 mg
Nakopávač Aktin	15 g	200 mg
Spalovač Nero GymBeam	2 kapsle	222 mg
Aktin Spalovač	4 kapsle	200 mg
Kofeinové tablety	1 tableta	obvykle 200 mg

zdroje e-shopy: Aktin.cz, Gymbeam.cz, Ronnie.cz

## 4 KOFEIN A ZDRAVÍ ČLOVĚKA

### 4.1 Pozitivní vliv na zdraví

Kofein byl široce studován v různých oblastech týkajících se zdraví člověka. Jedno z nejznámějších zjištění je jeho pozitivní vliv na vznik Parkinsonovy nemoci a příznaky s ní spojené, jako je například třes či zhoršení hrubé motoriky. Protože je Parkinsonova nemoc neurodegenerativní onemocnění, které vede k progresivní ztrátě dopaminergních neuronů substantia nigra, má se za to, že kofein jakožto antagonist adenosinu, pomáhá zlepšit výkon dopaminergního systému blokováním receptorů AA2, čímž stimuluje uvolňování dopaminu. Autoři metaanalýzy 26 studií zjistili, že u pravidelných konzumentů kofeinu dochází ke snížení rizika vzniku tohoto onemocnění o 25 % (Costa et al., 2010; Heckman et al., 2010; Trevitt et al., 2009).

Poruchy mozku při Alzheimerově chorobě se často připisují poškození tkáně charakterizované ztrátou neuronů v mozkových tkáních. Alkaloid trigonellin, složka kávových zrn, prokázal kromě zlepšení paměti i lepší regeneraci dendritů a axonů. Tato zjištění vyžadují pozornost u pacientů s diagnostikovanou Alzheimerovou chorobou, jelikož konzumace kávy může být spojena se sníženým rizikem této choroby (Butt & Sultan, 2011).

Další oblastí, ve které může kofein hrát pozitivní roli, je prevence rakoviny kůže způsobené slunečním zářením. Hlavním mutagenním účinkem UV záření je poškození DNA, při kterém výzkum naznačuje, že kofein má ochrannou roli jak u myši, tak u lidí (Heckman et al., 2010).

Metabolický syndrom je významným globálním a rostoucím zdravotním problémem. Několik studií se zabývalo potenciální rolí kofeinu, kterou má při snižování různých faktorů přispívajících k metabolickému syndromu, a to zejména diabetem mellitem (cukrovkou). Ve většině těchto studií byla spotřeba kofeinu sledována příjmem kávy. Skutečně se ukázalo, že spotřeba tohoto nápoje negativně korelovala s výskytem cukrovky a celkově metabolického syndromu, a byla tak ve vzájemném vztahu s potencionálními přínosy pro zdraví. Káva totiž působí hypoglykemicky, protože zvyšuje inzulinovou senzitivitu. Několik studií se zabývalo jak kávou s kofeinem, tak i kávou bez kofeinu, a dospěly k závěru, že právě složky v kávě jiné než kofein mohou přispívat ke snížení rizika diabetu 2. typu. Tyto jiné složky v kávě (například kyselina chlorogenová) by tak neměly být ignorovány. Konzumaci 3 šálků kávy denně třeba



doporučuje Panamerická zdravotnická organizace, která usiluje o zlepšení zdraví obyvatel Ameriky (Butt & Sultan, 2011; Heckman et al., 2010).

Díky pozitivnímu vlivu kávy na inzulínovou senzitivitu a obsahu více než 1000 bioaktivních látek a antioxidantů, které mimo jiné vychytávají škodlivé volné radikály kyslíku v těle, bývá tento nápoj spojován s vyšší dlouhověkostí u člověka. Tento fakt potvrzuje několik observačních studií a metaanalýz, z nichž například jedna vyvodila závěr, že pití 4 šálků kávy denně snižuje celkovou mortalitu o 16 %. Navíc pití 3 šálků denně je spojeno s nižší šancí úmrtí na kardiovaskulární onemocnění až o 21 % (Crippa et al., 2014; Šindelář & Roubík, 2020).

V poslední řadě je ještě potřeba zmínit vliv kofeinu na energetický metabolismus. Díky jeho prokázaným termogenním a lipolytickým účinkům totiž zvyšuje denní energetický výdej, a proto může být užitečný pomocník při boji s nadváhou či obezitou. Práce shrnující studie zabývající se touto problematikou udává, že konzumace kofeinu v normálních dávkách (3– 4 mg/kg) pomáhá se zlepšením energetické bilance fyzicky aktivním, sedavým, ale také obézním mužům i ženám. Po redukci tělesné hmotnosti však přichází možná ještě větší problém, a to danou hmotnost udržet. Studie z roku 2016 zjistila, že skupina lidí, která si udržela redukovanou tělesnou hmotnost, konzumuje více šálků kávy a jiných kofeinových nápojů oproti obecnému vzorku populace. Tvrzení v tomto odstavci může podtrhnout další studie, která zkoumala, jak moc ovlivní denní energetický výdej konzumace tří nápojů obsahujících 100 mg kofeinu během dne. Ukázalo se, že konzumace těchto nápojů, kde bylo dohromady 300 mg kofeinu, zvýšila celkový energetický výdej za den průměrně o 106 kcal, což je o 4,6 %. Na první pohled se to zdá málo, nicméně z dlouhodobého hlediska mohou hrát tyto hodnoty významnou roli v redukci tělesné hmotnosti či její udržení (Harpaz et al., 2017; Icken et al., 2016).

## **4.2 Negativní vliv na zdraví a doporučený příjem**

V současném stavu vědy byly zkoumány zejména následující potenciální nepříznivé účinky kofeinu na lidské zdraví: obecná toxicita, kardiovaskulární účinky, vliv na rovnováhu vápníku a stav kostí, behaviorální účinky u dospělých a dětí, karcinogenní potenciál, genotoxický potenciál a reprodukční účinky včetně pre - a postnatálního vývoje (European Food Safety Authority, 2015; Nawrot et al., 2003).

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. V předchozích hodnoceních této úrovně obvyklé konzumace kofeinu nebyly jinými orgány vzneseny žádné obavy týkající se zdraví v souvislosti s akutní toxicitou, stavem kostí a rovnováhu vápníku, kardiovaskulárním zdravím, změnami chování, rizikem rakoviny nebo mužskou plodností, a o těchto ani jiných klinických výsledcích nejsou k dispozici žádné nové údaje, které by mohly pozměnit tyto závěry. Příjem kofeinu ze všech zdrojů až do 200 mg za den konzumovaných těhotnými i kojícími ženami nevyvolává obavy o bezpečnost plodu nebo kojeného dítěte (European Food Safety Authority, 2015; Nawrot et al., 2003).

Vzhledem k tomu, že množství plazmy, které se očistí od této látky za jednotku času (tzv. clearance) u dětí a adolescentů je přinejmenším stejná jako u dospělých, mohou se stejné úrovně bez obav o bezpečnost odvozené od dospělých (tj. 5,7 mg / kg tělesné hmotnosti) vztahovat i na děti. Jelikož jsou však k dispozici pouze omezené studie o dlouhodobých účincích kofeinu na úzkost a chování u dětí a dospívajících, panuje v této věkové skupině podstatná nejistota ohledně dlouhodobějších účinků obvyklé konzumace kofeinu. Pro obvyklou konzumaci kofeinu dětmi a dospívajícími se proto navrhuje úroveň bez obav o bezpečnost 3 mg / kg tělesné hmotnosti za den (European Food Safety Authority, 2015)

Výbor Evropského úřadu pro bezpečnost potravin ale upozorňuje, že dávky vyšší než doporučené (například 10 mg / kg) může u dětí a adolescentů způsobit zvýšení úzkosti a negativně ovlivnit chování. Dále zmiňují, že jsou dostupné studie, kde je prokázáno, že konzumace kofeinu z dlouhodobého hlediska zvyšuje krevní tlak. Avšak existuje minimálně stejné množství studií, které mají protichůdné tvrzení. Metaanalýzy kombinující údaje ze všech dostupných prospektivních studií se přiklánějí k tomu, že nenacházejí zvýšené riziko hypertenze na žádné úrovni příjmu kofeinu (European Food Safety Authority, 2015).

V poslední řadě je třeba zmínit vliv kofeinu na spánek, jelikož i ten je nesmírně důležitý pro lidské zdraví. Již dávka 1,4 mg / kg kofeinu konzumovaného večer může narušit spánkovou latenci, a zkrátit tak celkovou dobu trvání spánku. Studie z roku 2013 zkoumala potencionální poruchy spánku při konzumaci dávky 400 mg kofeinu těsně před spánkem, 3 hodiny a 6 hodin před spánkem. Kofein skutečně u všech těchto skupin

měl výrazně negativní vliv na kvalitu spánku oproti placebo (Drake et al., 2013; European Food Safety Authority, 2015).

Kofein byl ve spojitosti s lidským zdravím zkoumán opravdu hodně, a na základě současného vědeckého poznání můžeme s poměrně velkou jistotou říci, že je v doporučeném množství bezpečnou látkou. Nicméně je potřeba říci, že při dlouhodobém nadměrném příjmu nad doporučené denní množství této látky (400 mg u zdravých dospělých, 300 mg u dětí a adolescentů, a 200 mg u těhotných a kojících žen podle EFSA) se mohou objevit problémy zmíněné výše, zejména pak u citlivějších jedinců (European Food Safety Authority, 2015; Strunecká & Patočka, 2012).

### **4.3 Kofein a závislost**

Alkaloidy jsou návykové látky, jelikož mnoho z nich má narkotické účinky. Obecným jevem dlouhodobého opakovaného užívání těchto drog je rozvoj tolerance a fyzické a psychické závislosti. Tolerance znamená, že při opakovaném užití látky organismus přivyká na vysoké dávky, a pro dosažení účinku nebo normálního fungování potřebuje vyšší dávku drogy. Fyzická závislost se projevuje vzestupem tolerance a potřebou zvyšování dávek. Psychická závislost se vyznačuje ztrátou kontroly nad užíváním a neovladatelným dychtěním po droze (Benešová & Satrapová, 2002).

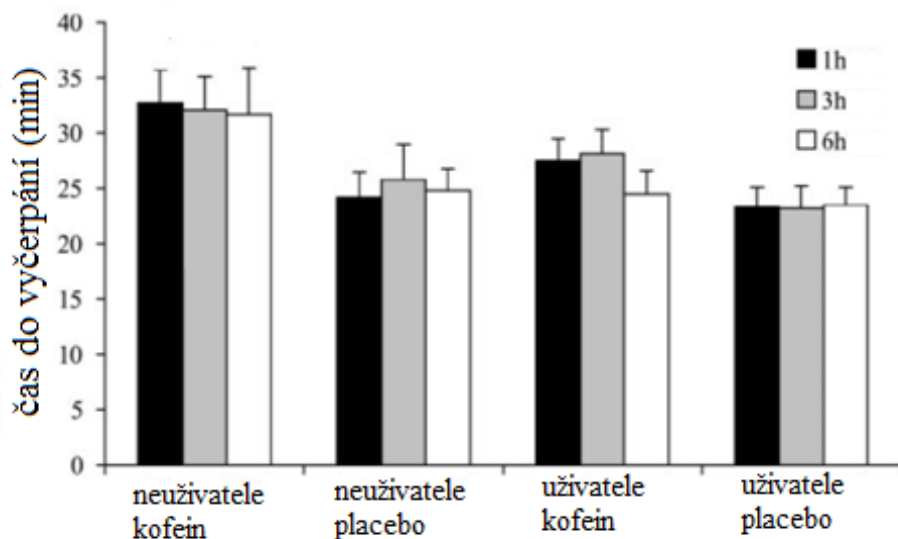
Kofein tedy patří mezi návykové, a závislosti na této droze se říká kofeinismus. Pravidelný konzument je nucen kofeinové dávky stále stupňovat, aby na nás například káva působila i nadále povzbudivým účinkem. Jak je již popsáno v kapitole o metabolismu výše, hlavním účinkem kofeinu je obsazení adenosinových receptorů. Avšak při pravidelné konzumaci kofeinu dochází k zvyšování počtu těchto receptorů, a proto se musí také zvyšovat příjem kofeinu, aby mohly být všechny tyto receptory i nadále obsazeny (Mach, 2012; Spiller, 1998).

Spousta lidí se již dostala do stavu, kdy musí přijímat kofein, jenom aby se dostala do normálního stavu a mohla fungovat. Je to díky tomu, že abstinence této látky může přimět pracovat mozek se sníženým výkonem. Naše tělo ve vytváření adenosinu pokračuje i po blokaci jeho činnosti kofeinem, a díky tomu jsme jím po poklesu koncentrace kofeinu doslova předávkováni. To má za dopad velký pocit ospalosti, nepříjemné bolesti hlavy díky opětovnému rozšíření cév do mozku, a také možné pocity

nevolnosti a závratě díky poklesu krevního tlaku. Pro lidi je to většinou signál pro další kávu (Fullerton-Smith, 2009).

