VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ
FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE
INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

ZKOUMÁNÍ ÚČINKU KREATINU V KOMBINACI S HOŘČÍKEM A VITAMÍNEM C NA VÝKONOST JEDINCE

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CREATINE IN COMBINATION WITH MAGNESIUM AND VITAMIN C ON THE PERFORMANCE OF THE INDIVIDUAL PERSON

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Jan Vlasák

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA CHEMICKÁ

Zadání diplomové práce

Číslo práce:	FCH-DIP1114/2016
Ústav:	Ústav fyzikální a spotřební chemie
Student:	**Bc. Jan Vlasák**
Studijní program:	Chemie pro medicínské aplikace
Studijní obor:	Chemie pro medicínské aplikace
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.**
Akademický rok:	2016/17

Název diplomové práce:

Zkoumání účinku kreatinu v kombinaci s hořčíkem a vitamínem C na výkonost jedince

Zadání diplomové práce:

1. vypracování literární rešerše
2. návrh experimentu
3. optimalizace použitých analytických metod
4. analýza reálných vzorků
5. statistické vyhodnocení naměřených výsledků
6. diskuse výsledků a formulace závěru

Termín odevzdání diplomové práce: 5.5.2017

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Jan Vlasák student(ka)	doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D. vedoucí práce	prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc. vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2017

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Kreatin je dusíkatá organická kyselina, která je tělu vlastní. Cílem práce bylo stanovit optimální dávku kreatinu v kombinaci s vitamínem C a hořčíkem pro respondenty mužského pohlaví, ve věku od 18–26 let. Ti byli rozděleni do dvou skupin lišících se dávkováním kreatinu. Skupina 1 brala menší dávku kreatinu (3 g/den) a skupina 2 větší dávku kreatinu (10 g/den). Hořčík i vitamín C braly obě skupiny po celou dobu výzkumu v konstantní dávce. Účinky významně rozdílné dávky kreatinu v jednotlivých skupinách byly vzájemně porovnány z hlediska výkonosti jedinců v silovém trojboji, antropologických změn a celkové metabolizace přijímaných látek. V silovém trojboji zaznamenala skupina 1 v každé disciplíně silového trojboje vyšší průměrné přírůstky zvednutého závaží, které ovšem na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ nebyly shledány jako statisticky signifikantní. Antropologické změny byly měřeny pomocí přístroje InBody 160 a diagnostického krejčovského metru. V obou případech zaznamenala skupina 1 lepší výsledky, než skupina 2, které ovšem na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ nebyly statisticky signifikantní. Celková metabolizace přijímaných doplňků stravy byla zkoumána prostřednictvím analytických metod. Moč každého respondenta byla v průběhu výzkumu pravidelně odebírána a následně analyzována. Stanovení kreatininu, odpadního produktu kreatinu, probíhalo metodou UV-VIS spektrofotometrie tzv. Jaffeho reakcí. Vitamín C byl analyzován technikou RP-HPLC. Hořčík byl stanoven metodou ICP-OES. Skupina 1 zaznamenala po suplementaci kreatinem 3 g denně lehké zvýšení kreatininu v moči, ovšem stále ve fyziologickém rozmezí. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ se nejednalo o statisticky signifikantní rozdíl. Skupina 2 vykazovala zvýšení hodnot již nad fyziologickou mez. V tomto případě se již jednalo o statisticky signifikantní rozdíl. Celkově bylo zjištěno, že suplementace kreatinem 3 g denně zajistí dostatečný příjem kreatinu potřebného k vybudování svalové hmoty, zvýšení energetického metabolismu i celkového fyzického výkonu. Samotná metabolizace probíhá velmi dobře a v rámci fyziologických hodnot.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kreatin, kreatinfosfát, kreatinin, vitamín C, hořčík, silový trojboj, InBody 160, UV-VIS spektrofotometrie, RP-HPLC, ICP-OES, antropologie, metabolizmus

ABSTRACT

Creatine is nitrogen-containing organic acid which naturally occurs in the human body. The aim of this work was to determine the optimal dose of creatine in combination with vitamin C and magnesium for male respondents aged 18–26 years. They were divided into two groups differing in the creatine dosage. Group 1 took smaller dose of creatine (3 g per day) and group 2 higher dose of creatine (10 g per day). Both groups took both magnesium and vitamin C at constant doses throughout the study. The effects of significantly different dose of creatine in the individual groups were compared with each other in terms of the performance of individuals in the powerlifting, the anthropological changes and the overal metabolism of the intakes. In all disciplines of powerlifting, group 1 recorded higher average weight gains, which were not found to be statistically significant at a significance level of $\alpha = 0{,}05$. Anthropological changes were measured using the InBody 160 and a diagnostic measuring tape. In both cases, group 1 recorded better results than group 2, but these results were not statistically significant at a significance level of $\alpha = 0{,}05$. The total metabolism of the accepted dietary supplements was investigated through analytical methods. The urine of each respondent was regularly collected and subsequently analyzed during the research. Determination of creatinine, a creatine waste product, was performed by UV-VIS spectrophotometry using the Jaffe reaction. Vitamin C was analyzed by RP-HPLC. Magnesium was determined by the ICP-OES method. After creatine suplemantion of 3 per day, group 1 showed a slight increase in creatinine in the urine, but still in the physiological range. At the significance level $\alpha = 0{,}05$ there was no statistically significant difference. Group 2 showed an increase above the physiological limit which was already a statistically significant difference. Overall, creatine supplementation of 3 g per day has been found as a sufficient intake of creatine needed to build up muscle mass, increase energy metabolism and overall physical performance. The metabolisation itself works very well and within the physiological values.

KEY WORDS

Creatine, creatine phosphate, creatinine, vitamin C, magnesium, powerlifting, InBody 160, UV-VIS spectrophotometry, RP-HPLC, ICP-OES, anthropology, metabolism

VLASÁK, J. *Zkoumání účinku kreatinu v kombinaci s hořčíkem a vitamínem C na výkonost jedince*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2017. 117 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

……..

podpis studenta

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Pavlu Divišovi, Ph.D. a konzultantce prof. RNDr. Ivaně Márové, CSc. za odborné vedení, rady a nesmírnou ochotu při jejím řešení. Děkuji Fakultě chemické za vytvoření pracovních podmínek a možnost realizovat tuto práci. V neposlední řadě chci poděkovat své rodině a mým přátelům za podporu, bez které by tato práce nemohla vzniknout.

OBSAH

1. Úvod **9**

2. Teoretická část **10**

2.1 Svalstvo **10**

2.1.1 Myofibrila 11

2.1.2 Metabolismus svalové tkáně 13

2.1.3 Typy svalových vláken 13

2.1.4 Svalová kontrakce 14

2.1.5 Energetika svalové práce 16

2.2 Metabolické dráhy **18**

2.2.1 Metabolismus sacharidů 18

2.2.2 Metabolismus lipidů 25

2.2.3 Metabolizmus aminokyselin 29

2.3 Doplňky stravy ve sportovní výživě **31**

2.3.1 Kreatin 32

2.3.2 Hořčík 36

2.3.3 Vitamín C 38

2.4 Silový trojboj **39**

2.4.1 Dřep 39

2.4.2 Tlak na lavici 39

2.4.3 Mrtvý tah 39

2.5 Somatotyp **40**

2.5.1 Typologie Sheldona a Heathové-Cartera 40

2.5.2 Endomorfie 40

2.5.3 Mezomorfie 40

2.5.4 Ektomorfie 40

3. Experimentální část **41**

3.1 Použité chemikálie **41**

3.1.1 Chemikálie použité pro přípravu standardů a vzorků 41

3.1.2 Chemikálie použité pro HPLC 41

3.2 Přístroje, pomůcky a potravinové doplňky **41**

3.2.1 Laboratorní přístroje a pomůcky 41

3.2.2 Posilovací přístroje, pomůcky a potravinové doplňky 41

3.2.3 Potravinové doplňky 41

3.3 Výběr vhodných respondentů dle kritérií studie **42**

3.3.1 Formulář „Informovaný souhlas“ (Příloha 1) 42
3.3.2 Formulář „základní anamnestické údaje účastníka“ (Příloha 3) 42
3.4 Skupiny respondentů dle příjmu doplňků stravy 42
3.5 Sběr biologického materiálu 43
3.6 Tréninkový plán a jídelníček 43
3.7 Měření v posilovně 44
3.7.1 Obecné informace 44
3.7.2 Měření tělesné výšky 44
3.7.3 Měření vybraných partií krejčovským metrem 44
3.7.4 Diagnostika InBody 45
3.7.5 Silový trojboj 46
3.8 Stanovení vitamínu C metodou RP-HPLC 46
3.8.1 Kalibrace a optimalizace metody 46
3.8.2 Analýza biologického vzorku 46
3.9 Stanovení kreatininu metodou UV-VIS spektrofotometrie 47
3.9.1 Kalibrace a optimalizace metody 47
3.9.2 Analýza biologického vzorku 48
3.10 Stanovení hořčíku metodou ICP-OES 48
3.10.1 Kalibrace a optimalizace metody 48
3.10.2 Analýza biologického vzorku 48
3.11 Statistické zpracování výsledků 48
4. Výsledky a diskuze 50
4.1 Kalibrace analytických metod pro stanovení metabolických parametrů 50
4.1.1 Kalibrační přímka vitamínu C 50
4.1.2 Kalibrační přímka kreatininu 51
4.1.3 Kalibrační přímka hořčíku 52
4.2 Stanovení metabolitů v biologických vzorcích 53
4.2.1 Stanovení vitamínu C metodou RP-HPLC 53
4.2.2 Stanovení kreatininu metodou UV-VIS 55
4.2.3 Stanovení hořčíku metodou ICP-OES 59
4.3 Posilovací blok 61
4.3.1 Charakteristika respondentů z hlediska výšky a věku 61
4.3.2 Zdravotní stav respondentů 62
4.3.3 Výživové zvyklosti 65
4.3.4 Měření parametrů krejčovským metrem 72

4.3.5 Měření na InBody 79
4.3.6 Silový trojboj 87
5. Závěr 97
6. Literatura 100
7. Seznam symbolů a zkratek 103
8. Přílohy 104
Příloha 1: Informovaný souhlas 104
Příloha 2: Charakteristika respondentů z hlediska výšky a věku 105
Příloha 3: Základní anamnestické údaje účastníka 106
Příloha 4: Zdravotní stav respondentů – souborné vyhodnocení 108
Příloha 5: Výživové zvyklosti – souhrnné vyhodnocení 111

1. ÚVOD

Kreatin je dusíkatá organická kyselina, která se vyskytuje v těle všech obratlovců. Jeho význam jako doplňku stravy je studován již řadu let. Běžně ho užívají vrcholoví sportovci, kteří vykonávají krátkodobou, fyzicky náročnou anaerobní činnost (sprinteři, kulturisti). Jedná se o tělu vlastní aminokyselinu, kterou laická společnost dodnes mylně považuje za anabolikum. V případě správného načasování a velikosti dávky může hrát klíčovou roli v energetickém metabolismu.

Kolem dávkování kreatinu existuje celá řada různých teorií. Důvodem je spousta vědecky nepodložených studií a trhem zmanipulovaných poznatků. Nejčastěji se setkáváme s tzv. „nasycovací fází“, která tvrdí, že je potřeba během krátké doby tělo vystavit vysokému příjmu kreatinu (20 g denně) a zhruba po pěti dnech tuhle hladinu držet menšími dávkami (5 g denně). Efekt je poměrně rychlý a výsledek uspokojivý.

Zastánci této teorie ovšem opomínají jeden velmi důležitý aspekt. Lidské tělo není schopno plně využít jednorázově podané vysoké dávky kreatinu. Informace o tom, co se tedy děje s nevyužitým kreatinem a kolik ho vlastně tělo dokáže využít, jsou dosud v odborné literatuře neúplné.

Existuje také spousta studií, které zkoumají vysoký denní příjem kreatinu po dobu několika měsíců a neuvádějí žádné vedlejší účinky. Nabízí se ovšem otázka, co se bude dít z dlouhodobého hlediska v řádu ne měsíců, ale let.

Racionální přístup si klade úplně jinou otázku. Jestliže tělo dokáže využít jednorázově jen malé množství kreatinu, proč by někoho vůbec měla zajímat „nasycovací fáze“. Jedinou výhodou je urychlení celkového nasycení organismu kreatinem. Tento fakt může zajímat kulturisty, ovšem pro zbytek posilující komunity tento koncept zkrátka postrádá smysl.

Práce studuje na souboru dobrovolníků optimální dávku kreatinu v kombinaci s vitamínem C a hořčíkem. Obě látky by měly na účinek kreatinu působit synergicky. Hořčík přímo jako kofaktor sodno-draselné pumpy (enzymu ATPázy), vitamín C nepřímo jako nepostradatelný prekurzor pro tvorbu adrenalinu. Účinek dávky kreatinu u testovaných jedinců je studován prostřednictvím vyhodnocení silového trojboje, změn antropologických parametrů a celkové metabolizace těchto metabolitů v biologickém vzorku respondentů.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Svalstvo

Základním projevem života každého z nás je pohyb. Ten je u vyšších živočichů zprostředkován převážně příčně pruhovaným kosterním svalstvem, méně potom svalstvem srdečním a hladkým. Mechanismus celého procesu spočívá v převodu potenciální energie na energie kinetickou [1].

Svalová tkáň se skládá ze svalových buněk a vazivové kostry. Jejím hlavním cílem je kontrakce. Kontrakcí nevnímáme pouze pohyb celého těla, či samotných orgánů, ale jejím projevem je i cirkulace krve [2].

Příčně pruhované kosterní svalstvo je tvořeno z mnohojaderných svalových vláken, které vedou k rychlé a lidskou vůli ovládané kontrakci. Svalová vlákna jsou pokryta elektricky dráždítelnou membránou – sarkolemou. Každá svalová buňka obsahuje podélně orientované svazky myofibril, které obsahují nitrobuněčnou tekutinu – sarkoplazmu. Uvnitř této tekutiny najdeme ATP, myoglobin, glykogen, glykolytické enzymy, kreatinfosfát a jiné nízkomolekulární látky.

ATP je životně důležité nukleotid obsahující tři fosfátové skupiny. Je zcela zásadní pro tvorbu všech buněk. Mechanismus účinku spočívá ve štěpení molekuly ATP za vzniku ADP a anorganického fosfátu. Tato reakce vede k uvolnění energie.

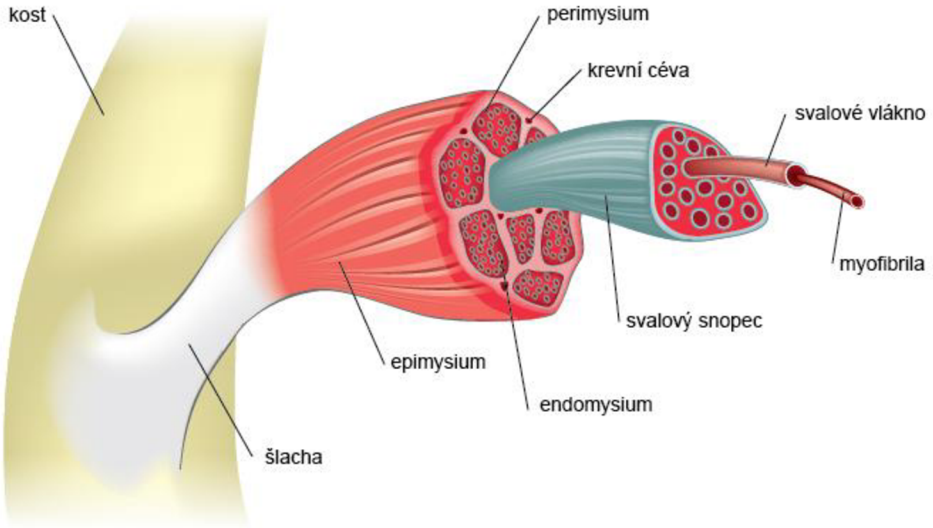
Myoglobin je cytoplazmatický hemoprotein s nízkou molekulovou hmotností. Ve svalu funguje jako zásobník kyslíku. Svou strukturou a funkcí je velmi podobný monomeru hemoglobinu. Obsahuje pouze jednu hemovou prostetickou skupinu a má i odlišný polypeptidový řetězec (dokáže vázat jen jednu molekulu kyslíku). Neobsahuje vůbec aminokyselinu cystein. Většina polárních aminokyselin se nachází na povrchu molekuly. Pomocí dvojmocného železa dokáže vázat vratně kyslík, a to za podstatně nižšího parciálního tlaku, než je tomu u hemoglobinu. Větší afinitu ke kyslíku než myoglobin vykazuje už jen cytochromoxidáza. Nejvíce myoglobinu najdeme ve svalech srdečních, méně v příčně pruhovaném svalstvu a nejméně ve svalech hladkých [3].

Glykogen je pro svalovou kontrakci velmi podstatný. Jedná se o zásobní polysacharid, který najdeme jednak ve svalech, ale i v játrech. Při náročné fyzické zátěži nebo při hladovění bývá velmi rychle odbouráván. Jaterní glykogen je odbouráván podstatně rychleji než svalový. V případě klidového režimu najdeme glykogen spíše vázaný na proteiny ve formě cytoplazmatických granulí.

Kreatinfosfát je látka vznikající fosforylací kreatinu. Ve svalové buňce funguje z krátkodobého hlediska jako regenerátor ATP.

Podstatnou roli ve svalových buňkách plní i nízkomolekulární látky. Do této skupiny řadíme z organických látek kreatin, glutathion, glukózu, kyselinu mléčnou a pyruvát. Z anorganických látek se potom jedná o ionty draslíku, hořčíku, vápníku, sodíku.

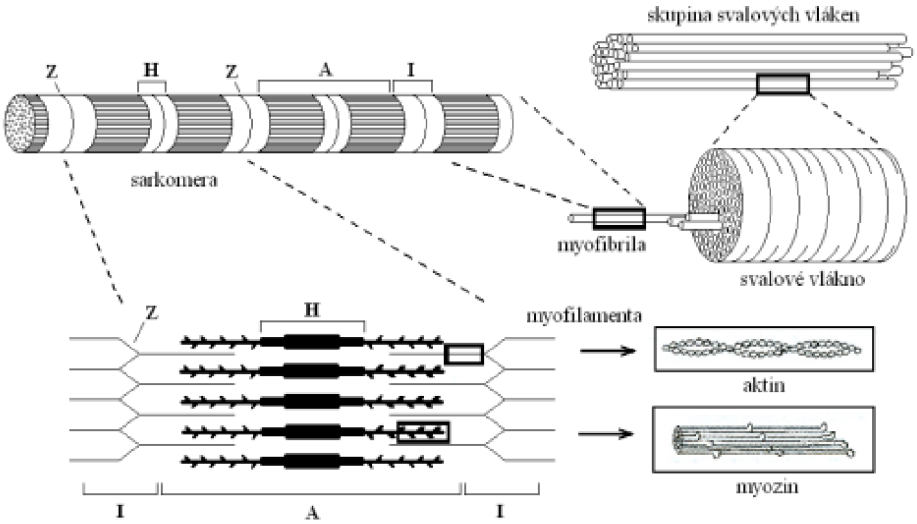
Enzymy řídící jak metabolické pochody (glykolýza, citrátový cyklus…), tak i samotnou svalovou kontrakci patří mezi makromolekulární látky [3].



Obrázek 1: *Příčně pruhované kosterní svalstvo* [6]

2.1.1 Myofibrila

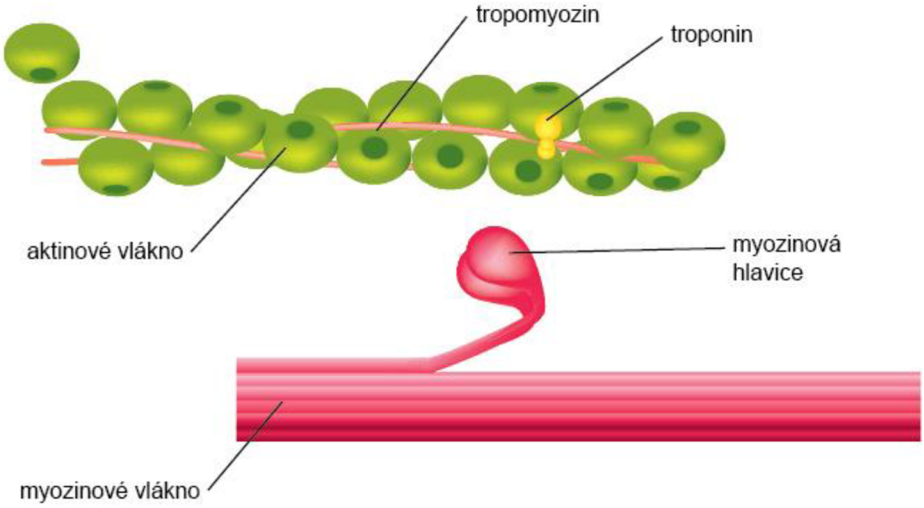
Při pozorování myofibril elektronovým mikroskopem jsou patrné světlé a tmavé proužky. Tyto proužky se pravidelně střídají a liší se nejen svou barevností, ale i tzv. dvojlomem. Tmavé proužky patřící myozinu jsou anizotropní v polarizovaném světle (proužek A), je pro ně charakteristický dvojlom a obecně jsou nazývány tlustými myofilamenty. Světlé proužky patřící aktinu, tropomyozinu a troponinu jsou izotropní v polarizovaném světle (proužek I), nevykazují dvojlom a jsou nazývány tenkými myofilamenty. Jelikož se konce světlých a tmavých proužků lehce překrývají, najdeme na každém proužku A dva periferní segmenty, obsahující jak světlé, tak tmavé proužky a úsek centrální, který je tvořen výhradně myozinem tzv. zóna H. Jak proužek A, tak i proužek I je rozdělen ploténkou pomocí tzv. linie M a linie Z. Úsek vyhrazený dvěma liniemi Z se nazývá sarkomera. Ta se při svalové kontrakci zkracuje a při reflexi prodlužuje, zatímco aktin i myozin zachovávají svoji velikost [2]. Pro lepší představu slouží **Obrázek 2**.



Obrázek 2: *Uspořádání myofilament v kosterním svalstvu* [8]

Tlustá myofilamenta jsou složena z molekul myozinu. Jedná se o svalové proteiny, které se vyznačují malou rozpustností ve vodě. V každé molekule myozinu se nachází šest polypeptidových řetězců (2 těžké + 4 lehké). Vzájemným otáčením dvou těžkých řetězců myozinu (asi 2000 aminokyselin) kolem sebe vzniká alfa helikální struktura zvaná „ocas myozinu“. Tato šroubovice se posléze rozbíhá za vzniku krátkého úseku tzv. (paže), kde nacházíme globulární doménu těžkého řetězce. Tato doména interaguje se dvěma molekulami lehkých řetězců za vzniku tzv. hlavy myozinu. Celkový zisk tedy činí ze dvou těžkých a čtyř lehkých řetězců jednu molekulu obsahující jeden ocas, dvě paže a dvě hlavy myozinu. Ocasy každé molekuly myozinu se spojují a vytváří tak tělo těžkého filamentu, ze kterého potom do prostoru vyčnívají hlavy myozinu. Pokud vystavíme molekulu myozinu enzymové aktivitě trypsinu, rozštěpí nám molekulu na část s hlavovým koncem (těžký meromyozin) a ocasní část (lehký meromyozin). Právě těžký meromyozin sehrává klíčovou roli při svalové kontrakci, jelikož vykazuje ATPázovou aktivitu. V každém vláknu se nachází jedno katalytické místo. Aktivita je spuštěna pomocí $Ca^{2+,}$ K^{+}, NH^{4+} iontů a deaktivována pomocí Mg^{2+} iontů [4].

Tenká myofilamenta patří mezi svalové proteiny, vykazující ještě menší rozpustnost ve vodě než molekuly myozinu. Jedna molekula aktinu se skládá ze dvou molekul vláknitých proteinů F-aktinu, které jsou tvořeny polymerizovanými molekuly G-aktinu. Řetězce F-aktinu vzájemným otáčením kolem sebe vytváří alfa helikální strukturu. Podstatou aktinového vlákna jsou vazebná místa pro myozinové hlavy, které se nachází na F-aktinu v pravidelných intervalech. Podél helikální struktury F-aktinu se nachází další vláknitý protein tropomyozin. Jeho funkcí je zakrývat aktivní místa na řetězci F-aktinu a tím bránit interakci myozinu s aktinem. Lehká myofilamenta obsahují ještě jeden protein, který je přichycen k tropomyozinu. Jedná se o troponin, který je charakteristický svými třemi doménami. Troponin T zajišťuje vazbu troponinu a tropomyozinu. Troponin I působí inhibičně tím, že pomáhá zakrývat tropomyozinu aktivní místa na F-aktinu. Poslední doménou je troponin C, který je velmi citlivý na přítomnost Ca^{2+} iontů. V případě navázání Ca^{2+} na troponin C, dochází ke konformační změně vedoucí ke snížení afinity troponinu I k aktinu a odhalení aktivních míst aktinu pro myozinové hlavy. Pro efektivní průběh svalové kontrakce je důležitý také protein titin, který slouží jako lešení pro tenká a tlustá vlákna [4].



Obrázek 3*: Znázornění tlustého myofilamenta myozinu a tenkého myofilamenta aktinu, tropomyozinu a troponinu* [6]

2.1.2 Metabolismus svalové tkáně

Pro metabolismus svalové tkáně je důležitý dostatečný příjem kyslíku a živin. V případě konání velmi intenzivní svalové aktivity je spotřebováno v kosterním svalstvu asi 60 % celkového kyslíku v těle. Unikátností svalových buněk je schopnost pracovat i za nepřítomnosti kyslíku. Mluvíme o tzv. anaerobním cvičení. To je důvod přítomnosti glykogenu a kreatinfosfátu v každé svalové buňce [5].

2.1.3 Typy svalových vláken

V kosterním svalstvu rozlišujeme dva základní typy svalových vláken – červené a bílé. Červená svalová vlákna se řadí mezi vlákna pomalá. Je pro ně energeticky výhodnější aerobní metabolismus. Děje se tak v důsledku širokého zastoupení mitochondrií a cév. Cytoplazma obsahuje protein myoglobin, který slouží ke skladování a přenosu kyslíku ve svalech. O energetickou dotaci červených vláken se stará převážně β-oxidace mastných kyselin. Tyto vlákna ve velké míře využívají vytrvalci [5].

Bílá svalová vlákna patří mezi vlákna rychlá. Energeticky výhodnější je anaerobní metabolismus. Jelikož bílá svalová vlákna nejsou tak bohatá na cévy, mitochondrie a myoglobin, energetickou dotaci musí zajišťovat spíše anaerobní glykolýza. Naopak disponují poměrně velkým množstvím glykogenu a glykolytických enzymů. Typická je tedy rychlá, ale krátká kontrakce probíhající i za nepřístupu kyslíku. Při této činnosti je hojně metabolizován glykogen a výsledná glukóza je poté odbourávána anaerobně za vzniku laktátu. Laktát se ve svalu hromadí, čímž způsobuje bolest a později únavu. Ze svalu se laktát dostává krví do jater, kde je procesem zvaným glukoneogeneze regenerován na glukózu, která se dostává krevním řečištěm z jater zpět do svalu. Souhrnné označení pro anaerobní glykolýzu vedoucí ke tvorbě laktátu a glukoneogenezi probíhající v játrech je „Coriho cyklus“. Odbourání laktátu je samozřejmě spojeno s velkou spotřebou energie. Tyto vlákna ve velké míře využívají sprinteři [5].

Kosterní svalstvo každého jedince je tvořeno z obou typů vláken. U většiny je podíl červených a bílých svalových vláken shodný a dodávka kyslíku rozhoduje o vytíženosti

každého z nich. Samozřejmě se najdou jedinci, kteří vykazují daleko větší zastoupení svalových vláken prvního či druhého typu. Tihle lidé jsou potom vybaveni jistými předpoklady věnovat se rychlostním či vytrvalostním sportům [5].

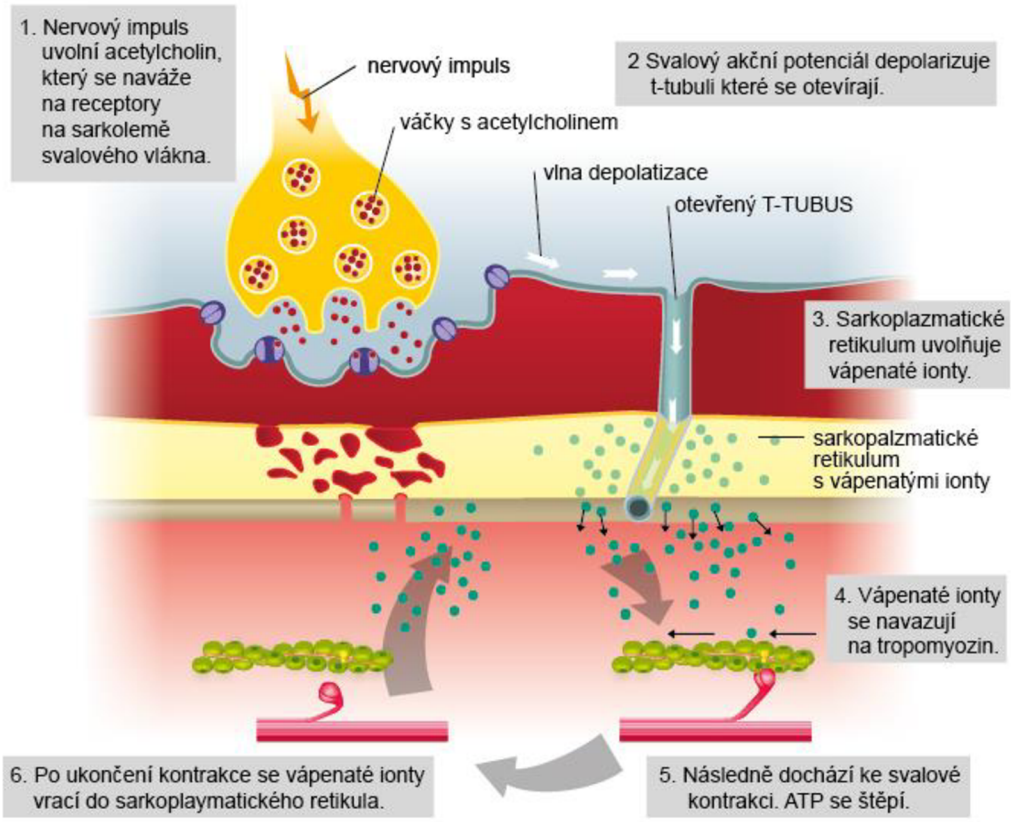
Intenzivní svalová zátěž vyvolává svalovou únavu, která je důsledkem zvýšené koncentrace laktátu a tudíž snížení celkového pH ve svalové buňce. Svalová únava hraje v podstatě roli informátora a zabraňuje možnému svalovému poškození. Jedinci vykazující pravidelnou fyzickou zátěž mají posunutý práh svalové zátěže. Disponují větším množstvím energetických rezerv [5].

2.1.4 Svalová kontrakce

Mechanismus svalové kontrakce je uskutečňován prostřednictvím acetylcholinu (ACh). Ten je syntetizován v cytoplazmě nervových buněk z cholinu a acetyl-CoA za účasti enzymu acetylcholintransferázy. ACh se nachází ve stavu klidu v synaptických váčcích nervových buněk. Podrážděním neuronu prostřednictvím akčního potenciálu dochází k otevření váčků a vypuzení ACh do synaptické štěrbiny, která odděluje membránu neuronu od sarkolemy. Odtud ACh volně difunduje a váže se na nikotinové acetylcholinové postsynaptické receptory nacházející se na sarkolemě svalového vlákna. Informace v podobě elektrického signálu šířící se prostřednictvím neuronů odpovídá množství uvolněného ACh, který se naváže na postsynaptické receptory svalového vlákna [6].

Tím dochází k otevření sodné pumpy a zvýšená koncentrace sodných iontů depolarizuje svalovou buňku. Vápenaté ionty, klíčové pro svalovou kontrakci, jsou uvolněny v důsledku depolarizace buňky. Ionty se dostávají z intracelulárních zásob sarkoplazmatického retikula do sarkoplazmy pomocí systému T-tubulů. Důvodem je nemožnost dosáhnutí dostatečného akčního potenciálu z neuronu na svalovém vlákně v důsledku rozdílných průměrů vláken. Jedná se o systém modifikovaného endoplazmatického retikula, který dosahuje vysoké vnitřní koncentrace vápenatých iontů, i když zde působí velmi silně koncentrační gradient. Na povrchu najdeme dihydropyrimidový receptor, který je propojený s vápenatými kanály. Při adekvátní depolarizaci dochází k uvolnění vápenatých iontů. Kalcium vykazuje vysokou afinitu k troponinu C. Tím dochází ke změně konformace a odblokování aktivních míst f-aktinového helixu. Myozin se může navázat na aktivní místo aktinu. Za současné hydrolýzy ATP myozinovou hlavicí dochází ke svalové kontrakci [4].

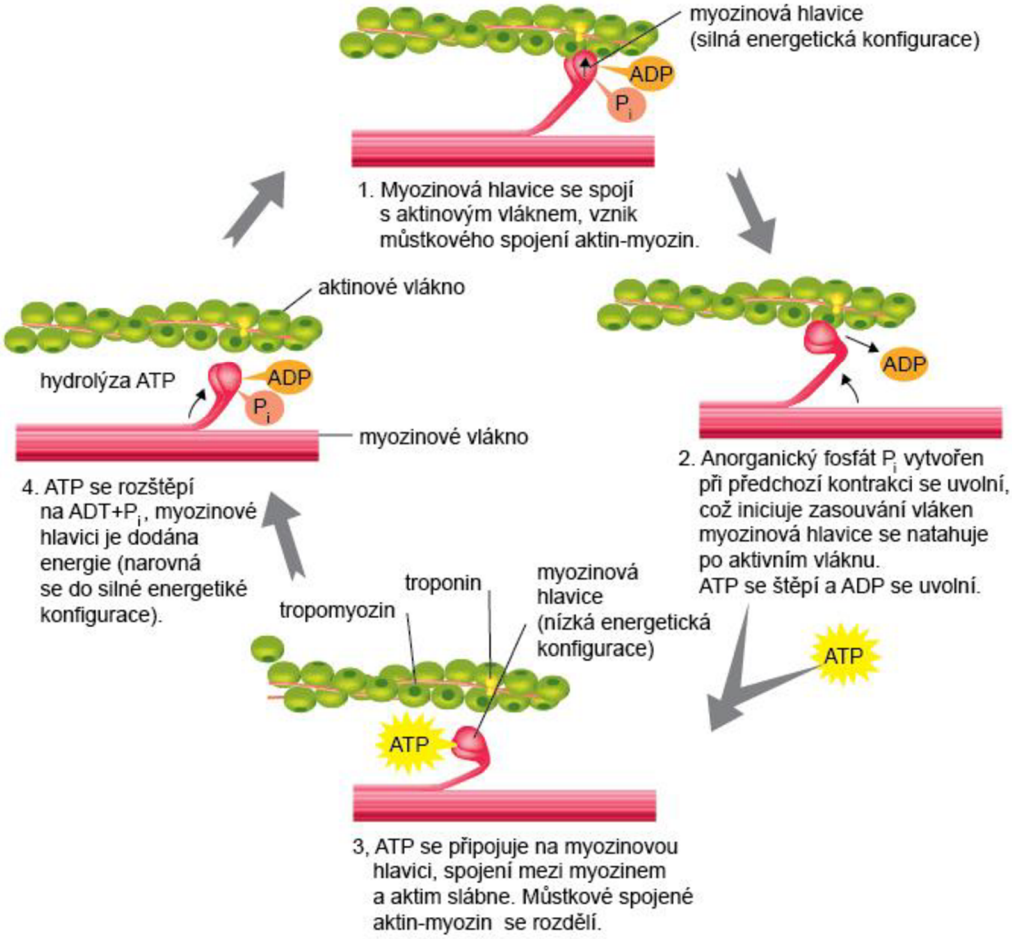
Obecně se pro podrobnější vysvětlení tohoto mechanismu používá tzv. „walk along“ hypotéza. Ta nám říká, že po navázání myozinové hlavy na aktivní místo aktinu dochází ke konformační změně volné části molekuly myozinu. Tím dochází k vychýlení hlavy myozinu od helikální struktury a k vzájemnému posunu tenkých a tlustých myofilament. Zároveň dochází k uvolnění ADP z hlavy myozinu a jeho místo zaujme molekula ATP. Vazba myozin-ATP jeví velmi malou afinitu k aktivnímu místu aktinu, a proto dochází k zániku vazby aktin-myozin (sval relaxuje). Ve stavu klidu je molekula ATP štěpena na ADP a fosfát. Interakce myozin-ADP již jeví vysokou afinitu k aktivnímu místu aktinu a vzniká vazba myozin-aktin (svalová kontrakce). Tento proces probíhá při adekvátním nervosvalovém podnětu, dostatku vápenatých iontů, dostatku ATP a obecně dokud není dosaženo maximální možné kontrakce [4].



Obrázek 4: *Principy svalové kontrakce* [6]

2.1.4.1 Mechanismus svalového stahu

1. navázání vápenatých iontů na troponin odkrývá aktivní místa aktinu
2. vznik vazby mezi myozinovou hlavou a aktivním místem aktinu
3. pohyb myozinu po aktinu a uvolnění ADP do sarkoplazmy
4. navázání ATP na myozinovou hlavu a zánik vazby myozin-aktin
5. štěpení ATP na ADP a fosfát
6. vzniká vazba mezi dalším aktivním místem a myozinovou hlavou

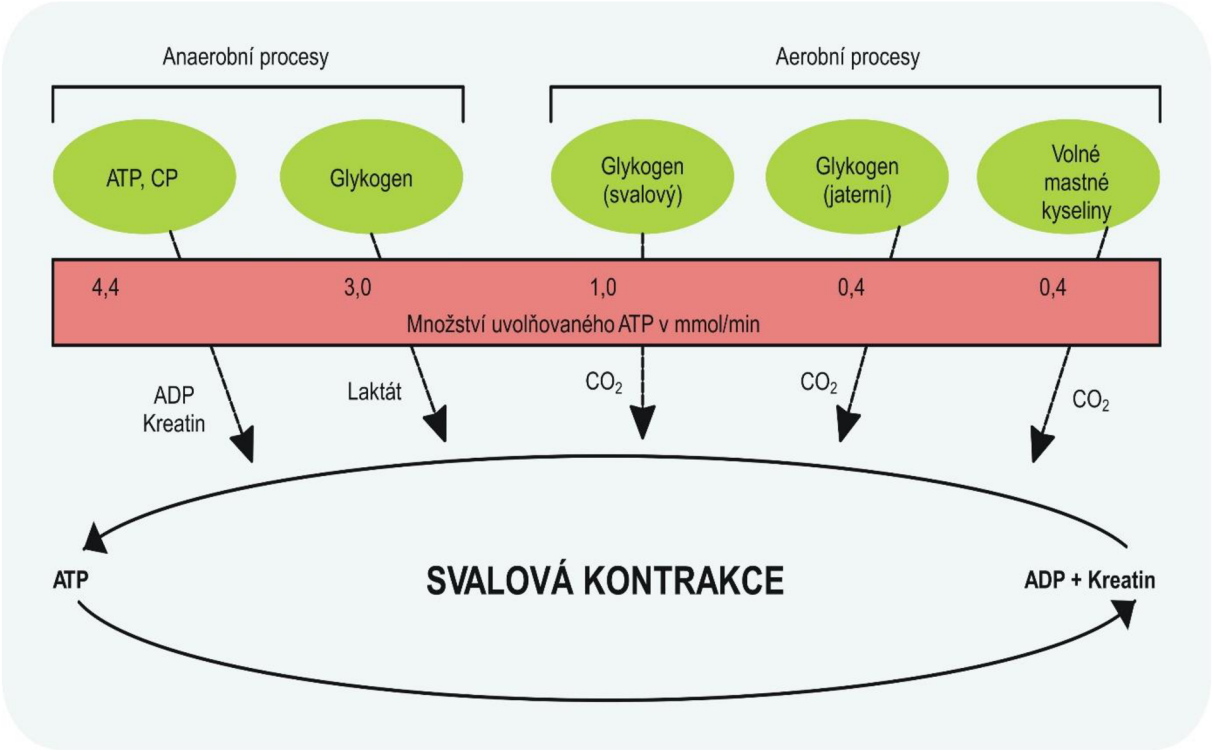


Obrázek 5*: Mechanismus svalové kontrakce* [6]

2.1.5 Energetika svalové práce

Organismus každého z nás můžeme z pohledu metabolismu chápat jako dynamický systém, ve kterém dochází k nepřetržité výměně hmoty a energie s vnějším prostředím. Zatímco přísun energie probíhá diskontinuálně (po jednotlivých dávkách), výdej energie je ryze kontinuální proces, který probíhá v širokém rozmezí. Rozdílný charakter přísunu a výdeji energie podmiňuje vytváření rezerv pro veškeré metabolické procesy v lidském těle. Sval je zároveň místem, kde se mění chemická energie přímo na mechanickou (pohybovou) energii. Nicméně zhruba 80 % chemické energie se mění na teplo [6].

Svaly vyžadují pro svalovou kontrakci dostatečné množství energie. Energie se ukládá ve formě makroergických vazeb ATP, které slouží jako okamžitý zdroj energie pro jakoukoliv činnost. Myozin tvoří sám o sobě poměrně dokonalý enzymový aparát štěpící ATP na ADP, popřípadě až na AMP, čímž se uvolňuje energie pro vlastní kontrakci. Problémem ovšem je velmi nízká koncentrace ATP ve svalových buňkách. Tyto zásoby se obnovují prostřednictvím glykolýzy využívající jak glukózy z krve, tak svalového glykogenu, oxidativní fosforylací, kreatinfosfátem, a v poslední řadě interakcí dvou molekul ADP za účasti enzymu myokinázy [6].



Obrázek 6*: Energetické systémy svalové kontrakce* [6]

Pokud sval pracuje za nepřístupu kyslíku (anaerobní podmínky), klesá poměrně rychle zásoba kreatinfosfátu (CP) ve svalu, kterého se zde v době klidu nachází zhruba pětkrát více než ATP. CP je schopný během krátké chvíle, při které konáme fyzickou zátěž regenerovat ADP na ATP. Zároveň dochází ke konstantní přeměně CP na bezvodý kreatinin. Celý tento mechanismus tedy nejprve štěpí molekulu ATP v komplexním enzymatickém aparátu myozinové hlavice na ADP a fosfát podle rovnice (2.1) a následně je CP hydrolyzován podle rovnice (2.2) [6].

$$ATP \xleftrightarrow{ATPáza} ADP + P + energie\ . \tag{2.1}$$

$$CP \xleftrightarrow{kreatinkináza} Cr + P + energie\ . \tag{2.2}$$

Energie a fosfát vzniklé rozkladem CP a také energie uvolňující se při aerobním odbourávání glukózy jsou použity k regeneraci ADP na ATP. Tento proces se nazývá Lohmanova reakce (2.3).

Se svalovými proteiny aktinem a myozinem tedy neinteraguje přímo CP, ale ATP. To slouží jako prvotní zdroj energie. CP tvoří zásoby energie a v době potřebné regeneruje ADP na ATP. Pokud fyzická zátěž trvá delší dobu, než je CP schopný regenerovat ADP na ATP, na řadu přichází anaerobní glykolýza. Glykogen uložený ve svalu je odbouráván přes glukózu-6-fosfát na laktát. Ten je v případě menší tréninkové intenzity metabolizován v játrech a srdci zpět na glukózu. Po zhruba jedné minutě je anaerobní glykolýza vystřídána glykolýzou aerobní a současným odbouráváním mastných kyselin. Pokud ovšem intenzita tréninku neklesá, o energetickou dotaci se musí starat výhradně anaerobní glykolýza, nevyužívající již majoritně svalový glykogen, nýbrž glukózu z krve. V určitých mezních případech se může stát, že energetickou dotaci nezvládá kompenzovat ani anaerobní glykolýza, pentósový cyklus, ani Krebsův cyklus a sval se snaží využít i zbytky ADP pro

tvorbu ATP. Děje se tak v důsledku enzymové činnosti myokinázy, která dokáže štěpit druhou pyrofosfátovou skupiny ADP za vytvoření ATP a AMP podle rovnice (2.4) [3].

$$CP + ADP \longleftrightarrow Cr + ATP \tag{2.3}$$

$$2\ ADP \xleftrightarrow{myokináza} ATP + AMP \tag{2.4}$$

$$Cr + ATP \longleftrightarrow CP + ADP \tag{2.5}$$

Jedná se o reakci pro organismus značně nevýhodnou, a proto se do popředí dostává až v době úplného vyčerpání. Problémem je vznik AMP, který se rychle mění na purinovou bázi, která je toxická pro tělo. Purinová báze musí být ihned štěpena pomocí deaminázy na kyselinu inosinovou, čímž stoupá ve svalu i v moči koncentrace amoniaku.

Svaly, které pracují pomalu nebo po delší dobu využívají jako majoritní zdroj energie oxidaci mastných kyselin. Když porovnáme energetické využití oxidace u kosterního a hladkého svalstva zjistíme, že ve zvýšené míře je pro tuto energetickou dotaci přizpůsobeno spíše svalstvo hladké. Je to z důvodu mnohem většího zastoupení mitochondrií. Když sval vykonává práci, dochází vlivem kontrakce ke sníženému průtoku krve, což má za následek snížené dodávky kyslíku. Proto pracující sval využívá zpočátku zásoby kyslíku z myoglobinu. Některé svaly např. (srdeční) dokáží vlivem odlišného uspořádání zajistit i během kontrakce dostatečný průtok krve a tedy i kyslíku.

Po celou dobu, kdy svalstvo pracuje nepřetržitě, běží glykolýza. V jistých případech, kdy svalové zásoby glykogenu nebyly zcela vyčerpány, může glykolýza pokračovat i po fyzické zátěži jako tzv. restituční glykolýza, regenerující v kombinaci s oxidací mastných kyselin ATP a převážně CP. Mluvíme o tzv. obrácené Lohmanově reakci (2.5). Obecně po svalové kontrakci nastává resyntéza ATP a CP prostřednictvím citrátového cyklu [3].

2.2 Metabolické dráhy

Metabolismus je sled chemických reakcí, na základě kterých přežívají všechny organismy. V těle každého organismu plní základní funkce jako je tvorba energie, syntéza nových a resyntéza starých struktur, reprodukce a celkový růst. Vyšší organismy (př. savci) potřebují zpracovat potraviny bohaté na cukry, tuky i bílkoviny. Majoritními komponenty těchto potravin jsou glukóza, mastné kyseliny, glycerol a aminokyseliny, které jsou zpracovávány rozdílnými metabolickými cestami na stejný konečný produkt acetyl-CoA. Ten je posléze plně zoxidován v citrátovém cyklu [1].

2.2.1 Metabolismus sacharidů

Sacharidy jsou biomolekuly vyskytující se ve velké míře v rostlinných i živočišných buňkách, kde plní převážně metabolické a strukturní funkce. Jedná se o polyhydroxyderiváty karbonylových sloučenin aldehydů a ketonů. Obecně je můžeme rozdělit na monosacharidy, které už nelze hydrolyzovat na jednodušší cukry. Ty jsou dále řazeny podle počtu uhlíků ve své struktuře na triosy, tetrosy, pentosy, hexosy, heptosy, oktosy nebo dle přítomnosti aldehydové či ketonové skupiny na aldosy a ketosy. Dalším typem cukrů jsou disacharidy, při jejichž hydrolýze vznikají dvě identické nebo různé monosacharidové jednotky, dále pak oligosacharidy, jejichž hydrolýzou vzniká 3–10 monosacharidových jednotek a nakonec polysacharidy, řadící se délkou řetězce již mezi polymery. Jednotlivé sacharidové jednotky

jsou spojeny prostřednictvím O-glykosidické vazby, vytvářející se na anomerním uhlíku mezi acetalovou skupinou jednoho monosacharidu a hydroxylovou skupinou druhého monosacharidu. Zatímco monosacharidy i disacharidy vykazují polární charakter a tudíž rozpustnost ve vodě, polysacharidy jsou silně nepolární látky ve vodě nerozpustné [1, 6, 7].

Nejrozšířenějším sacharidem je cukr glukóza, která je u rostlin syntetizována převážně prostřednictvím fotosyntézy z vody a oxidu uhličitého. Takto vytvořená glukóza je následně ukládána v podobě škrobu nebo celulosových pletiv. U živočichů může probíhat syntéza přímo z tuků a bílkovin, nicméně nejvyšší zastoupení sacharidů je odvozeno z rostlin. Většina sacharidů z potravy se do krevního řečiště dostává ve formě glukózy, nebo se na ni přeměňuje v játrech. Jedná se o hlavní metabolické palivo savčích tkání [1].

2.2.1.1 Glykolýza

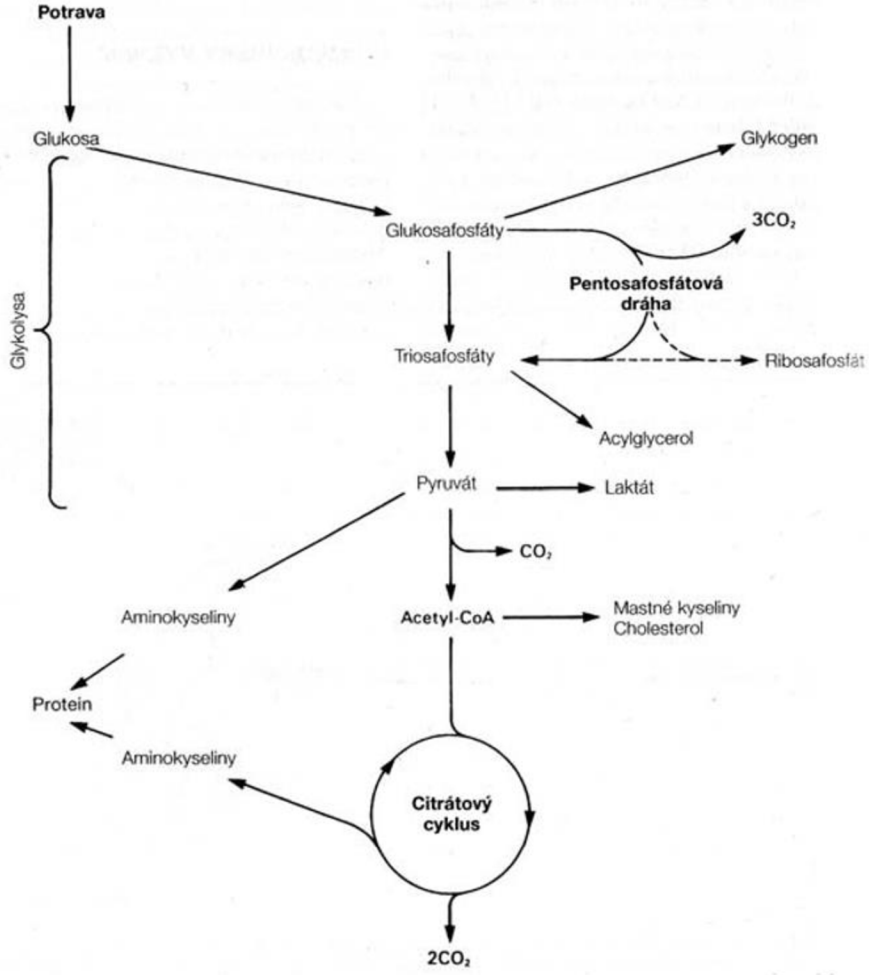
Je to biochemická katabolická dráha probíhající v cytoplazmě každé savčí buňky, kde metabolizuje molekulu glukózy na dvě molekuly pyruvátu nebo laktátu. Unikátnosti této dráhy je fakt, že může probíhat i za anaerobních podmínek, kdy konečným produktem je pouze laktát. Pyruvát je za anaerobních podmínek redukován na laktát a zároveň dochází k regeneraci kofaktoru NAD^+. Ten působí jako koenzym enzymu glyceraldehyd-3-fosfátdehydrogenázy, který je klíčový pro průběh glykolýzy. Tahle situace nastává v případě intenzivně pracujícího svalu při nedostatku kyslíku nebo v červených krvinkách. Tkáně, které zpracovávají glukózu za aerobních podmínek, využívají enzymový komplex pyruvátdehydrogenázu. Ta štěpí pyruvát transportovaný z cytoplazmy do matrix mitochondrie na acetyl-CoA, který následně může vstupovat do Krebsova cyklu nebo může být využit pro biosyntézu mastných kyselin [9].

Zatímco pyruvát se dostává z cytoplazmy do matrix mitochondrie poměrně jednoduše, redukovaný kofaktor NADH, který by měl být v dýchacím řetězci reoxidován se přes membránu nedostane. Z tohoto důvodu se kofaktory používají k redukci některých látek např: cytoplazmatického oxalacetátu na malát nebo dihydroxyaceton-P na glycerol-3-P. Takto vytvořené produkty již membránou prochází a sekundárně dopravují redukované ekvivalenty do mitochondrie. Přestup NADH do mitochondrie se uskutečňuje prostřednictvím glycerol-fosfátového nebo malát-aspartátového přenosu. V mitochondrii proběhnou přesně opačné reakce (oxidace malátu a glycerol-3-P) za vzniku oxalacetátu, dihydroxyaceton-P a redukovaných kofaktorů, které se můžou reoxidovat v dýchacím řetězci. Tato reakce je doprovázena vznikem makroergických sloučenin ATP prostřednictvím oxidační fosforylace. Transport oxalacetátu z mitochondrie zpět do cytoplazmy se uskutečňuje transaminací zprostředkovanou enzymem aspartátaminotrasferázou na aspartát. V cytoplazmě poté probíhá opačná reakce a opět vzniká oxalacetát [9].

Využití glukózy je ovšem mnohem rozmanitější:

- Kosterní svalstvo a játra jsou schopny ukládat glukózu do struktury zásobního polysacharidu glykogenu. Tato konverze má zásadní vliv pro energetický metabolismus a celkovou regeneraci organismu po fyzické zátěži.
- Intermediáty glukózy jsou prostřednictvím pentózového cyklu zdrojem redukovaných kofaktorů NADPH, které jsou klíčové pro syntézu mastných kyselin nebo pro tvorbu ribózy, tvořící základ nukleotidů i nukleových kyselin.
- Triózafosfáty vedou ke vzniku glycerolu, který je součástí acylglycerolů (tuků).

- Konečný produkt glykolýzy pyruvát a intermediáty Krebsova cyklu poskytují uhlíkový skelet pro tvorbu aminokyselin, mastných kyselin s dlouhým řetězcem a cholesterolu, který je základním kamenem všech steroidních hormonů [1].



Obrázek 7: *Přehled sacharidového metabolismu* [1]

2.2.1.2 Glukoneogeneze

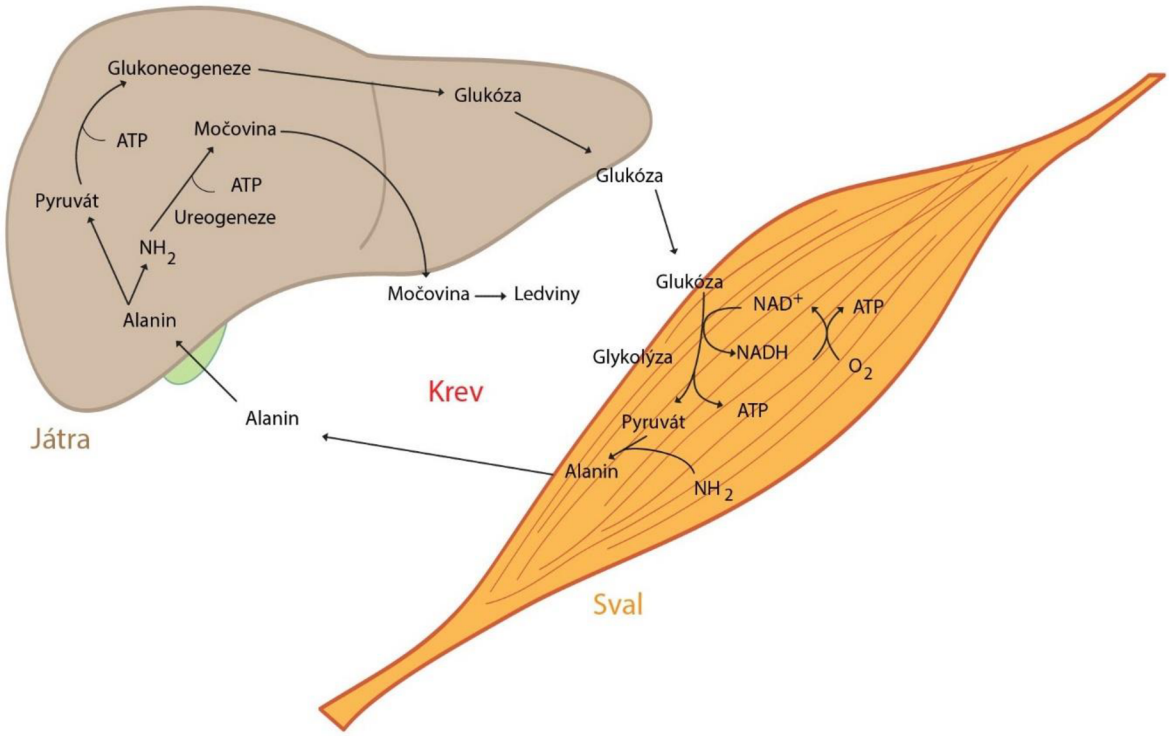
je poměrně zajímavým a životně důležitým metabolickým procesem v době hladovění. Jedná se o sled reakcí, který vede k tvorbě glukózy z nesacharidových jednotek. Prekurzory jsou např: laktát, pyruvát, glukogenní aminokyseliny a glycerol. Probíhá v matrix mitochondrií i cytoplazmě jaterních buněk, tubulárních buněk ledvin a enterocytech. Díky glukoneogenezi dokážeme přežít i delší hladovění, jelikož zásoby glykogenu jsou spotřebovány během 24 hodin hladovění. K její aktivaci dochází již ráno po nočním hladovění.

V podstatě se jedná o obrácenou glykolýzu, která musí v rámci energetické náročnosti využívat tři odlišné enzymy tzv. bypassy 1, 2, 3. Nahrazeny jsou zde tři ireverzibilní kroky glykolýzy katalyzovány kinázami – pyruvátkinázou, 6-fosfofruktokinázou a hexokinázou. Z energetického hlediska se jedná o značně nevýhodnou dráhu, kterou je potřeba dotovat šesti makroergickými vazbami na jednu molekulu glukózy [9].

Pyruvát je na začátku transportován z cytoplazmy do matrix mitochondrie, kde je prostřednictvím enzymu pyruvátkarboxylázy přeměněn na oxalacetát. Při této reakci je spotřebováno jedno ATP. Oxalacetát se následně dostává zpět do cytoplazmy a to buď

transaminací na aspartát nebo redukcí na malát. Zde je prostřednictvím enzymu fosfoenolpyruvátkarboxykinázy přeměněn na fosfoenolpyruvát. Při této reakci je spotřebováno GTP. Dále probíhá obrácená glykolýza až do vytvoření fruktóza-1,6-bisfosfátu, který je prostřednictvím enzymu fruktóza-1,6-bisfosfatázy hydrolyzován na fruktóza-6-fosfát. Tento enzym reguluje celou glukoneogenezi. Poté dochází k izomerizaci na glukóza-6-fosfát opět obrácenou glykolýzou a ta je následně prostřednictvím enzymu glukóza-6-fosfatázy hydrolyzována na volnou glukózu. Tento enzym je součástí membrány endoplazmatického retikula z toho důvodu, aby nebyla volná glukóza okamžitě zpětně fosforylována. Volná glukóza se dostává do krve, kde slouží jako zdroj energie. Mezi nejčastější substráty pro glukoneogenezi patří:

- Laktát: Vzniká z pyruvátu v procesu anaerobní glykolýzy prostřednictvím enzymu laktát dehydrogenázy (LDH). Produkují ho hlavně pracující svalové buňky a červené krvinky. Prostřednictvím krve se laktát dostává do jater, kde je metabolizován v procesu zvaném glukoneogeneze na glukózu. Ta se poté opět dostává do krve, kde slouží jako palivo pro svalové buňky a červené krvinky. Celý tento sled reakcí se nazývá Coriho cyklus.
- Pyruvát: Ten produkuje širší spektrum tkání. V případě opětovného zainteresování svalových buněk a jater mluvíme o tzv. glukóza-alaninovém cyklu. Pyruvát vzniklý ve svalových buňkách je procesem zvaným transaminace převeden na alanin, čímž dochází k odstranění přebytečného svalového dusíku. Alanin se dostává prostřednictvím krve do jater, kde je zpětně transaminován na pyruvát a ten se zapojuje do glukoneogeneze za vzniku glukózy. Ta se dostává krví do svalových buněk a celý cyklus uzavírá [9].

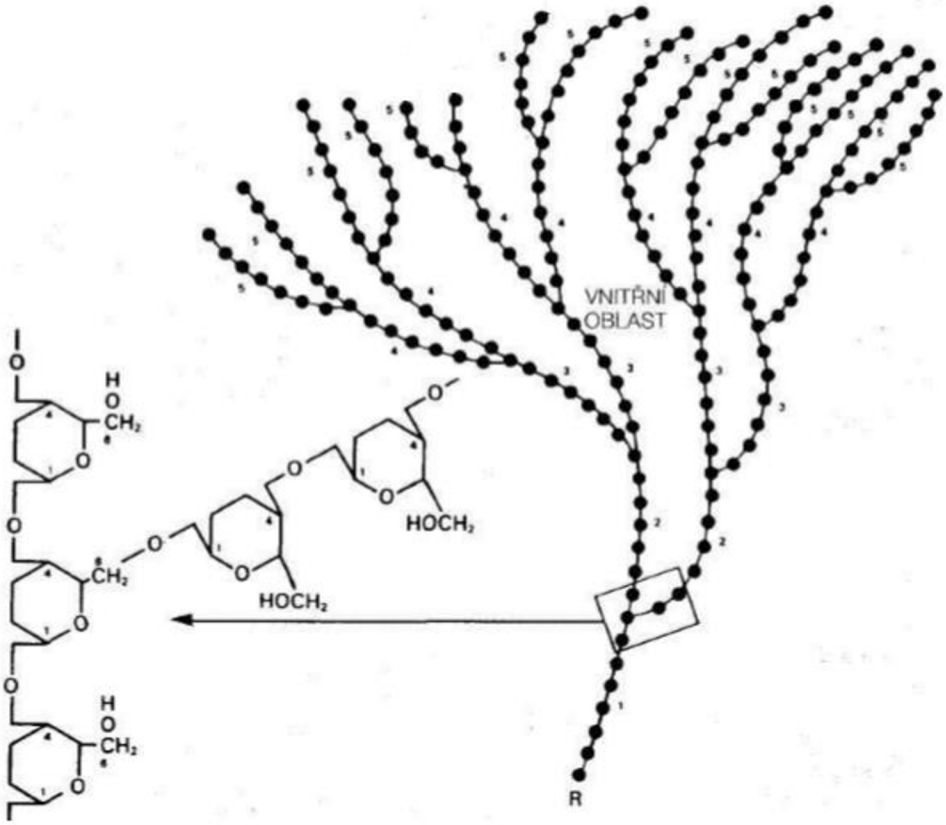


Obrázek 8: *Glukóza-alaninový cyklus* [9]

- Glukogenní aminokyseliny: Do procesu glukoneogeneze poskytují uhlíkaté skelety všechny aminokyseliny kromě leucinu a lysinu. Nejčastěji se jedná o glutamin a alanin tvořící svalové proteiny.
- Glycerol: Do glukoneogeneze vstupuje glycerol hydrolyzovaný z triacylglycerolů. Ten je poté fosforylovaný prostřednictvím glycerolkinázy na glycerol-3-P a následně dehydrogenovaný prostřednictvím glyceraldehyd-3-fosfátdehydrogenázy na dihydroxyaceton-P. Tím vzniká meziprodukt glukoneogenese.

2.2.1.3 Glykogen

Jedná se o homopolysacharid s rozvětvenou strukturou, který poskytuje živočišným buňkám zásobu sacharidů a tudíž energie. Jednotlivé molekuly glukózy jsou spojeny prostřednictvím α-1,4-glykosidických vazeb, přičemž každá dvanáctá molekula glukózy je spojena pomocí α-1,6-glykosidické vazby. Poté opět následuju dvanáct glukózových jednotek až do vytvoření rozvětvené polymerní struktury. Všechny reakce se odehrávají pouze na neredukujících koncích molekuly, která může být buď prodlužována nebo zkracována [10].



Obrázek 9:*Struktura glykogenu s důrazem na větvící místo [1]*

Lidské tělo je schopno skladovat zhruba 450 g glykogenu ve svých buňkách. Převážně se jedná o svalový glykogen (asi 300 g) a jaterní glykogen (asi 90 g) [10]. Zbylý glykogen najdeme v ostatních buňkách lidského těla. Hlavní úlohou svalového glykogenu je poskytovat glukozové jednotky, které následně vstupují do glykolýzy přímo ve svalu, zatímco jaterní glykogen udržuje stálou hladinu cukru v krvi, obzvláště v době mezi jídly. Svalové buňky neobsahují enzym glukóza-6-fosfatázu a proto nejsou schopny uvolnit volnou glukózu do

krve. Pokud tedy lidské tělo hladoví, spotřebovává výhradně jaterní glykogen. Svalový glykogen se vyčerpá pouze při dlouhodobé intenzivní námaze [1, 10]

Syntéza glykogenu probíhá v cytoplazmě buněk převážně kosterního svalstva a jater. Substrátem je molekula glukózy, která postupně vytváří polymerní strukturu zvanou glykogen. Při zátěži se svalový glykogen poměrně rychle vyčerpává, nicméně ne úplně. Tento fakt sehrává klíčovou roli v samotné regeneraci a syntéze glykogenu, jelikož se molekuly glukózy dokáží vázat pouze na existující glykogenový základ, tzv. primer [10].

Prvním krokem je fosforylace glukózy na glukózu-6-fosfát, což je vlastně i začátek glykolytické dráhy. Ve svalech tuto reakci zprostředkovává hexokináza, zatímco v játrech glukokináza. Vzniklý glukóza-6-fosfát je prostřednictvím enzymu glukózafosfátisomeráza přeměněn na glukóza-1-fosfát. Ta následně reaguje s UTP prostřednictvím enzymu UDP-glukózapyrofosforyláza za vzniku aktivované formy glukózy, tzv. UDP-glukózy. Navázání energeticky bohaté sloučeniny UDP je z důvodu nutnosti vysoké energetické dotace potřebné k vytvoření glykosidových vazeb mezi molekulami glukózy. UDP-glukóza se připojuje na neredukující konec glykogenu prostřednictvím enzymu glykogensyntázy za současného uvolnění UDP. Mezi dvěma molekulami glukózy tedy vzniká α-1,4-O-glykosidová vazba. Po dosažení dvanácti a více glukózových jednotek spojených prostřednictvím α-1,4-O-glykosidové vazby dochází pomocí větvícího enzymu ke štěpení této vazby. Následně je oligosacharidový štěp nesoucí 6–7 glukózových zbytků přenesen na OH skupinu C6 glukózy za vytvoření α-1,6-O-glykosidové vazby. Vzniklý řetězec může být opět prodlužován prostřednictvím glykogensyntázy a součinností těchto enzymů vzniká rozvětvená struktura glykogenu [1, 10].