Studie zkoumala u mladých rekreačních sportovců, zda se u nich rozvine tolerance po 4 týdnech pravidelného užívání 1,5– 3 mg kofeinu na kilogram tělesné hmotnosti za den, a popřípadě jak moc tato tolerance ovlivní vytrvalostní výkon. Participanti byli před touto studií klasifikováni jako malí spotřebitelé kofeinu, jelikož konzumovali pravidelně méně než 75 mg této látky za den. Před začátkem studie se jela první jízda na bicyklovém ergometru a participanti po konzumaci 3 mg/kg kofeinu vyprodukovali při tomto zatížení více práce oproti pokusům s placebem ( $383,3 \pm 75$  kJ vs  $354,5 \pm 55,2$  kJ). Po 4 týdnech studie se pak tato jízda jela znovu, avšak efekt kofeinu se díky jeho pravidelnému užívání vytratil a téměř se vyrovnal pokusům s placebem ( $358,0 \pm 89,8$  kJ vs  $351,8 \pm 49,4$  kJ). Dlouhodobější užívání kofeinu tedy vede k rozvoji tolerance, a pokud chce jedinec maximalizovat užítky této látky, měl by se vyvarovat její chronické suplementaci (Beaumont et al., 2017).

Bell a McLellan (2002) zkoumali, jaký má efekt konzumace 5 mg/kg kofeinu na vytrvalostní cvičení submaximálního charakteru do vyčerpání u pravidelných uživatelů a neuseratelů kofeinu. Tato dávka byla navíc podávána v různých časech před touto jízdou na bicyklovém ergometru, a to konkrétně 1, 3 a 6 hodin. U všech subjektů (uživatelů i neuseratelů) kofein pomohl výrazně zvýšit čas vyčerpání oproti placebo ( $28,8 \pm 8,6$  min vs  $24 \pm 6,5$  min), nicméně toto zlepšení bylo výraznější u neuseratelů, kde bylo zlepšení oproti placebo až o 8 minut. Neuseratele kofeinu si navíc udrželi výrazně lepší výkon oproti pokusům s placebem i po 6 hodinách od konzumace drogy na rozdíl od uživatelů, kteří měli po této době od konzumace kofeinu čas vyčerpání podobný jako skupina s placebem. Výsledky studie ukázaly, že nejenže má kofein větší ergogenní účinek na neuseratele této drogy, ale tento efekt u nich zároveň i déle trvá. Obrázek 2 přehledně znázorňuje výsledky této studie.



Obrázek 2 Výsledky studie (Bell & McLellan, 2002)

Na základě těchto zjištění je vhodné konzumaci kofeinu pro co nejlepší využití jeho ergogenních benefitů strategicky cyklovat. V praxi to znamená, že bychom jej měli nějakou dobu před důležitou událostí naší sportovní kariéry (zápas, soutěž, apod.) vysadit a doslova si jej šetřit až pro daný sportovní výkon. Nicméně v plánování tohoto kroku bychom neměli zapomenout na možné abstinenční příznaky. Bolest hlavy, únava a méně energie, snížená bdělost, ospalost, depresivní nálada, potíže se soustředěním a podrážděnost jsou pozorovány prvních 12–24 hodin abstinence, a tato klinická situace se nazývá syndrom vysazení kofeinu (European Food Safety Authority, 2015; Šindelář & Roubík, 2020).

## 5 KOFEIN A SPORT

Kofein je asi nejzneužívanější látkou ve světě sportu, a jeho efekt na fyzický výkon je velmi dobře potvrzený. Dne 1. září 2001 byl uveden na seznam zakázaných látek Olympijského antidopingového kodexu, nicméně test byl pozitivní, přesahovala-li jeho koncentrace v moči 12 µg/ml. Od 1. ledna 2004 je však z tohoto seznamu vyňat. Kofein by měl být používán sportovci jako pomůcka při výkonu během sportovních soutěží, avšak je pravděpodobné, že se jedná o široce používanou látku také mezi obecnou rekreačně-cvičící populací (Greenwood et al., 2015; Maughan & Burke, 2006).

### 5.1 Vliv kofeinu na sportovní výkon, mechanismy účinku

Kofein ovlivňuje sportovní výkon rozmanitě, protože působí na lidský organismus různými mechanismy. Asi nejznámější a jeden z nejdůležitějších je již dříve zmiňované blokování adenosinových receptorů mozku, díky čemuž se stimuluje CNS, zvýší se psychické vzrušení a tím pádem dojde k oddálení únavy. Dopad tohoto mechanismu účinku můžeme vidět u zlepšení kognitivních funkcí, jako je třeba pozornost, nálada či rozhodování. Tato látka také přímo působí na nadledviny, kde stimuluje uvolňování epinefrinu z dřeně. To má za následek přepnutí organismu do stavu pohotovosti, kdy se například zvyšuje tepová frekvence, převládají katabolické děje, rozšíří se zornice, apod. To nám může pomoci k "nakopnutí" ke sportovnímu výkonu, a proto tento alkaloid najdeme ve většině předtréninkových suplementů. Je také dobře známo, že po konzumaci kofeinu dochází ke zvýšení koncentrace volných mastných kyselin v krvi, jelikož je zvýšena jejich mobilizace. Díky tomu dochází k šetření zásob svalového glykogenu třeba při výkonu vytrvalostního charakteru, což může výrazně prodloužit danou činnost. Tuto látku tak můžeme najít ve většině gelů a tyčinkách, které jsou hojně konzumovány při vytrvalostních soutěžích. Kofein má také přímý efekt na kontraktilní vlastnosti svalového vlákna, jelikož podporuje přenos draslíku do buněk svalových vláken a také zvyšuje uvolnění kalcia ze sarkoplasmatického retikula kosterního svalu. Kromě toho tato látka zvyšuje afinitu myofilamentu pro vápník, a dokonce i nábor motorických jednotek. Je potřeba také zmínit, že kofein zvyšuje termogenezi organismu, což má za následek zvýšenou lipolýzu, vyšší bazální metabolismus a tím pádem i celkový denní energetický výdej. Na těchto účincích kofeinu stojí většina "spalovačů tuků", které jsou využívány především ženami a sportovci estetických

sportů. V poslední řadě kofein stimuluje sekreci endorfinů, které působí pozitivně na naši náladu, a také potlačují bolest. Tohoto efektu můžou využít například zápasníci v úpolových sportech. V tabulce 6 se nachází přehledný souhrn těchto nejznámějších vlivů kofeinu na lidský organismus společně s literárními zdroji.

Tabulka 6 Souhrn nejznámějších vlivů kofeinu na lidský organismus

<b>Vliv/mechanismus</b>	<b>důsledek</b>	<b>zdroj</b>
<b>Blokace adenosinových receptorů</b>	Stimulace CNS, oddálení únavy, zlepšení kognitivních funkcí	(Greenwood et al., 2015) (Lieberman et al., 2002)
<b>Uvolnění epinefrinu (adrenalinu)</b>	Stav pohotovosti organismu (katabolismus, zvýšení SF,...)	(Greenwood et al., 2015)
<b>Zvýšení náboru motorických jednotek</b>		(Maughan & Burke, 2006)
<b>Podpora přenosu draslíku do buněk sval. vláken</b>	Zlepšení kontraktálních vlastností kosterního svalstva	(Mach, 2012)
<b>Zvýšení uvolnění kalcia ze sarkopl. retikula v kosterním svalu</b>		(Greenwood et al., 2015)
<b>Zvýšení afinity myofilamentu pro Ca</b>		(Greenwood et al., 2015)
<b>Zvýšení sekrece endorfinů</b>	Zlepšení nálady, potlačení bolesti	(Laurent et al., 2000)
<b>Zvýšení mobilizace volných mastných kyselin</b>	Šetření svalového glykogenu	(Greenwood et al., 2015)g
	Zvýšení lipolýzy	(Roubík et al., 2018)
<b>Zvýšení termogeneze</b>	Zvýšení bazálního metabolismu a energetického výdeje	(Šindelář & Roubík, 2020) (Astrup et al., 1990)

## 5.2 Formy kofeinu ve sportu

Kofein se ve sportovním prostředí konzumuje v několika formách, z nichž nejběžnější jsou káva, energetické nápoje, kofeinové tablety a suplementy v podobě různých nakopávačů a spalovačů. Avšak v poslední době vzbuzují zájem i jiné alternativní

formy jako kofeinové žvýkačky, energetické tyčinky a energetické gely, výplachy v ústech, a nosní spreje (Guest et al., 2021).

Káva je běžně přijímána cvičícími jednotlivci jako součást jejich obvyklé stravy, nicméně bývá též běžně konzumována před tréninkem kvůli zlepšení pocitu energie, nálady a výkonu. Ve studii z roku 1998 vědci zjistili, že zatímco kofein ve vodě vytrvalostní výkon zlepšil, u kofeinu v kávě tomu tak nebylo. Autoři studie na základě těchto výsledků tvrdí, že jiné látky obsažené v kávě (například kyselina chlorogenová) mohou snižovat účinky kofeinu na sportovní výkon. Nicméně většina ostatních studií tento fakt vyvrátila a prokázala, že i káva má ergogenní účinky na výkon. Sportovní dietetici a výživoví poradci však kávu jako formu vhodnou kofeinu před tréninkem stejně nedoporučují, protože je obtížné standardizovat přesné množství kofeinu v tomto nápoji a také dosáhnout potřebného množství této látky pro ergogenní efekt. Jeho obsah v kávě totiž závisí na spoustě faktorů, jako například metoda přípravy či druh kávových zrn. Z těchto důvodů jsou jako vhodná forma před tréninkem/soutěží nejvíce doporučovány kofeinové tablety, u kterých máme přesně dané množství kofeinu, bez problému jsme schopni dosáhnout požadované dávky pro ergogenní účinek, a zároveň máme jistotu, že tento účinek nebude blokován jinými látkami (Greer et al., 1998; Guest et al., 2021; Šindelář & Roubík, 2020).

Wickham a Spriet (2018) v jejich článku tvrdí, že současná literatura nepodporuje ergogenní účinky kofeinu podávaného ve formě energetických nápojů. Uvádí, že jsou však zapotřebí další studie zkoumající účinnost jednotlivých složek energetických nápojů na výkon. Wilson a kol. (2013) za Mezinárodní společnost sportovní výživy naopak tvrdí, že energetické nápoje zlepšují jak fyzický, tak kognitivní výkon. Guest a kol. (2021) za Mezinárodní společnost sportovní výživy dodává, že látky jako taurin u energetických nápojů, a látky jako betaalanin, vitamíny B a citrulin u preworkout suplementů, mohou potencovat účinky kofeinu.

Ergogenní účinek kofeinových žvýkaček je vědecky dobře prokázán, a díky jejich rychlosti vstřebávání mohou být užitečné při neočekávaných změnách sportovních či vojenských situací. Vyplachování úst kofeinem po dobu 5–20 sekund je relativně nová forma, nicméně její účinnost zatím není vědecky dokázána. Toto vyplachování totiž nezvyšuje koncentraci kofeinu v krvi, což vědci považují za jeden z klíčových faktorů pro účinek této látky. Ani speciální nosní spreje, které jsou mimochodem asi nejnovější



formou užívání kofeinu, zatím nedostaly od vědců prokázání o jejich ergogenním účinku (Guest et al., 2021; Wickham & Spriet, 2018).

Kofeinové tyčinky a gely jsou již také poměrně rozšířenými formami, nicméně jejich účinky na sportovní výkon doposud zkoumalo doslova jen pár studií. Dohromady tyto studie naznačují, že tyčinky a gely se 100 mg kofeinu zlepšily kognitivní funkce, dobu do vyčerpání při vytrvalostním výkonu, a výkon na čas. Tyto studie však postrádají měření plazmatického kofeinu, i když lze předpokládat, že zvýšení koncentrace bude podobné jako u kofeinových tablet nebo kávy. Navíc v současné době neexistuje práce, která by zkoumala ženy, a proto je zapotřebí dalšího výzkumu v této oblasti, jelikož kofeinové tyčinky a gely jsou častým zdrojem kofeinu pro sportovce během tréninků a soutěží (Guest et al., 2021; Wickham & Spriet, 2018).

### 5.3 Dávkování

Abychom mohli sportovci využít co největší benefity této látky, musí také vědět, v jakých dávkách kofein konzumovat. Mach (2012) uvádí, že bezpečná a přitom účinná jednorázová dávka kofeinu je 3,1 mg/kg tělesné hmotnosti. Pro člověka vážícího 70 kg to je tedy přibližně 210 g, což odpovídá zhruba dvěma šálkům kávy. Toto tvrzení potvrzuje také většina studií, kde je pozorován nejvýraznější ergogenní efekt při konzumaci 3– 6 mg/kg tělesné hmotnosti. U vyšších dávek než je 6 mg/kg tělesné hmotnosti se zvyšuje šance na výskyt vedlejších účinků a už obvykle nedochází k dalším ergogenním benefitům (Šindelář & Roubík, 2020).

Zajímavostí je také fakt, že příjem dávky kofeinu do 6 mg/kg tělesné hmotnosti navíc nevede k jeho koncentraci přesahující 12 mikrogramů/ml, tudíž i při uvedení kofeinu na seznam zakázaných látek v roce 2001 mohli sportovci plně využívat ergogenní potenciál této látky (Maughan & Burke, 2006).