Syntéza glykogenu nastává v době sytosti. Pokud máme dostatečný příjem energie z potravy, tělo si může dovolit ukládat glukózové jednotky do struktury glykogenu. Klíčovým enzymem je glykogensyntáza, jejíž aktivita je závislá na fosforylaci. Pokud je enzym fosforylován, glykogensyntáza se inaktivuje a bude docházet k degradaci glykogenu. V opačném případě (defosforylace enzymu), bude enzym glykogensyntáza aktivní a bude docházet k syntéze glykogenu. Rozhodujícím faktorem fosforylace je poměr hormonů inzulínu a glukagonu. Inzulín je anabolický hormon a vede tudíž k syntéze glykogenu, zatímco glukagon vede k rozkladu glykogenu. Celkový poměr inzulín/glukagon se projevuje většinou prostřednictvím intracelulární koncentrace cAMP [10].

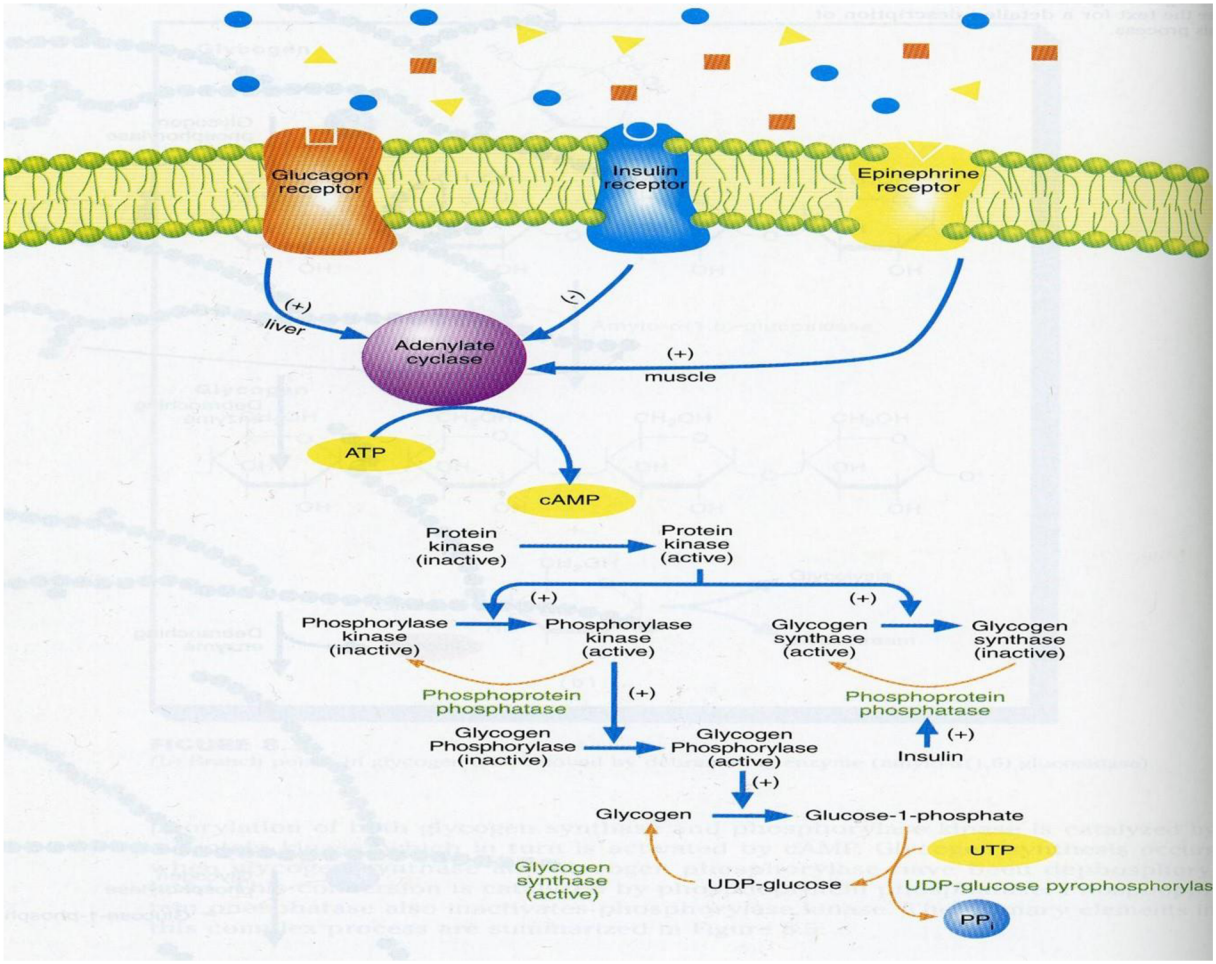
Odbourávání glykogenu probíhá taktéž v cytoplazmě nejčastěji svalových a jaterních buněk, kde dochází k fosforolytickému štěpení. Z glykogenového řetězce je odštěpena glukózová jednotka, která je souběžně fosforylovaná za vzniku glukóza-1-P. Výhodou je vytvoření fosforylované molekuly glukózy bez spotřeby ATP. Glykogenfosforyláza vykazuje specifickou aktivitu vůči α-1,4-glykosidové vazbě, která je ve struktuře glykogenu velmi hojně zastoupena. Z důvodu velkého počtu neredukujících konců probíhá odbourávání velmi rychle. Velmi dobré je zdůraznit fakt, že odbourávání glykogenu je velmi unikátní. Pokud totiž srovnáme odbourávání polysacharidů v GIT zjistíme, že jsou nejdříve štěpeny uvnitř svých řetězců na kratší polysacharidy nebo oligosacharidy, z kterých se uvolňuje nikoliv fosforylovaná, ale volná glukóza. Následně je glukóza-1-P přeměněna prostřednictvím enzymu glukózafosfátizomeráza na glukóza-6-P. Odbourávání glykogenu se zastaví čtyři glukózové zbytky před místem větvení, kdy přichází na řadu tzv. rozvětvovací enzym. Ten

vytváří oligomerní štěp (tři glukózy) postranního řetězce, které napojuje pomocí α-1,4-glykosidové vazby na hlavní řetězec glykogenu. V místě původního větvení zůstává jen jedna molekula glukózy vázaná pomocí α-1,6-glykosidové vazby, kterou odstraní enzym amylo-α-1,6-glukosidáza. Vzniká tedy nerozvětvený řetězec, který může být opět štěpen pomocí glykogenfosforylázy. Nakonec je glukóza-6-P defosforylována prostřednictvím glukóza-6-fosfatázy (játra, ledviny, enterocyty) na volnou glukózu. Tento enzym je vázaný na membránu hladkého endoplazmatického retikula, kam se glukóza-6-P dostává prostřednictvím enzymu translokázy. Důvodem přítomnosti enzymu defosforylujícího strukturu glukóza-6-P v endoplazmatickém retikulu je zabránění zpětné fosforylace glukózy na glukóza-6-P. Jak již bylo zmíněno, svalové buňky tento enzym nemají, a proto nejsou schopny regulovat hladinu cukru v krvi [1, 10].

Rozklad glykogenu svědčí o nízké hladině cukru v krvi, a tedy sníženému poměru inzulín/glukagon v plazmě. Odbourává se výhradně jaterní glykogen. Poklesne-li množství jaterního glykogenu z důvodu hladovění nebo stresu, ke slovu se dostává glukoneogeneze, která začne vyrábět z necukerných prekurzorů glukózu. Ústředním enzymem glykogenolýzy je enzym glykogenfosforyláza, který je regulován prostřednictvím kovalentní modifikace. Tento enzym je aktivní fosforylovaný a naopak neaktivní defosforylovaný. Fosforylaci zprostředkovává fosforylázakináza opět prostřednictvím intracelulární koncentrace tzv. druhých poslů cAMP [1, 10].

Ve svalových buňkách je rozklad glykogenu podmíněný navázáním adrenalinu na β-adrenergní receptor. Ten se ovšem neuplatňuje přímo, ale prostřednictvím cAMP. S rostoucí koncentrací cAMP se postupně aktivuje poměrně specifický enzym cAMP-dependentní proteinkináza. Ta spouští kaskádovou reakci, na jejímž konci dochází k odštěpení glukózové jednotky ze struktury glykogenu, a tudíž ke glykogenolýze. Pokud ovšem koncentrace cAMP bude nízká, cAMP-dependentní proteinkináza bude neaktivní, a tudíž bude docházet naopak k syntéze glykogenu [1].

Velmi úzce souvisí i s koncentrací vápenatých iontů. Pokud se intracelulární koncentrace zvýší, bude docházet k aktivaci fosforylázykinázy, tudíž k aktivaci glykogenfosforylázy a rozkladu glykogenu. Mechanismus účinku probíhá prostřednictvím bílkoviny kalmodulinu nebo kalmodulin-dependentních proteinkináz ihned po zahájení svalové kontrakce [1, 10].



Obrázek 10:*Komplexní regulace metabolismu glykogenu* [34]

Glykogen je jedním ze dvou zásobníků energie. Druhým z nich jsou triacylglyceroly (TAG), které představují podstatně výhodnější úložiště energie. Nejedná se zdaleka o tak pohotový zdroj, nicméně výtěžnost 1 g bezvodého TAG je zhruba šestkrát větší než 1 g hydratované molekuly glukózy [10].

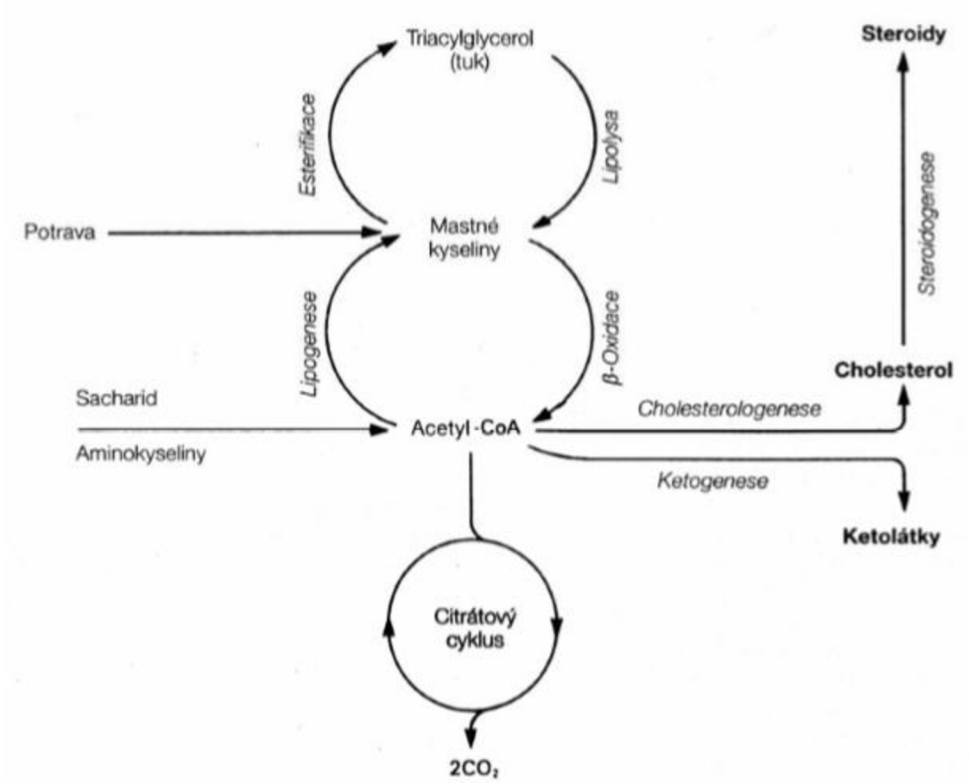
2.2.2 Metabolismus lipidů

Lipidy jsou heterogenní sloučeniny vykazující vysokou nerozpustnost ve vodě. Jejich hydrofobicita je výsledkem struktury, která je tvořená výhradně uhlovodíky. Ovšem mastné kyseliny, soli mastných kyselin, sfingolipidy, fosfolipidy a v malé míře i cholesterol obsahují polární skupiny, které jim udávají spíše amfipatický charakter. To znamená, že část jejich molekul je rozpustná ve vodě a část ne. Tenhle fakt je klíčem pro vytvoření tzv. dvojvrstvy, která tvoří základní struktury biologických membrán. Dosáhne-li koncentrace polárních lipidů ve vodné fázi tzv. kritickou koncentraci, začnou se vytvářet micely. Působením ultrazvuku na amfipatické molekuly ve vodné fázi vznikají lipozomy. Jedná se o útvary kulovitého tvaru, jejichž povrch je utvářen dvouvrstvou polárních lipidů a uvnitř je uzavřena část vodného prostředí. V kombinaci s tkáňově specifickými protilátka mohou sloužit jako nosiče léčiv. Tvorba micel a lipozomů, která je amfipatickým lipidům vlastní napomáhá samotnému vstřebávání ve střevě za předpokladu, že se dostatečně mísí se žlučovými kyselinami. Z fyziologického hlediska patří mezi významné lipidy: mastné kyseliny, triacylglyceroly,

fosfolipidy, cholesterol, a jeho estery. Z těchto lipidů potom vznikají složitější struktury jako lipoproteiny a glykolipidy [1].

Mastné kyseliny s dlouhým řetězcem mohou být přijímány prostřednictvím lipidů z potravy nebo syntézou z acetyl-CoA. Tkáně mohou mastné kyseliny oxidovat na acetyl-CoA v procesu zvaném β-oxidace nebo je mohou esterifikovat za vzniku acylglycerolů. Triacylglyceroly tvoří největší úložiště energie v našem těle. Využití acetyl-CoA je poměrně rozmanité:

- Stejně jako při aerobní glykolýze vznikající acetyl-CoA vstupuje do Krebsova cyklu, kde je zcela oxidován na CO_2 a H_2O. V dýchacím řetězci poté dochází v procesu zvaném oxidační fosforylace k syntéze ATP. Mastné kyseliny dodávají dlouhodobě energii prostřednictvím β-oxidace i Krebsova cyklu a tvoří tudíž významné metabolické palivo pro tkáně.
- Tvoří uhlíkovou kostru cholesterolu a z něj odvozených steroidních hormonů
- V játrech vytváří ketolátky vykazující rozpustnost ve vodě. Jedná se o zdroj energie při nízké hladině cukru v krvi. Tehdy se energie doplňuje prostřednictvím tukových zásob. Ty musí být ovšem přeměněny na ketolátky [1, 7].



Obrázek 11:*Metabolizmus mastných kyselin* [1]

Tvorba mastných kyselin a triacylglycerolů je poměrně složitý energetický proces probíhající převážně v játrech, ledvinách, mozku, plících, mléčných žlázách a tukové tkáni. Výhradně se odehrává v době sytosti. Rozdíly mezi biosyntézou a β-oxidací mastných kyselin je nutné zmínit k pochopení celého metabolizmu lipidů.

- Syntéza probíhá v cytoplazmě, zatímco β-oxidace v matrix mitochondrií
- Intermediáty mastných kyselin jsou při syntéze vázány na ACP (acyl carrier protein), zatímco intermediáty degradace na molekulu koenzymu A

- Při syntéze enzymy vytváří multienzymový komplex, zatímco enzymy pro degradaci se nachází volně v matrix mitochondrii
- Řetězec mastných kyselin se prodlužuje vždy o dva atomy uhlíku. Výchozím substrátem je acetyl-CoA, avšak aktivovaným donorem je malonyl-CoA
- Při biosyntéze se jako redukční činidlo uplatňuje NADPH, zatímco při degradaci se jako oxidační činidlo uplatňuje FAD a NAD
- Při biosyntéze multienzymový komplex dokáže vytvořit maximálně palmitát (C16), delší řetězce a tvorba nenasycených mastných kyselin už probíhá prostřednictvím elongáz a desaturáz v endoplazmatickém retikulu nebo mitochondrii [10]

2.2.2.1 Biosyntéza mastných kyselin

Při biosyntéze dochází v prvním kroku ke karboxylaci acetyl-CoA za spotřeby ATP na malonyl-CoA. Kofaktorem enzymu acetyl-CoA-karboxyláza je biotin (vitamín H, B7), který je obecně kofaktorem karboxyláz. Malonyl-CoA se vytváří ve dvou krocích. Nejprve probíhá ATP závislá karboxylace biotinu a následně se karboxylová skupina dostává na acetyl-CoA za vzniku malonyl-CoA. Enzym je se svým kofaktorem vázaný prostřednictvím amidové vazby. Takto vytvořený malonyl-CoA je poté prostřednictvím enzymu malonyl-CoA-transacetylázy přenesen na kofaktor ACP za současného uvolnění CoA a vytvoření malonyl-ACP. Naprosto stejným způsobem prostřednictvím enzymu acetyl-CoA-transacetylázy je vytvořen acetyl-ACP. Koenzym ACP přenáší acetyl z ACP na aminokyselinu cystein, která je součástí multienzymového komplexu syntázy mastných kyselin. ACP se uvolní. Malonyl-ACP je taktéž připojen na multienzymový komplex syntázy mastných kyselin, konkrétně na SH skupinu kyseliny pantothenové. Vzájemné spojení acetylu s malonylem-ACP vytváří acetoacetyl-ACP za současného uvolnění CO_2. Takto dochází k prodlužování řetězce acetyl-CoA prostřednictvím malonyl-CoA o dva uhlíky. Poté následuje redukce acetoacetyl-ACP na β-D-hydroxybutyryl-ACP, dehydratace na krotonyl-ACP a další redukce na butyryl-ACP. Všechny tyto reakce probíhají na multienzymovém komplexu. V posledním kroku dochází k přenosu řetězce z ACP na SH skupinu kondenzačního enzymu stejné podjednotky. Další malonyl se váže na ACP druhé podjednotky a celá syntéza pokračuje naprosto stejným způsobem. Při délce C16 nastává ukončení a koncovým produktem je tedy palmitát. Ten je odštěpen prostřednictvím thioesterázy z vazby na ACP a uvolněn [1, 7, 10].

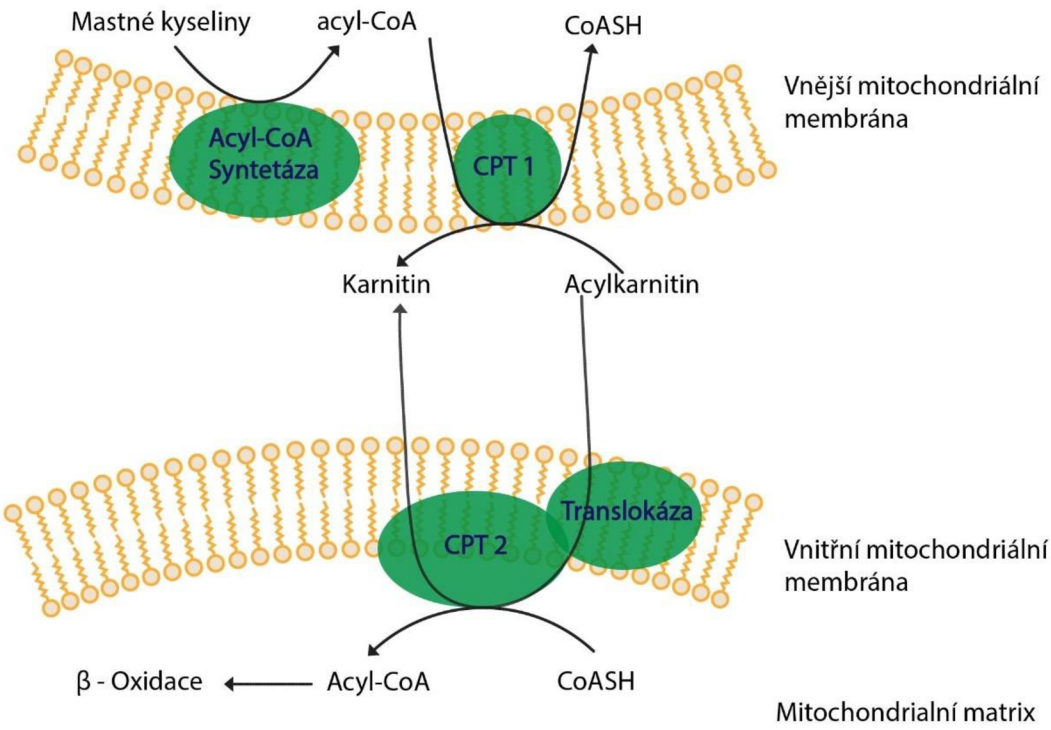
Poměrně zajímavým faktem je, že klíčový prekurzor pro tvorbu mastných kyselin je acetyl-CoA, který vzniká v matrix mitochondrii, zatímco biosyntéza mastných kyselin probíhá v cytoplazmě. Jelikož je vnitřní mitochondriální membrána pro acetyl-CoA nepropustná, do cytoplazmy se transportuje prostřednictvím citrátu. Podmínkou je dostatečná koncentrace acetyl-CoA v matrix mitochondrii, který reaguje s oxalacetátem prostřednictvím enzymu citrátsyntázy za vzniku citrátu. Ten již membránou prochází, dostává se do cytoplazmy a prostřednictvím enzymu cytrátlyázy je štěpen na acetyl-CoA a oxalacetát. Využití acetyl-CoA v cytoplazmě je výhradně pro tvorbu mastných kyselin, ale oxalacetát v cytoplazmě žádnou funkci neplní. Jelikož neprochází přes vnitřní mitochondriální membránu zpět, musí být redukován prostřednictvím enzymu malátdehydrogenázy na malát. Ten potom podléhá oxidační dekarboxylaci na pyruvát. Ten již vstupuje do mitochondrie, kde je pomocí enzymu pyruvátkarboxyláza přeměněn zpět na oxalacetát [10].

Biosyntéza mastných kyselin probíhá za předpokladu, že tělo disponuje dostatkem substrátů a dostatkem energie. Regulace je řízena prostřednictvím anabolického hormonu inzulínu, který aktivuje klíčový enzym acetyl-CoA-karboxylázu a také enzym pyruvátdehydrogenázu. Když nestačí glykolýza ani glykogeneze, začne se glukóza ireverzibilně přeměňovat prostřednictvím enzymu pyruvátdehydrogenázy na acetyl-CoA. Aerobní odbourávání glukózy je základním kamenem syntézy mastných kyselin. Agonistou je dále vysoká hladina citrátu vypovídající o dostatečné energii a stavebních jednotek. Antagonistou inzulínu je glukagon a adrenalin. Ti naopak inhibují karboxylázu prostřednictvím fosforylace. Dalšími antagonisty jsou vysoká koncentrace AMP a palmitoyl-CoA, což je produkt biosyntézy mastných kyselin. Pokud není odváděn, není potřeba tvořit další [10].

Podmínkou vytvoření energetických zásob prostřednictvím mastných kyselin je uložit je do struktury triacylglycerolů. Převážně se tvoří v jaterních a tukových buňkách. Prekurzorem je aktivovaný glycerol-3-P, který vzniká převážně redukcí dihydroxyacetonfosfátu prostřednictvím enzymu glyceraldehyd-3-P-dehydrogenáza. Další možností vytvoření glycerolu-3-P je lipolýzou uvolněný glycerol aktivovaný fosforylací glycerolkinázou. Celá syntéza probíhá v endoplazmatickém retikulu. Aktivovaný glycerol-3-P je postupně acylovaný dvěma molekulami acyl-CoA za vzniku kyseliny fosfatidové. Odštěpením fosfátové skupiny vzniká 1,2-diacylglycerol, který je nakonec esterifikovaný posledním acyl-CoA za vzniku struktury triacylglycerolu (TAG) [10].

Využití lipidů jako zdroje energie se uskutečňuje ve třech základních krocích. Na začátku dochází k mobilizaci lipidů a následné hydrolýze TAG na MK a glycerol, které jsou transportovány krví do cytoplazmy. Zde dochází k aktivaci MK a následnému transportu do matrix mitochondrie. V matrix mitochondrii probíhá β-oxidace MK na acetyl-CoA, který vstupuje do Krebsova cyklu, nebo se zužitkuje pro tvorbu ketolátek [1, 11].

Mobilizace lipidů a následná hydrolýza TAG se uskutečňuje pomocí hormonálně citlivé lipázy. Vznikající MK jsou transportovány prostřednictvím sérového albuminu do potřebných tkání, zatímco glycerol se přenáší volně rozpuštěný v plazmě. Ten se po fosforylaci a následné oxidaci zapojuje jako dihydroxyaceton-P do glykolýzy nebo glukoneogeneze. MK jsou aktivovány prostřednictvím enzymu acyl-CoA-syntetázy ihned po vstupu do cytoplazmy buňky na vnější mitochondriální membráně. Délka řetězce MK je rozhodujícím faktorem pro charakter přestupu aktivovaných MK do matrix mitochondrie. Do C_{10} vstupují volně, C_{12}–C_{18} přes karnitinový přenašeč a nad C_{18} neprocházejí. Aktivovaný acyl-CoA s C_{12}-C_{18} prochází přes vnější mitochondriální membránu, ovšem vnitřní je pro něj neprostupná. Dochází tedy k odštěpení CoA a navázání acylu na karnitinový přenašeč prostřednictvím enzymu karnitinpalmitoyltransferáza I (CPT I). Karnitin-acylkarnitin-translokáza ve vnitřní mitochondriální membráně umožňuje výměnu acylkarnitinu za karnitin, díky čemu se acylkarnitin dostává do matrix mitochondrie. Zde dochází ke zpětnému navázání CoA na acyl, který se současně zbavuje karnitinu. Tuto reakci katalyzuje enzym CPT II. Tím se dostává acyl-CoA do matrix mitochondrie, kde vstupuje do β-oxidace mastných kyselin. Karnitin se vrací zpět a celý mechanismus probíhá znovu, dokud je třeba energie z tuků [11].



Obrázek 12: *Přenos mastných kyselin prostřednictvím karnitinu* [11]

2.2.2.2 β-oxidace mastných kyselin

V matrix mitochondrii probíhá β-oxidace mastných kyselin. Celý mechanismus se uskutečňuje pomocí tří reakcí analogických ke Krebsově cyklu zakončených thiolytickým štěpením. Oxidace acyl-CoA na trans-enoyl-CoA, hydratace na L-3-hydroxyacyl-CoA, druhá oxidace na 3-ketoacyl-CoA a nakonec thiolytické štěpení na acetyl-CoA a acyl-CoA o dva uhlíky kratší [7, 11].

Regulace probíhá na úrovni karnitinového přenašeče. Konkrétně se jedná o enzym (CPT I), který je inhibován meziproduktem biosyntézy mastných kyselin (malonyl-CoA). Jedná se o zkříženou regulaci, která brání souběžné syntéze i degradaci mastných kyselin [11].

2.2.3 Metabolizmus aminokyselin

Proteiny tvoří nejdůležitější a nejpočetnější biomolekuly lidského těla. Jsou složeny z aminokyselin (AK) spojených prostřednictvím peptidové vazby. Obecně se pro jejich zápis uplatňuje vzorec R-CHNH2-COOH, kde asymetrický uhlík α nese čtyři vazebné partnery: aminoskupinu, karboxylovou skupinu, vodíkový atom a variabilní skupinu symbolizovanou písmenem R. Biologicky významné pro člověka jsou výhradně L-formy, zatímco D-formy najdeme spíše v rostlinách, bakteriích a tepelně upravených potravinách [1].

Z hlediska výživy se AK obvykle dělí na esenciální (živočišný organismus je nedokáže syntetizovat de novo), semiesenciální (syntéza nestačí k pokrytí růstu) a neesenciální (živočišný organismus dokáže syntetizovat de novo). Esenciální AK přijímáme pouze prostřednictvím potravy, jelikož je tkáně nejsou schopny syntetizovat. Na druhé straně

neesenciální AK mohou být přijímány jednak potravou, ale mohou se též tvořit z meziproduktů metabolizmu transaminací a využitím dusíku aminoskupin z jiných aminokyselin, které jsou v nadbytku. Nadbytek dusíku aminoskupin se z těla odstraňuje prostřednictvím deaminace v podobě močoviny. AK jsou důležité prekurzory nejen proteinů, ale i purinů, pirimidinů a hormonů [1, 7, 11].

2.2.3.1 Katabolismus bílkovin

Uskutečňuje se prostřednictvím enzymů proteáz a peptidáz, nacházejících se v trávicím traktu a lyzozomu každé buňky. Podle štěpící aktivity rozlišujeme tzv. exopeptidázy (štěpí na krajích řetězce proteinu) a endopeptidázy (štěpí vnitřní vazby proteinu). Štěpení končí vytvořením volných AK, které se dále charakteristicky zpracovávají. Klíčovým krokem je odstranění aminoskupiny, jelikož dusík v ni obsažený se nedá energeticky zhodnotit a musí být z těla odstraněn. Nejčastěji se tak děje přeměnou na močovinu a následným vyloučením v podobě moči. Odstranění aminoskupiny zpravidla obstarávají dva procesy: transaminace a oxidativní deaminace [1, 11].

Transaminace je reverzibilní reakce, při které se vymění aminoskupina α-aminokyseliny s oxoskupinou 2-oxokyseliny. Kofaktorem této reakce je derivát vitamínu B6 pyridoxalfosfát. Všechy AK kromě aspartátu a glutamátu využívají nutně při své degradaci transaminaci, a to prostřednictvím enzymů aspartátaminotransferázy (AST) nebo alaninaminotrasferázy (ALT). Aspartát může být zbaven své aminoskupiny přímo v močovinovém cyklu a glutamát může být oxidačně deaminován. Vznikají tak 2-oxokyseliny: oxalacetát a pyruvát, které se zapojují do energetického metabolizmu [11].

Buňky CNS mozkové tkáně využívají pro svou detoxikaci přeměnu glutamátu na glutamin prostřednictvím enzymu glutaminsyntetázy. Za současné spotřeby ATP dochází k navázání toxického NH_3 a karboxylová skupina glutamátu je přeměněna na amidovou skupinu glutaminu. Jedná se zároveň o největší transportní systém NH_3 v krvi. Tím je zajištěn transport z extrahepatálních tkání krve do jater a ledvin. Dosahuje taktéž nejvyšších hodnot plazmatické koncentrace a v jeho molekuly nacházíme dvě molekuly NH_3. Zároveň glutamin vnáší NH_3 do biosyntézy purinových bází. Pomocí enzymu glutaminázy je ze struktury glutaminu uvolněn NH_3, který se v jaterních buňkách zapojuje do močovinového cyklu, následně je v ledvinách vyloučen do moči, kde slouží jako pufr [11].

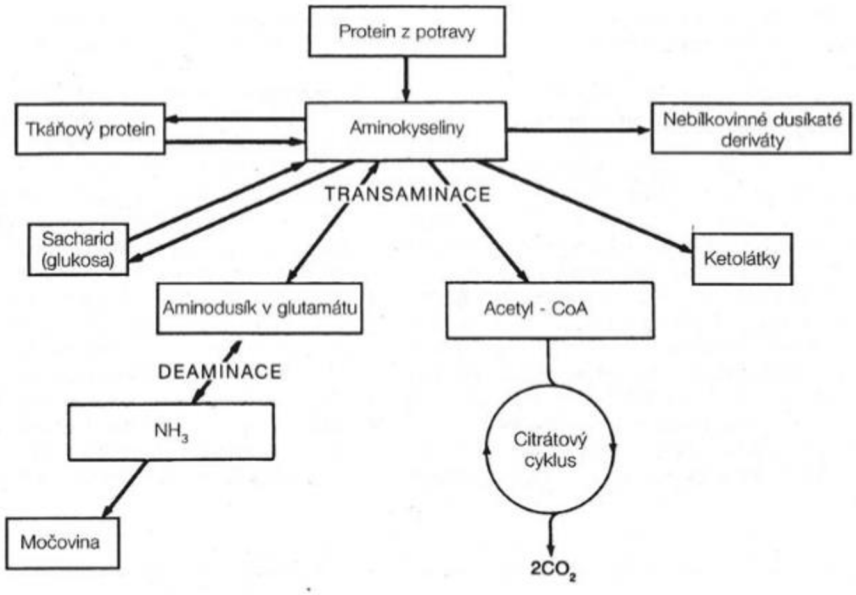
Jediná AK, která je v lidském těle oxidačně deaminována, je glutamát. Ten je prostřednictvím enzymu glutamátdehydrogenázy přeměněn na 2-oxoglutarát, který se využívá k transaminaci nebo v Krebsově cyklu. Současně se uvolňují NH_4^+ ionty, které vstupují do močovinového cyklu [11].

S rostoucí koncentrací NH_3 poroste koncentrace glutaminu a tím se bude spotřebovávat koncentrace 2-oxoglutarátu. Tím by docházelo k radikálnímu snížení rychlosti Krebsova cyklu a úbytku energie. Z tohoto důvodu je hladina NH_3 udržována prostřednictvím močovinového cyklu, kde se přeměňuje na močovinu. Ta je krevním řečištěm dopravena krví do ledvin, kde je vyloučena močí [11].

Z hlediska degradace uhlíkatých skeletů rozdělujeme AK na glukogenní, ketogenní a keto-glukogenní. V prvním případě AK (serin, threonin, cystein, methionin, aspartát, glutamát, asparagin, glutamin, glycin, alanin, valin, prolin, histidin a arginin) poskytují intermediáty glukózy jako: pyruvát, 2-oxoglutarát, sukcinyl-CoA, fumarát a oxalacetát. Ketogenní AK

(leucin, lysin) vedou k tvorbě intermediátů lipidů jako: acetyl-CoA, acetoacetyl-CoA. Posledním typ tvoří AK, které vykazují dva degradační produkty (ketogenní i glukogenní). Mezi ně patří AK: isoleucin, fenylalanin, tyrosin a tryptofan [7, 11]

Naprosto specifickým typem z pohledu degradace jsou větvené AK (valin, leucin, izoleucin). Nejsou totiž degradovány v jaterních buňkách, ale převážně ve svalových buňkách. Pro ně je typická přítomnost specifické transaminázy, která produkuje tzv. ketoanaloga větvených AK. Vlivem dehydrogenačního komplexu se následně přeměňují na deriváty acyl-CoA [1, 7, 11]



Obrázek 13: *Přehled metabolizmu aminokyselin* [11]

2.3 Doplňky stravy ve sportovní výživě

Obrovský potenciál doplňků stravy ve výživě vychází z velice špatných stravovacích návyků. Za posledních dvacet let došlo k takové globalizaci potravinových výrob, že obchodní systémy velice rychle přešly k trvanlivým výrobkům s vysoce prodlouženou trvanlivostí. Tento fakt se v České republice nejvíce podepsal na mléčných a masových výrobcích. Nejen, že se zde rapidním způsobem snížila kvalita produktů, ale dokonce došlo a stále dochází k poklesu jednotkové spotřeby na obyvatele. Naopak dochází k nadměrné spotřebě vysokoenergetických potravin, jako jsou tuky, oleje, margaríny, cukry, sycené a slazené nápoje, zatímco spotřeba ovoce a zeleniny pro českou populaci stále klesá [12].