Pasman a kol (1995) testovali vliv různých dávek kofeinu na vytrvalostní výkon u trénovaných cyklistů, a zjistili, že cyklisté podali po 5 mg/kg kofeinu stejný výkon jako po požití 9 mg/kg i 13 mg/kg. U dvou posledních jmenovaných skupin byly navíc během studie hlášeny vedlejší účinky jako závratě, bolest hlavy, nevolnost a třes. Dávka 5 mg/kg navíc jako jediná nepřekročila koncentraci 12 mikrogramů/ml kofeinu v moči. Higgins a kol. (2016) shrnuli ve svém článku několik studií, kde mimo jiné porovnávali účinnost dávek 3– 8,1 mg/kg na sportovní výkon. Všechny dávky v tomto rozmezí

zaznamenaly ergogenní efekt, ale výkonnostní výhody byly u 8,1 mg/kg podobné jako u 3 mg/kg.

Na druhou stranu aby měla dávka kofeinu nějaký efekt, nesmí být úplně malá. Důkazem toho je studie z roku 2008, která zkoumala vytrvalostní výkon po dávkách 1, 2 a 3 mg/kg. Dvě největší dávky v této studii (2 a 3 mg/kg) tento výkon zlepšily, avšak nejmenší dávka 1 mg/kg nikoliv (Jenkins et al., 2008). Téměř 3 desítky chlapců provádělo Wingate test a test síly stisku po konzumaci 1, 3 a 5 mg/kg kofeinu. Výkony u obou těchto testů byly výrazně vyšší při užití dávky 3 a 5 mg/kg, ale konzumace 1 mg/kg neměla na výkony žádný vliv (Turley et al., 2015).

Při dlouhotrvajících turnajích může být efektivnější rozložit větší dávku kofeinu na několik menších a ty konzumovat před každým zápasem či pokusem, namísto požití jedné velké dávky na začátku turnaje. Negaresh a kol. (2019) uspořádali simulovaný turnaj v zápase, kde probandi konzumovali buď jednu velkou (10 mg/kg), nebo jednu průměrnou (4 mg/kg) dávku kofeinu na začátku turnaje, velkou dávku rozdělenou na několik menších (5x2 mg/kg) před každým zápasem, nebo dávku 2 mg/kg variabilně na základě změření předešlého poklesu výkonnosti (průměrně za celý turnaj 6,16 mg/kg kofeinu). Zlepšení výkonů v pozdějších fázích turnaje bylo zjištěno pouze u posledních dvou zmíněných skupin. Autoři navíc dodávají, že dávka 10 mg/kg na začátku turnaje sice nejvýrazněji zlepšila čas specifického testu pro zápasníky před prvním zápasem, avšak při pozdějších testech tento efekt vyprchal. Navíc tato velká dávka způsobila u zápasníků vedlejší účinky v podobě gastrointestinálních potíží.

V souvislosti s dávkováním kofeinu je ještě potřeba věnovat odstavce bezpečnosti dávek kofeinu. Jak je již zmíněno v kapitole o vlivu kofeinu na zdraví člověka, kofein je v doporučeném příjmu velmi bezpečnou látkou. Avšak při překročení této dávky (přibližně od 6 mg/kg) nám může hrozit výskyt vedlejších účinků, jako je nervozita, neklid, bolest hlavy, gastrointestinální potíže, třes a zrychlený srdeční tep. Za toxickou dávku se považuje 20–40 mg/kg. Smrtelná dávka kofeinu pro dospělého člověka činí při orálním užití 150 mg/kg, což je asi 10 g (50–200 šálků kávy). Je tedy téměř nemožné zemřít na nadměrnou konzumaci kofeinových nápojů, avšak je známo několik případů smrti na předávkování kofeinovými tabletami. Nejvyšší dávka, kterou člověk přežil, byla 24 gramů kofeinu a nejnižší dávka, kterou nepřežil, pak 3,2 gramy (ovšem nitrožilně). Toto jenom dokazuje, jak moc je citlivost na účinky kofeinu individuální. Je potřeba tedy zdůraznit, že každý z nás reaguje na příjem kofeinu odlišně, a proto je

třeba sledovat reakce našeho organismu, a na základě toho dávkování upravit (Fullerton-Smith, 2009; Šindelář & Roubík, 2020; Strunecká & Patočka, 2012).

#### **5.4 Načasování příjmu kofeinu**

Timing kofeinu se určuje zejména podle doby vstřebání jednotlivých forem, protože každá tato forma kofeinu se vstřebá jinak rychle. V tabulce 7 nalezneme rychlost vstřebání těch nejužívanějších forem. Ve studiích je kofein nejběžněji požíván 60min před výkonem, protože je již obecně známo, že nejvyšší hladina kofeinu v krvi bývá 30– 60 minut po konzumaci (Sökmen et al., 2008).

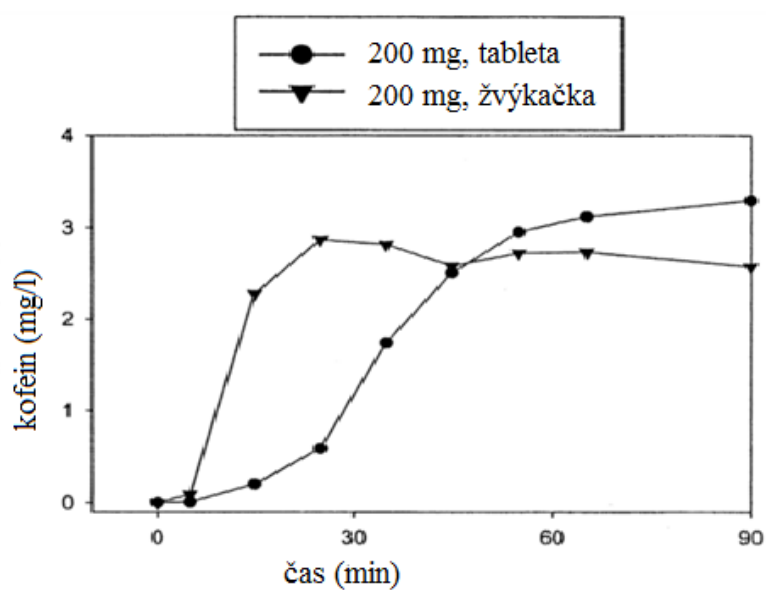
Bell a McLellan (2002) však upozorňují, že vysoké hladiny kofeinu v krvi můžeme nalézt i 3– 4 hodiny po konzumaci, jelikož má tento alkaloid poločas rozpadu 4– 6 hodin. Toto tvrzení následně podložili výsledkem studie, kde kofein skutečně výrazně zlepšil výkon oproti placebo 3 hodiny po požití, a u lidí nezvyklých na kofein dokonce i 6 hodin po požití. Mezinárodní společnost sportovní výživy uvádí, že velikost účinku kofeinu roste s prodlužující se dobou zátěže. Pro sportovce tedy může být při dlouhotrvající zátěži výhodnější požití kofeinu během cvičení než klasicky před (Guest et al., 2021).

Kamimori a kol. (2002) zkoumali rozdíl ve vstřebání kofeinu ve formě tablet oproti kofeinovým žvýkačkám. Obrázek 3 znázorňuje výsledky studie, a je z něj patrné, že vysoké hladiny kofeinu můžeme mít již 15 min po konzumaci žvýkaček, zatímco na vyšší hladiny kofeinu po konzumaci tablet si musíme počkat téměř hodinu.

Optimální načasování příjmu kofeinu z populárních gelů a tyčinek není snadné kvůli malému počtu studií. Guest a kol. (2021) ale shrnuli 4 studie, které zkoumaly vliv těchto gelů a tyčinek na výkon. Dvě studie, kde byly konzumovány gely obsahující 100 a 300 mg kofeinu 10 min před výkonem, prokázaly významné zlepšení oproti jedné studii, kde byl gel se 100 mg kofeinu konzumován 60 min před výkonem. V další studii skupina po konzumaci tyčinky obsahující 100 mg kofeinu bezprostředně před vytrvalostním výkonem dosáhla významného zlepšení. Zdá se tak, že tyto formy je vhodné konzumovat buď bezprostředně, nebo maximálně do deseti minut před výkonem.

Tabulka 7 Rychlost vstřebání nejužívanějších forem kofeinu ve sportu

forma	rychlost vstřebání	zdroj
káva	30 min	(Strunecká & Patočka, 2012)
kofeinové tablety	60 min	(Kamimori et al., 2002)
energetické nápoje	30 min	(Wilson et al., 2013)
kofeinové žvýkačky	15 min	(Kamimori et al., 2002)



Obrázek 3 Výsledky studie (Kamimori et al., 2002)

## 6 KOFEIN A VYTRVALOST

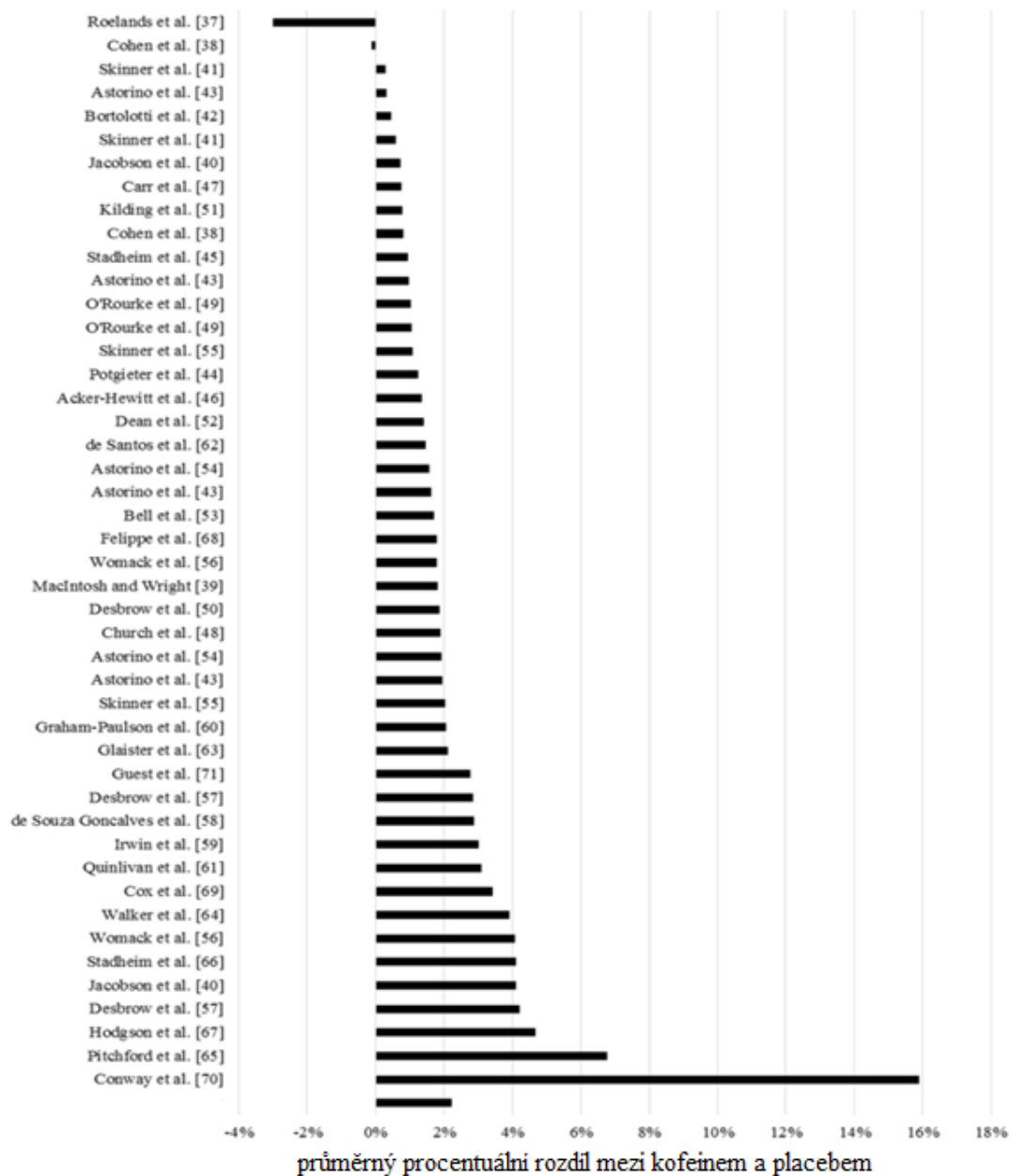
Kofein patří mezi nejoblíbenější farmakologické sportovní ergogenika, které dnes používají vytrvalostní sportovci. Můžeme jej najít ve většině produktů podporujících právě tento druh výkonu, jako například vytrvalostní gely, tyčinky a prášky. Kofein ovlivňuje vytrvalostní výkon několika mechanismy. Nejprve to je stimulace centrální nervové soustavy a zvýšení psychického vzrušení díky blokaci adenosinových receptorů. Zlepšení fyziologických procesů, kardiovaskulárních funkcí a využití energetických substrátů jako paliva má na starosti epinefrin z nadledvin, jehož vyplavování kofein stimuluje. Primární teorie, která je základem ergogenních účinků kofeinu na dlouhodobé vytrvalostní aktivity, je zvýšení mobilizace volných mastných kyselin. Díky ní totiž dochází k šetření svalového glykogenu, což může výrazně ovlivnit pozdější fáze déletrvajícího výkonu. V poslední řadě může přispět k lepšímu vytrvalostnímu výkonu také vliv kofeinu na účinnější svalové kontrakce prostřednictvím zvýšení afinity myofilament pro vápník a zvýšení uvolňování vápníku ze sarkoplasmatického retikula (Greenwood et al., 2015).

### 6.1 Aerobní výkon

Ze všech oblastí fyzického sportovního výkonu patří aerobní vytrvalost ve spojitosti s kofeinem mezi nejvíce zkoumané a jeho ergogenní efekt na tuto déletrvající aktivitu je velmi dobře prokázán. Metaanalýza z roku 2018 shrnula výsledky celkem 45 studií, které se zabývaly vlivem kofeinu na vytrvalostní výkon. Byly vybrány studie, kde testované osoby měly 18 a více let, kofein musel být konzumován samostatně v dávce minimálně 3 mg/kg a zátěž musela mít dobu trvání delší než 5 minut. Nejčastější forma zátěže byla cyklistika (35 ze 45 studií). Celkově byly časy u pokusů s kofeinem lepší a to průměrně o 2,22 %. Přehledný průměrný procentuální rozdíl kofeinu a placebo v těchto studiích ukazuje obrázek č. 4. Podobně tomu bylo také u množství vykonané práce, které měly kofeinové studie lepší průměrně o 2,9 %. Tato zlepšení mohou procentuálně působit nevýznamně, avšak i zlepšení času o 2,2 % může hrát na vrcholové úrovni velkou roli. Například nejrychlejší oficiální půlmaraton je 57 min 32 s. Vzhledem k tomu, že průměrný nárůst výkonu zjištěný v této metaanalýze 45 studií je 2,22 %, u 57 minutové zátěže se to rovná zlepšení o 1 min a 16 s, což je rozdíl mezi prvním (57:32) a 18. místem (58:48) v seznamu aktuálních nejrychlejších časů

půlmaratonu. Zda tedy sportovec konzumuje kofein před vytrvalostní událostí, nebo během ní, může mít velký dopad na celkové výsledky a umístění. Mnoho studií zahrnutých v této metaanalýze však bylo provedeno na rekreačně trénovaných atletech, takže je možné, že prokázaný účinek kofeinu není pro elitní sportovce zobecnitelný (Southward et al., 2018, World Athletics).

Ganio a kol. (2009) ve své systematické přehledové práci o vlivu kofeinu na vytrvalostní výkon zahrnuli jen ty studie, kde je měřen výkon pomocí časových testů, při kterých probandi nejlepším možným úsilím překonávají danou vzdálenost nebo pracují po daný čas. Autoři totiž uvádí, že mnoho výzkumných studií měří vytrvalostní výkon pomocí testů do vyčerpání, avšak čas do vyčerpání jako měřítko sportovního výkonu není ideální. Tento druh testu má totiž vysoký stupeň variability měření mezi subjekty a také si autoři nejsou vědomi toho, že by existoval nějaký vytrvalostní sport, ve kterém jednotlivci vyhrávají tím, že jdou na delší vzdálenost, nebo na delší dobu než jejich konkurenti. Pro sport je proto vhodnější měření výkonu pomocí časových testů. Navíc, aby mohla být studie do této práce zařazena, musela vytrvalostní zkouška v ní trvat déle než 5 minut. Tyto podmínky podle autorů splňovalo celkem 21 studií. Průměrné zlepšení vytrvalostního výkonu při požití kofeinu bylo  $3,2 \pm 4,3$  %, avšak toto zlepšení bylo mezi studii velmi variabilní (-0,3 až 17,3 %). Vysoký stupeň variability mohl záviset na řadě faktorů, jako například timingu, formě, velikosti dávky či míry návyku subjektů. Závěrem ještě autoři doplňují, že zdržení se kofeinu nejméně 7 dní před použitím poskytne největší šanci na optimalizaci ergogenního účinku (Ganio et al., 2009).



Obrázek 4 Průměrný procentuální rozdíl vytrvalostních výkonů kofeinu a placebo ve studiích obsažených v metaanalýze (Southward et al., 2018).

Vzhledem k tomu, že prevalence užívání kofeinu před a během elitních vytrvalostních soutěží je až 89%, je nepravděpodobné, že by kofein poskytl sportovcům zásadní náskok před jejich konkurenty. Spíše jim může zabránit ve znevýhodnění ve srovnání s jinými konkurenty, u nichž je pravděpodobné, že budou konzumovat kofeinové doplňky (Del Coso et al., 2011; Southward et al., 2018).

## 6.2 Anaerobní výkon

Anaerobní výkon řadíme mezi rychlostní či krátkodobé intenzivní aktivity trvající maximálně 2–3 minuty. Po tomto časovém úseku už má každá aktivita převládající aerobní složku metabolismu. Studie o kofeinu zahrnující dlouhodobější vytrvalostní cvičení prokázaly zvýšený objem práce nebo čas vyčerpání. Kofein také zvýšil výkon při intenzivnějším cvičení do 5 minut, nicméně pozitivní ergogenní účinky jsou nejednoznačné během cvičení trvajícího méně než 3 minuty (Sökmen et al., 2008).

Davis a Green (2009) shrnuli vědecké poznání o této problematice v rozsáhlé práci o vlivu kofeinu na anaerobní výkon. Jeden z nejpoužívanějších testů tohoto druhu výkonu (především anaerobní kapacity) je Wingate test. Autoři se proto v jejich práci zaměřili na studie, které testovaly vliv kofeinu právě pomocí Wingate. Po analýze všech dostupných studií zjistili, že kofein neměl na tuto zkoušku žádný, nebo pouze minimální ergogenní efekt. V jedné studii (Greer et al., 1998), kdy byla tato třicetisekundová zkouška prováděna ve čtyřech opakováních oddělených od sebe pauzou 4 minuty, měl kofein na poslední dvě kola Wingate testu dokonce negativní efekt. Nicméně jak v této studii, tak ve většině ostatních studií obsažených v přehledové práci Davise a Greena (2009) byl vzorek probandů tvořen netrénovanými subjekty.

Odpověď na otázku, zda kofein zlepšuje anaerobní výkon při Wingate testu, hledala v roce 2018 i jedna metaanalýza. Bylo nalezeno celkem 16 studií, které splňovaly kritéria autorů a mohly tak být zařazeny do této práce, a část z nich zahrnovala i trénované subjekty. Výsledky metaanalýzy ukazují, že kofein zvýšil u Wingate testu průměrný výkon v průměru o 3 % a také vrcholný výkon v průměru o 4 %. I když nejsou tato zlepšení příliš výrazná, jsou statisticky významná. Autoři si ale nejsou jistí, zda mohou být tyto výsledky přenositelné a využitelné ve sportovním prostředí (Grgic et al., 2018).

Novější studie se zabývala vlivem kofeinu na výkon boxerů z olympijského týmu při Wingate testu. Tento alkaloid významně zlepšili vrcholný i průměrný výkon, a také čas potřebný k dosažení vrcholného výkonu u tohoto testu po konzumaci 6 mg/kg kofeinu (San Juan et al., 2019).

Anaerobní výkon se kromě Wingate testu hodnotí i různými specifickými testy. Například ve studii z roku 2019 experimentální skupina s kofeinem významně zlepšila výkon (počet hodů a počet útoků) u 22 vysoce trénovaných judistů při speciálním judistickém testu anaerobního charakteru oproti skupině s placebem (Durkalec-



Michalski et al., 2019). Pittsburský test je zase speciální anaerobní test pro zápasníky. V roce 2019 Negaresh a kol. (2019) zkoumali na 12 profesionálních zápasnících, jak kofein ovlivní výkony pittsburského testu během simulovaného turnaje, a zjistili, že průběžné dávky kofeinu během tohoto turnaje výrazně zlepšily časy oproti kontrolním skupinám s placebem.

### **6.3 Shrnutí vlivu kofeinu na vytrvalost**

Výsledky převážné části studií prokazují významný ergogenní efekt kofeinu na aerobní výkon. Z jistotou tak na základě těchto výsledků můžeme říct, že tato látka pomáhá zlepšit déletrvající vytrvalostní výkon.

Oproti tomu práce, které se zaměřily na výkon anaerobního charakteru pomocí Wingate testu hlásí výsledky smíšené. Nicméně studie, ve kterých byl vzorek probandů tvořen trénovanými jedinci, prokazují spíš zlepšení jak u Wingate testu, tak u různých specifických testů dané sportovní specializace.

## 7 KOFEIN A SÍLA

Kofein může sílu ovlivnit několika mechanismy. Kromě stimulace CNS díky blokaci adenosinových receptorů a nabuzení organismu díky vyplavení ketocholaminů je už také známo, že kofein působí přímo na kontraktilní vlastnosti svalového vlákna. Tato látka totiž zvyšuje afinitu myofilamentu pro kalcium, podporuje přenos draslíku do svalových buněk a zároveň zvyšuje uvolňování vápníku ze sarkoplasmatického retikula. Někteří autoři ještě uvádějí, že kofein může zvyšovat i nábor motorických jednotek. Díky těmto mechanismům může být svalová kontrakce účinnější (Greenwood a kol. 2015, Grgic a kol. 2019).

Navzdory těmto vědecky prokázaným znalostem však Davis a Green (2009) uvádí, že studie o vlivu kofeinu na výkon s odporem jsou řídké, výsledky nejsou jednoznačné a důsledky ergogenního potenciálu kofeinu nejasné.

### 7.1 Maximální síla

Astorino a Roberson (2010) ve své práci shrnuli celkem 11 studií, ve kterých byl testován výkon s odporem ve spojitosti s požitím kofeinu. Pouze 4 studie zahrnuté v této práci však prováděly test maximální síly na 1 opakování. Pouze jedna z těchto prací však zaznamenala významné ergogenní účinky kofeinu na tento druh síly a to konkrétně u cviku benchpress. Zajímavostí u této studie je to, že experimentální skupina s kofeinem zvýšila u 37 trénovaných mužů sílu horní poloviny těla (benchpress), ale nikoliv u cviku na spodní polovinu těla (bilaterální extenze kolenou). Autoři proto tuto studii uzavírají s myšlenkou, že kofein je možná efektivnější pro horní polovinu těla (Beck et al., 2008).

Dalším shrnutím studií o vlivu kofeinu na sílu se zabýval Grgic a kol. (2018) v jejich metaanalýze. Do této práce bylo zařazeno celkem 20 studií, z nichž se polovina věnovala i vlivu kofeinu na maximální sílu testem 1 RM. Zjištění tohoto přehledu naznačují, že požití kofeinu zvyšuje maximální sílu na jedno opakování ve srovnání s placebem. Další analýzy těchto studií odhalily, že požití kofeinu výrazně zvýšilo sílu horní části těla, ale nikoli sílu dolní. Rozdíl mezi průměrnými účinky kofeinu a placebo činil zhruba 3,2 kg u horní části těla, a 1,7 kg zvednuté hmotnosti pro dolní část těla. Z fyziologického hlediska se zdá, že neexistuje žádný důvod, proč by kofein zvyšoval sílu

více u horní části těla, ale nikoli v dolní části těla. Ve skutečnosti vzhledem k rozdílům mezi horní a dolní částí těla v množství zapojené svalové hmoty lze očekávat opačné výsledky. Jako hlavní důvod těchto zjištění uvádějí autoři to, že vědecké poznání v této oblasti je doposud omezené kvůli nedostatečnému počtu studií. Zatímco metaanalýza poskytla určité důkazy o tom, že kofein zvyšuje sílu 1RM, vzhledem k relativně malému počtu studií zabývajících se tímto tématem je budoucí výzkum oprávněný (Grgic et al., 2018).

Stručně řečeno, současná literatura naznačuje, že požití kofeinu zvyšuje maximální sílu o 3– 4 %, a proto by mohlo být považováno za prospěšnou ergogenní pomůcku pro soutěžní silový trojboj. I když lze takové zvýšení síly statisticky považovat za malé, tento malý rozdíl může být důležitý u elitních powerlifterů, protože rozdíl v „totalu“ (součet nejvyšší hmotnosti zvednuté ve všech třech disciplínách) mezi prvním a druhým klasifikovaným závodníkem na mistrovství světa v silovém trojboji v roce 2018 byl 2,8 % u mužů a 4,7 % u žen. Tyto výsledky dodávají věrohodnost představě, že kofein může mít ergogenní účinky na sílu, které jsou užitečné v soutěžích v silovém trojboji (Grgic et al., 2019).

## **7.2 Vytrvalostní síla**

Silová vytrvalost je schopnost svalů odolávat únavě a je důležitá v mnoha sportech. Vytrvalostní sílu lze testovat například opakováními různých cviků (například dřep, benchpress, apod.) do selhání při zatížení odpovídající 50– 70 % 1RM, nebo cviky s izometrickou výdrží jako plank či statický dřep (Guest et al., 2021).

Polito a kol (2016) ve své metaanalýze shrnuli celkem 17 studií, které se zabývaly vlivem kofeinu na tento druh síly. Zlepšení účinků kofeinu na silovou vytrvalost se v těchto pracích pohybovalo v průměru od 6 % do 7%. Rozdíl mezi průměrnými účinky placebo a kofeinu na počet dokončených opakování se pohyboval zhruba od 0 do + 6 opakování.