Snížená konzumace obzvláště mléčných výrobků vede k velkým změnám v oblasti střevní mikroflóry. V současné kombinaci se sníženou prebiotickou potravou dochází k velkému snížení imunity, projevující se různými civilizačními nemocemi, autoimunitním onemocněním, kardiovaskulárním onemocněním i rakoviny [12]. Výsledkem vysoké pasterizace mléka (UHT) je podstatně snížena biologická aktivita zdraví prospěšných látek. Nejvíce se tento deficit projevuje ve sníženém množství ionizovaného vápníku Ca^{2+}. Ten koresponduje s nárůstem osteoporózy a s ní spojenými symptomy narušené homeostázy buněčných systémů. Druhým faktem je přeorientování chovu dobytka z horských pastvin do stájí. Kromě sníženého množství bioprotektivních látek ve finálních výrobcích se projevuje

i značný deficit selenu (Se). Nedostatek selenu a zinku se opět podílí na snížené funkčnosti imunitního systému. Postavení rybího masa ve výživě je momentálně ve slepé uličce. Na jedné straně jsou prokázané pozitivní účinky omega-3 mastných kyselin (EPA, DHA) na kardiovaskulární systém, na druhé straně je dost často spojováno s výskytem těžkých kovů, liposolubilních reziduí pesticidů a polychlorovaných bifenylů v důsledku globálního znečišťování moří a oceánů [12].

V dnešní době je to právě skladba našeho jídelníčku, která je rozhodujícím faktorem pro vysoké uplatnění potravinových doplňků na trhu. Velmi důležité je ovšem nahlížet na tyhle látky jako stravu doplňující, což se ukazuje jako základní kámen úrazu. Navzdory pravidelně se vyskytujícímu nápisu v podobě etikety na preparátu ve znění: „neslouží jako náhrada pestré stravy“, stále řada lidí tento fakt ignoruje. Doplňky stravy nejsou samospasitelné a co víc, jejich účinek se bez zdravého životního stylu vůbec nemusí projevit. Pokud by ovšem česká populace dokázala zlepšit stravovací návyky a zvýšit pohybovou aktivitu, tak doplňky stravy mohou hrát velmi důležitou roli. Pohyb, životospráva a doplňky stravy mohou být v odůvodněných případech podstatně lepším řešením než některé léky, které mají nejednou vedlejší účinky [13].

Doplňky stravy můžeme dělit z hlediska různých kritérií, vlastností a forem do mnoha kategorií. Pro účely této práce je zřejmě nejvhodnější rozdělení podle specifického účinku. Toto dělení se jeví jako nejlogičtější a nejpřehlednější i pro širokou veřejnost. Důvodem je snadné nalezení konkrétních výrobků v jasně daných kategoriích. Jedná se o typ rozdělení potravinových doplňků podle Talbotta [13, 14].

- snížení hmotnosti (karnitin, konjugovaná kyselina linolová, chrom)
- zvýšení svalové síly a výkonosti (proteiny, peptidy, aminokyseliny, kreatin, pyruvát, β-hydroxy-β-methylbutyrát)
- zvýšení energie (sacharidy, kreatin)
- pro zdraví kostí (vápník, hořčík, vitamín D, vitamín K)
- pro zdraví kloubů (chondroitinsulfát, kyselina hyaluronová, měď, želatina)
- pro zdraví mozku (kyselina dokosahexaenová, vitamín E, karnitin, Ginko biloba, tyrosin, lecitin, taurin)
- pro podporu imunitního systému (vitamín A, zinek, mlezivo)
- antioxidanty (vitamín C, selen, vitamín E, betakaroten)
- pro zdraví GIT (vláknina, probiotika, probiotika)

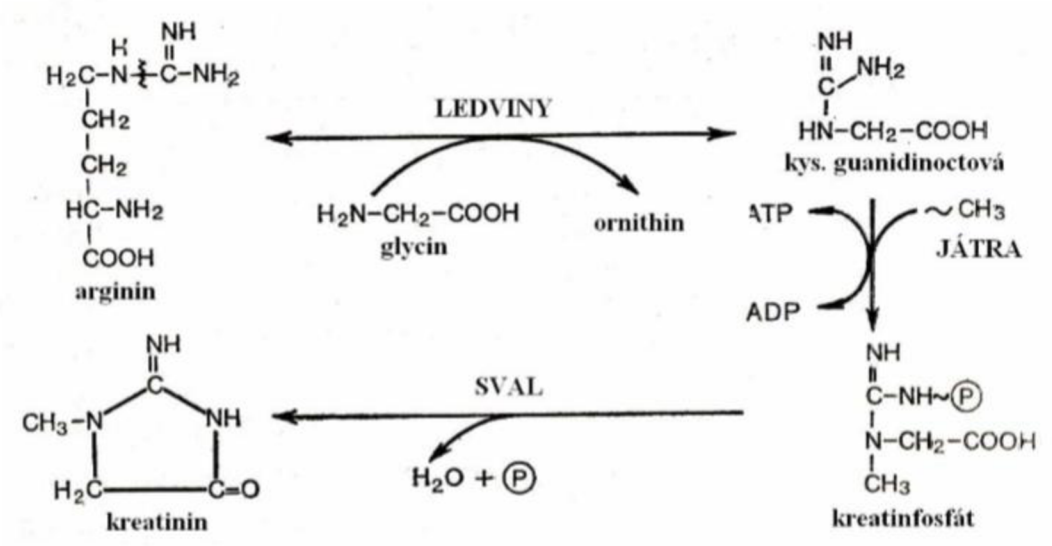
2.3.1 Kreatin

Z hlediska Talbottova dělení spadá kreatin hned do dvou kategorií. Jedná se o dusíkatou organickou kyselinu, kterou najdeme v těle všech obratlovců. Jelikož se jedná o látku tělu vlastní, je v lidském těle syntetizován v množství 1 gramu denně, což pokrývá zhruba polovinu denní doporučené dávky [3].

2.3.1.1 Biosyntéza kreatinu

Biosyntéza probíhá prostřednictvím tří aminokyselin: methioninu, argininu a glycinu. V ledvinách probíhá přenos guanidinové skupiny argininu na glycin prostřednictvím enzymu glycin-transamidázy. Výsledkem této reakce je ornithin a kyselina guanidinoctová. Další krok probíhá již v játrech, kde je tato kyselina prostřednictvím aktivního methioninu a ATP methylována a fosforylována na kreatinfosfát (CP). Jedná se o ireverzibilní reakci. V průběhu

svalové kontrakce je takto vytvořený CP štěpen za současného uvolnění energie. V době klidu poté může být opětovně fosforylovaný [1, 3].



Obrázek 14: *biosyntéza kreatinu a kreatininu* [3]

Kreatin se nejhojněji vyskytuji v kosterním svalstvu, dále pak v játrech, ledvinách a v nižších koncentracích je patrný také v mozku a krvi. V lidském těle se vyskytuje majoritně jako energeticky bohatý CP. Ve svalstvu je koncentrováno zhruba 98 % veškerého kreatinu. Odpadním produktem kreatinu, který vzniká ireverzibilní reakcí z CP, je kreatinin. Jelikož se jedná o energeticky velmi nevýhodnou reakci, probíhá za fyziologických podmínek velmi pomalu. Volný kreatinin najdeme ve všech tělních tekutinách jako je krev, žluč, moč, pot dokonce i v žaludečním sekretu. Klinicky je významná jeho koncentrace v moči, jelikož se do ní uvolňuje konstantní rychlostí. Tyto hodnoty se liší u každého jedince, jelikož jsou výsledkem celkové svalové hmoty a svalové práce. Zvýšené hodnoty také vykazují jedinci, kteří požívají velké množství masa nebo děti, které nemají zcela vyvinuté svalstvo [3].

Ve svalech se kreatin vyskytuje převážně ve formě energeticky bohatého CP, kde plní úlohu nejpohotovější dotace energie (ATP) během krátké doby. Štěpením této vazby dochází k uvolnění značného množství energie. Největší zastoupení CP je v kosterním svalstvu, dále srdečním a nejméně v hladkém. Hladinu CP je možné zvyšovat tréninkem. Průměrný člověk obsahuje zhruba 1,7 g kreatinu na kilogram tělesné váhy, nicméně maximální kapacita byla stanovena na 2,3 g/kg. Tahle rezerva se dá doplnit prostřednictvím exogenního kreatinu v kombinaci s tréninkem. Svalové buňky obsahují i podstatně vyšší koncentraci ATP, ADP i AMP, než buňky jaterní. Důvodem je nutnost energeticky obstarávat svalovou kontrakci a po určitou dobu tak regenerovat ADP na ATP
[1, 3].

Ve svalu je v klidové fázi podstatně vyšší koncentrace CP než samotného ATP. Čím je rychlejší pokles koncentrace ATP ve svalových buňkách, tím rychleji nastává pocit únavy. Obnovuje-li se ATP stejnou rychlostí, jakou je hydrolyzováno, únavový práh se posouvá. Regenerace ADP na ATP prostřednictvím CP a enzymu kreatinkinázy ovšem není jedinou předností kreatinu. V případě intenzivní fyzické práce je rychlost glykolýzy tak vysoká, že se pyruvát nestačí aerobně zpracovávat. To vede k zvýšené koncentraci laktátu, který je pro tělo

toxický. Disociace kyseliny mléčné vede ke snížení pH ve svalových buňkách a rostoucí kyselost se projevuje únavou organismu. Hydrolýza CP je jedním z ochranných mechanizmů chránící buňky před změnami pH. Je tedy zřejmé, že s rostoucí koncentrací CP ve svalových buňkách roste množství vyvázaných vodíkových iontů, čímž se oddaluje únava organismu. CP údajně plní ve svalových buňkách ještě další funkci, kterou je přenos ekvivalentů ATP z vnitřního prostoru mitochondrie, kde se ATP vytváří oxidativní fosforylací, do cytoplazmy, kde je ho třeba [3].

Denní potřeba kreatinu pro člověka jsou zhruba 2 g. Tohle množství je každodenně spotřebováno převážně svalovými, srdečními a nervovými buňkami. Kilogram masa obsahuje zhruba 5 g kreatinu, pak by denní potřeba kreatinu odpovídala konzumaci 400 g masa denně. Obecně největší množství kreatinu obsahuje rybí a červené maso. Lidské tělo dokáže zajistit tvorbu zhruba 1 g kreatinu, syntéza je ovšem omezená a vyšší koncentrace zpravidla nedosahuje. Naopak dochází k poklesu endogenní syntézy při vysoké konzumaci masa [3].

2.3.1.2 Vedlejší účinky kreatinu

Většina uváděných vedlejších účinků jako je nadýmání, zvýšení hmotnosti, či svalové křeče vychází z hygroskopické povahy kreatinu. Kreatin je totiž látka, která poměrně hojně váže vodu. Po absorpci exogenního kreatinu dochází k retenci vody, která se společně s ním dostává do GIT. Tím může docházet při vysokém příjmu kreatinu k nadýmání. Zároveň může docházet k dehydrataci tkáně, čímž se vysvětlují častější svalové křeče. Společně s vodou se potom dostává do krevního řečiště, které ho transportuje až do svalových buněk. Tímto se vysvětluje váhový přírůstek hmotnosti po relativně krátkodobém užívání kreatinu. Z povahy kreatinu tedy jasně vyplývá, že by se měl dodávat do těla pouze v minimálním množství, zcela rozpuštěný a výhradně po tréninku [15, 16].

Jelikož je kreatin nejvíce zkoumanou látkou v oblasti sportu a dosud nevyšla jediná relevantní studie potvrzující při správném užívání jakékoliv vedlejší účinky, považuje se za zcela bezpečný [19]. Řada lidí si dodnes myslí, že jeho odpadní produkt (kreatinin) je toxický. Jedná se o indikátor nedokonalé glomerulární filtrace, vedoucí k akumulaci kreatininu v séru, a tudíž snížené schopnost ledvin filtrovat krev. Bylo provedeno nespočet studií, které vyvrátily jakoukoliv toxicitu kreatininu. I přesto kreatin doposud není regulovaný FDA, a proto mohou při jeho výrobě v laboratoři vznikat vedlejší toxické látky jako: dikyandiamid, dihydrotriazin nebo arzen. Na místě je tedy obezřetnost a vyhledávání certifikovaných produktů [15].

2.3.1.3 Suplementace kreatinem

Současný trh nabízí široký sortiment v oblasti doplňků stravy a kreatin rozhodně není výjimkou. Mezi nejčastější formy kreatinu na trhu patří: kreatin monohydrát (CM), kreatin 2-oxo-glutarát (C-AKG), kreatin ethyl-ester (CEE), kreatin citrát a kreatin pyruvát. Všechny tyhle produkty s výjimkou kreatin monohydrátu jsou poměrně drahé. Nové formy kreatinu slibují lepší rozpustnost ve vodě a vyšší absorpci v těle. Otázkou zůstává, zda tenhle benefit odpovídá téměř čtyřnásobné ceně.

Otázka stability kreatinu je poměrně komplikovaná. Obecně panuje u veřejnosti názor, že kreatin je nestabilní ve vodě a v kyselém prostředí a již po krátkém čase degraduje na odpadní produkt kreatinin. Kdyby to ovšem byla pravda, kreatin by se nikdy nedostal krevním řečištěm do svalových buněk ve své aktivní formě. Podobný závěr lze vyvodit i z jeho údajné

nestability v pomerančovém džusu. Pokud by totiž degradoval v pH 3,5, pravděpodobně by jej rozložily žaludeční šťávy, kde je pH kolem 1,5.

Rozdílem mezi CM a C-AKG i CEE je jejich rozpustnost. CM je poměrně hydrofilní, zatímco zbylé dva jsou spíše lipofilní. Jejich benefity by tedy měli vycházet z dokonalejší absorpce svalovými buňkami. Žádná studie ovšem neprokázala vyšší nasycení kreatinem u hydrofobnějších forem. Lipofilní CEE sice prochází membránou a obchází tak potřebu kreatinových receptorů, při jeho použití však bylo nasycení svalových buněk kreatinem menší. Důvodem je schopnost kreatinových přenašečů přenášet kreatin do buněk částečně proti koncentračnímu gradientu [17]. Jedinou výhodou může být vzhledem k nižší hygroskopicitě vyvarování se vedlejších účinků, které lze ovšem zcela odstranit správným užíváním klasického CM. Zbylé dva deriváty – kreatin-citrát a kreatin-pyruvát slouží spíše pro terapeutické účely. Nevykazují tedy lepší rozpustnost, či absorpci, ale působí pozitivně na aerobní metabolizmus. Tím vlastně oddalují únavu a zlepšují regeneraci celého organismu. Kreatin citrát pomáhá při kompenzaci kyslíkového dluhu vytvořeného při anaerobní zátěži již po pár dnech užívání. Pozitivně tedy ovlivňuje jak aerobní výkon, tak i rekonvalescenci z anaerobního výkonu. Účinky kreatin-pyruvátu byly prokázány až po delší suplementaci, ovšem benefit je téměř totožný. Dokonce co se týče počtu sérií v silovém tréninku, vykazuje vyšší účinnost než kreatin citrát [15].

Jak bylo zmíněno, příjem a spotřeba kreatinu je u většiny jedinců prakticky vyvážená. Někteří prostřednictvím konzumace převážně hovězího masa, ryb a pravidelným anaerobním cvičením svůj příjem a celkové množství uloženého CP dokážou zvýšit. Ovšem tohle zvýšení je omezené. To pochopitelně znamená, že člověk blížící se maximálnímu nasycení kreatinem z běžné stravy nemůže od kreatinové suplementace očekávat výrazný efekt. Lidí, kteří dosáhnou plného nasycení kreatinem běžnou stravou je ovšem velmi málo. Velmi zarážející je tedy fakt, že suplementací kreatinem v nižších dávkách (méně než 3 g) se do dnešní doby vědecká společnost moc nezabývala. Naproti tomu relevantních studií pro vysoké dávky je nespočet a jejich benefit je patrný zhruba do jednoho měsíce užívání [15]. Velmi dobré je také zmínit, že pokud se nedosáhne menším množstvím kreatinové suplementace viditelný úspěch zhruba do měsíce, vyšší dávky nebudou cestou k úspěchu. Důvodů může být nespočet. Přirozená hladina může být zároveň maximální, tělo nemusí dobře kreatin absorbovat, naopak ho může rychle vylučovat. Dost často bývá špatná absorpce spojená s pomalými červenými svalovými vlákny, nevhodnými pro ukládání kreatinu [15].

2.3.1.4 Dávkování kreatinu

Dávkování kreatinu bývá také spojováno s nasycovací fází. Je doporučováno 3–5 dní brát 10–20 g kreatinu a potom hladinu udržovat 3–5 g kreatinu [15]. Někteří výrobci prozíravěji přeskakují nasycovací fázi a rovnou uvádí dávkování 3–5 g kreatinu denně. V situaci, kdy se rozhodne jedinec podstoupit nasycovací fázi, je důležité alespoň denní dávkování rozdělit do více dávek. Nežádoucí účinky v podobě nadýmání a křečí mohou být častější, využitelnost bude velmi nízká, ovšem urychlí se nasycení kreatinem. Zpravidla se uvádí zhruba 3 dny. Pokud tedy nejde o kulturisty, vystačí si jedinci s rozumnějším a pomalejším nasycením kreatinem, které po měsíci bude naprosto totožné s nasycovací fází. Navíc budou minimalizovány vedlejší účinky a zefektivní se využitelnost [15].

V načasování dávkování panuje dodnes poměrně chaos. Bohužel je to z velké části chybou prvotních vědeckých studií, které vybízely ke konzumaci kreatinu před tréninkem [19]. Výsledkem studií bylo prokázání dvojnásobné intenzity proteosyntézy ve srovnání se suplementací po tréninku [18]. Novodobější studie ovšem tento závěr jednoznačně vylučují [19]. Samotný kreatin na rozdíl od aminokyselin nebo sacharidů nepůsobí okamžitě. Naopak jeho benefitem je regenerace ATP po tréninku a z dlouhodobého hlediska zvyšování energetického CP [15].

Jakýkoliv potenciální nárůst síly, či energie po konzumaci před tréninkem je pouze placebo efekt. Naopak konzumace po tréninku je zcela racionálně prokazatelná [19]. Regenerátor energie sehraje mnohem větší roli a samotné nasycení svalových buněk kreatinem bude v důsledku vyplavení inzulínu maximální. Zvýšení síly a hmotnosti jsou nejčastějším výsledkem užívání kreatinu. Zvýšení síly může být zpočátku placebo efekt umocněný rychlou retencí vody a pozorování tzv. „napumpování." Zadržování vody v těle není ovšem dogma a u lidí, jejichž váha se zásadním způsobem nemění, může dojít k výraznému zvýšení energetické bilance a tudíž výkonu. Další možné vysvětlení je pozitivní vliv kreatinu na nervovou soustavu jako prostředníka zlepšení výkonu. Na lepší absorpci kreatinu se kromě inzulínu podílí ještě kyselina α-lipoová a sodné ionty [19].

2.3.1.5 Kreatin jako medikament

Kreatin se také používá jako medikament při svalové dystrofii nebo amylotrofické laterální skleróze. Dále byly zjištěny jeho účinky na diabetes mellitus 2 typu, jelikož v kombinaci s proteinovým nápojem a tréninkem zvyšoval glukózovou toleranci. Také jeho suplementace pomáhá předcházet kardiovaskulárním problémům tím, že snižuje hladinu homocysteinu v krvi. Studie dokonce popisují jeho protizánětlivé a antioxidační vlastnosti. Pozitivní vliv má také na paměť a inteligenci [19].

2.3.2 Hořčík

Jedná se o čtvrtý nejrozšířenější minerál, který se v našem těle podílí na bezmála 300 biochemických reakcích [20]. Patří mezi nejdůležitější intracelulární kationty. V přírodě se nevyskytuje volně, ale pouze ve formě různých sloučenin. Pro rostliny je hořčík nepostradatelný z hlediska fotosyntézy, jelikož má pro chlorofyl stejný význam jako železo pro krevní barvivo živočichů. Opět to byla lidská práce, která používáním umělých hnojiv narušila koloběh hořčíku a momentálně vede k jeho dlouhodobému deficitu v potravinách [20].

Pouze 1 % hořčíku se v lidském těle nachází extracelulárně. V krevním řečišti ho nacházíme převážně v ionizované formě, jako součást proteinů (albumin) nebo bývá spojen s anionty. Intracelulární hořčík se nachází převážně v asociaci s anionty, kdy ovlivňuje aktivitu ATP jako kofaktor. To je důvodem jeho častého spojování s buněčnou aktivitou metabolizmu. To souvisí se čtvrtinovou koncentrací intracelulárního hořčíku červených krvinek ve srovnání s jaterními buňkami [20]. Lidské tělo obsahuje 20–30 g čistého hořčíku. V žádném případě se nejedná o stopový prvek. Největší zásobárnu hořčíku pro srdeční, svalové, nervové a jaterní buňky představuje kost [20]

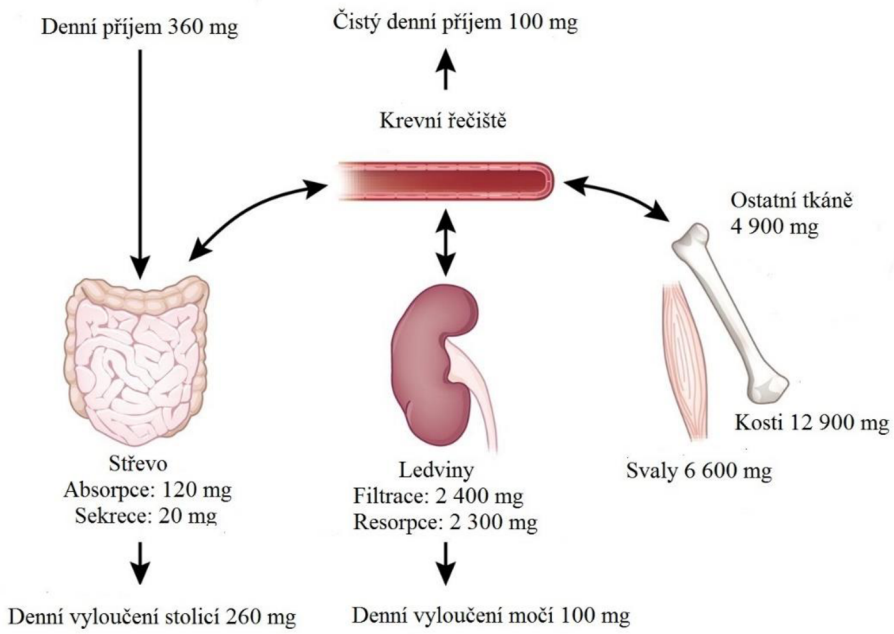
V živých organismech nalezneme hořčík ve ionizované formě Mg^{2+}. Tento předpoklad je klíčový pro schopnost asociovat s anionty, a tedy plnit řadu biologických funkcí. Dokáže stabilizovat komplexní sloučeniny (enzymy) i neutralizovat náboj (substráty). Jednou

z nejdůležitějších funkcí hořčíku je stabilizace ATP, které je klíčové z hlediska aktivity pro řadu ATP-dependentních enzymů. Přítomnost hořčíku jako kofaktoru vyžadují enzymy jako: hexokináza, pyruvátkináza, glukóza-6-fosfatáza. Hořčík je tedy důležitou součástí enzymů, které se podílejí na energetickém metabolizmu. Reguluje syntézu proteinů, lipidů, sacharidů i nukleových kyselin. Také je důležitý pro tvorbu acetyl-CoA i kyseliny citrónové, které se významně podílí na metabolizmu všech tří základních složek potravy. Podílí se na syntéze glutathionu. Chrání buňku před hypoxií. Ve svalu také působí relaxačně, protože brání uvolňování acetylcholinu prostřednictvím inhibice kalciových kanálů [20, 21].

Fyziologická potřeba hořčíku se doporučuje 6 mg/kg tělesné hmotnosti. Nutno podotknout, že se jedná o váhu čistého hořčíku, a ne jeho soli. Potrava v dnešní době již těžko tyhle hodnoty pokrývá. Nejvíce ho nalezneme v zelenině (chlorofyl), kakau, oříšcích, sójových bobech, otrubách a bramborech. Naopak deficitní je v mase, ovoci. Koncentrace je také snižována tepelným zpracováním, rafinací a konzervací. Dávky je třeba rozdělit do celého dne a je třeba mít na paměti, že se minerály mohou navzájem ovlivňovat z hlediska absorpce [20].

Deficitní koncentrace hořčíku v séru je prakticky nemožná. Důvodem je její stabilizace prostřednictvím ledvin, parathormonu, či kalcitoninu. Jelikož se koncentrace stanovuje nejčastěji v séru, dost často překrývá skutečný deficit v organismu. Sérový hořčík je snížen jen u chronického deficitu. Spolehlivější se jeví metody analýzy intracelulární koncentrace v červených krvinkách, bílých krvinkách, či ve vlasech, nebo atomová absorpční spektrometrie. Takové metody nejsou ovšem běžně dostupné [20].

Resorpce probíhá v tenkém střevě a vylučování prostřednictvím ledvin reagujících velmi citlivě na zvýšenou sérovou koncentraci. Tahle citlivost je velmi důležitá, jelikož zvýšená koncentrace v séru by mohla vést k zástavě srdce. Je-li hladina hořčíku v těle deficitní, jeho vylučování do moči probíhá velmi pomalu. Zvýšené vylučování je naopak často spojené s poruchy vylučování hořčíku [20].



Obrázek 15: *Metabolizmus hořčíku při minimální doporučené denní dávce* [21]

Dost často se nedostatek neprojevuje komplexně, ale selektivně. Deficit srdečního svalu vede ke kardiálním poruchám, kosterního svalstva k častým křečím, v případě nervstva je to potom parestezie. Nízký příjem bývá také spojován s ADHD (hyperaktivita s poruchou pozornosti) u dětí, cukrovkou, dokonce i s vyšším rizikem rakoviny [20].

2.3.3 Vitamín C

Neboli kyselina askorbová patří společně s vitamíny skupiny B do ve vodě rozpustných vitamínů. Často se jedná o kofaktory biochemických reakcí, u kterých zpravidla nedochází k hypervitaminóze. Na rozdíl od většiny savců není lidský organismus schopen syntetizovat vitamín C a proto je závislý na jeho exogenním příjmu [12].

Důležitost pravidelného příjmu vitamínu C vychází z jeho historie. Nejčastěji totiž bývá spojován jeho deficit s kurdějemi, kterými trpěli převážně námořníci a chudí lidé. Avitaminóza vitamínu C totiž vede k nedokonalé syntéze kolagenu, a tudíž ke sníženým regeneračním schopnostem organismu. To je důvodem, proč nejčastějším symptomem kurdějí bylo krvácení z dásní [22, 23].

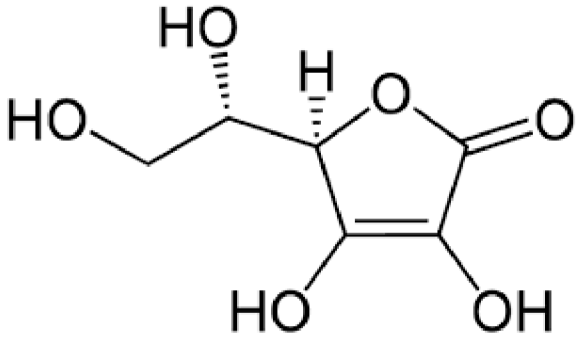
Pro lidský organismus je významný pouze optický izomer L-askorbová kyselina, jehož hlavní funkcí je účast v oxidačně-redukčních reakcích. V dnešní době je již znám nespočet reakcí, na kterých se aktivně podílí. Především se jedná o:

- extracelulární i intracelulární antioxidant, v určitých situacích i prooxidant
- kofaktor hydroxyláz (kolagen)
- hydroxylace fenylalaninu na tyrosin, jakožto prekurzor adrenalinu
- podílí se na metabolizmu železa, žlučových kyselin, hormonů, neurotransmiterů a kyseliny listové
- redukční činidlo pro (Fe^{3+}, Cu^{2+}, tokoferol, nitrososloučeniny, organické radikály)
- vychytává v těle reaktivní formy kyslíku (ROS) a chrání buňky před lipoperoxidací [22]

Význam pro sportovce nabývá převážně v oblasti regenerace. V dřívějších dobách byl vícefázový trénink často spojován s intramuskulárními injekcemi 500 mg vitamínu C v kombinaci s 50 μg vitamínu B12. Ještě lepší výsledky sportovci dosahovali v kombinaci s prokainem (anestetikum), který zvyšoval regeneraci a tlumil bolest po injekci [22, 23].

Mezi nejbohatší zdroje patří šípky, černý rybíz, červená paprika, růžičková kapusta, kiwi, brokolice a zelí. Doporučená denní dávka vitamínu C se pohybuje od 60–200 mg/den. V případě počínající nemoci, silné únavě nebo nachlazení i dávky 1 g. Navzdory poměrně bohatým zdrojům vitamínu C dochází poměrně jednoduše (převážně u sportovců) k jeho nedostatku. Důvodem je vysoká citlivost askorbové kyseliny na vzduch, teplo, vlhkost i světlo. Skladování, transport i příprava potravin obsahujících vitamín C jsou spojeny s jeho vysokou ztrátou [23].

Současný trh nabízí širokou škálu přípravků obsahující vitamín C. Asi nejznámějším z nich je Celaskon. Postupně se na trh dostávají i produkty slibující pozvolné uvolňování vitamínu C do těla. Velmi častá je i vzájemná kombinace s bioflavonoidy a obecně látkami zvyšujícími jeho absorpci v těle. Nejčastěji se k výrobě používá klasická Reichsteinova chemická syntéza s jedním fermentačním krokem [23].



Obrázek 16: *Struktura vitamínu C* [23]

2.4 Silový trojboj

Jedná se o individuální sport složený ze tří disciplín zvolených tak, aby co nejlépe prověřily komplexní sílu jedince. V každé disciplíně má soutěžící právo na tři pokusy, z nichž nejlepší se počítá jako konečný a rozhoduje o umístění jedince. Klíčovou roli hraje psychická i fyzická kondice každého závodníka, protože je potřeba během krátké doby vyvinout maximální možný výkon. Pro každou disciplínu je společná nakládací osa, na kterou se v průběhu závodu přidává v souladu s pravidly závaží. Postupně každý závodník podstupuje dřep, tlak na lavici a mrtvý tah. Mrtvý tah a dřep patří mezi základní cviky pro všestranný rozvoj pohybového aparátu, zatímco tlak na lavici vypovídá o silové dispozici horních končetin a hrudního koše [24].

2.4.1 Dřep

Soutěžící převezme činku ze stojanu a zaujme vzpřímený postoj, při kterém je osa položená na trapézovém svalu. Na pokyn rozhodčího soutěžící vykoná hluboký dřep, kdy se bod, ve kterém přechází stehno v trup, dostane minimálně na úroveň horní části kolenního kloubu. Poté přechází zpět do vzpřímeného postoje a čeká na pokyn rozhodčího, aby mohl činku odložit zpět do stojanu a jeho pokus byl uznán platným. Jakákoliv změna polohy chodidel, hmit, nebo odraz stehen od lýtek jsou během dřepu zakázány [24].

2.4.2 Tlak na lavici

K dispozici je lavice přesně daných rozměrů. Soutěžící leží na zádech s pokrčenýma nohama a chodidly položenými na zemi. Závodící přebírá činku ze stojanu do napjatých paží a na pokyn rozhodčího ji pozvolně spustí na hrudník. Po viditelné stagnaci ji vytlačí směrem vzhůru do napjatých paží. Opět se čeká na pokyn rozhodčího, aby mohl činku odložit do stojanu. Úchop je po celou dobu výkonu nad hmatem a maximální vzdálenost mezi palci činí 81 cm. Činka nesmí být během výkonu odražená od prsou, nesmí se zvednout pánev nebo poloha nohou. Důležité je tlačit oběma rukama stejně, aby nedošlo ke stočení těla na lavici [24].

2.4.3 Mrtvý tah

Činka je položena před chodidly závodníka ve vodorovné poloze. Platný pokus spočívá v plynulém zvednutí činky, vzpřímení trupu a napnutí nohou. Jak úchop činky, tak vzdálenost mezi chodidly jsou libovolné. Opět je potřeba počkat na pokyn rozhodčího a teprve potom je činka odložena na zem. Není povolené činku tahat přes stehna nebo pokus rozdělit do více fází. Zpravidla rozeznáváme dva typy provedení, lišící se v šířce postoje [24].

2.5 Somatotyp

Kvantitativně popisuje stavbu a kompozici lidského těla. Každý člověk je z pohledu typologie univerzální. V dnešní době se k posouzení somatotypu uplatňuje dělení podle Williama Sheldona modifikované Heathovou a Carterem [25]. To vychází z poměrového zastoupení tří základních somatotypů, kterými jsou: endomorfie, mezomorfie a ektomorfie. Jejich vzájemná kombinace a rozložení se určují prostřednictvím somatografu [25].

2.5.1 Typologie Sheldona a Heathové-Cartera

Tato metoda vznikla prostudováním velkého množství somatometrických dat a dospěla k závěru, že mezi lidmi nemůže existovat jen jeden vyhraněný typ somatotypu, ale že se jedná o jejich vzájemnou kombinaci. Tím se Sheldon naprosto odlišil od svých předchůdců a nabídl dosud nejreálnější pohled na typologii člověka [26].

Na začátku jeho test spočíval v proměření pěti částí lidského těla, kterým byl následně přiřazen podíl všech tří somatotypů v procentech. Později přešel k hodnocení těla jako celku. Takto vytvořený somatotyp se určoval vždy podle tří čísel. První číslo svědčilo o podílu endomorfie, druhé mezomorfie a třetí ektomorfie. Výsledná stupnice byla sedmibodová, kdy číslo 1 označovalo minimální výskyt daného somatotypu a číslo 7 maximální. Toto trojčíslí se vnášelo do grafu, který byl ve formě zaobleného trojúhelníku. Na vrcholech byli extrémní typy, uprostřed vyvážené a uvnitř určité mezitypy [27, 28].

Tato typologie byla obecně přijata společností a Sheldonovi následovnící Heathová a Carter ji ještě zdokonalili [26]. V dnešní době se tedy somatotyp posuzuje výhradně podle této metody. Jejich škála dokáže odhadnout somatotyp s přesností 0,5 stupně a horní hranice je prakticky neomezená. Tím je umožněno vyšší rozlišení extrémních somatotypů. Hodnoty v rozmezí od 0,5–2,5 se považují za nízké, hodnoty od 3–5 průměrné a hodnoty od 7,5 a více za vysoké [26, 27].

2.5.2 Endomorfie

Tento somatotyp vykazuje poměrně rychlý nárůst svalové hmoty i podkožního tuku. V oblasti sportu jsou pro něj nejvhodnější disciplíny jako: vzpírání, zápas nebo vodní sporty. V tomto typu převládá tuk, tělesná konstituce je měkká, kulatá se silným zažívacím ústrojím. Těžké zbavování tělesného tuku souvisí s vyšším rizikem obezity, cukrovky a kardiovaskulárních problémů. Velký důraz je kladen na aerobní cvičení [29, 30].

2.5.3 Mezomorfie

Tento somatotyp je nejvýhodnější z hlediska sportu. Charakteristické prvky jsou silná kostra, vysoký podíl svalstva, úzký pas a široká ramena. Typický je rychlý nárůst svalové hmoty a díky rychlejšímu metabolizmu i jednoduché zbavování podkožního tuku. V oblasti sportu jsou pro něj nejvhodnější disciplíny jako: sprint, gymnastika a kulturistika [30].

2.5.4 Ektomorfie

Jedná se o štíhlý, hubený typ, který má dlouhé paže i nohy a zároveň úzké prsty. Kostra je subtilní a svalstvo slabě vyvinuté. Špatně nabírá svalstvo, je třeba dbát vyšší regenerace a vysokého příjmu proteinů v jídelníčku. V oblasti sportu jsou pro něj nejvhodnější disciplíny jako: vytrvalostní sporty, skok vysoký nebo basketbal [27].

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část se dá rozdělit do dvou bloků, z nichž jeden probíhal v laboratořích Fakulty chemické v Brně a druhý v posilovně AZ Fitness v Brně. Respondenti, kteří byli vybráni pro tuhle práci, byli rozděleni do dvou skupin, které se lišily denní dávkou kreatinu. Dobrovolníci zařazeni do každé skupiny v průběhu dvou měsíců vykonávali silový trojboj a odevzdávali moč na analýzu. Jejich výkony, veškeré stanovované parametry, stravovací návyky i celková životospráva byly zpracovány a společně s analyzovanými komponenty v moči byly dány do souvislostí s dávkováním kreatinu ve výživě sportovce.

3.1 Použité chemikálie

3.1.1 Chemikálie použité pro přípravu standardů a vzorků

Kreatinin bezvodý, p.a., Sigma-Aldrich
Kyselina pikrová, p.a., PENTA
Hydroxid sodný, p.a., Sigma-Aldrich
Mg standard v HNO_3 pro ICP, p.a., Sigma-Aldrich

3.1.2 Chemikálie použité pro HPLC

Kyselina askorbová, p.a., Sigma-Aldrich
Kyselina metafosforečná, p.a., Sigma-Aldrich
Dihydrogenfosforečnan draselný, p.a., Sigma Aldrich
Methanol, p.a., Sigma Aldrich

3.2 Přístroje, pomůcky a potravinové doplňky

3.2.1 Laboratorní přístroje a pomůcky

HPLC, Agilent Technologies, 1260 Infinity

- Sestava: HPLC/DAD
- Vyhodnocovací systém: Xcalibur
- Kolona: Ascentis Express C18, 2,7 μm, 4,6 x 150 mm
- Detektor: UV-VIS, DAD

UV-VIS Spektrofotometr, Helios δ
ICP-OES, Ultima 2, Horiba Jovin Yvon

- Cyklonová mlžná komora
- Zmlžovač koncentricky Mainhard

Analytické váhy OHAUS PIONEER
Termostat s vodní lázní

3.2.2 Posilovací přístroje, pomůcky a potravinové doplňky

InBody 170
Krejčovský metr pro diagnostiku, 150 cm
Olympijské osa, 220 cm, nosnost 600 kg, průměr kotoučů 5 cm

3.2.3 Potravinové doplňky

Kreatin: Creatine Monohydrate Creapure, Myprotein – Velká Británie
Hořčík: Magnesium Citrate, Myprotein – Velká Británie

Vitamin C: Vitamin C with bioflavonoids, Myprotein – Velká Británie

3.3 Výběr vhodných respondentů dle kritérií studie

Bylo vybráno 33 respondentů, kteří vyhovovali požadavkům studie. Jednalo se o soubor fyzicky aktivních mužů ve věku od 18 do 26 let. Informační schůzka proběhla v konferenčním sále v prostorách AZ-Fitness v Brně, kde byla vysvětlena podstata celé studie. Každý z respondentů podepsal formulář nesoucí název „Informovaný souhlas“, který stvrzoval dobrovolnou účast ve studii (viz Příloha 1). Dále byl každému z účastníků předložen formulář „Základní anamnestické údaje účastníka“ (Příloha 3). Ten každý vyplnil dle skutečnosti a poskytl zpětnou vazbu nejen na stravovací návyky každého z respondentů. Všem byl důkladně vysvětlen zákaz příjmu jakýchkoliv jiných doplňků stravy, které by mohly zkreslovat výsledky. Nakonec byli všichni účastníci rozděleni do dvou skupin, lišících se dávkováním kreatinu.

3.3.1 Formulář „Informovaný souhlas“ (Příloha 1)

Tento dokument vznikl z důvodu lepší informovanosti respondenta o celém průběhu studie a autorovi práce poskytl zákonnou ochranu v případě jakýchkoliv komplikací. Každému respondentovi bylo z důvodu zachování jeho osobních údajů přiděleno identifikační číslo, pod kterým se mohl kdykoliv informovat o výsledcích studie. Byla zde popsána skutečnost, že veškerá suplementace, ampulky na moč i kompletní měření v AZ-Fitness v Brně bude zcela zdarma, pokud respondent dodrží pravidelné užívání suplementace dle pokynů a aktivně se bude podílet na všech měřeních. V průběhu studie bylo zakázáno pití alkoholu a užívání jakýchkoliv látek ovlivňující metabolismus jedince. Informace o suplementaci a odběru vzorku byly nakonec stvrzeny podpisem a veškeré dokumenty zůstaly uchovány.

3.3.2 Formulář „základní anamnestické údaje účastníka“ (Příloha 3)

Tento dokument vznikl z důvodu lepšího poznání každého z respondentů, ať už z pohledu jeho zdravotních možností nebo z pohledu jeho stravovacích návyků. Postupně každý zodpověděl řadu otázek týkajících se jeho zdraví jako: pravidelné užívání léků, kouření a výskyt různých zdravotních problémů (alergie, astma, vysoký krevní tlak, vysoká hladina cholesterolu, cukrovka, onemocnění zažívacího traktu, cévní onemocnění, nádorové onemocnění). Dále byly zodpovězeny stejné otázky týkající se rodinné anamnézy (otec, matka a sourozenci). Bylo třeba taktéž zhodnotit současný zdravotní stav respondenta: bez obtíží, zažívací problémy, infekce, alergie a další. Poslední části formuláře byly výživové zvyklosti popisující kromě běžného stravování ještě různé zvláštní výživové zvyklosti (vegetariánství, veganství, dělená strava, makrobiotika a další). Zahrnuté byly i otázky týkající se zkušeností s potravinovými doplňky (vitamíny, antioxidanty, gainery – sacharidový přípravek, proteiny, BCA, kreatin, glutamin a další).

3.4 Skupiny respondentů dle příjmu doplňků stravy

33 respondentů bylo rozděleno do 2 skupin. První skupina byla tvořena 16 a druhá 17 sportovci. Každé skupině bylo podáváno přesně definované množství doplňků stravy, které podrobně popisuje **Tabulka 1**. Dávkování hořčíku (Mg) a vitamínu C (vit C) bylo zvoleno v takové míře, aby zajistilo co nejvyšší synergický účinek v kombinaci s kreatinem (Cr). Samotná délka studie byla zvolena na dva měsíce z důvodu doporučované doby suplementace

kreatinem, která činí alespoň jeden měsíc. Obě skupiny byly zároveň kontrolní, tedy v době, kdy jedna z nich byla aktivně po dobu jednoho měsíce suplementovaná kreatinem, druhá sloužila jako kontrolní soubor a naopak.

Pro každého respondenta skupiny 1 byla navážena denní dávka 3 g čistého kreatinu v prášku a 2 g citrátu hořečnatého odpovídající 200 mg čistého hořčíku. Pro každého respondenta skupiny 2 byla navážena denní dávka 10 g čistého kreatinu v prášku a 2 g citrátu hořečnatého odpovídající 200 mg čistého hořčíku. V tréninkový den byl hořčík společně s kreatinem dávkován ihned po tréninku. V netréninkový den byl hořčík společně s kreatinem dávkován ráno. Vitamín C byl v podobě 1-gramových tablet rozpočítán pro každého respondenta na denní dávku 500 mg. Tato dávka byla rozdělena do dvou menších dávek. V tréninkový i netréninkový den se bralo 250 mg ráno a 250 mg večer.

Na základě rozdílného příjmu denní dávky kreatinu byla vytvořena nulová hypotéza (H_0) a alternativní hypotéza (H_1).

H_0: Menší dávka kreatinu v denní dávce 3 g, povede k stejným výsledkům v oblasti silového trojboje, antropologických změn i obvodové proporcionality jako větší dávka kreatinu v denní dávce 10 g. Samotná metabolizace bude probíhat stejně. Obě skupiny se z hlediska koncentrace kreatininu v moči budou pohybovat ve fyziologických hodnotách.

H_1: Menší dávka kreatinu v denní dávce 3 g, povede k lepším výsledkům v oblasti silového trojboje, antropologických změn i obvodové proporcionality než větší dávka kreatinu v denní dávce 10 g. Samotná metabolizace bude probíhat lépe pro menší dávku kreatinu. Pouze skupina 1 se bude z hlediska koncentrace kreatininu v moči pohybovat ve fyziologických hodnotách.

Tabulka 1: *Denní dávkování doplňků stravy během studie*

	První měsíc			**Druhý měsíc**		
Skupina	Cr [g]	Mg [mg]	Vit C (mg)	Cr [g]	Mg [mg]	Vit C [mg]
1	3	200	500	0	200	500
2	0	200	500	10	200	500

3.5 Sběr biologického materiálu

Každý z respondentů dostal před začátkem studie ampulku na moč označenou příslušným identifikačním číslem. Dva dny před vstupním měřením proběhl na půdě Fakulty chemické ranní sběr vzorku. Jednalo se o jediný z pěti sběrů, který nebyl ovlivněný suplementací. Každý z respondentů postupoval podle přesně daných kritérií, z důvodu zajištění konstantního a co nejefektivnějšího sběru vzorku. K zajištění co nejvyšší stability vitamínu C, který je citlivý na světlo, vzduch, teplo i vlhko, byla moč uchovávaná v tmavých ampulkách naplněných po okraj a ihned po sběru byla moč vložena do lednice v laboratoři. Moč byla odebrána po minimálně dvanáctihodinovém lačnění.

3.6 Tréninkový plán a jídelníček

Respondenti nepostupovali podle striktně daného tréninkového plánu. Důraz byl kladen převážně na anaerobní aktivity (cvičení, sprinty, silové sporty). Účastníkům bylo doporučeno trénovat čtyřikrát do týdne, což se jevilo jako nejefektivnější. Respondenti neměli organizované společné tréninky. Každý trénoval sám, intenzivně, ale podle svých možností.

Každý respondent vyplnil formulář popisující jeho stravovací návyky. Výsledky byly vyhodnocovány s ohledem na tyto údaje.

3.7 Měření v posilovně

3.7.1 Obecné informace

Celý výzkum probíhal po dobu dvou měsíců (osm týdnů) v posilovně AZ-Fitness v Brně. Respondenti byli měřeni v intervalu 14 dní, což i se vstupním měřením odpovídalo pěti setkáním. Výzkum zahrnoval tři typy měření:

- měření vybraných partií krejčovským metrem
- diagnostika InBody
- silový trojboj

Výzkum před začátkem suplementace a po ukončení každého suplementačního období zahrnoval všechny tři typy měření, zatímco v průběhu suplementace byl sledován pouze silový trojboj. Pro lepší orientaci slouží **Tabulka 2**.

Tabulka 2*: Rozpis měření v rámci výzkumu*

Měření	krejčovský metr	InBody	silový trojboj
1	×	×	×
2			×
3	×	×	×
4			×
5	×	×	×

3.7.2 Měření tělesné výšky

Každý respondent byl změřený bez obuvi, ve vzpřímeném postoji. Paty i špičky směřovaly k sobě. Měřila se výška bodu vertex (nejvyšší bod temene hlavy) od roviny, na které respondent stál [31].

3.7.3 Měření vybraných partií krejčovským metrem

Každému respondentovi byla změřena obvodová proporcionalita pomocí plastového krejčovského metru v těchto partiích:

- ramena
- hrudník
- pas
- paže
- stehno

V případě měření obvodu ramen stál respondent zády k trenérovi. Měřila se vzdálenost obou bodů akromion (nadpažků).

V případě měření obvodu hrudníku stál respondent zády k trenérovi. Krejčovský metr se přiložil vpředu na prsní bradavky a vzadu těsně pod dolní úhel lopatek. Paže volně vysely podél těla.

V případě obvodu pasu stál respondent čelem k trenérovi. Obvod byl měřen v nejužším místě pasu.

V případě obvodu paže (bicepsu) stál respondent čelem k trenérovi. Měřil se obvod paže mezi bodem akromiale a hrotem loktu. Paže volně visí podél těla.

V případě obvodu stehna stál respondent čelem k trenérovi. Respondent stál v mírném rozkročení, s napjatými koleny, při rovnoměrném zatížení obou dolních končetin. Měřilo se pod hýždní (gluteální) rýhou.

Měření probíhalo v oddělené místnosti, pouze ve spodním prádle [31].

3.7.4 Diagnostika InBody

Přístroj InBody 170 patří mezi nejspolehlivější přístroje pro diagnostiku a analýzu lidského těla. Dokáže analyzovat široké spektrum hodnot s vysokou spolehlivostí. K samotnému měření používá technologii DSM-BIA, založenou na vodivosti tkáně a jejího odporu. Pomocí osmibodových dotykových elektrod se měří impedance jednotlivých tělních segmentů. Z těch jsou poté stanoveny InBody parametry:

- celková hmotnost
- celkové množství kosterního svalstva
- celkové množství tělesného tuku
- celková voda v těle
- bazální metabolismus

Každý respondent byl změřen na přístroji InBody. Měření probíhalo opět pouze ve spodním prádle. Respondent se postavil bosý na přístroj, nahlásil svoji výšku, věk, uchopil do obou rukou elektrody a po dobu 30 sekund zůstal nehybně stát.

Obrázek 17: *Přístroj pro diagnostiku InBody 160*

3.7.5 Silový trojboj

Respondenti byli informováni o správné technice vykonání všech tří disciplín. Postupně každý z respondentů podstoupil tyto tři disciplíny:

- tlak na lavici (bench-press)
- mrtvý tah (dead-lift)
- dřep (squat)

K dispozici byly pásy na zpevnění zad i odborný dozor trenérů. Respondenti postupovali od nejnižších vah po své maximální a v průběhu každého výkonu se navzájem jistili.

3.8 Stanovení vitamínu C metodou RP-HPLC

3.8.1 Kalibrace a optimalizace metody

Tabulka 3: *Nastavení vstupních parametrů*

Doba analýzy	20 minut
Průtok mobilní fáze	0,6 ml/min
Objem nástřiku	5 µl
Termostat kolony	25 °C
Detekce DAD	254 nm

Byla připravena mobilní fáze fosfátového pufru dihydrogenfosforečnanu draselného (KH_2PO_4) o koncentraci 0,11 mol/l. Dále byl připraven 3% roztok methanolu, který byl smíchán s mobilní fází v poměru 3:97. Časovou závislost zvyšování poměru methanolu v mobilní fázi popisuje **Tabulka 4**.

Byl připraven 2% roztok kyseliny (meta)fosforečné (HPO_3), pomocí které byla připravena kalibrační řada kyseliny askorbové v rozmezí koncentrace od 10–100 mg/l. Standardy byly v tmavých vialkách vloženy do autosampleru a následně proměřeny proti blanku (2% HPO3). Detektor UV-VIS byl nastaven na vlnovou délku 254 nm a pomocí RP-HPLC, gradientovou elucí byly proměřeny všechny standardy.

Tabulka 4: *Časová závislost zvyšování methanolu v mobilní fázi*

Čas [min]	Mobilní fáze [%]	Methanol [%]
0	97	3
7	80	20
11	97	3

3.8.1.1 Vliv močové matrice

Kalibrační řada vitamínu C byla stanovována v HPO_3 matrici. Biologické vzorky byly měřeny v močové matrici. Z toho důvodu bylo potřeba otestovat metodou standardního přídavku vliv močové matrice na koncentraci vitamínu C. Byl připraven biologický vzorek, který byl v tmavé vialce vložen do autosampleru. Měření proběhlo za stejných podmínek. V druhém kroku byl stejný biologický vzorek smíchán se standardem vitamínu C o koncentraci 100 mg/l v poměru 1:1 a opětovně proměřen při stejných podmínkách.

3.8.2 Analýza biologického vzorku

Z každé ampulky byl odpipetován objem 1 ml biologického vzorku do tmavých vialek. Ty byly opatrně vloženy do autosampleru a změřeny proti blanku (2% metafosforečná kyselina).

Obsah vitamínu C byl stanovený metodou RP-HPLC, gradientovou elucí s použitím detektoru UV-VIS nastaveného na 254 nm. Výsledky byly vyhodnoceny pomocí programu Xcalibur.

3.9 Stanovení kreatininu metodou UV-VIS spektrofotometrie

3.9.1 Kalibrace a optimalizace metody

Stanovení bylo provedeno kolorimetrickou Jaffeho reakcí. Jedná se o neenzymatický přístup kinetického stanovení kreatininu bez deproteinace [32]. Kreatinin reaguje v alkalickém prostředí s kyselinou pikrovou za vzniku žluto-oranžového komplexu. Intenzita zabarvení je přímo úměrná koncentraci kreatininu ve vzorku. Kinetický způsob měření, který se v současné době jeví jako nejpřesnější, spočívá ve fotometrickém měření nárůstu absorbance vznikajícího barevného komplexu za časovou jednotku [32].

Byla připravena kalibrační řada kreatininu v rozmezí od 15–150 μmol/l. Dále byl připraven vodný roztok kyseliny pikrové o koncentraci 16,8 mmol/l a hydroxidu sodného o koncentraci 0,75 mol/l. Kyselina pikrová byla z důvodu nízké rozpustnosti zahřívána ve vodní lázni při teplotě 45 °C po dobu 10 minut. Roztok kyseliny pikrové byl smíchán s roztokem hydroxidu sodného v poměru 3:1.

Dále byly použity připravené standardy v objemu 0,5 ml a doplněné objemem 1,6 ml pikrátu sodného. Ihned po přenesení požadovaného objemu roztoku pikrátu sodného do plastové kyvety se standardem začala probíhat reakce. Všechny standardy byly proměřeny při vlnové délce 510 nm proti blanku, který tvořil objem 0,5 ml H_2O doplněný objemem 1,6 ml pikrátu sodného. Od 30 sekundy byl v intervalu 10 sekund zaznamenáván nárůst absorbance v čase. Byla vynesena časová závislost absorbance. Lineární část závislosti byla označena jako tg(α) a vynesena v závislosti na koncentraci. Tím byla sestavena kalibrační závislost změny absorbance v čase na koncentraci kreatininu [32].

3.9.1.1 Vliv močové matrice

Kalibrační řada kreatininu byla stanovena ve vodné matrici. Biologické vzorky byly měřeny v močové matrici. Z toho důvodu bylo třeba otestovat metodou standardního přídavku vliv močové matrice na koncentraci kreatininu. Byl připraven biologický vzorek, který byl padesátkrát zředěný vodou. Z takto připraveného roztoku bylo odebráno 0,5 ml vzorku do plastové kyvety, do které bylo přidáno 1,6 ml pikrátu sodného. Vzorek byl poté standardně proměřen dle postupu 3.9.1 a výsledná kinetická závislost zaznamenána. V druhém kroku byl shodně připravený biologický vzorek zředěn nejvyšším bodem kalibrační řady o koncentraci 150 μmol/l, v poměru 1:1 na objem 0,5 ml a doplněný objemem 1,6 ml pikrátu sodného. Stejným způsobem byla změřena koncentrace kreatininu ve vzorku.

3.9.1.2 Testování linearity odezvy pro vyšší koncentrace kreatininu

Bylo potřeba zjistit, zda je kolorimetrická stanovení využívající Jaffeho reakci lineární v rozsahu od 0–1200 μmol/l. Byl připraven standard o koncentraci 1200 μmol/l, který byl proměřen postupem uvedeným v kapitole 3.9.1.

3.9.1.3 Vliv vitamínu C jako potenciálního pozitivního chromogenu

Byl připraven roztok kyseliny askorbové o koncentraci 1 g/l, který byl dostačující pro otestování vlivu jako možného interferujícího chromogenu Jaffeho reakce. Standard kreatininu o koncentraci 150 μmol/l byl zředěn roztokem kyseliny askorbové v poměru 1:1 na objem 0,5 ml a doplněný objemem 1,6 ml pikrátu sodného. Stejným způsobem byla změřena

koncentrace kreatininu ve vzorku. Pro jistotu bylo stejné měření provedeno i s vodou, která nahradila roztok kyseliny askorbové a opětovně byla změřena koncentrace kreatininu.

3.9.2 Analýza biologického vzorku

Postupem uvedeným v kapitole 3.9.1 byl připraven roztok pikrátu sodného. Biologické vzorky respondentů označené identifikačními čísly byly padesátkrát zředěny a odpipetovány do plastových zkumavek ve výsledném objemu 5 ml. Přístroj byl nastaven na vlnovou délku 510 nm a do plastové kyvety byl připraven blank (0,5 ml vody a 1,6 ml pikrátu sodného). Z plastové zkumavky byl odebrán objem 0,5 ml biologického vzorku a přidáno 1,6 ml pikrátu sodného. Každý biologický vzorek byl proměřen a výsledky kinetického stanovení byly zaznamenány přímo do excelu.

3.10 Stanovení hořčíku metodou ICP-OES

3.10.1 Kalibrace a optimalizace metody

Tabulka 5*: Nastavení vstupních parametrů*

Příkon do plazmy	1200W
Průtok plazmového plynu (Ar)	13 l/min
Průtok pomocného plynu (Ar)	0,5 l/min
Tlak na zmlžovači	0,3 MPa

Byla připravena kalibrační řada hořčíku v rozmezí koncentrace od 1–10 mg/l. Standardy ve výsledném objemu 10 ml byly proměřeny v plastových zkumavkách proti blanku (deionizovaná voda) metodou ICP-OES.

3.10.1.1 Vliv močové matrice

Kalibrační řada hořčíku byla stanovena ve vodné matrici. Biologické vzorky byly měřeny v močové matrici. Z toho důvodu bylo třeba otestovat metodou standardního přídavku vliv močové matrice na koncentraci hořčíku v biologickém vzorku. Biologický vzorek byl desetkrát zředěn deionizovanou vodou, vložen do přístroje ICP-OES a při stejných podmínkách proměřen proti blanku (deionizovaná voda). V druhém kroku byl k shodně připravenému biologickému vzorku přidán standard hořčíku o koncentraci 10 mg/l v poměru 1:1 a při stejných podmínkách znovu proměřen.

3.10.2 Analýza biologického vzorku

Biologické vzorky označené identifikačními čísly respondentů byly acidifikovány koncentrovanou (37%) kyselinou chlorovodíkovou. Tím byly rozpuštěné všechny soli v moči včetně hořčíku. Každý vzorek byl desetkrát zředěn deionizovanou vodou a pomocí přístroje ICP-OES analyzován proti blanku (deionizované vodě).

3.11 Statistické zpracování výsledků

Praktické využití vyhodnocování experimentálních dat prostřednictvím statistických metod, představuje v klinickém výzkumu jeden z nejdůležitějších pohledů na relevantnost výsledků. Kapitoly 4.2 a 4.3 hodnotí statistickou signifikantnost naměřených výsledků pomocí statistického rozptylu, tzv. ANOVA testu. Jedná se o základní statistickou parametrickou metodu pro testování hypotéz. Všechna zhodnocení probíhají na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$. To znamená, že pravděpodobnost získání falešně pozitivního výsledku

je 5 %. Jistota správného rozhodnutí tedy činí 95 %. Pro obě kapitoly byly definovány dvě hypotézy.

H_0: Nulová hypotéza říká, že mezi testovaným souborem není statisticky signifikantní rozdíl – hodnoty se neliší. Obecný zápis: $\mu_1 = \mu_2$.

H_1: Alternativní hypotéza říká, že mezi testovaným souborem existuje statisticky signifikantní rozdíl – hodnoty se liší. Obecný zápis: $\mu_1 \neq \mu_2$ [35]

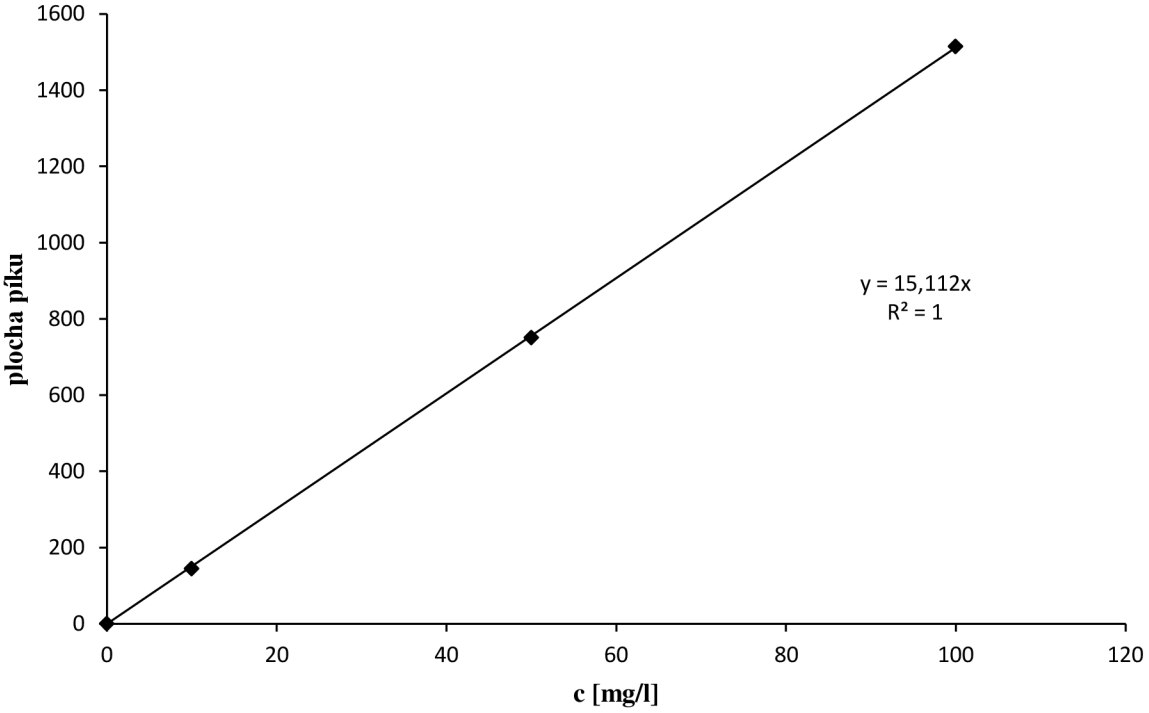
4. VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Kalibrace analytických metod pro stanovení metabolických parametrů

4.1.1 Kalibrační přímka vitamínu C

Byla připravena kalibrační řada kyseliny askorbové. Jak je z grafu vidět v rozsahu koncentrace od 0–100 mg/l je lineární.

Graf 1: *Kalibrační závislost plochy píku na koncentraci vitamínu C v biologickém vzorku*



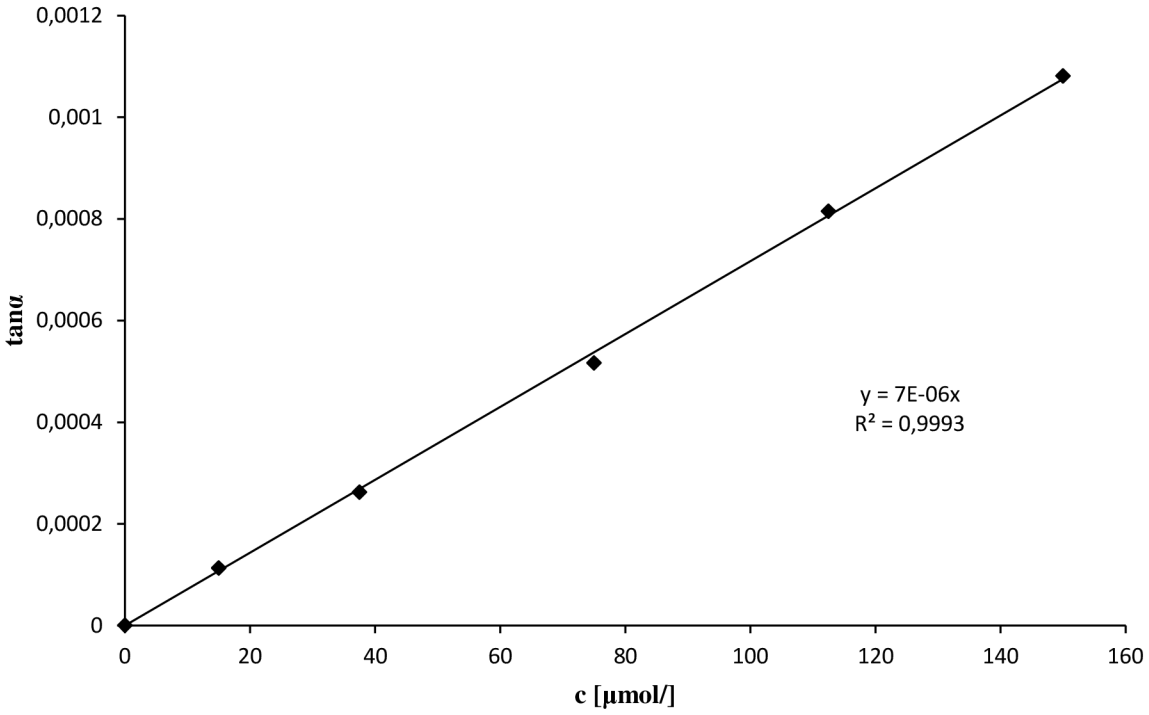
4.1.1.1 Vliv močové matrice

Biologický vzorek o koncentraci 50,37 mg/l byl smíchán v poměru 1:1 se standardem vitamínu C o koncentraci 100 mg/l. Předpokládaná koncentrace činila 75,2 mg/l. Výsledná koncentrace byla stanovena na 75,2 mg/l. Metodou standardního přídavku byla zjištěna výtěžnost R = 100 %. Nebyl prokázán žádný vliv močové matrice na koncentraci vitamínu C v biologickém vzorku.

4.1.2 Kalibrační přímka kreatininu

Byla připravena kalibrační řada kreatininu. Jak je z grafu vidět v rozsahu koncentrace od 0–150 µmol/l je lineární.

Graf 2*: Kalibrační závislost změny absorbance v čase na koncentraci*



4.1.2.1 Vliv močové matrice

Biologický vzorek o koncentraci 355,4 µmol/l (před zředěním) byl smíchán v poměru 1:1 se standardem kreatininu o koncentraci 150 µmol/l. Předpokládaná koncentrace činila 252,7 µmol/l. Výsledná koncentrace byla stanovena na 251,6 µmol/l. Metodou standardního přídavku byla zjištěna výtěžnost R = 99,56 %. Močová matrice nemá na koncentraci kreatininu v biologickém vzorku žádný vliv.

4.1.2.2 Testování linearity odezvy pro vyšší koncentrace kreatininu

Bylo prokázáno, že kolorimetrické stanovení využívající Jaffeho reakce, je lineární v rozsahu od 0–1200 µmol/l. Hodnota spolehlivosti $R^2 = 0,9989$.