Několik studií, které prováděly hodnocení svalové vytrvalosti po testování maximální síly, nepozorovaly významný ergogenní účinek kofeinu na svalovou vytrvalost, což naznačuje, že suplementace kofeinem nemusí být na svalovou vytrvalost tak účinná při rozvoji únavy. Tyto výsledky se zdají překvapivé vzhledem k tomu, že bylo prokázáno zpomalení únavové ztráty produkce síly po požití kofeinu. Konzumace kofeinu by proto

měla být teoreticky ergogenní i za přítomnosti únavy a přesné důvody pro nedostatek ergogenního účinku kofeinu v těchto studiích zůstávají nejasné (Grgic et al., 2019).

Grgic a kol. (2019) ve svém článku dále tvrdí, že studie, které zkoumaly účinky suplementace kofeinu na svalovou vytrvalost u žen, také neprokázaly významný účinek zvyšující výkon. Nicméně u této skupiny probandů mohou hrát velkou roli fáze menstruačního cyklu či užívání antikoncepce, jelikož tyto faktory mohou ovlivnit metabolismus kofeinu. Jedna z nejaktuálnějších studií o této látce však zkoumala právě její vliv na silovou vytrvalost u 21 trénovaných žen. Čas pod svalovou tenzí u 50 % 1RM benchpressu byl výrazně větší u žen po konzumaci kofeinu oproti skupinám s placebem a to konkrétně o 8 vteřin. Avšak na další proměnné jako počet opakování neměl kofein vliv (Filip-Stachnik et al., 2021).

### **7.3 Shrnutí vlivu kofeinu na sílu**

Na základě výsledků dostupných studií a metaanalýz můžeme říct, že kofein může pomáhat zlepšit byť jen mírně, ale významně maximální i vytrvalostní sílu. Problémem je však to, že chybí dostatek studií pro určitou část těla, specifické cviky či pohlaví. Tohoto poznání mohou využít siloví sportovci, nicméně budoucí výzkum pro jasnější stanovení závěrů je potřebný.

## 8 KOFEIN A RYCHLOST

Kofein by mohl zejména díky stimulaci centrální nervové soustavy a přímým působením na kosterní sval ovlivňovat i schopnost provádět danou činnost v co nejkratším možném čase, nebo co nejrychleji reagovat na určitý podnět zahájením pohybu. Ve studiích se můžeme nejčastěji setkat s testováním této schopnosti pomocí sprintů v terénu či laboratoři na páse/ergometru, měření rychlosti vykonání různých cviků, či testování rychlosti jednoduché reakce na určitý podnět.

### 8.1 Rychlost pohybu

Vliv této látky na rychlost pohybu byla zkoumána v několika studiích. Tyto studie, které se zabývaly vlivem kofeinu na výkon opakovaných sprintů, zrekapitulovala metaanalýza z roku 2019. Do této práce byly zařazeny jen ty studie, ve kterých byla doba trvání opakovaných sprintů menší než 10 vteřin a zároveň byl interval odpočinku mezi nimi menší nebo roven 60 vteřinám. Autoři nakonec vybrali celkem 7 studií, které splnily všechny požadavky pro tuto metaanalýzu. Příjem kofeinu v těchto studiích se pohyboval v rozmezí 3– 6 mg/kg. Bylo hodnoceno celkové množství vykonané práce během sprintů ve wattech a také nejlepší čas/nejvyšší vykonaná práce u nejlepšího a posledního sprintu studie. Autoři nezaznamenali žádný významný rozdíl mezi kofeinem a placebem jak u množství práce při sprintech, tak i nejlepšího sprintu či výkonu u posledního sprintu. Na základě výsledků této metaanalýzy je tak pravděpodobně, že kofein nemá na opakované sprinty žádný vliv (Lopes-Silva et al.,2019).

Studie, u kterých byl interval odpočinku mezi sprinty dostatečný pro plnohodnotnější zotavení (více než 60 vteřin) a které tím pádem nebyly zařazeny do metaanalýzy z předchozího odstavce, však prokázaly u kofeinu při opakovaných sprintech zlepšení. Kofein tak nejspíš působí ergogenním účinkem na opakované sprinty po plnohodnotném zotavení (Lopes-Silva et al., 2019).

Jsou známé i další studie, které též nejsou obsaženy ve výše zmiňované metaanalýze a které se zabývaly vlivem kofeinu na výkon u týmových sportů. Trénovaní hráči těchto sportů prováděli cvičení, která simulovala zátěž u týmových sportů. Součástí těchto testů byly tím pádem i sprinty, jelikož i ty jsou nedílnou součástí týmových sportů. V práci Schneikera a kol. (2006) například 10 hráčů týmových sportů vykonávalo po

konzumaci 6 mg/kg kofeinu či placebo zátěž na bicyklovém ergometru, která se skládala ze dvou polovin o délce trvání 36 minut. Obě tyto poloviny obsahovaly 18 čtyřsekundových sprintů, a mezi každým sprintem byl 2 minuty aktivní odpočinek při intenzitě 35 %  $VO_{2max}$ . U kofeinové skupiny bylo celkové množství vykonané práce během sprintů výrazně větší a to o 8,5 % v první polovině a 7,6 % v polovině druhé oproti skupině s placebem. Kromě toho taky kofein zlepšil průměrný vrcholný výkon u sprintů oproti kontrolní skupině s placebem, konkrétně o 7 % v první polovině a o 6,6 % v druhé půli tohoto testu (Schneiker et al., 2006). U devíti hráčů rugby byl testován vliv dávky 6 mg/kg kofeinu na test simulující fyzické a dovednostní požadavky tohoto sportu. Součástí každého kola (kterých bylo celkem 7 v jedné polovině) byly i dva rovné 20 metrové sprinty a 3 specifické agilní sprinty. Zlepšení těchto sprintů u hráčů s kofeinem se pohybovalo od 0,5 % do 2,9 % (Stuart et al., 2005).

Problematiku vlivu kofeinu na výkon při sprintech u hráčů týmových sportů řešily také 2 metaanalýzy. V první metaanalýze bylo zařazeno celkem 8 studií. Byl zjišťován efekt kofeinu na sprinty o různých délkách, avšak tato látka nezlepšila výkon u čtyř z osmi studií. Autoři tudíž vyhodnotili, že kofein nemá na tyto sprinty u hráčů týmových sportů vliv, nicméně také uvádí, že je zapotřebí dalšího výzkumu a kontrolovaných randomizovaných studií s dostatečným počtem subjektů (Brown et al., 2013). Tenhle požadavek autorů metaanalýzy splňuje novější metaanalýza, která zahrnovala výsledky celkem 34 studií zabývajících se tímto tématem, a celkový vzorek činil 466 probandů. Kofein byl ve všech těchto pracích konzumován v dávkách 3– 6 mg/kg. Výsledky ukazují, že kofein měl sice malý, ale významný ergogenní efekt na rychlost jak u samostatného sprintu, tak u opakovaných sprintů, a dokonce i na kombinaci těchto dvou druhů sprintů u hráčů týmových sportů. Navíc tato látka zlepšila během reálných, nebo simulovaných utkání celkovou vzdálenost naběhanou při sprintech, což přímo souvisí právě s rychlostí, a taky byl zvýšen počet samotných sprinterských akcí (Salinero et al., 2019).

Raya-González a kol. (2020) zkoumali prostřednictvím metaanalýzy, jaký má vliv kofein na rychlost cviků s odporem. Autoři se zaměřili na průměrnou a maximální rychlost u cviků s lehkou (méně než 30 % 1RM), průměrnou (30– 70 % 1RM) a těžkou (70– 100 % 1RM) zátěží. V práci se vycházelo celkem z 12 studií zabývajících se tímto problémem, a součet všech testovaných v těchto studiích byl 151. Výsledky ukazují, že konzumace kofeinu významně zlepšila průměrnou i maximální rychlost u cviků s

lehkou, střední i těžkou zátěží. Další analýzy také odhalily, že tyto ergogenní účinky byly patrné jak u horní poloviny těla, tak i u dolní. Autoři tak uvádí, že z hlediska výkonu při cvičení s odporem tyto výsledky naznačují, že kofein má nejvýraznější ergogenní účinky právě na rychlost pohybu.

## 8.2 Rychlost reakce

Metaanalýza z roku 2021 se věnovala vlivu kofeinu na kognitivní funkce ve sportu, a mimo jiné se zaměřila i na rychlost jednoduché reakce. Do této práce však byly zařazeny pouze 4 studie, které se věnovaly této problematice. Autoři zjistili, že kofein měl pouze minimální nebo žádný efekt na rychlost jednoduché reakce v těchto studiích. Nicméně také připouští, že celkový vzorek probandů, kterých bylo v těchto pracích dohromady 54, je poměrně malý, a jelikož existují další studie prokazující zlepšení rychlosti jednoduché reakce, je tak možné, že kofein by mohl pomoci sportovcům reagovat rychleji (Calvo et al., 2021).

Deset taekwondistů bylo testováno na rychlost reakce, když reagovali na světelný signál kopem do terče. Těchto kopů bylo celkem 5 a čas reakce byl měřen jako doba mezi rozsvícením signálu a zahájením motorické odezvy (pohyb chodidel). Experimentální skupina pod vlivem kofeinu významně snížila čas potřebný k zahájení pohybu oproti kontrolní skupině s placebem a to konkrétně ze 420 ms na 370 ms. Toto zlepšení však bylo patrné pouze při podmínkách bez únavy (Santos et al., 2014). Test rychlosti jednoduché reakce byl také prováděn na 12 judistech po požití 5 mg/kg kofeinu. Zatímco kontrolní skupina s placebem měla čas při tomto testu 340 ms, u experimentální skupiny pod vlivem kofeinu došlo k významné redukci na 300 ms. Autoři práce tak podotýkají, že výsledky této studie jsou v souladu s předchozími studiemi, které prokázaly významné snížení jednoduché reakční doby po požití kofeinu (Souissi et al., 2013). Na 72 mladých a zdravých studentech bylo testováno, zda u nich menší dávka kofeinu (75 mg/kg) ovlivní rychlost jednoduché reakce. Zatímco placebo skupina měla průměrný čas jednoduché reakce u tohoto testu 389 ms, u skupiny s kofeinem došlo k redukci času na 320 ms (Adan & Serra-Grabulosa, 2010).

Další metaanalýza se zaměřila i na to, zda má kofein vliv na rychlost reakce u střelby ze zbraně. Podmínky práce nakonec splnilo celkem 17 studií, z nichž 11 se zabývalo vlivem této látky na reakční rychlost u střelby. V pracích byly požívány dávky kofeinu

v rozmezí 100– 800 mg. Metaanalýza navíc rozlišovala, zda byly testy střelby vykonávány v prostředí bez stresu a s dostatečným odpočinkem, ve stresových podmínkách bez spánkové deprivace, nebo ve stresovém prostředí se spánkovou deprivací. Kofeinová skupina zlepšila rychlost reakce při střelbě u 3 ze 4 studií v prvním zmiňovaném prostředí, 3 z 3 studií ve druhém zmiňovaném prostředí, a 4 ze 4 studií ve třetím zmíněném prostředí. Celkem bylo v těchto studiích testováno na tento druh výkonu 246 probandů, a 10 z 11 studií prokázalo zlepšení (Torres & Kim, 2019).

### **8.3 Shrnutí vlivu kofeinu na rychlost**

Dostupné studie a metaanalýzy prokazují, že tento alkaloid má ergogenní účinky na rychlostní výkon měřený pomocí sprintů u trénovaných jedinců, a to zejména hráčů týmových sportů. Tyto účinky ale nemusí být úplně patrné při cvičení, kde není interval odpočinku mezi jednotlivými sprinty dostatečný. Kofein podle další metaanalýzy podporuje také zlepšení rychlosti cvičení s odporem.

Výsledky prací zabývající se vlivem kofeinu na rychlost jednoduché reakce nejsou úplně jednoznačné, kdy nějaké zaznamenaly zlepšení těchto časů, jiné ale nikoliv. Větší část studií se ale přiklání k tomu, že kofein tuto schopnost zlepšuje.



## 9 KOFEIN A KOGNITIVNÍ FUNKCE

Studie o kofeinu ve spojitosti se sportovním výkonem se zaměřovaly zejména na výhody této látky pro fyzický výkon, zatímco jeho dopadům na kognitivní výkony byla věnována menší pozornost. Kognitivní funkce zahrnují širokou škálu základních mentálních operací, jako je pozornost, paměť a výkonné funkce zahrnující mimo jiné pracovní paměť, rozhodování, a další. Tyto funkce mohou být dalším klíčem k úspěšnému sportovnímu výkonu. Příznivé účinky přisuzované konzumaci kofeinu jsou založeny na představě, že antagonistické účinky kofeinu by mohli vést k uvolňování excitačních neurotransmiterů (dopaminu a noradrenalinu), a mohly by tak mít centrální ergogenní účinky (Calvo et al., 2021).

### 9.1 Přesnost, pozornost, bdělost

Přesnost je dalším důležitým aspektem výkonu v různých sportech. Může představovat například přesnost střelby ze zbraně v biatlonu, podání v tenise nebo přihrávek v kolektivních sportech. Práce z roku 2017 (Chia et al., 2017) o vlivu suplementace kofeinem na výkon u míčových her se věnovala právě i přesnosti, a to konkrétně přihrávek, střelby a úderů. Autoři nejdříve zmiňují, že vyšší dávky kofeinu by mohly působit na přesnost negativně, jelikož se mohou objevit vedlejší účinky v podobě svalového třesu a nervozity. Nicméně tento fakt následně vyvrátili dvěma studii, kde dávka 6 mg/kg kofeinu zlepšila u hráčů fotbalu a ragby přesnost přihrávek. U hráčů rugby při testu simulující fyzické a dovednostní požadavky tohoto sportu bylo zlepšení přihrávek dokonce o 10 % (Stuart et al., 2005). Výsledek třetí studie, kterou autoři ve spojitosti s vlivem kofeinu na přesnost přihrávek zmiňují, ale nenabyla statistické významnosti i přes malé zlepšení při testu přesnosti přihrávek u ragbistů (Chia et al., 2017).