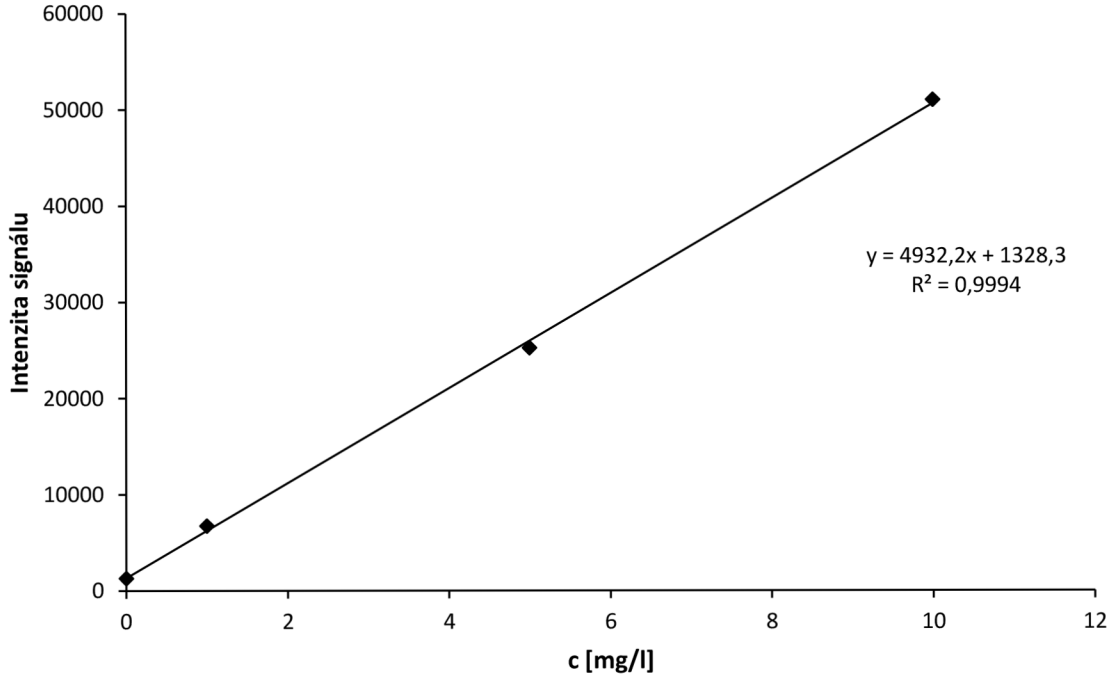
4.1.2.3 Vliv vitamínu C jako potenciálního Jaffeho pozitivního chromogenu

Standard kreatininu o koncentraci 150 µmol/l byl zředěn roztokem vitamínu C o koncentraci 1 g/l v poměru 1:1. Předpokládaná koncentrace činila 75 µmol/l. Výsledná koncentrace byla stanovena na 75,2 µmol/l. Metodou standardního přídavku byla zjištěna výtěžnost R = 100,27 %. Bylo zjištěno, že vitamín C v koncentraci značně převyšující referenční hodnoty v moči, nevykazuje potenciál interferujícího chromogenu v Jaffeho reakci.

4.1.3 Kalibrační přímka hořčíku

Byla připravena kalibrační řada hořčíku. Jak je z grafu vidět v rozsahu koncentrace od 1–10 mg/l je lineární.

Graf 3: *Kalibrační závislost změny emise v čase na koncentraci*



4.1.3.1 Vliv močové matrice

Biologický vzorek o koncentraci 103,09 mg/l byl smíchán v poměru 1:1 se standardem hořčíku o koncentraci 10 mg/l. Předpokládaná koncentrace činila 56,55 mg/l. Výsledná koncentrace byla stanovena na 56,49 mg/l. Metodou standartního přídavku byla zjištěna výtěžnost R = 99,89 %. Bylo zjištěno, že močová matrice nemá na koncentraci hořčíku v biologickém vzorku žádný vliv.

4.2 Stanovení metabolitů v biologických vzorcích

4.2.1 Stanovení vitamínu C metodou RP-HPLC

Koncentrace vitamínu C v moči byla stanovována dle postupu uvedeného v kapitole 3.8.2.

Tabulka 6: *Analyzované množství vitamínu C v biologickém vzorku metodou RP-HPLC*

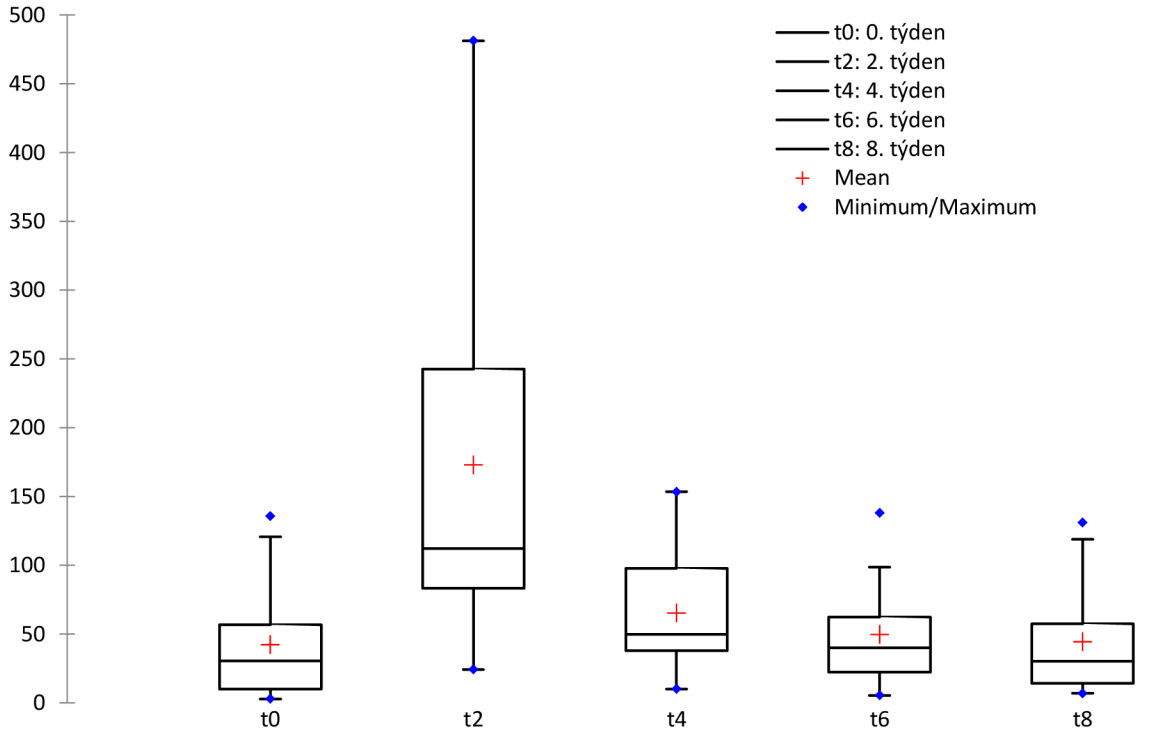
Týden	**0**	**2**	**4**	**6**	**8**
Vzorek	**c [mg/l]**	**c [mg/l]**	**c [mg/l]**	**c [mg/l]**	**c [mg/l]**
1	50,4	55,8	48,3	51,3	51,7
2	53,6	54,0	58,4	56,2	57,4
3	63,9	87,0	72,6	66,4	65,2
4	66,0	147,8	99,8	82,3	64,3
5	5,2	54,4	37,9	9,5	8,4
6	99,3	109,0	99,5	95,0	98,2
7	131,0	481,3	153,4	132,5	129,9
8	56,8	433,7	118,8	62,3	55,8
9	8,8	443,4	114,5	42,4	19,9
10	3,0	86,8	34,7	22,3	7,0
11	120,8	242,5	149,0	132,8	118,9
12	39,0	150,9	39,7	38,7	38,9
13	14,2	46,9	34,3	10,7	14,1
14	23,9	24,2	19,9	12,0	28,0
15	3,9	112,1	48,9	31,5	6,9
16	5,3	199,9	34,8	13,3	12,0
17	10,6	264,5	69,0	48,2	9,8
18	2,8	100,3	49,8	34,1	16,7
19	5,3	259,3	10,0	5,4	11,9
20	11,9	82,9	49,9	30,4	11,3
21	29,7	75,2	41,7	32,8	24,1
22	52,9	124,2	64,8	43,8	54,8
23	32,3	97,6	29,8	37,6	30,9
24	18,0	478,6	29,9	20,5	23,7
25	49,7	76,9	42,5	43,8	53,2
26	17,7	243,1	97,6	22,0	23,2
27	10,0	83,2	67,8	39,9	9,7
28	91,3	156,6	104,3	98,7	109,8
29	52,2	88,8	45,5	49,9	47,9
30	30,4	445,8	41,3	39,2	30,2
31	135,7	152,4	137,8	138,0	131,0
32	87,8	145,1	89,4	84,8	79,5
33	9,8	100,9	14,9	11,6	14,3
Průměr	**42,2**	**172,9**	**65,2**	**49,7**	**44,2**
STD	**38,4**	**134,4**	**38,3**	**35,8**	**36,9**

Tabulka 6 popisuje koncentraci kyseliny askorbové v biologickém vzorku každého respondenta. Najdeme zde zprůměrované hodnoty koncentrace všech respondentů v průběhu celého výzkumu včetně směrodatných odchylek. Respondenti užívali vitamín C po celou dobu studie v konstantním množství (500 mg denně).

Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla vyvrácena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a potvrzena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Výsledná hodnota $p = 0{,}0001$ svědčí o statisticky signifikantním rozdílu mezi hodnotami. Pravděpodobnost správného vyvrácení nulové hypotézy je 99,99 %.

Z tabulky 5 vyplývá, že suplementace vitamínu C podstatně zvýšila hodnoty vyloučené kyseliny askorbové močí v průběhu prvních 14 dnů. Tyto hodnoty se po měsíci užívání a pravidelné fyzické zátěži začaly postupně snižovat a po 2 měsících byly pozorovány hodnoty velmi podobné hodnotám ze vstupního měření. Tenhle fakt potvrzuje důležitost suplementace vitamínu C v průběhu fyzicky náročného období. Z tabulky je dobře vidět, že adaptace na 500 mg denní dávky vitamínu C rozdělené do dvou menších dávek trvá v rozmezí od 14 dnů do 1 měsíce. Z hlediska využitelnosti takové dávky je důležitá nadměrná fyzická, či psychická zátěž. V takovém období jsou nároky na příjem vitamínu C až desetkrát vyšší. Porovnáme-li průměrnou doporučovanou denní dávku kyseliny askorbové v České republice, zjistíme, že její hodnota pro nesportující populaci je zhruba 80 mg [33]. Fyzická i psychická zátěž, zánět, nemoc, kouření i stres jsou všechno faktory zvyšující potřebu vitamínu C. Pro zvýšení efektivity suplementace by mohlo být dobré rozdělit dávku ještě do více menších dávek. Jednorázová vyšší dávka vitamínu C by totiž vedla k nedostatečné absorpci vitamínu střevem do krve a značná část by byla vyloučená stolicí. Další ztráty by bylo možné uvažovat z důvodu rychlého zvýšení hladiny v séru, která by vedla ke zvýšenému vylučování vitamínu C ledvinami do moči [23].

Graf 4: *Průměrná koncentrace vitamínu C v biologickém vzorku respondentů v průběhu výzkumu*



Graf 4 srovnává přehledně průměrnou koncentraci vitamínu C v biologických vzorcích po celou dobu výzkumu. V druhém týdnu je dobře vidět značný rozdíl mezi aritmetickým průměrem a mediánem, což svědčí o nerovnoměrném rozložení dat. Směrodatná odchylka směřuje spíše k vyšším hodnotám, což nasvědčuje zvýšenému vylučování vitamínu C do moči. Při vstupním měření, šestém a osmém týdnu byly zaznamenány odchýlené hodnoty.

Z grafu je patrné rychlé zvyšování vyloučené kyseliny askorbové během 14 dnů po suplementaci. Toto zvýšení je statisticky signifikantní. Po měsíci užívání vitamínu C se již hladina optimalizovala a na konci výzkumu je velmi podobná původním hodnotám. Můžeme sledovat, jak s rostoucí délkou suplementace klesá vylučování vitamínu C močí. To by mohlo znamenat, že vstřebávání a tudíž i celková využitelnost kyseliny askorbové by měla dosahovat v silovém trojboji velkého významu.

4.2.2 Stanovení kreatininu metodou UV-VIS

Koncentrace kreatininu v moči byla stanovována dle postupu uvedeného v kapitole 3.9.1. Vzhledem k množství biologických vzorků byla koncentrace kreatininu stanovována v každém vzorku jen jednou.

***Tabulka 7**: Analyzované množství kreatininu v biologickém vzorku metodou UV-VIS*

Skupina 1					
Týden	**0**	**2**	**4**	**6**	**8**
Vzorek	**c [mmol/l]**	**c [mmol/l]**	**c [mmol/l]**	**c [mmol/l]**	**c [mmol/l]**
1	17,8	18,0	17,7	17,5	17,5
8	11,1	12,5	12,7	12,0	11,7
11	19,0	20,3	21,0	19,0	17,8
12	18,4	19,3	20,5	19,3	18,9
13	13,4	14,2	14,9	13,5	13,4
16	6,8	7,3	8,7	5,5	5,2
17	5,4	7,2	8,1	6,2	5,9
21	10,6	11,4	11,8	10,8	10,6
22	11,3	10,0	14,5	9,7	10,8
23	15,9	16,3	16,4	16,0	15,8
24	16,2	17,8	17,8	16,6	16,9
27	15,3	17,1	18,5	16,5	16,4
28	16,1	17,5	18,2	17,5	16,7
30	12,3	13,6	14,3	13,2	12,6
32	9,6	11,5	11,5	10,8	9,7
33	8,2	9,3	10,1	9,2	8,8
Průměr	**12,9**	**14,0**	**14,8**	**13,3**	**13,0**
STD	**4,1**	**4,1**	**3,9**	**4,2**	**4,2**

Tabulka 7 popisuje koncentraci kreatininu v biologickém vzorku každého respondenta skupiny 1. Najdeme zde zprůměrované hodnoty koncentrace respondentů příslušné skupiny v rámci celého výzkumu, včetně směrodatných odchylek.

Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla potvrzena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a tudíž vyvrácena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Výsledná hodnota $p = 0{,}7206$ svědčí o statisticky nesignifikantním rozdílu mezi hodnotami. Je patrné, že nižší dávka kreatinu (3 g denně) neměla statisticky signifikantní vliv na vylučování kreatininu močí. Navzdory tomu **Graf 5** vykazuje opticky lehké zvýšení koncentrace kreatininu v moči již po 14 dnech. V průběhu celého měsíce se průměrná koncentrace kreatininu zvyšovala rovnoměrně.

V druhém měsíci, bezprostředně po vysazení kreatinu jako doplňku stravy sledujeme rychlé snížení hladiny kreatininu v moči. Toto snížení vede téměř k původní hodnotě před suplementací. Graf tedy svědčí o lehkém zvýšení vyloučeného kreatininu močí i po poměrně nízké dávce kreatinu. Celková využitelnost kreatinu bude diskutována v kombinaci s výsledky silového trojboje a antropologických změn dále.

Tabulka 8*: Analyzované množství kreatininu v biologickém vzorku metodou UV-VIS*

Skupina 2					
Týden	**0**	**2**	**4**	**6**	**8**
Vzorek	**c [mmol/l]**	**c [mmol/l]**	**c [mmol/l]**	**c [mmol/l]**	**c [mmol/l]**
2	3,8	5,5	5,4	9,5	10,2
3	12,6	12,3	11,3	17,0	18,0
4	20,8	21,7	21,7	22,2	26,7
5	8,8	6,6	7,5	10,5	11,9
6	12,8	14,0	14,0	16,6	16,1
7	10,9	12,1	12,0	16,1	17,6
9	12,4	11,0	12,3	14,6	19,3
10	14,7	10,8	10,5	15,2	15,5
14	20,0	21,4	21,6	23,3	30,7
15	9,0	10,2	8,4	10,0	10,4
18	16,4	18,0	15,3	19,0	18,0
19	11,9	11,7	10,1	17,2	22,3
20	10,7	13,7	15,8	16,3	21,7
25	25,7	25,0	25,1	27,5	28,1
26	20,8	19,2	19,8	20,3	20,9
29	14,8	13,8	15,8	17,7	17,0
31	11,3	10,3	10,1	13,1	13,1
Průměr	**14,0**	**14,0**	**13,9**	**16,8**	**18,7**
STD	**5,2**	**5,2**	**5,3**	**4,6**	**5,8**

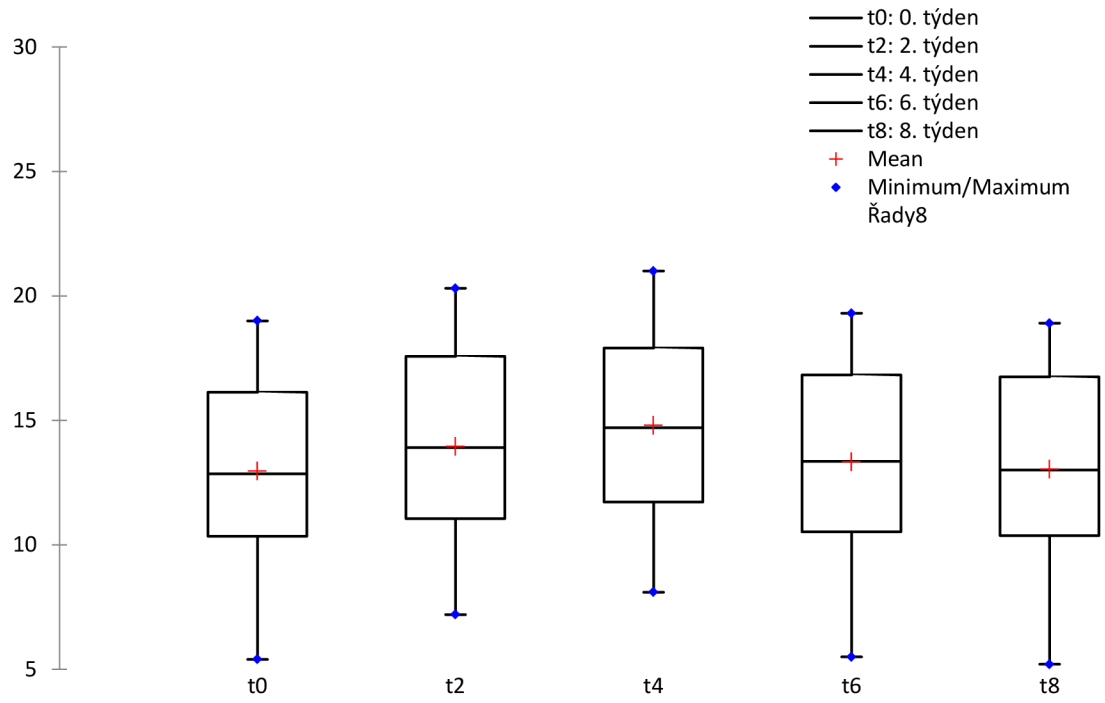
Tabulka 8 popisuje koncentraci kreatininu v biologickém vzorku každého respondenta skupiny 2. Najdeme zde zprůměrované hodnoty koncentrace respondentů příslušné skupiny v průběhu celého výzkumu, včetně směrodatných odchylek.

Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu (**Graf 6**). Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla vyvrácena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a potvrzena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Výsledná hodnota $p = 0{,}0331$ svědčí o statisticky signifikantním rozdílu

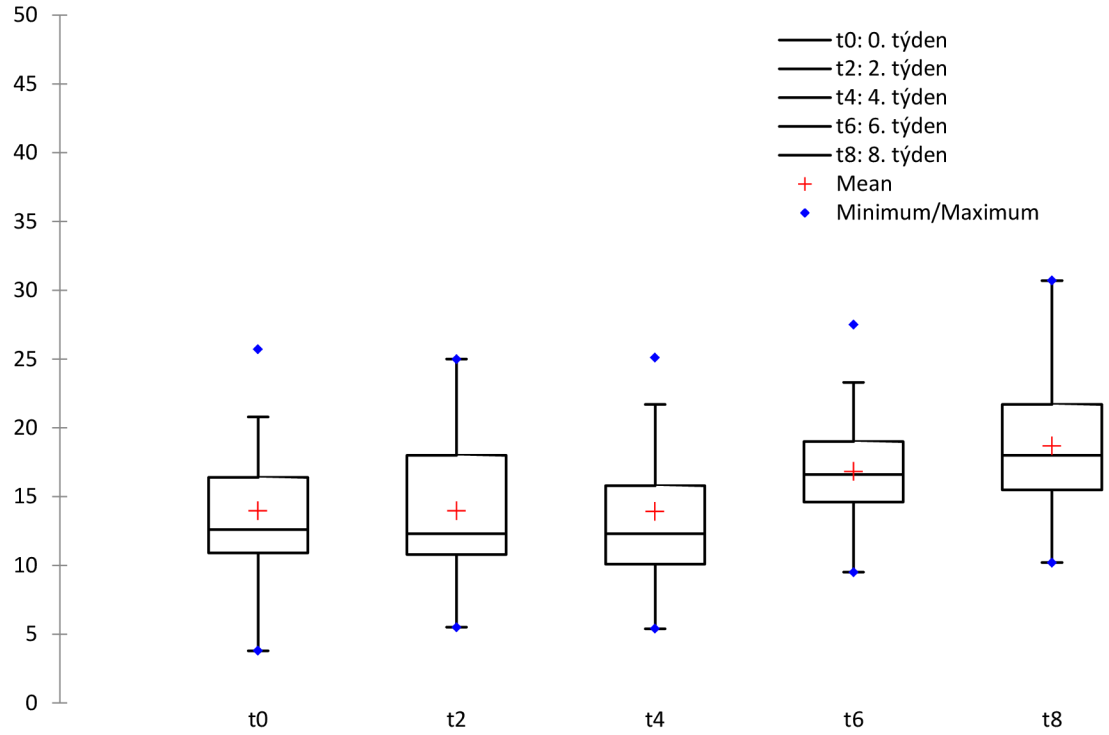
mezi hodnotami. Pravděpodobnost správného zamítnutí nulové hypotézy je téměř 97 %. Je patrné, že vyšší dávka kreatinu (10 g denně) měla podstatně vyšší vliv na množství vyloučeného kreatininu močí. Skupina 2 na rozdíl od skupiny 1 byla suplementována až ve druhém měsíci. Vstupní hodnota se tedy od hodnot v prvním měsíci prakticky neliší. Okamžité zvýšení nastává ihned po suplementaci kreatinem a v průběhu druhého měsíce tedy sledujeme podstatné zvýšení kreatininu v moči.

Porovnáme-li tedy oba grafy (**Graf 5**, **Graf 6**), zjistíme, že suplementace kreatinem v menší dávce vede k menšímu nárůstu koncentrace kreatininu v lidské moči, který ovšem není statisticky signifikantní. Tato změna se pohybuje stále ve fyziologickém rozmezí, které činí 5,7–14,8 mmol/l [32]. Suplementace vyšším množstvím kreatinu vede již k statisticky signifikantnímu zvýšení koncentrace kreatininu v moči. Toto zvýšení se již pohybuje nad fyziologickou hodnotou, konkrétně 18,67 mmol/l. Dávkování 3 g denně se jeví jako smysluplnější, z hlediska metabolizace a následné využitelnosti. Méně zasahuje do fyziologických hodnot metabolických pochodů a zbytečně nezatěžuje ledviny.

Graf 5: *Průměrná koncentrace kreatininu skupiny 1 v biologickém vzorku v průběhu výzkumu*



Graf 6: *Průměrná koncentrace kreatininu skupiny 2 v biologickém vzorku v průběhu výzkumu*



Graf 5 popisuje průměrnou koncentraci kreatininu v biologickém vzorku respondentů skupiny 1. Hodnoty aritmetického průměru a mediánu jsou v každém měření téměř totožné, což svědčí o relativně rovnoměrném rozložení dat. Směrodatná odchylka se přiklání v druhém a čtvrtém týdnu měření (suplementace kreatinem 3 g denně) spíše k vyšším hodnotám, zatímco při vstupním měření a po suplementaci jsou její hodnoty spíše v nižších hodnotách. Tento fakt opět poukazuje na lehké zvýšení kreatininu v moči v období suplementace, které ovšem není statisticky signifikantní.

Graf 6 popisuje průměrnou koncentraci kreatininu v biologickém vzorku respondentů skupiny 2. Zde se již hodnoty aritmetického průměru a mediánu s výjimkou šestého týdnu lehce rozcházejí. Můžeme sledovat i odlehlé hodnoty při vstupním, čtvrtém a šestém týdnu. V osmém týdnu je vidět, že směrodatná odchylka směřuje spíše k vyšším hodnotám. Suplementace kreatinem 10 g denně vede k statisticky signifikantnímu rozdílu v osmém týdnu suplementace. Toto zvýšení se pohybuje již mimo fyziologické hodnoty.

4.2.3 Stanovení hořčíku metodou ICP-OES

Koncentrace hořčíku v moči byla stanovována dle postupu uvedeného v kapitole 3.10.2. Vzhledem k množství biologických vzorků byla koncentrace kreatininu stanovována v každém vzorku jen jednou.

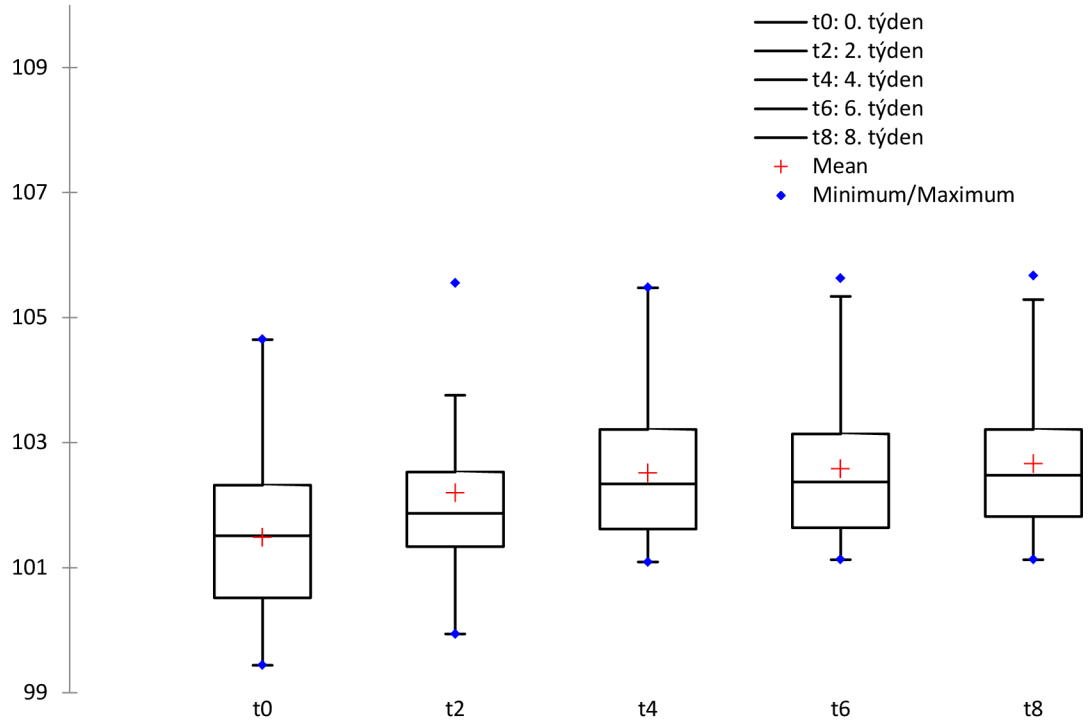
Tabulka 9*: Analyzované množství hořčíku v biologickém vzorku metodou ICP-OES*

Týden	**0**	**2**	**4**	**6**	**8**
Vzorek	**c [mg/l]**	**c [mg/l]**	**c [mg/l]**	**c [mg/l]**	**c [mg/l]**
1	103,09	105,55	105,48	105,63	105,67
2	99,47	103,13	103,24	102,99	103,21
3	102,32	101,87	102,31	101,98	101,87
4	102,93	103,29	103,32	103,21	103,34
5	99,67	99,94	101,21	101,13	101,34
6	102,54	101,68	101,24	101,64	101,71
7	100,71	101,69	101,67	101,58	101,59
8	101,51	102,39	102,34	102,37	102,64
9	102,52	103,21	103,24	103,29	103,30
10	100,79	101,54	101,39	101,31	101,72
11	100,88	100,97	101,21	101,13	101,16
12	101,78	101,93	101,98	102,31	102,18
13	101,67	101,43	101,62	101,67	101,82
14	102,31	102,47	103,12	102,89	102,75
15	101,47	101,49	102,34	102,21	102,31
16	100,51	102,53	102,98	103,34	103,28
17	100,25	101,24	102,34	102,45	102,48
18	101,19	100,83	103,24	103,21	103,48
19	100,52	100,98	101,13	101,27	101,42
20	101,93	101,97	102,12	102,09	101,13
21	100,78	101,31	101,09	101,51	102,37
22	104,65	105,21	105,24	105,34	105,29
23	100,04	101,34	101,48	101,52	101,64
24	100,04	101,24	101,31	101,65	101,97
25	103,24	103,76	103,84	103,87	103,94
26	101,98	101,78	102,48	102,74	102,87
27	102,33	102,21	102,89	102,94	102,78
28	101,38	102,33	102,09	102,98	103,21
29	104,38	105,21	105,24	105,16	105,32
30	99,64	101,58	101,67	101,87	102,04
31	101,58	103,21	102,98	103,14	103,05
32	101,51	101,87	103,21	103,10	102,99
33	99,44	101,24	101,87	101,54	101,87
Průměr	**101,49**	**102,19**	**102,51**	**102,58**	**102,66**
STD	**1,28**	**1,25**	**1,15**	**1,14**	**1,12**

Tabulka 9 popisuje koncentraci hořčíku v biologickém vzorku v průběhu celého výzkumu. Najdeme zde zprůměrované hodnoty koncentrace u všech respondentů v průběhu celého výzkumu, včetně směrodatných odchylek.

Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla vyvrácena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a potvrzena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Pravděpodobnost správného vyvrácení nulové hypotézy je 99,97 %. Výsledná hodnota $p = 0{,}0007$ svědčí o statisticky signifikantním rozdílu mezi hodnotami.

Graf 7: *Průměrná koncentrace hořčíku v biologickém vzorku v průběhu výzkumu*



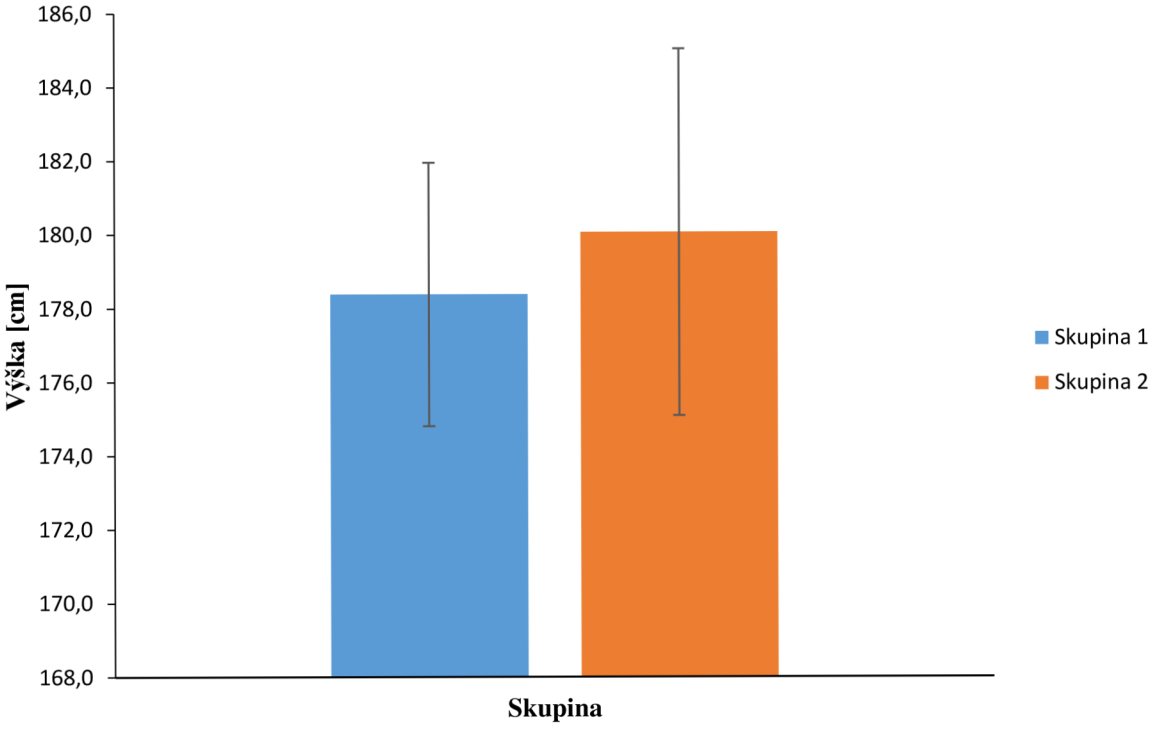
Graf 7 popisuje průměrnou koncentraci hořčíku v biologickém vzorku u všech respondentů v rámci celého výzkumu. Z grafu je patrné, že hodnoty mediánu a aritmetického průměru s výjimkou vstupního měření se lehce liší, směrodatné odchylky směřují s výjimkou druhého týdne do vyšších hodnot a v druhém, šestém i osmém týdnu můžeme vidět odchýlené hodnoty. Je patrné, že dvouměsíční konstantní suplementace hořčíkem (200 mg denně) vyvolala lehké zvýšení vyloučeného hořčíku močí. Zvýšení je patrné již po 14 dnech suplementace a pozvolně se zvyšuje v průběhu celého výzkumu. Samotná suplementace vede vzhledem k vstupní hodnotě k statisticky signifikantnímu zvýšení odpadního hořčíku. Stále se ovšem pohybujeme ve fyziologických hodnotách, které činí (31–200 mg/l) [32]. Z výsledků tedy můžeme usoudit, že podstatná část suplementace byla tělem využita a zároveň nedošlo k takovému zvýšení hořčíku v séru, které by vedlo k podstatně vyššímu vyloučení hořčíku močí.