Chia a kol. (2017) se dále zaměřili na přesnost střelby v míčových sportech. Zde byly shrnuty pouze 2 studie, ve kterých jak hráči basketbalu, tak florbalisté nezlepšili po konzumaci kofeinu přesnost střelby na koš/bránu. Autoři tak uvádí, že vzhledem k omezeným důkazům o přesnosti střelby v míčových hrách je obtížné vyvodit závěr o účinnosti kofeinu, a jsou vyžadovány další studie.

Dvě studie také zjišťovaly, zda má kofein vliv na přesnost úderů v tenise, a jejich výsledky jsou smíšené. Zatímco v jedné studii dávka 3 mg/kg nezlepšila přesnost úderů u 12 tenistů, dávka 6 mg/kg v druhé studii zlepšila průměrný počet přesných úderů (295) oproti placebo (289). Je možné, zlepšení přesnosti je ovlivněno konzumací větší dávky kofeinu, nicméně na to je potřeba více studií (Chia et al., 2017).

V metaanalýze o vlivu kofeinu na střelbu ze zbraně bylo zjištěno, že přesnost nebyla konzumací této látky ovlivněna v normálních podmínkách. Nicméně ve stresovém prostředí se spánkovou deprivací může kofein tuto dovednost zlepšit (Torres & Kim, 2019). E-sporty nabývají v posledních letech čím dál více na popularitě, a nedávna studie se zabývala vlivem kofeinu právě i na přesnost u střílečích hry. Patnáct profesionálních hráčů e- sportů se podílelo na této studii, a skupina pod vlivem 3 mg/kg kofeinu významně zlepšila přesnost střelby na nepohyblivé virtuální terče u dvou ze tří pokusů (Sainz et al., 2020).

Vliv kofeinu na pozornost a bdělost byl zkoumán především na vojácích během různých cvičení, kdy se museli probandi vypořádat se spánkovou deprivací a stresovým prostředím. Práce z roku 2017 shrnujíce celkem 25 studií, které se zabývaly právě tématem vlivu kofeinu na kognitivní výkon u vojáků, a celkový počet probandů v těchto pracích byl 653. Na základě výsledků publikovaných v tomto přehledu autoři vydávají doporučení, že užívání kofeinu u subjektů se spánkovou deprivací může zlepšit pozornost a bdělost (Crawford et al., 2017). Metaanalýza z roku 2021 o vlivu kofeinu na kognitivní výkon sportovců zahrnuje i dvě studie, které se zabývaly pozorností. Skupiny pod vlivem této látky zlepšily pozornost a soustředěnost jak v jedné studii s golfisty, tak i v druhé studii s ragbisty (Calvo et al., 2021). Testování, kterých bylo celkem 82, prokázali po konzumaci nápojů s 60 mg kofeinu lepší pozornost a soustředění, když měli při testu na speciální klávesnici rychlejší reakční časy, a zároveň snížili vliv matoucích signálů v podobě světýlek jiné nesprávné barvy oproti skupině s placebem (Durlach et al., 2002).

## **9.2 Nálada, výběrová reakce, myšlení**

Několik studií také zjišťovalo, zda má kofein vliv na rychlost výběru řešení. Již zmiňovaná metaanalýza Calva a kol. (2021) shrnuje 2 studie i na rychlost výběrové reakce u sportovců, nicméně zde nebyl zaznamenán významný rozdíl mezi kofeinem a

placebem. Judelson a kol. (2005) testovali na skupině 20 mladých mužů, zda u nich kofein ovlivní výsledky testu na rychlost výběrové reakce či náladu. Tato látka neměla vliv jak na dobu trvání výběrové reakce, tak ani na počet správných odpovědí oproti skupině s placebem. Dávka 3 g/kg však měla pozitivní vliv na náladu, na rozdíl od placebové skupiny. Studie z roku 2012 zjišťovala vliv předtréninkového suplementu (obsahujícího také 300 mg kofeinu) na několik testů výběrové reakce. Každý ze subjektů, kterých bylo celkem 12, podstoupil celkem 9 různých testů právě na tuto schopnost. Předtréninkový suplement významně zlepšil výkon u těchto testů (Spradley et al., 2012). V další studii bylo testováno devět fotbalistů, zda u nich 5 mg/kg kofeinu zlepší test výběrové reakce v normálním prostředí s pokojovou teplotou a v chladném prostředí (4°C). V pokojové teplotě byl čas testu výběrové reakce výrazně menší oproti placebo, zatímco v chladném prostředí se výsledky skupin nelišily (Kruk et al., 2001).

I dobrá nálada by mohla pomoci k lepšímu sportovnímu výkonu. Nehlig (2010) se v článku o vlivu kofeinu na kognitivní funkce věnuje i náladě. Zmiňuje, že starší dospělí jsou citlivější než mladší subjekty na účinky kofeinu zlepšující náladu. Tyto účinky jsou ovlivněny také denní dobou, kdy největší můžeme pozorovat v pozdních ranních hodinách. Opakované podávání 75 mg kofeinu (ekvivalent jednoho šálku kávy) každé 4 hodiny potvrdilo postupné zlepšování nálady během dne. Existují však také náznaky negativního dopadu kofeinu na náladu zejména díky přehnanému vzrušení (Nehlig, 2010). Pokud jde o účinek kofeinu na stavy nálady, předchozí studie naznačují, že rozhodujícím faktorem je velikost dávky. Některé studie totiž prokázaly, že nízké dávky kofeinu zlepšují pozitivní náladu, zatímco vyšší dávky vedou k vytvoření negativní nálady (Souissi et al., 2013).

Kofein byl také testován ve spojitosti s pamětí. Calvo a kol. (2021) se ve své práci věnovali také vlivu této látky na paměť u sportovců a zmiňují celkem 4 studie zabývající se tímto tématem. Na základě jejich výsledků autoři naznačují, že kofein může pozitivně ovlivňovat i paměť. Šedesát studentů se zúčastnilo studie, ve které byl testován vliv kofeinu na explicitní a implicitní paměť. Testování bylo navíc prováděno brzy ráno a také v pozdních odpoledních hodinách. Kofein měl v této studii pozitivní vliv na explicitní paměť v ranní části testování, na implicitní však nikoliv. Ani jeden druh paměti nebyl ovlivněn kofeinem odpoledne (Sherman et al., 2016).

### **9.3 Shrnutí vlivu kofeinu na kognitivní funkce**

Dostupné studie ukazují, že kofein zlepšuje přesnost, a to konkrétně přihrávek v týmových sportech, střelby ze zbraně (ale jen ve ztížených podmínkách) i střelby v e-sportech. Dále tato látka v několika studiích pomohla zlepšit pozornost či bdělost, a jiné práce také prokázaly pozitivní vliv konzumace kofeinu na zlepšení nálady i paměti. Výsledky studií zabývajících se vlivu kofeinu na výběrovou reakci jsou smíšené, a také nebyl zaznamenán ergogenní efekt této látky na přesnost střelby v týmových sportech či úderů v tenise. V těchto oblastech je budoucí výzkum žádoucí.

## DISKUZE

Hlavními cíli této práce bylo nejprve najít optimální podmínky používání kofeinu u sportovců. Tyto optimální podmínky se dají dle mého názoru vysvětlit zejména formou, dávkováním a načasováním příjmu. Někteří uvádí, že neoptimálnější formou kofeinu pro sportovce jsou tablety (Guest et al., 2021; Šindelář & Roubík, 2020) hlavně díky přesné znalosti množství, snadnému dosažení potřebné dávky a také jistoty, že jiné látky neovlivní jeho efekt. Kofeinové tablety jsou navíc asi tou nejužívanější formou ve studiích zabývajících se vlivem této látky na sportovní výkon, a tak i já shledávám tuto formu za neoptimálnější.

Další významnou podmínkou je optimální množství kofeinu. Autoři, ze kterých jsem v této práci vycházel, doporučují pro největší ergogenní účinky rozmezí 3-6 mg/kg kofeinu (Guest et al., 2021; Mach, 2012; Šindelář & Roubík, 2020). Pokud není dotyčný pravidelný konzument, bude mu pravděpodobně pro zlepšení výkonu stačit dávka kolem spodní hranice tohoto doporučení. Pokud však dotyčný pravidelný konzument kofeinu je, měl by pro zlepšení výkonu konzumovat o něco vyšší dávky, které se přibližují k vrchní hranici doporučení (5-6 mg/kg). Některé studie (Jenkins et al., 2008; Turley et al., 2015) testovali dávku 1 mg/kg, což by mohl být takový ekvivalent například jedné kávy, a zjistily, že tato malá dávka neměla na vytrvalostní či silový výkon žádný vliv. Jiní testovali a porovnávali větší dávky kofeinu než 6 mg/kg (Higgins et al., 2016; Pasma et al., 1995), a dospěli k závěru, že takové dávky nevedou k většímu zlepšení než tato vrchní hranice doporučení. Z těchto výsledků mohu vyvodit, že konzumace příliš malých či přehnaně velkých dávek kofeinu je zbytečná. Velká dávka navíc může sportovci způsobit problémy v podobě výskytu vedlejších účinků a tím pádem možné zhoršení výkonu. Pro různé celodenní sportovní akce (například turnaje) se pak zdá být efektivní rozložit velkou dávku kofeinu na několik menších (např. 10 g/kg rozložit na 5x2 mg/kg), a ty konzumovat před každým zápasem či pokusem, namísto požití jedné velké dávky na začátku turnaje (Negareh et al., 2019).

Aby mohl sportovec vytěžit z této látky maximum, musí také vědět, v jakém optimálním odstupu před výkonem ji konzumovat. Neoptimálnější již zmiňovaná forma (tablety) dosahuje vysokých hodnot kofeinu v krvi 60 minut po požití (Kamimori et al., 2002). Tohoto timingu u kofeinových tablet využívá většina studií zkoumající vliv této látky na výkon, a tudíž i já jsem toho názoru, že konzumace 60 minut před

výkonem je u této formy optimální. Jiné formy jako káva, energetické nápoje a hlavně kofeinové žvýkačky či gely mají vstřebání rychlejší (Guest et al., 2021; Kamimori et al., 2002; Strunecká & Patočka, 2012; Wilson et al., 2013), a tak toho mohou využít sportovci zejména při neočekávaných situacích a potřebě rychlejšího "nástupu" kofeinu.

Dalším cílem bylo zjistit, jaký má kofein vliv na jednotlivé determinanty sportovního výkonu, a to konkrétně vytrvalost, sílu, rychlost a vybrané kognitivní funkce. Vliv kofeinu na aerobní vytrvalost je velmi dobře prokázán, jelikož většina studií prokázala ergogenní efekt látky na tento druh výkonu. Tohle tvrzení nejlépe potvrzuje metaanalýza z roku 2018 (Southward et al., 2018), která shrnuje desítky studií. Převážná část těchto prací zaznamenala zlepšení déletrvajících výkonů o pár procent, avšak je známá i studie, ve které bylo po konzumaci kofeinu zlepšení i přes 10 % (Conway et al., 2003). Efekt kofeinu na tento výkon zdá se tak velmi variabilní. U dvou studií v této metaanalýze naopak kofein výkon nezlepšil, nebo dokonce i mírně zhoršil (Cohen, 1996; Roelands et al., 2011). Zajímavostí je, že obě tyto studie prováděly testování v horkém počasí. Kofein by tak třeba nemusel mít takový ergogenní vliv na aerobní výkon v těchto podmínkách. Jinak však bylo dokázáno několik účinných mechanismů kofeinu na lidský organismus, díky kterým můžeme pozorovat zlepšení, a proto není divu, že je kofein před a během déletrvajících výkonů hojně používán.

Vliv kofeinu na anaerobní výkon a vytrvalost však podle současného vědeckého poznání tak jednoznačný není. Velkou roli zde podle autorů prací zabývajících se tímto tématem hraje trénovanost jedince a míra specifčnosti cvičení. Zdá se totiž, že kofein má u anaerobního cvičení větší efekt zlepšení na trénované subjekty (Grgic, 2018; San Juan et al., 2019). U netrénovaných subjektů se zdá být efekt minimální a je znám i případ, kdy na tuto skupinu probandů působil kofein dokonce ergolyticky (Greer et al., 1998). Tato látka se taky zdá být užitečná při specifických anaerobních testech, které se svým charakterem blíží soutěžním podmínkám daného sportu (Durkalec-Michalski et al., 2019; Negaresh et al., 2019). Pro trénované sportovce vykonávající sport s převládající anaerobní složkou metabolismu či s častými anaerobními výpady (například zápas a judo) tak může být kofein prospěšný.