4.3 Posilovací blok

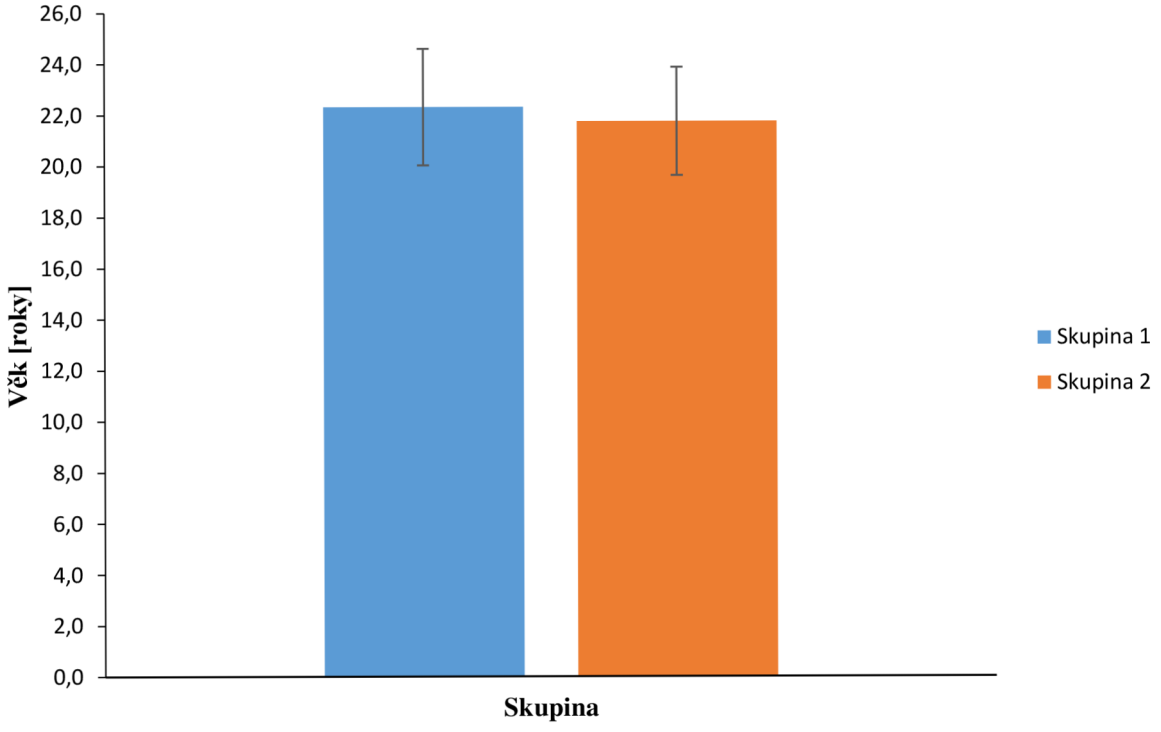
Každý z respondentů uvedl svůj věk ve formuláři „Základní anamnestické údaje účastníka“ (Příloha 3). Poté byla každému účastníkovi změřena tělesná výška podle postupu uvedeného v kapitole 3.7.2.

4.3.1 Charakteristika respondentů z hlediska výšky a věku

Graf 8: *Průměrná výška respondentů obou skupin*



Graf 9: *Průměrný věk respondentů obou skupin*

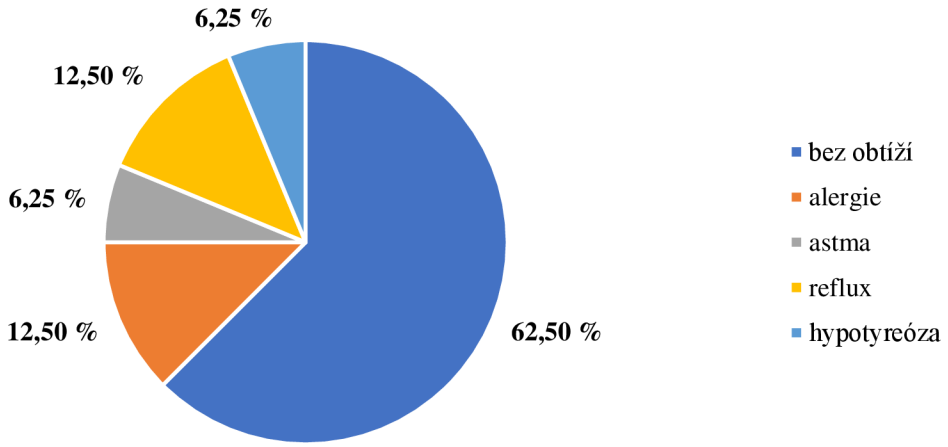


Všechny hodnoty výšky a věku respondentů nalezneme v Příloze 2, **Tabulka 31**. Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla v obou případech potvrzena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a tudíž vyvrácena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Výsledné hodnoty pro výšku $p = 0{,}1892$ a pro věk $p = 0{,}5410$ svědčí o statisticky nesignifikantním rozdílu mezi hodnotami. Vzhledem k těmto výsledkům a vysokým směrodatným odchylkám lze považovat obě skupiny z hlediska výšky i věku za srovnatelné.

4.3.2 Zdravotní stav respondentů

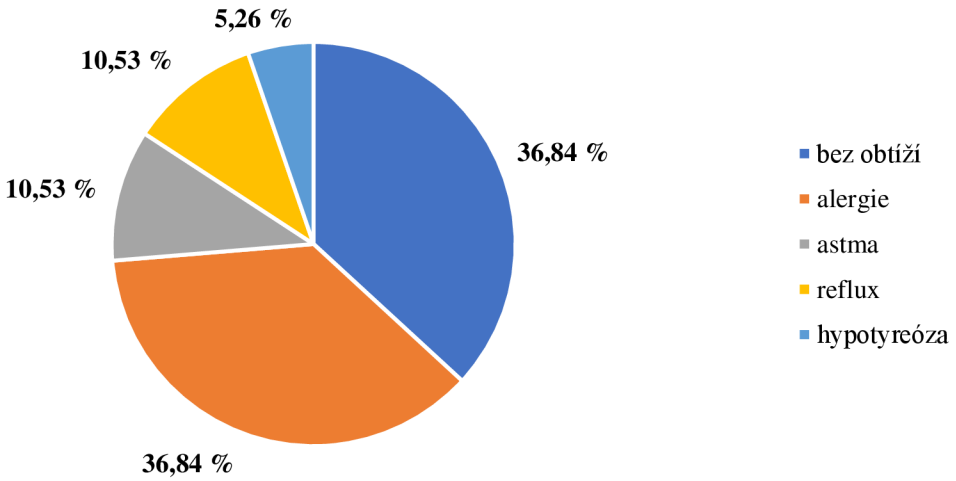
Následující část je zaměřena na vyhodnocení dotazníků s osobní anamnézou a stravovacími zvyklostmi respondentů (Příloha 3)

Graf 10: *Zhodnocení zdravotního stavu respondentů skupiny 1*



Graf 10 popisuje zdravotní stav respondentů skupiny 1. Z grafu je patrné, že zhruba 2/3 respondentů hodnotí svůj stav jako „bez obtíží“. Zbytek skupiny trpí nejčastěji alergickými projevy a refluxem. Méně potom astmatem a hypotyreózou – hypofunkcí štítné žlázy.

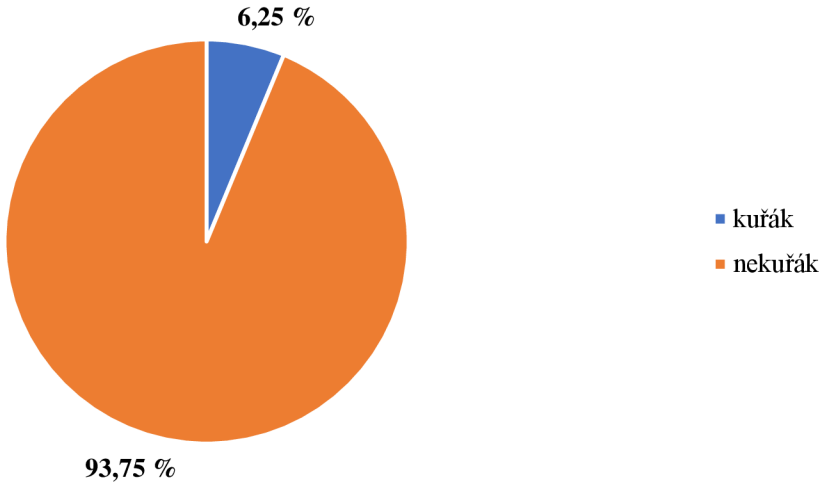
Graf 11: *Zhodnocení zdravotního stavu respondentů skupiny 2*



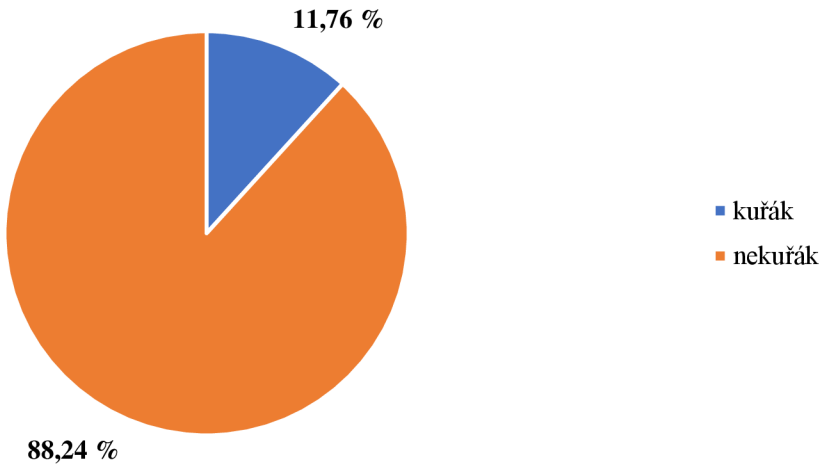
Zhruba 1/3 respondentů skupiny 2 hodnotí svůj stav jako „bez obtíží“. Stejný podíl sportovců trpí projevy alergie. Méně časté je potom astma a reflux. Výjimečně se vyskytuje hypotyreóza.

Srovnáním obou skupin je vidět, že zhruba trojnásobné množství respondentů skupiny 2 vzhledem ke skupině 1 trpí alergickými projevy. S tímto faktem souvisí podstatně menší počet respondentů hodnotících svůj stav jako „bez obtíží“. Všechna data potřebná k sestavení těchto grafů jsou uvedena v Příloze 4, **Tabulka 32**.

Graf 12: *Rozdělení respondentů skupiny 1 z hlediska kouření*

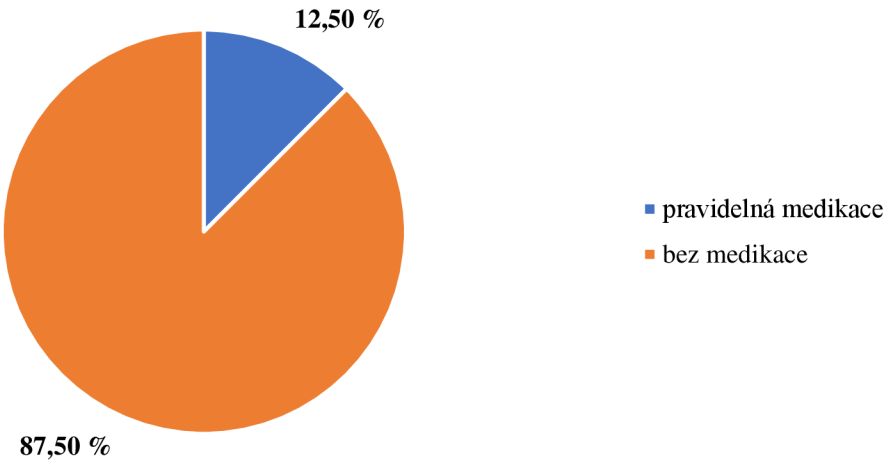


Graf 13: *Rozdělení respondentů skupiny 2 z hlediska kouření*



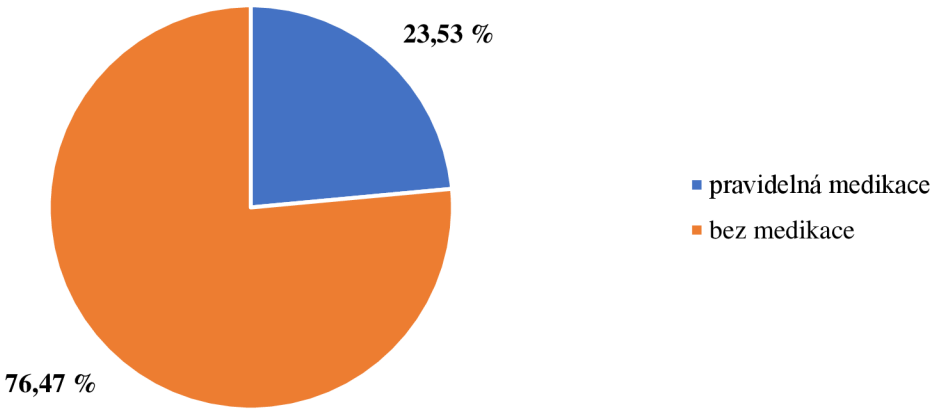
Oba grafy popisují zdravotní stav respondentů příslušné skupiny z hlediska kouření a procentuálně jej rozdělují na kuřáky a nekuřáky. Všechna data potřebná k sestavení těchto grafů jsou uvedena v Příloze 4, **Tabulka 33**.

Graf 14: *Rozdělení respondentů skupiny 1 z hlediska medikace*



Graf 14 popisuje zdravotní stav respondentů skupiny 1 z hlediska pravidelné medikace. Z grafu je vidět, že pouze 1/8 respondentů užívá pravidelně léky. Konkrétně se potom jedná o medikaci na astma a reflux.

Graf 15: *Rozdělení respondentů skupiny 2 z hlediska medikace*

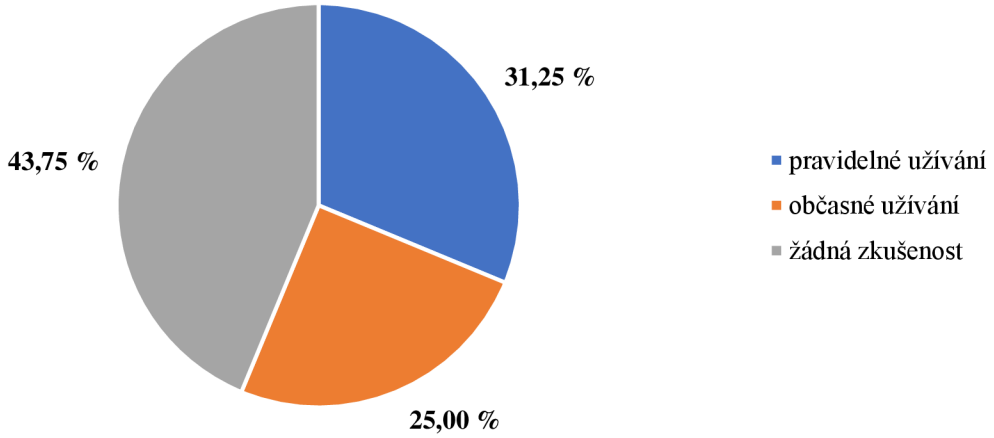


Z **Graf 15** vyplývá, že zhruba 1/4 sportovců skupiny 2 užívá pravidelnou medikaci. Konkrétně se potom jedná o léky na alergii, reflux a hypotyreózu.

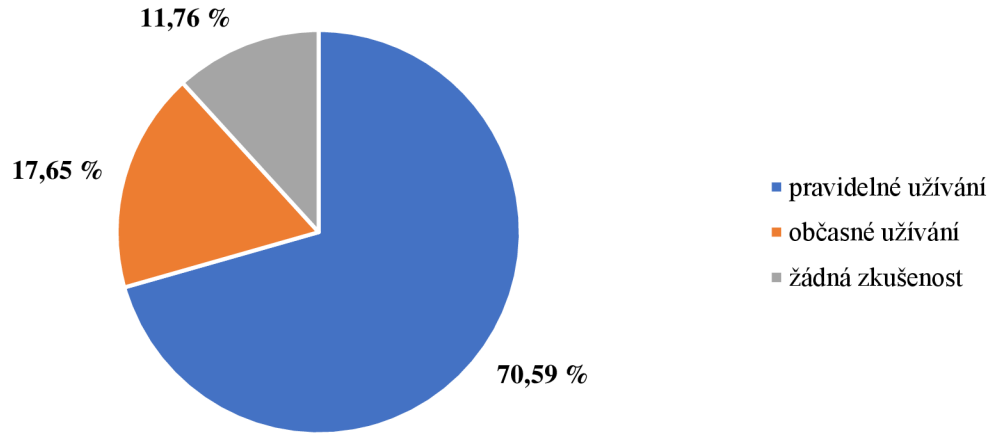
Srovnáním obou skupin je vidět, že dvakrát více respondentů skupiny 2 vzhledem k respondentům skupiny 1 užívá pravidelnou medikaci. Konkrétně se ovšem jedná jen o 4 sportovce z 10, kteří hodnotili svůj stav jako: alergický, astmatický, reflux, či hypotyreózu. Tento fakt svědčí o spíše lehkých civilizačních chorobách. Všechna data potřebná k sestavení těchto grafů jsou uvedena v Příloze 4, **Tabulka 34**.

4.3.3 Výživové zvyklosti

Graf 16: *Zkušenosti respondentů skupiny 1 s doplňky stravy*

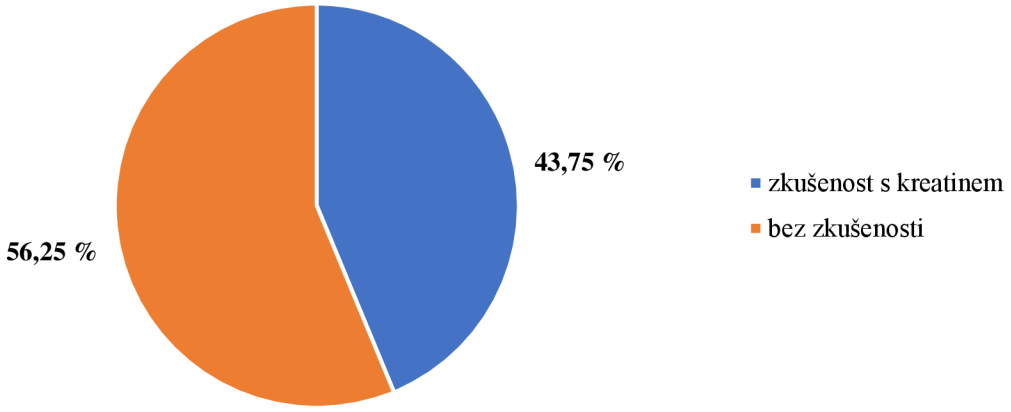


Graf 17: *Zkušenosti respondentů skupiny 2 s doplňky stravy*

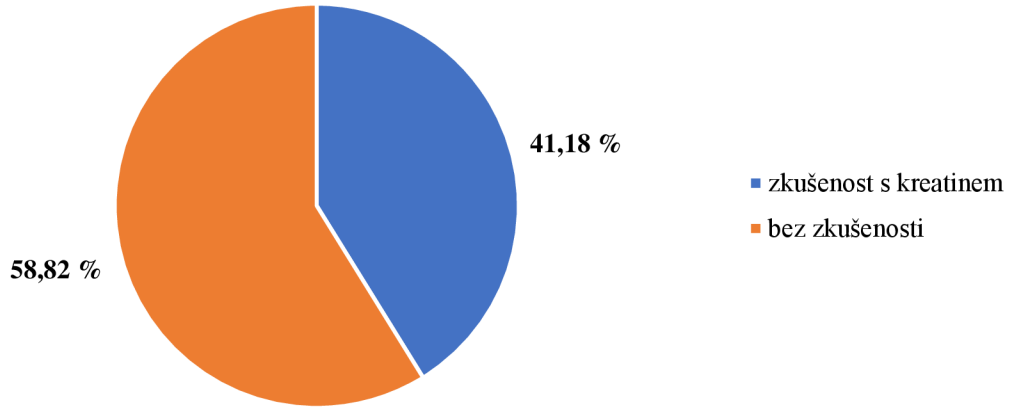


Respondenti skupiny 2 mají podstatně větší zkušenost s pravidelným užíváním doplňků stravy. Z hlediska občasného užívání můžeme vidět lehce vyšší hodnotu u skupiny 1. Téměř 1/2 respondentů skupiny 1 nemá žádné zkušenosti s doplňky stravy. Podle odpovědí na dotazník uvedený v Příloze 3 jsou u obou skupin nejčastějšími přijímanými doplňky stravy proteiny a BCA, méně potom vitamíny a minerální látky. Všechna data potřebná k sestavení těchto grafů jsou uvedena v Příloze 5, **Tabulka 35**.

Graf 18: *Zkušenosti respondentů skupiny 1 s kreatinem*

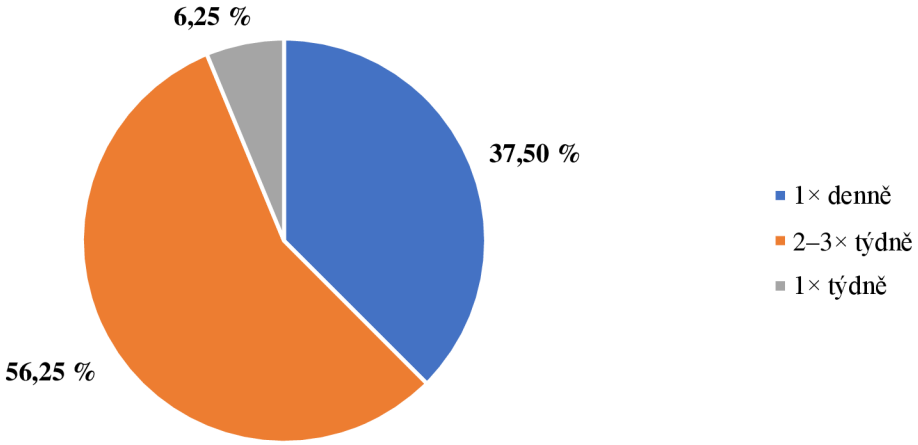


Graf 19: *Zkušenosti respondentů skupiny 2 s kreatinem*

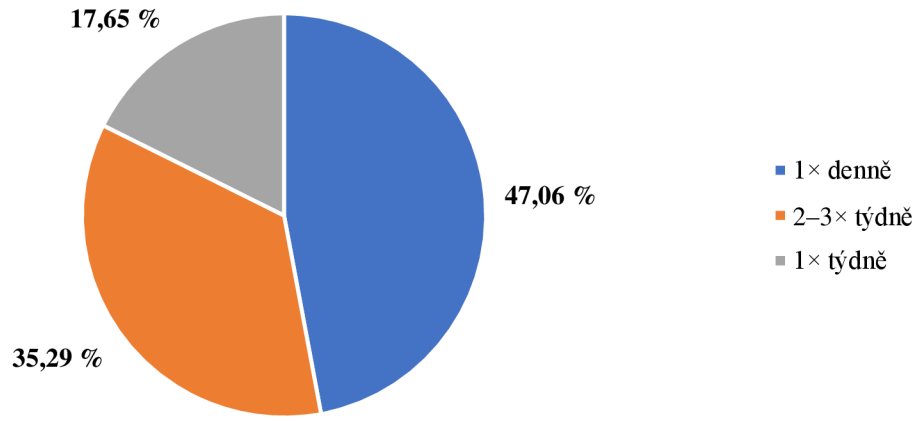


Srovnáním obou grafů je vidět, že obě skupiny mají podobné zkušenosti s užíváním kreatinu. U respondentů skupiny 2 se vzhledem k častějším zkušenostem s doplňky stravy obecně dala tato skutečnost předpokládat. U skupiny 1 ovšem z 9 sportovců, kteří popsali jakoukoliv zkušenost s doplňkem stravy, označilo 7 z nich kreatin. Tento poměr zajistil stejné startovací podmínky pro obě skupiny. Na základě tohoto faktu byli respondenti rozděleni do příslušných skupin. Všechna data potřebná k sestavení těchto grafů jsou uvedena v Příloze 5, **Tabulka 36**.

Graf 20: *Konzumace mléčných výrobků pro respondenty skupiny 1*

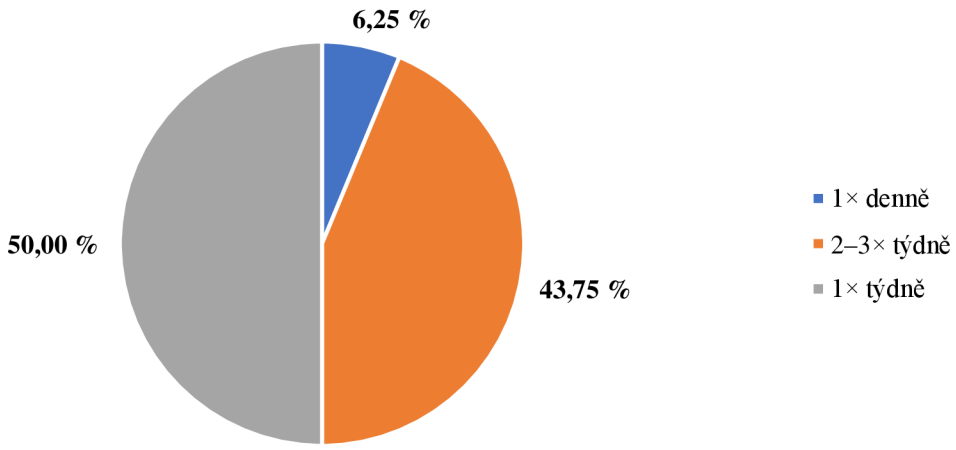


Graf 21: *Konzumace mléčných výrobků pro respondenty skupiny 2*

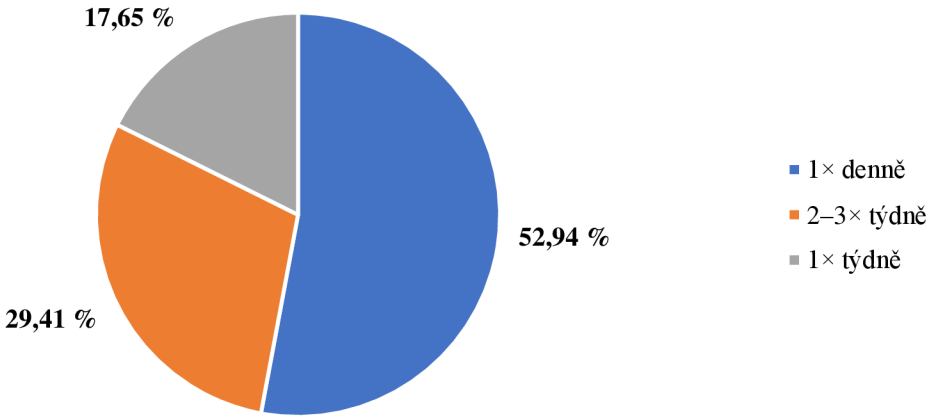


Porovnáním obou grafů zjistíme, že z hlediska denní konzumace mléčných výrobků je na tom lépe skupina 2. Skupina 1 upřednostňuje mléčné výrobky spíše 2–3× týdně. Podle odpovědí na dotazník uvedený v příloze 3 jsou u obou skupin nejčastěji konzumovanými mléčnými výrobky jogurt, čisté mléko, tvrdý sýr a nejméně zakysané výrobky. Všechna data potřebná k sestavení těchto grafů jsou uvedena v příloze 5, **Tabulka 37**.

Graf 22: *Konzumace vajec – respondenti skupiny 1*

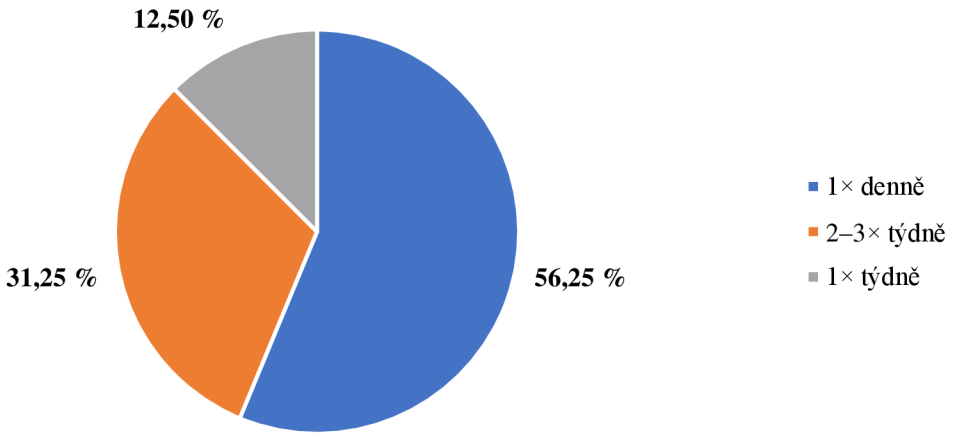


Graf 23: *Konzumace vajec – respondenti skupiny 2*

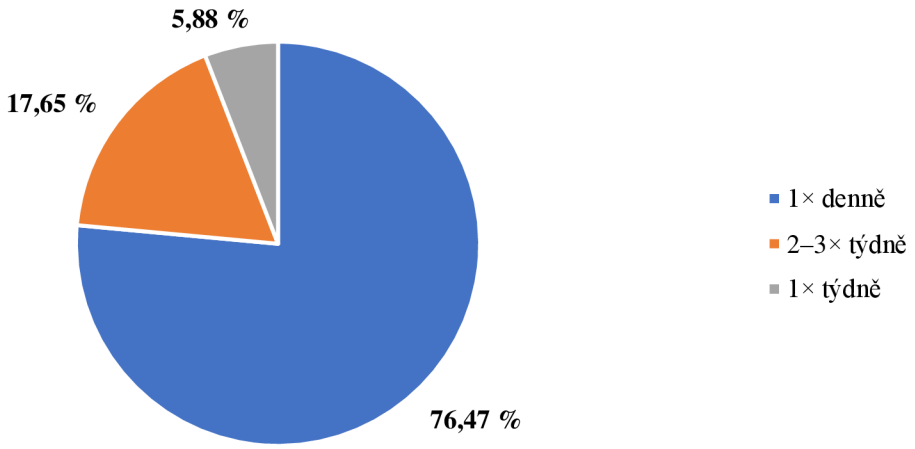


Srovnáním obou grafů je vidět, že skupina 2 konzumuje podstatně více vajec denně. Skupina 1 upřednostňuje vejce jednou týdně nebo 2–3× týdně. Všechna data potřebná k sestavení těchto grafů jsou uvedena v příloze 5, **Tabulka 38**.

Graf 24: *Konzumace masa – respondenti skupiny 1*

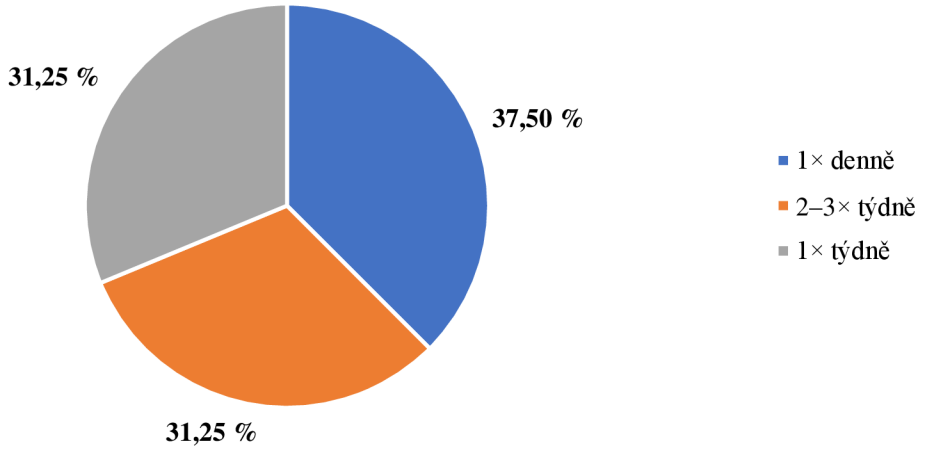


Graf 25: *Konzumace masa – respondenti skupiny 2*

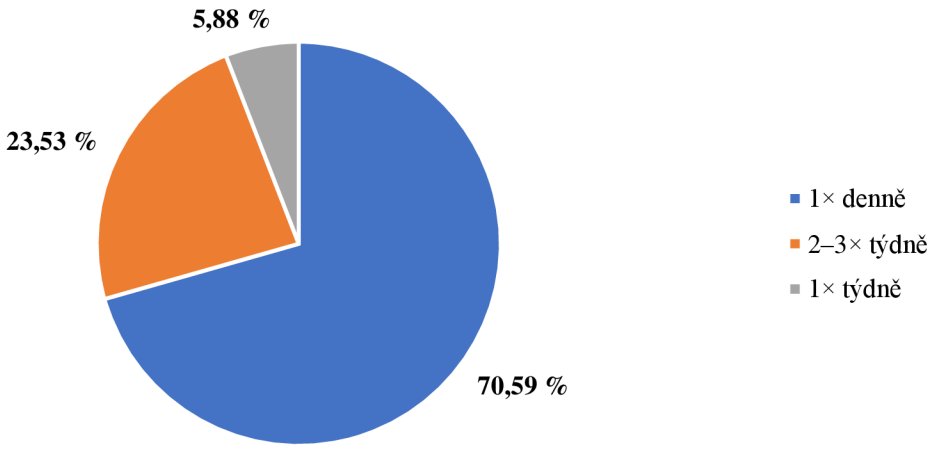


Většina respondentů obou skupin denně konzumuje maso. U skupiny 2 je podíl denního příjmu vzhledem ke konzumaci 2–3× týdně vyšší. U skupiny 1 je podíl denní konzumace masa podstatně menší, než u skupiny 2. Podle odpovědí na dotazník uvedený v příloze 3 je u obou skupin nejčastěji konzumováno kuřecí maso. Podstatně méně potom vepřové a hovězí maso. Ryby v jakékoliv formě jsou přijímány prakticky v zanedbatelném množství. Všechna data potřebná k sestavení těchto grafů jsou uvedena v příloze 5, **Tabulka 39**.