Kofein a jeho vliv na sílu je hodně diskutovaným tématem, jelikož se kofein nachází ve většině předtréninkových suplementech, nicméně podle vědců je studií zabývajících se touto problematikou stále nedostatečné množství (Davis & Green, 2009; Grgic et al., 2018). Známe ale několik účinků, kterými tato látka působí na svalovou kontrakci a

díky kterým by měla být tato schopnost pozitivně ovlivněna. Z dostupných studií a metaanalýz můžeme říci, že kofein zvyšuje o pár procent maximální sílu (Grgic, Mikulic, et al., 2019; Grgic, Sabol, et al., 2019; Grgic et al., 2018). Vědecké důkazy pro toto tvrzení jsou však silnější pro horní polovinu těla, a to zejména pro cvik benchpress (Beck et al., 2008; Grgic, Sabol, et al., 2019; Šindelář & Roubík, 2020). Zaznamenal jsem pouze několik studií zabývajících se vlivem této látky na sílu dřepu, a ještě menší počet prací pro mrtvý tah. Tuto pomyslnou díru ve vědeckém poznání o kofeinu by proto bylo vhodné zaplnit, jelikož právě i tyto cviky jsou součástí silového trojboje, a navíc to jsou jedny z nejnámějších a nejoblíbenějších cviků pro silově trénující sportovce.

Tento alkaloid také dle metaanalýzy zvyšuje o několik procent i silovou vytrvalost (Polito et al., 2016). Nicméně vliv kofeinu na tento druh síly nemusí mít účinek po nějakém náročnějším cvičení při rozvoji únavy (Grgic, Mikulic, et al., 2019). Navíc nebyl doposud vědecky prokázán vliv této látky na vytrvalostní sílu u žen (Filip-Stachnik et al., 2021; Grgic, Mikulic, et al., 2019).

Podle výsledků metaanalýzy (Lopes-Silva et al., 2019) se může zdát, že kofein nemá efekt na výkon u opakovaných sprintů. Tato práce však vycházela z poměrně malého počtu studií, ve kterých bylo dohromady 89 probandů, z nichž doslova polovinu tvořili studenti a rekreační sportovci. Navíc byl nejspíš u všech těchto studií nedostatečný interval odpočinku mezi sprinty ( $\leq 60$  sekund). Další metaanalýza z roku 2019 (Salinero et al., 2019) shrnující již mnohem více studií dohromady, ve kterých byly testovány stovky trénovaných hráčů různých týmových sportů, však prokazuje opak. Podle této poměrně kvalitní práce má kofein ergogenní vliv na opakované i samostatné sprinty. Právě pro zmiňované hráče týmových sportů tak může být tato látka užitečná například při utkání či jiných důležitých událostech. Kofein zlepšuje i rychlost u cviků s odporem jako benchpress či dřep (Raya-González et al., 2020). Tohle platí u všech úrovní zátěže (lehká, střední i těžká) pro horní i dolní polovinu těla. Například různé preworkout suplementy obsahující kofein tak mohou pomoci sportovcům zvýšit intenzitu silového tréninku.

Výsledky metaanalýzy z roku 2021 (Calvo et al., 2021) sice ukazují, že kofein nemá vliv na rychlost jednoduché reakce, avšak i sami autoři uvádí, že jedna z limitací této práce je malý počet zahrnutých studií. Velká část jiných prací však dokazuje to, že kofein čas jednoduché reakce zlepšuje (Adan & Serra-Grabulosa, 2010; Santos et al.,

2014; Souissi et al., 2013), nicméně je stále potřeba více studií na sportovcích. Tato schopnost byla také zlepšena po konzumaci kofeinu při střelbě v normálních či ztížených podmínkách jako spánková deprivace či stres (Torres & Kim, 2019), což by mohlo být k užítku v různých technických sportech typu sportovní střelba, nebo může tato látka najít účelné využití například u bezpečnostních složek jako armáda či policie.

Dostupné studie ukazují, že kofein může zlepšovat přesnost přihrávek v týmových sportech (Chia et al., 2017; Stuart et al., 2005). Pozitivní vliv této látky na přesnost střel v kolektivních sportech či úderů v tenise však dokázán nebyl (Chia et al., 2017), což vědci přisuzují zejména malému počtu studií. Zdá se taky, že kofein nemá vliv na přesnost střelby ze zbraně (Torres & Kim, 2019). Tento alkaloid by ale mohl být nápomocný při střelbě ve ztížených podmínkách jako spánková deprivace, stres (Torres & Kim, 2019), nicméně tohoto poznání by mohli využít spíš vojáci než sportovci, což dokazují i studie. Účinků kofeinu na přesnost by však mohli využít hráči e-sportů (Sainz et al., 2020), avšak je potřeba více studií na těchto sportech.

Podle dalších studií by nám mohl kofein pomoci k lepší pozornosti a bdělosti, a být tak připraveni pohotově reagovat na podněty. Tyto efekty jsou velmi dobře prokázány u vojáků při ztížených podmínkách (Crawford et al., 2017), a také ve studiích na sportovcích (Calvo et al., 2021), či normální populaci (Durlach et al., 2002). Po konzumaci této látky bychom mohli zlepšit pozornost a soustředěnost na jedno správné řešení, a vytěsnit jiné rušivé a matoucí faktory (Durlach et al., 2002) což by mohlo být prospěšné i u sportovců.

Výsledky studií zabývajících se vlivem kofeinu na rychlost výběrové reakce či počet správných reakcí jsou smíšené. Zatímco několik prací prokázalo zlepšení po požití kofeinu (Kruk et al., 2001; Spradley et al., 2012), jiné žádný výraznější efekt nezaznamenaly (Calvo et al., 2021; Judelson et al., 2005). Některé práce se zaměřily i na vliv této látky na náladu (Nehlig, 2010; Souissi et al., 2013), kde autoři zjistili, že velikost účinku zde ovlivňuje několik faktorů jako věk, denní doba a také velikost dávky. Dále uvádí, že kofein má větší vliv na zlepšení nálady v pozdních ranních hodinách, u starších dospělých, a při menších dávkách. Naopak příliš velké dávky by mohly působit na náladu negativně díky možným vedlejším účinkům jako neklid a podráždění. Podle metaanalýzy (Calvo et al., 2021) by mohl tento alkaloid zlepšit i paměť. Výsledek jedné studie navíc ukazuje, že kofein má větší vliv na tuto schopnost



při vědomém (explicitním) učení v ranních hodinách (Sherman et al., 2016). Není tak divu, že účinků takové ranní kávy pravidelně využívají třeba studenti před zkouškou.

Na základě výsledků této práce mohu říct, že kofein může být významným pomocníkem pro sportovce, avšak je potřeba vědět, jak jej optimálně užívat, a popřípadě na který aspekt sportovního výkonu má prokázaný ergogenní efekt. V takových otázkách by mohla sportovcům pomoci právě moje práce.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zjistit na základě současného vědeckého poznání, jak neefektivněji by měl sportovec kofein užívat, a jaký vliv má tato látka na vybrané aspekty sportovního výkonu. Současná věda potvrzuje, že kofein působí na lidský organismus mnoha mechanismy, kterými může sportovcům pomoci k lepšímu výkonu. Za optimální dávku kofeinu před sportovním výkonem se považuje 3-6 mg/kg. Je prokázáno, že tento alkaloid je velmi bezpečnou látkou, nicméně při vyšších dávkách, než je doporučováno, může dojít k výskytu vedlejších účinků, což může sportovní výkon naopak zhoršit. Autoři odborné literatury nejvíce doporučují konzumovat kofein před takovým výkonem ve formě tablet, jelikož tak dokážeme snadno určit přesnou dávku v mg a dosáhnout potřebného množství, a navíc máme jistotu, že nám prokázané účinky této látky nebudou blokovat látky jiné. Načasování příjmu kofeinu před výkonem u tabletové formy by mělo být 60min, avšak u jiných rychleji vstřebatelných forem může být doba kratší. Ještě je třeba zmínit, že tato látka je návyková, a při pravidelné konzumaci dojde k rozvoji tolerance. Pro maximalizaci ergogenního potenciálu kofeinu je proto vhodné její příjem na nějakou dobu před soutěží vynechat.

V této práci jsem dále zjišťoval, jaký má kofein vliv na vytrvalost, sílu, rychlost a různé kognitivní funkce. Co se týče střednědobé či dlouhodobé vytrvalosti aerobního charakteru, tak zde tato látka prokazatelně výkon zlepšuje. Méně jasné to je u rychlostní či krátkodobé vytrvalosti anaerobního charakteru, kde jsou výsledky studií smíšené, nicméně u trénovaných jedinců by mohla být pravděpodobnost zlepšení po konzumaci této látky větší. Kofein má též ergogenní účinky na sílu, a to konkrétně na maximální i vytrvalostní, nicméně v této oblasti je stále potřeba více důkazů pro specifické oblasti a cviky (například dolní polovina těla, mrtvý tah) či skupiny lidí (například ženy). Tato látka poskytuje i zlepšení rychlostního výkonu, kdy zlepšuje zejména sprinty. V poslední řadě kofein prokázal zlepšení některých kognitivních funkcí, které mohou být též užitečné pro sportovce. Jedná se především o přesnost, pozornost a paměť.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Adan, A., & Serra-Grabulosa, J. M. (2010). Effects of caffeine and glucose, alone and combined, on cognitive performance. *Wiley InterScience*.  
<https://doi.org/10.1002/hup.1115>
- Aktin [online]. [cit. 2021-3-25]. Dostupné z: <https://aktin.cz>
- 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>
- Astorino, T., & Roberson, D. (2010). Efficacy of Acute Caffeine Ingestion for Short-Term High-Intensity Exercise Performance: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 257–265.
- Astrup, A., & et al. (1990). Caffeine : a double-blind, placebo-controlled study of its thermogenic, metabolic, and cardiovascular effects in healthy volunteers. *American Journal of Clinical Nutrition*, 51(May), 759–767.
- Bartůňková, S., Heller, J., Kohlíková, E., Petr, M., Smitka, K., Šteffl, M., & Vránová, J. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže*. Praha: Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu. ISBN: 978-80-87647-06-6
- Beaumont, R., Cordery, P., Funnell, M., Mears, S., James, L., & Watson, P. (2017). Chronic ingestion of a low dose of caffeine induces tolerance to the performance benefits of caffeine. *Journal of Sports Sciences*, 35(19), 1920–1927.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1241421>
- Beck, T., Housh, T., Malek, M., Mielke, M., & Hendrix, R. (2008). The Acute Effects Of a Caffeine-Containing Supplement on Bench Press Strength and Time to Running Exhaustion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1654–1658.
- Bell, D. G., & McLellan, T. M. (2002). Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1227–1234. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00187.2002>
- Benešová, M., & Satrapová, H. (2002). *Odmaturuj z chemie*. Brno: Didaktis. ISBN: 80-86285-56-1
- Brown, S. J., Brown, J., & Foskett, A. (2013). The Effects of Caffeine on Repeated Sprint Performance in Team Sport Athletes – A Meta-Analysis –. *Sport Science Review*, 22(1–2), 25–32. <https://doi.org/10.2478/ssr-2013-0002>
- Burda, A. (2013). *O kávě, čaji a dalších nápojích*. Opava: Carter\reproplus. ISBN: 978-80-87613-00-9

- Butt, M. S., & Sultan, M. T. (2011). Coffee and its consumption: Benefits and risks. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(4), 363–373.  
<https://doi.org/10.1080/10408390903586412>
- Caffeineinformer. *Caffeine Content of Drinks* [online]. [cit. 2021-3-15]. Dostupné z:  
<https://www.caffeineinformer.com/the-caffeine-database>
- 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>
- 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>
- Cohen, B. S. (1996). Effects of caffeine ingestion on endurance racing in heat and humidity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(3–4), 358–363. <https://doi.org/10.1007/BF02425499>
- Conway, K. J., Orr, R., & Stannard, S. R. (2003). Effect of a divided caffeine dose on endurance cycling performance, postexercise urinary caffeine concentration, and plasma paraxanthine. *Journal of Applied Physiology*, 94(4), 1557–1562.  
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00911.2002>
- Costa, J., Lunet, N., Santos, C., Santos, J., & Vaz-Carneiro, A. (2010). Caffeine exposure and the risk of Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis of observational studiess. *Journal of Alzheimer's Disease*, 20(SUPPL.1).  
<https://doi.org/10.3233/JAD-2010-091525>
- Crawford, C., Teo, L., Lafferty, L., Drake, A., Bingham, J. J., Gallon, M. D., Berry, K. (2017). Caffeine to optimize cognitive function for military mission-readiness : a systematic review and recommendations for the field. *Nutrition Reviews*, 75, 17–35. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux007>
- Crippa, A., Discacciati, A., Larsson, S. C., Wolk, A., & Orsini, N. (2014). Coffee consumption and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: A dose-response meta-analysis. *American Journal of Epidemiology*, 180(8), 763–775.  
<https://doi.org/10.1093/aje/kwu194>
- ČSÚ. (2020). Spotřeba potravin a nealkoholických nápojů (na obyvatele za rok) [online]. [cit. 2021-3-20]. Dostupné z:  
<https://www.czso.cz/documents/10180/122733916/2701392001.pdf/6a6c85ce-5334-409b-93e1-fab400fc542e?version=1.3>

- 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>
- 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>
- 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>
- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., Bunc, V. (2012). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia. ISBN: 978-80-7376-326-8
- 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>
- 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), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0305-8>
- Durlach, P. J., Edmunds, R., Howard, L., & Tipper, S. P. (2002). A rapid effect of caffeinated beverages on two choice reaction time tasks. *Nutritional Neuroscience*, 5(6), 433–442. <https://doi.org/10.1080/1028415021000039211>
- 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>
- Filip-Stachnik, A., Wilk, M., Krzysztofik, M., Lulińska, E., Tufano, J., Zajac, A., 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>
- Fullerton-Smith, J. (2009). *Pravda o jídle*. Praha: Levné knihy. ISBN: 978-80-7309-561-1
- Ganio, M., Klau, J., Casa, D., Armstrong, L., & Maresh, C. (2009). Effect of Caffeine on Sport-Specific Endurance Performance: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 315–324.

- Goldstein, E., Ziegenfuss, T., Kalman, D., Kreider, R., Campbell, B., Wilborn, C., Antonio, J. (2010). Caffeine and nutrition. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(7–8), 522–526. [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(00\)00369-5](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(00)00369-5)
- Greenwood, M., Cooke, M. B., Ziegenfuss, T. N., Kalman, D. S., & Antonio, J. (2015). Nutritional supplements in sports and exercise: Second edition. In *Nutritional Supplements in Sports and Exercise: Second Edition*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18230-8>
- Greer, F., McLean, C., & Graham, T. E. (1998). Caffeine, performance, and metabolism during repeated Wingate exercise tests. *Journal of Applied Physiology*, 85(4), 1502–1508. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.4.1502>
- Grgic, J. (2018). Caffeine ingestion enhances Wingate performance: a meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, 18(2), 219–225. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1394371>
- Grgic, J., Mikulic, P., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J., & Pedisic, Z. (2019). The Influence of Caffeine Supplementation on Resistance Exercise : A Review. *Sports Medicine*, 49(1), 17–30. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0997-y>
- Grgic, J., Sabol, F., Venier, S., Tallis, J., Schoenfeld, B. J., Coso, J. Del, & Mikulic, P. (2019). Caffeine supplementation for powerlifting competitions: An evidence-based approach. *Journal of Human Kinetics*, 68(1), 37–48. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0054>
- 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*, 1–10.
- Guest, N., Corey, P., Vescovi, J., & El-Soheemy, 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. S., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N. D. M., ... 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>
- GymBeam [online]. [cit. 2021-3-25]. Dostupné z: <https://gymbeam.cz/>
- 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>
- 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>
- Higgins, S., Straight, C. R., & Lewis, R. D. (2016). The effects of preexercise caffeinated coffee ingestion on endurance performance: An evidence-based review. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(3), 221–239. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0147>
- 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>
- Jenkins, N. T., Trilk, J. L., Singhal, A., Connor, P. J. O., & Cureton, K. J. (2008). Ergogenic Effects of Low Doses of Caffeine on Cycling Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 328–342.
- Judelson, D. A., Armstrong, L. E., Sökmen, B., Roti, M. W., Casa, D. J., & Kellogg, M. D. (2005). Effect of chronic caffeine intake on choice reaction time, mood, and visual vigilance. *Physiology and Behavior*, 85(5), 629–634. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.06.011>
- 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](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(01)00958-9)
- Kleiner, S. (2010). *Fitness výživa- Power Eating program*. Praha: Grada. ISBN: 978-80-247-3253-4
- Kruk, B., Chmura, J., Krzeminski, K., Ziemia, A. W., Nazar, K., Pekkarinen, H., & Kaciuba-Uscilko, H. (2001). Influence of caffeine, cold and exercise on multiple choice reaction time. *Psychopharmacology*, 157(2), 197–201. <https://doi.org/10.1007/s002130100787>
- Laurent, D., Schneider, K. E., Prusaczyk, W. K., Franklin, C., Vogel, S. M., Krssak, M., ... Shulman, G. I. (2000). Effects of caffeine on muscle glycogen utilization and

- the neuroendocrine axis during exercise. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 85(6), 2170–2175. <https://doi.org/10.1210/jc.85.6.2170>
- Lieberman, H. R., Tharion, W. J., Shukitt-Hale, B., Speckman, K. L., & Tulley, R. (2002). Effects of caffeine, sleep loss, and stress on cognitive performance and mood during U.S. Navy SEAL training. *Psychopharmacology*, 164(3), 250–261. <https://doi.org/10.1007/s00213-002-1217-9>
- Lopes-Silva, J. P., Choo, H. C., Franchini, E., & Abbiss, C. R. (2019). Isolated ingestion of caffeine and sodium bicarbonate on repeated sprint performance: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(8), 962–972. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.03.007>
- Mach, I. (2012). *Doplňky stravy*. Praha: Grada Publishing: ISBN: 978-80-247-4353-0
- Malia, K., & Brannagan, A. (2010). *Jak provádět trénink kognitivních funkcí*. Praha: Cerebrum.
- Mareček, A., & Honza, J. (2000). *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. Olomouc: Nakladatelství Olomouc. ISBN: 80-7182-057-1
- Maughan, R., & Burke, L. (2006). *Výživa ve sportu*. Praha: Galén. ISBN: 80-7262-318-4
- Nawrot, P., Jordan, S., Eastwood, J., Rotstein, J., Hugenholtz, A., & Feeley, M. (2003). Effects of caffeine on human health. *Food Additives and Contaminants*, 20(1), 1–30. <https://doi.org/10.1080/0265203021000007840>
- Negaresh, R., Del Coso, J., Mokhtarzade, M., Lima-Silva, A. E., Baker, J. S., Willems, M. E. T., Farhani, F. (2019). Effects of different dosages of caffeine administration on wrestling performance during a simulated tournament. *European Journal of Sport Science*, 19(4), 499–507. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1534990>
- Nehlig, A. (2010). Is caffeine a cognitive enhancer? *Journal of Alzheimer's Disease*. <https://doi.org/10.3233/JAD-2010-091315>
- 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>
- International Coffee Organization. *Historical Data on the Global Coffee Trade* [online]. [cit. 2021-3-20]. Dostupné z: [https://www.ico.org/new\\_historical.asp?section=Statistics](https://www.ico.org/new_historical.asp?section=Statistics)
- Pasman, W., van Baak, M., & Jeukendrup, A. (1995). The Effect of Different Dosages of Caffeine on Endurance Performance Time. *International Journal of Sports*



- Medicine*, 16, 225–230.
- Perič, T., & Dovalil, J. (2010). *Sportovní trénink*. Praha: Grada Publishing. ISBN: 978-80-247-2118-7
- 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 Effets aigus de la consommation de caféine sur la force. *Science et Sports*, 31(3), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.01.006>
- Pössl Martin. (2010a). *Čaj jako životní styl*. Praha: Grada Publishing. ISBN: 978-80-247-2902-2
- Pössl Martin. (2010b). *Káva jako životní styl*. Praha: Grada Publishing. ISBN: 978-80-247-2822-3
- Raya-González, J., Rendo-Urteaga, T., Domínguez, R., Castillo, D., Rodríguez-Fernández, A., & Grgic, J. (2020). Acute Effects of Caffeine Supplementation on Movement Velocity in Resistance Exercise: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(4), 717–729. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01211-9>
- Roelands, B., Buyse, L., Pauwels, F., Delbeke, F., Deventer, K., & Meeusen, R. (2011). No effect of caffeine on exercise performance in high ambient temperature. *European Journal of Applied Physiology*, 111(12), 3089–3095. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1945-9>
- Ronnie [online]. [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <https://obchod.ronnie.cz/>
- Roubík, L., Šindelář, M., Vašík, R., Šádek, M., Bureš, T., Pleváková, S., Trojovský, F. (2018). *Moderní výživa ve fitness a silových sportech*. Praha: Erasport, s. r. o. ISBN: 978-80-905685-5-6
- Sainz, I., Collado-mateo, D., & Del, J. (2020). Physiology & Behavior Effect of acute caffeine intake on hit accuracy and reaction time in professional e-sports players. *Physiology & Behavior*, 224(June). <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113031>
- 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>
- San Juan, A. F., López-Samanes, Á., Jodra, P., Valenzuela, P. L., Rueda, J., Veiga-Herreros, P., ... Domínguez, R. (2019). Caffeine supplementation improves anaerobic performance and neuromuscular efficiency and fatigue in Olympic-level boxers. *Nutrients*, 11(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/nu11092120>

- Santos, V. G. F., Santos, V. R. F., Felipe, L. J. C., Almeida, J. W., Bertuzzi, R., Kiss, M. A. P. D. M., & Lima-Silva, A. E. (2014). Caffeine reduces reaction time and improves performance in simulated-contest of taekwondo. *Nutrients*, *6*(2), 637–649. <https://doi.org/10.3390/nu6020637>
- Schneiker, K. T., Bishop, D., Dawson, B., & Hackett, L. P. (2006). Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-sport athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *38*(3), 578–585. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000188449.18968.62>
- Sherman, S. M., Buckley, T. P., Baena, E., Ryan, L., & Ryan, L. (2016). Caffeine Enhances Memory Performance in Young Adults during Their Non-optimal Time of Day. *Frontiers in Psychology*, *7*(November), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01764>
- Šindelář, M., & Roubík, L. (2020). *Suplementuj efektivně*. Praha: Institut Moderní Výživy. ISBN: 978-80-270-7581-2 (online : pdf)
- Sökmen, B., Armstrong, L. E., Kraemer, W., Casa, D. J., Dias, J., Judelson, D. A., & Maresh, C. (2008). Caffeine Use in Sports: Considerations for the Athlete. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *63*, 269–292.
- Souissi, M., Abdelmalek, S., Chtourou, H., Boussita, A., Hakim, A., & Sahnoun, Z. (2013). Effects of time-of-day and caffeine ingestion on mood states, simple reaction time, and short-term maximal performance in elite judoists. *Biological Rhythm Research*, *44*(6), 897–907. <https://doi.org/10.1080/09291016.2013.780700>
- Southward, K., Rutherford-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>
- Spilková, J., Martin, J., Siatka, T., Tůmová, L., & Kašparová, M. (2016). *Farmakognozie*. Praha: nakladatelství Karolinum. ISBN: 978-80-246-3264-3
- Spiller, G. (1998). *Caffeine*. Los Altos, California: CRC Press LLC. ISBN: 0-8493-2647-8
- Spradley, B. D., Crowley, K. R., Tai, C. Y., Kendall, K. L., Fukuda, D. H., Esposito, E. N., Moon, J. R. (2012). Ingesting a pre-workout supplement containing caffeine, B-vitamins, amino acids, creatine, and beta-alanine before exercise delays fatigue while improving reaction time and muscular endurance. *Nutrition and Metabolism*, *9*, 1–9. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-28>

- Strunecká, A., & Patočka, J. (2012). *Doba jedová 2*. Praha: TRITON. ISBN: 978-80-7387-555-8
- Stuart, G. R., Hopkins, W. G., Cook, C., & Cairns, S. P. (2005). Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 1998–2005.  
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000177216.21847.8a>
- Torres, C., & Kim, Y. (2019). The effects of caffeine on marksmanship accuracy and reaction time: a systematic review. *Ergonomics*, 62(8), 1023–1032.  
<https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1613572>
- Trevitt, J., Kawa, K., Jalali, A., & Larsen, C. (2009). Differential effects of adenosine antagonists in two models of parkinsonian tremor. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 94(1), 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2009.07.001>
- Turley, K. R., Eusse, P. A., Thomas, M. M., Townsend, J. R., & Morton, A. B. (2015). Effects of Different Doses of Caffeine on Anaerobic Exercise in Boys. *Human Kinetics*, 50–56.
- 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>
- Weinberg, B., & Bealer, B. (2002). *The World of Caffeine: the science and culture of the world's most popular drug*. London: Routledge.
- 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>
- Wilson, J. M., Fitschen, P. J., Campbell, B., Wilson, G. J., Zanchi, N., Taylor, L., Antonio, J. (2013). International Society of Sports Nutrition position stand: energy drinks. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 6. Retrieved from  
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3568064&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- World Athletics. *Half Marathon Men* [online]. [cit. 2021-4-14]. Dostupné z:  
<https://www.worldathletics.org/records/all-time-toplists/road-running/half-marathon/outdoor/men/senior>

## SEZNAM PŘÍLOH

Obrázek 1 Demethylace kofeinu a vznik metabolitů (Nehlig 2018) .....	16
Obrázek 2 Výsledky studie (Bell & McLellan, 2002) .....	29
Obrázek 3 Výsledky studie (Kamimori et al., 2002) .....	36
Obrázek 4 Průměrný procentuální rozdíl vytrvalostních výkonů kofeinu a placebo ve studiích obsažených v metaanalýze (Southward et al., 2018). .....	39
Tabulka 1 Množství kofeinu ve vybraných nápojích.....	20
Tabulka 2 Světová produkce kávy.....	21
Tabulka 3 Spotřeba vybraných kofeinových potravin na osobu v ČR za rok 2019 .....	22
Tabulka 4 Import kávy do ČR .....	22
Tabulka 5 Vybrané suplementy s kofeinem na českém trhu .....	23
Tabulka 6 Souhrn nejznámějších vlivů kofeinu na lidský organismus .....	31
Tabulka 7 Rychlost vstřebání nejužívanějších forem kofeinu ve sportu .....	36