Graf 26: *Konzumace zeleniny – respondenti skupiny 1*

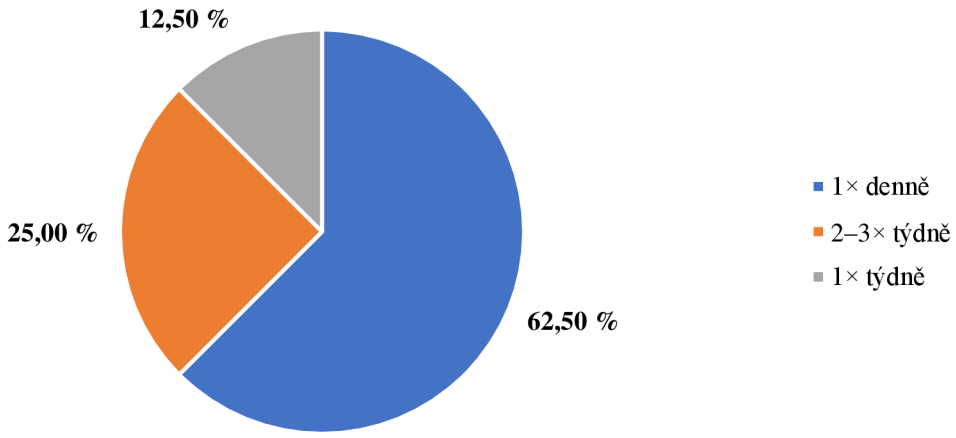


Graf 27: *Konzumace zeleniny – respondenti skupiny 2*

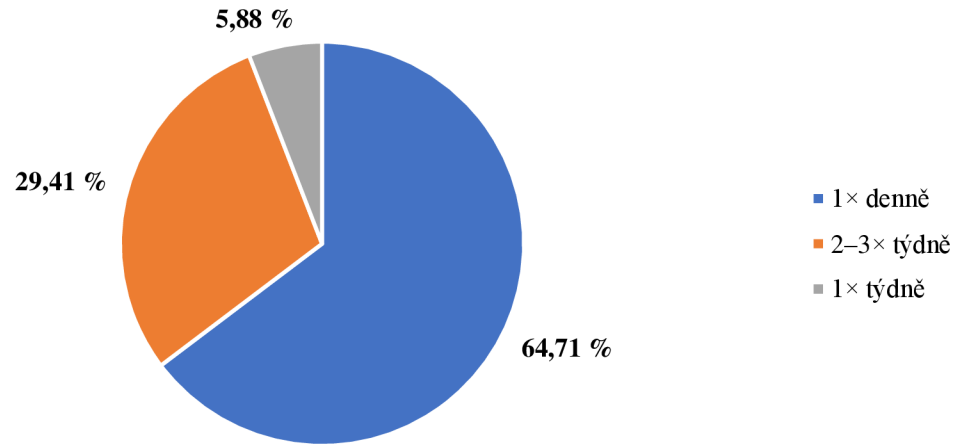


Srovnáním obou grafů je vidět, že zatímco v případě skupiny 1 se zhruba 1/3 hlásí k denní konzumaci, 1/3 ke konzumaci 2–3× týdně a 1/3 k týdenní konzumaci, ve skupině dvě převládá denní příjem zeleniny. Podle odpovědí na dotazník uvedený v příloze 3 převažují v obou skupinách rajčata a papriky. Podstatně méně se konzumuje dušená, či vařená zelenina. Velmi zanedbávaná je listová zelenina. Všechna data potřebná k sestavení těchto grafů jsou uvedena v příloze 5, **Tabulka 40**.

Graf 28: *Konzumace ovoce – respondenti skupiny 1*



Graf 29*: Konzumace ovoce – respondenti skupiny 2*



Porovnáním obou grafů je vidět, že z hlediska denního příjmu ovoce jsou na tom obě skupiny velmi podobně. Ovoce je přijímáno v rámci obou skupin převážně každý den. Podle odpovědí na dotazník uvedený v příloze 3 je u obou skupin nejčastější konzumace jablek, následovaná citrusovými plody. Ovoce tuzemské, jižní i ovocné kompoty jsou přijímány zanedbatelně. Všechna data potřebná k sestavení těchto grafů jsou uvedena v příloze 5, **Tabulka 41**.

4.3.4 Měření parametrů krejčovským metrem

Každý respondent byl změřen postupem uvedeným v kapitole 3.7.3. V tabulkách 10–13 jsou uvedeny naměřené hodnoty obvodové proporcionality včetně průměrných hodnot i směrodatných odchylek pro každou skupinu zvlášť.

Tabulka 10: *Vstupní měření parametrů obvodové proporcionality krejčovským metrem (0. týden)*

Skupina 1					
Vzorek	**Ramena [cm]**	**Hrudník [cm]**	**Pas [cm]**	**Biceps [cm]**	**Stehno [cm]**
1	118,5	104,5	84,0	32,2	57,5
8	113,8	104,0	84,0	33,0	53,0
11	109,5	99,0	78,0	32,0	54,0
12	118,5	105,5	89,0	33,0	56,0
13	111,0	93,0	84,0	30,0	55,2
16	106,0	90,0	78,6	28,5	52,0
17	106,0	99,5	79,5	30,0	53,0
21	98,0	90,0	70,0	26,5	45,0
22	108,0	93,0	77,0	28,0	53,0
23	110,5	94,0	84,5	32,5	56,0
24	110,0	93,0	76,5	30,0	48,5
27	95,5	86,5	70,5	25,5	45,5
28	122,0	108,0	82,0	38,5	58,5
30	124,0	109,0	85,5	38,0	58,5
32	108,0	97,5	80,0	29,5	54,5
33	107,0	96,5	77,0	30,0	50,0
Průměr	**110,4**	**97,7**	**80,0**	**31,1**	**53,1**
STD	**7,5**	**6,7**	**5,1**	**3,4**	**4,0**

Tabulka 11: *Vstupní měření parametrů obvodové proporcionality krejčovským metrem (0. týden)*

Skupina 2					
Vzorek	**Ramena [cm]**	**Hrudník [cm]**	**Pas [cm]**	**Biceps [cm]**	**Stehno [cm]**
2	123,5	109,5	87,0	37,0	62,5
3	118,0	100,0	88,0	35,0	61,5
4	121,0	100,0	89,5	33,0	61,0
5	108,5	103,5	80,0	36,5	59,5
6	116,0	98,5	85,5	35,0	61,0
7	111,0	100,0	82,0	31,0	50,0
9	121,5	102,5	81,0	32,0	55,0
10	119,0	104,0	88,0	35,5	60,0
14	120,0	105,0	89,5	32,0	60,0
15	105,0	97,0	75,5	31,0	51,0
18	124,5	109,0	96,5	36,5	61,0
19	117,0	106,5	81,5	35,0	58,0
20	119,0	115,0	88,0	37,0	63,0
25	116,0	103,5	86,5	33,5	56,0
26	107,5	98,0	77,0	34,0	51,5
29	107,5	95,5	75,5	32,5	52,0
31	135,0	115,0	86,0	37,0	63,5
Průměr	**117,1**	**103,7**	**84,5**	**34,3**	**58,0**
STD	**7,3**	**5,6**	**5,5**	**2,1**	**4,4**

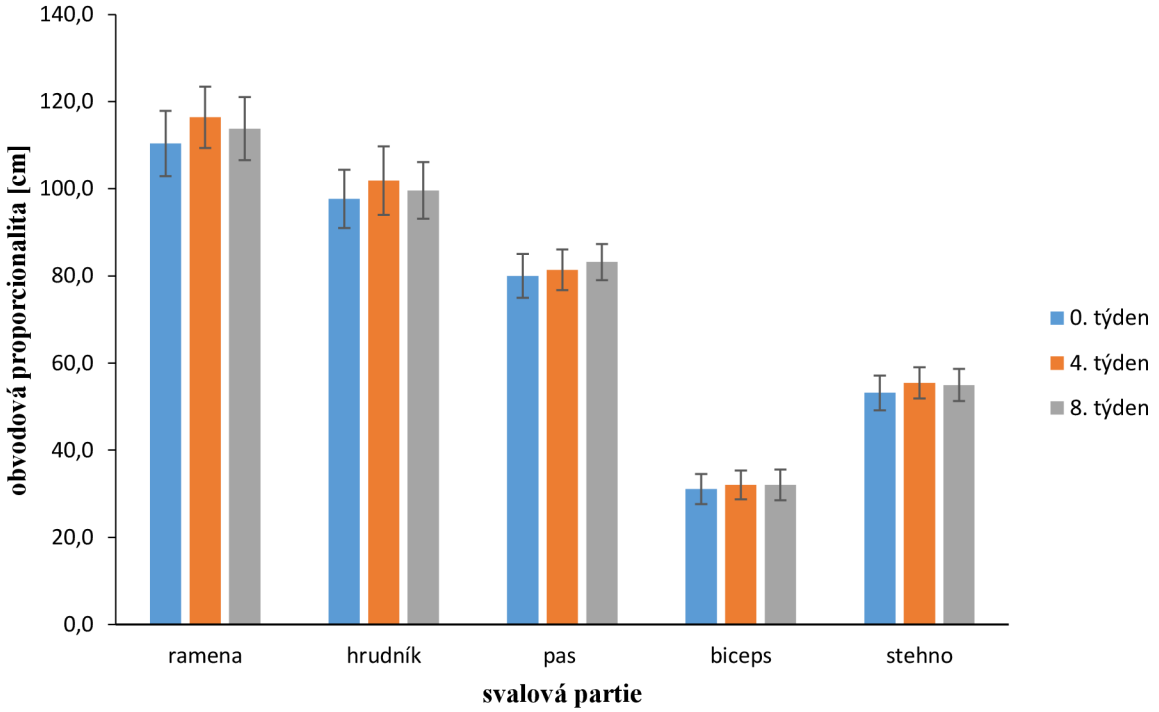
Tabulka 12: *Druhé měření parametrů obvodové proporcionality krejčovským metrem (4. týden)*

Skupina 1					
Vzorek	**Ramena [cm]**	**Hrudník [cm]**	**Pas [cm]**	**Biceps [cm]**	**Stehno [cm]**
1	122,5	110,5	83,5	32,5	60,0
8	114,5	105,5	85,0	35,0	55,0
11	114,5	102,5	80,5	32,5	55,0
12	124,0	108,0	91,0	33,5	58,0
13	119,0	104,5	84,0	30,0	55,2
16	109,0	91,5	78,0	29,0	55,0
17	118,5	104,0	83,0	31,5	55,5
21	103,0	87,0	73,0	27,5	47,0
22	117,0	102,5	79,5	30,0	54,0
23	112,3	97,3	83,8	32,8	57,5
24	119,5	102,0	77,0	32,0	54,5
27	103,0	87,0	73,0	27,0	49,5
28	128,0	110,5	87,0	39,5	59,3
30	126,5	116,0	84,0	38,0	62,5
32	114,0	99,0	82,0	29,5	55,0
33	117,5	102,0	78,0	32,0	54,0
Průměr	**116,4**	**101,9**	**81,4**	**32,0**	**55,4**
STD	**7,1**	**7,9**	**4,7**	**3,3**	**3,6**
Skupina 2					
2	123,2	109,2	87,0	36,5	61,5
3	122,5	101,0	87,0	35,0	60,5
4	119,8	100,5	81,5	32,5	61,5
5	111,0	96,0	84,0	35,7	63,5
6	116,5	101,0	82,0	33,0	57,0
7	109,0	101,0	84,0	32,0	49,0
9	118,4	107,5	84,0	31,5	54,0
10	119,5	105,5	89,5	36,0	58,5
14	114,5	106,5	96,0	31,5	61,0
15	113,5	93,0	76,0	33,0	52,0
18	121,5	106,5	87,0	35,5	61,5
19	119,0	108,5	80,5	32,0	55,5
20	125,0	115,0	89,5	35,5	61,0
25	115,8	103,5	86,2	33,2	56,5
26	114,0	102,5	80,5	34,0	48,5
29	111,5	94,0	75,0	31,0	55,5
31	127,0	119,0	90,0	38,0	64,0
Průměr	**117,7**	**104,1**	**84,7**	**33,9**	**57,7**
STD	**5,0**	**6,6**	**5,1**	**2,0**	**4,6**

Tabulka 13: *Závěrečné měření parametrů obvodové proporcionality krejčovským metrem (8. týden)*

Skupina 1					
Vzorek	**Ramena [cm]**	**Hrudník [cm]**	**Pas [cm]**	**Biceps [cm]**	**Stehno [cm]**
1	122,5	108,3	84,0	32,1	59,0
8	114,1	104,0	85,0	34,0	53,0
11	113,5	97,5	81,0	32,5	55,0
12	123,4	108,0	92,0	32,0	57,8
13	117,5	101,0	84,0	33,5	55,0
16	106,0	89,0	83,0	29,5	54,0
17	114,0	100,5	81,5	31,5	55,3
21	101,5	93,0	75,5	26,5	47,0
22	115,7	101,1	78,0	29,0	53,0
23	111,9	96,9	84,2	32,5	57,2
24	116,5	94,0	80,5	33,0	54,5
27	98,0	89,0	78,0	25,5	48,5
28	123,0	106,0	85,5	39,0	59,5
30	122,0	111,0	87,0	39,0	62,0
32	109,5	100,0	90,0	30,0	56,0
33	111,5	94,5	81,5	33,0	52,5
Průměr	**113,8**	**99,6**	**83,2**	**32,0**	**55,0**
STD	**7,2**	**6,5**	**4,2**	**3,5**	**3,7**
Skupina 2					
2	126,5	110,0	87,5	38,0	64,5
3	124,7	103,0	88,0	37,0	62,0
4	124,0	102,0	81,9	33,0	62,8
5	113,0	104,8	82,0	36,8	65,0
6	118,4	104,0	86,0	34,0	61,0
7	116,0	105,0	85,5	33,0	52,4
9	118,7	105,0	84,5	33,5	55,0
10	121,3	106,0	62,0	37,5	62,5
14	116,0	108,3	100,5	33,5	64,5
15	114,3	95,0	83,5	32,5	53,0
18	123,5	105,0	94,5	36,5	65,0
19	120,0	108,8	80,5	36,0	58,5
20	129,0	116,0	93,0	38,0	64,0
25	117,5	105,8	87,4	33,8	59,2
26	115,3	104,3	85,0	34,5	54,0
29	113,2	92,5	78,0	31,5	56,0
31	131,0	119,0	91,5	39,0	65,0
Průměr	**120,1**	**105,6**	**85,4**	**35,2**	**60,3**
STD	**5,4**	**6,1**	**8,0**	**2,2**	**4,4**

Graf 30: *Průměrné hodnoty svalových partií pro skupinu 1 v průběhu celého výzkumu*



Graf 30 popisuje průměrné hodnoty obvodové proporcionality svalových partií pro skupinu 1. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v (Tabulka 9–12).

Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla testována změna obvodové proporcionality každé tělesné partie zvlášť. Jednotlivé výsledky popisuje **Tabulka 14**.

Tabulka 14: *Zhodnocení statistické významnosti změn obvodové proporcionality jednotlivých partií skupiny 1 v průběhu výzkumu*

Testovaná partie ($\alpha = 0{,}05$)	**Vypočítaná hodnota p**
Ramena	0,0855
Hrudník	0,2771
Pas	0,1876
Biceps	0,6806
stehno	0,2248

Z tabulky vyplývá, že statisticky signifikantní změna obvodové proporcionality nebyla zaznamenána ani v jedné testované partii. Rozhodnutí je správné z 95 %. Ve všech případech byla potvrzena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a tudíž vyvrácena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Výsledné hodnoty α svědčí o statisticky nesignifikantním rozdílu v rámci jednotlivých partií.

Pokud bychom ovšem zvolili hladinu významnosti $\alpha = 0{,}1$, změna obvodové proporcionality v oblasti ramen $p = 0{,}0855$ by již byla statisticky signifikantní.

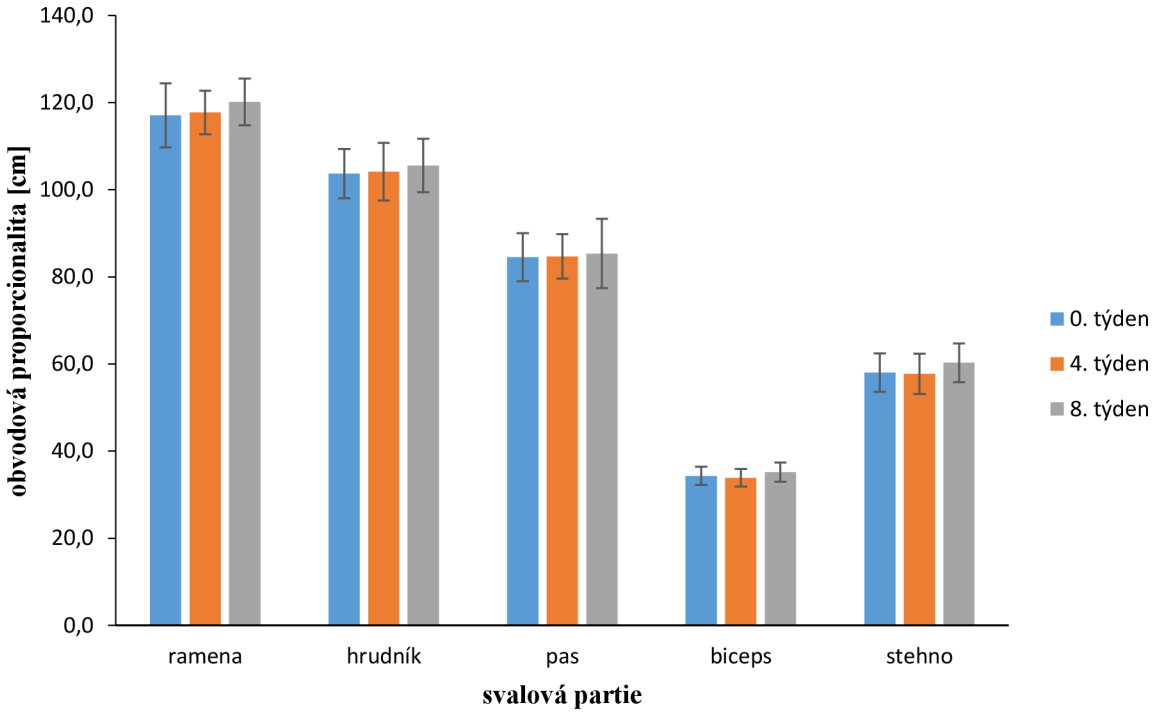
Z grafu je ovšem patrný trend vykazující po měsíční suplementaci kreatinem v dávce 3 g denně v kombinaci s intenzivním cvičením postupné zvýšování průměrných hodnot v rámci všech partií. Hodnoty se vztahují k vstupním hodnotám:

- ramena: 6,0 ± 0,05 cm
- hrudník: 4,2 ± 0,05 cm

- pas: 1,4 ± 0,05 cm
- biceps: 0,9 ± 0,05 cm
- stehna: 2,3 ± 0,05 cm

V druhém měsíci, po vysazení kreatinu sledujeme v oblasti hrudníku a ramen znatelné snížení obvodové proporcionality vzhledem k prvnímu měsíci. Lehké snížení pozorujeme i v oblasti stehen. Dvojhlavý sval pažní (biceps) je ve srovnání s prvním měsícem konstantní. Jediné zvýšení v druhém měsíci pozorujeme v oblasti pasu. Suplementace hořčíkem a vitamínem C ovšem vedla stále k vyšším hodnotám ve všech partiích, než byly naměřené při vstupním měření.

Graf 31: *Průměrné hodnoty svalových partií pro skupinu 2 v průběhu celého výzkumu*



Graf 31 popisuje průměrné hodnoty obvodové proporcionality svalových partií pro skupinu 2.

Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ byla testována změna obvodové proporcionality každé tělesné partie zvlášť. Jednotlivé výsledky popisuje **Tabulka 15**.

Tabulka 15: *Zhodnocení statistické významnosti změn obvodové proporcionality jednotlivých partií skupiny 2 v průběhu výzkumu*

Testovaná partie (α = 0,05)	**Vypočítaná hodnota p**
Ramena	0,3185
Hrudník	0,6661
Pas	0,9230
Biceps	0,2131
stehno	0,2269

Z tabulky vyplývá, že statisticky signifikantní změna obvodové proporcionality nebyla zaznamenána ani v jedné testované partii. Rozhodnutí je správné z 95 %. Ve všech případech byla potvrzena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a tudíž vyvrácena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Výsledné hodnoty α svědčí o statisticky nesignifikantním rozdílu v rámci jednotlivých partií.

Z grafu je patrné, že v průběhu prvního měsíce, kdy skupina 2 nebyla suplementovaná kreatinem, ale pouze hořčíkem a vitamínem C, jsou hodnoty všech partií velice podobné původním hodnotám, i přes intenzivní cvičení. Mírné zvýšení pozorujeme u ramen, hrudníku a pasu, zatímco nepatrné snížení u bicepsu a stehen. Suplementace kreatinem vede v druhém měsíci k rychlému nárůstu obvodové proporcionality v rámci všech svalových partií. Hodnoty jsou vztaženy k vstupním hodnotám:

- ramena: 3,0 ± 0,05 cm
- hrudník: 1,9 ± 0,05 cm
- pas: 0,9 ± 0,05 cm
- biceps: 0,9 ± 0,05 cm
- stehna: 2,3 ± 0,05 cm

Z obou grafů je patrné, že suplementace kreatinem v dávce 3 g i 10 g denně vede společně s intenzivním cvičením k postupnému nárůstu obvodové proporcionality. Ani v jedné skupině ovšem nebyla zaznamenána na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ statisticky signifikantní změna.

4.3.5 Měření na InBody

Každý respondent byl změřen postupem uvedeným v kapitole 3.7.4. V tabulkách 16–19 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých InBody parametrů pro obě skupiny zvlášť.

Tabulka 16: *Vstupní měření InBody parametrů vyhodnocené přístrojem InBody (0. týden)*

Skupina 1					
Vzorek	**Hmotnost [kg]**	**SMM [kg]**	**Tělesný tuk [kg]**	**TBW [kg]**	**BMR [kcal]**
1	82,8	40,2	13,0	51,1	1877,0
8	79,0	36,4	14,8	47,0	1756,0
11	73,5	37,6	8,2	47,9	1781,0
12	84,5	37,7	19,3	47,8	1779,0
13	75,3	39,3	6,4	50,5	1857,0
16	69,2	35,9	6,3	46,0	1729,0
17	74,7	37,5	8,6	48,4	1797,0
21	58,6	30,4	4,7	39,6	1533,0
22	77,1	41,0	5,5	52,4	1916,0
23	72,7	36,7	8,6	47,0	1755,0
24	67,4	35,8	5,2	45,5	1712,0
27	58,5	29,8	5,9	38,7	1507,0
28	89,5	43,8	13,0	56,2	2023,0
30	86,6	44,3	10,1	56,1	2021,0
32	78,7	39,8	8,5	51,4	1886,0
33	71,1	36,6	7,0	46,9	1754,0
Průměr	**75,0**	**37,7**	**9,1**	**48,3**	**1792,7**
STD	**8,6**	**3,8**	**3,9**	**4,7**	**138,0**

Použité zkratky v tabulce 15–18: SMM (kosterní svalstvo), TBW (celková voda v těle), BMR (bazální metabolismus).

Tabulka 17: Vstupní měření InBody parametrů vyhodnocené přístrojem InBody (0. týden)

Skupina 2					
Vzorek	**Hmotnost [kg]**	**SMM [kg]**	**Tělesný tuk [kg]**	**TBW [kg]**	**BMR [kcal]**
2	80,5	41,5	8,9	52,5	1917,0
3	90,2	47,2	9,0	59,5	2124,0
4	81,4	42,2	8,2	53,5	1950,0
5	84,9	43,6	9,5	55,4	1998,0
6	74,4	38,1	8,5	48,3	1794,0
7	77,5	37,6	11,4	48,4	1798,0
9	75,1	39,2	6,6	50,2	1850,0
10	83,0	43,9	7,0	55,6	2012,0
14	89,5	41,8	16,5	53,3	1947,0
15	68,2	36,3	4,8	46,5	1738,0
18	94,2	46,5	13,3	59,1	2117,0
19	81,7	43,9	5,7	55,7	2012,0
20	94,5	48,9	9,9	61,8	2196,0
25	81,8	40,1	12,0	50,9	1877,0
26	71,5	37,2	6,1	48,0	1782,0
29	66,7	34,8	5,7	44,8	1688,0
31	99,2	51,1	10,9	64,6	2277,0
Průměr	**82,0**	**42,0**	**9,1**	**53,4**	**1945,7**
STD	**9,1**	**4,5**	**3,0**	**5,4**	**161,1**

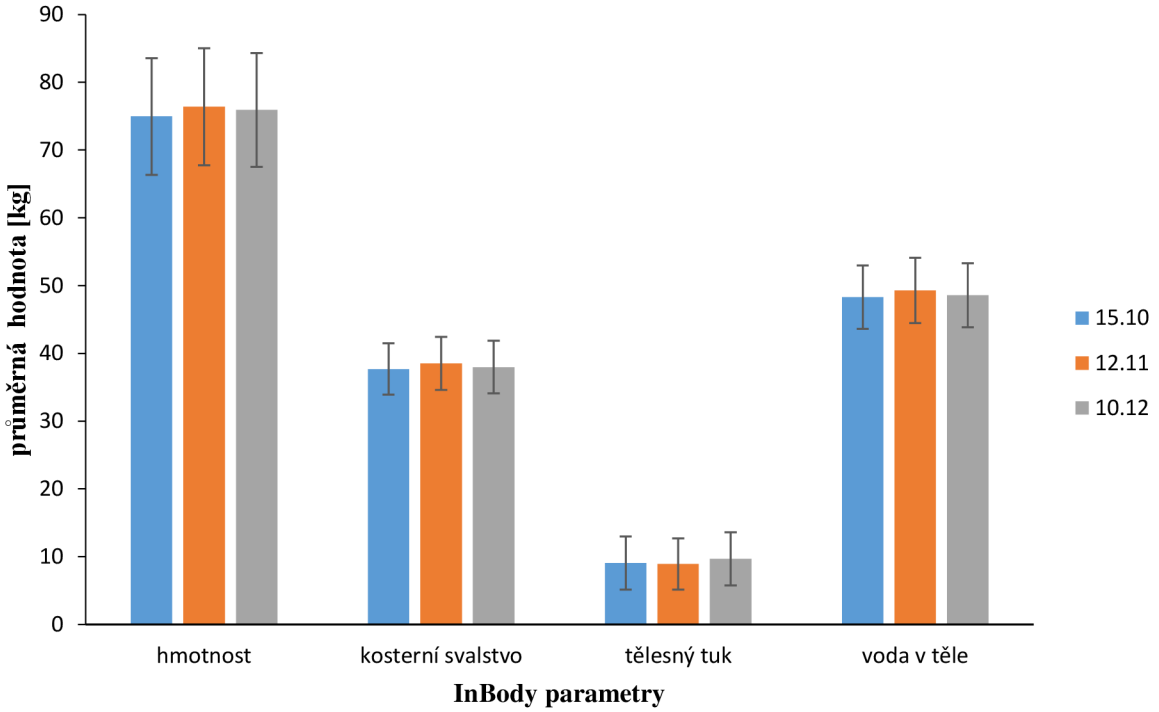
Tabulka 18: *Druhé měření InBody parametrů vyhodnocené přístrojem InBody (4. týden)*

Skupina 1					
Vzorek	**Hmotnost [kg]**	**SMM [kg]**	**Tělesný tuk [kg]**	**TBW [kg]**	**BMR [kcal]**
1	82,5	41,1	11,5	51,9	1903,0
8	80,3	37,2	14,1	48,7	1817,0
11	74,1	38,0	7,9	48,1	1809,0
12	86,5	38,3	19,1	48,7	1803,0
13	77,0	41,1	5,3	52,6	1920,0
16	70,5	36,4	5,8	46,5	1746,0
17	76,0	38,0	9,2	48,8	1813,0
21	59,2	30,7	5,0	39,8	1542,0
22	78,2	41,5	6,3	52,7	1923,0
23	74,0	37,5	8,4	48,1	1806,0
24	70,4	37,1	6,0	47,2	1762,0
27	60,2	30,7	6,0	39,8	1540,0
28	90,9	44,3	13,6	56,8	2040,0
30	89,1	45,8	8,9	58,0	2077,0
32	80,3	40,9	8,7	52,4	1916,0
33	72,9	38,0	6,8	48,5	1797,0
Průměr	**76,4**	**38,5**	**8,9**	**49,3**	**1825,9**
STD	**8,7**	**3,9**	**3,8**	**4,8**	**140,6**
Skupina 2					
2	80,3	41,2	8,8	52,4	1912,0
3	87,3	46,3	7,7	58,3	2089,0
4	79,7	40,4	9,6	51,2	1884,0
5	85,8	43,1	11,1	54,9	1983,0
6	74,7	37,9	9,1	48,0	1787,0
7	78,2	37,0	13,2	47,6	1775,0
9	75,0	38,3	8,3	49,0	1811,0
10	85,4	43,7	9,4	55,6	2012,0
14	89,3	41,0	17,4	52,4	1922,0
15	69,0	35,5	6,7	45,8	1716,0
18	94,2	46,1	14,3	58,3	2097,0
19	82,6	42,4	9,1	53,7	1957,0
20	94,5	47,1	13,1	59,4	2127,0
25	81,5	40,0	11,7	50,5	1861,0
26	74,6	37,3	8,9	48,1	1789,0
29	67,1	34,0	7,5	43,8	1658,0
31	100,9	50,8	13,1	64,2	2267,0
Průměr	**82,4**	**41,3**	**10,5**	**52,5**	**1920,4**
STD	**8,9**	**4,4**	**2,8**	**5,3**	**157,1**

Tabulka 19: *Závěrečné měření InBody parametrů vyhodnocené přístrojem InBody (8. týden)*

Skupina 1					
Vzorek	**Hmotnost [kg]**	**SMM [kg]**	**Tělesný tuk [kg]**	**TBW [kg]**	**BMR [kcal]**
1	81,4	40,3	11,8	51,0	1874,0
8	78,4	35,6	16,0	45,7	1717,0
11	72,5	36,9	8,5	46,9	1752,0
12	86,9	38,6	20,1	49,0	1813,0
13	78,0	40,8	7,0	52,1	1903,0
16	70,7	36,6	6,5	47,0	1756,0
17	75,6	36,9	10,6	47,7	1773,0
21	60,5	30,8	5,8	40,2	1551,0
22	77,7	41,0	6,4	51,9	1904,0
23	73,6	37,1	8,7	47,2	1762,0
24	69,7	36,4	6,4	46,5	1736,0
27	59,0	30,0	6,0	39,0	1515,0
28	89,0	44,0	12,2	56,4	2028,0
30	87,9	45,2	10,8	57,3	2061,0
32	81,5	39,8	11,4	51,4	1884,0
33	72,1	37,4	6,5	48,0	1786,0
Průměr	**75,9**	**38,0**	**9,7**	**48,6**	**1800,9**
STD	**8,4**	**3,9**	**3,9**	**4,7**	**140,3**
Skupina 2					
2	82,5	41,9	9,7	53,4	1942,0
3	90,8	47,5	8,7	60,2	2136,0
4	81,8	42,4	9,2	53,7	1958,0
5	86,1	45,6	7,6	57,6	2065,0
6	75,8	38,2	9,7	48,4	1798,0
7	79,1	38,5	10,8	48,8	1806,0
9	75,3	39,4	6,5	50,5	1856,0
10	87,6	46,4	7,5	58,5	2100,0
14	90,0	42,3	16,9	53,6	1958,0
15	69,6	36,7	5,7	46,8	1751,0
18	95,9	47,1	14,3	59,6	2133,0
19	81,8	43,0	7,7	54,3	1971,0
20	94,6	48,2	11,3	62,8	2169,0
25	82,8	41,2	11,4	51,6	1901,0
26	73,5	37,5	7,6	48,3	1793,0
29	68,5	35,4	6,8	45,3	1703,0
31	102,6	52,2	12,8	65,8	2311,0
Průměr	**83,4**	**42,6**	**9,7**	**54,1**	**1961,8**
STD	**9,2**	**4,6**	**2,9**	**5,7**	**164,6**

Graf 32: *Průměrné hodnoty InBody parametrů skupiny 1 v rámci celého výzkumu*



Graf 32 popisuje průměrné hodnoty parametrů respondentů skupiny 1, stanovené přístrojem InBody. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v (Tabulka 15–18).

Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla testována změna každého InBody parametru zvlášť. Jednotlivé výsledky popisuje **Tabulka 20**.

Tabulka 20: *Zhodnocení statistické významnosti změn Inbody parametrů skupiny 1 v průběhu výzkumu*

Testovaná partie (α = 0,05)	**Vypočítaná hodnota p**
Hmotnost	0,8971
Kosterní svalstvo (SMM)	0,8256
Tělesný tuk	0,8528
Celková voda v těle (TBW)	0,8369
Bazální metabolismus (BMR)	0,5577

Z tabulky vyplývá, že nebyla zaznamenána statisticky signifikantní změna žádného z InBody parametrů. Rozhodnutí je správné z 95 %. Ve všech případech byla potvrzena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a tudíž vyvrácena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Výsledné hodnoty α svědčí o statisticky nesignifikantním rozdílu v jednotlivých InBody parametrech.

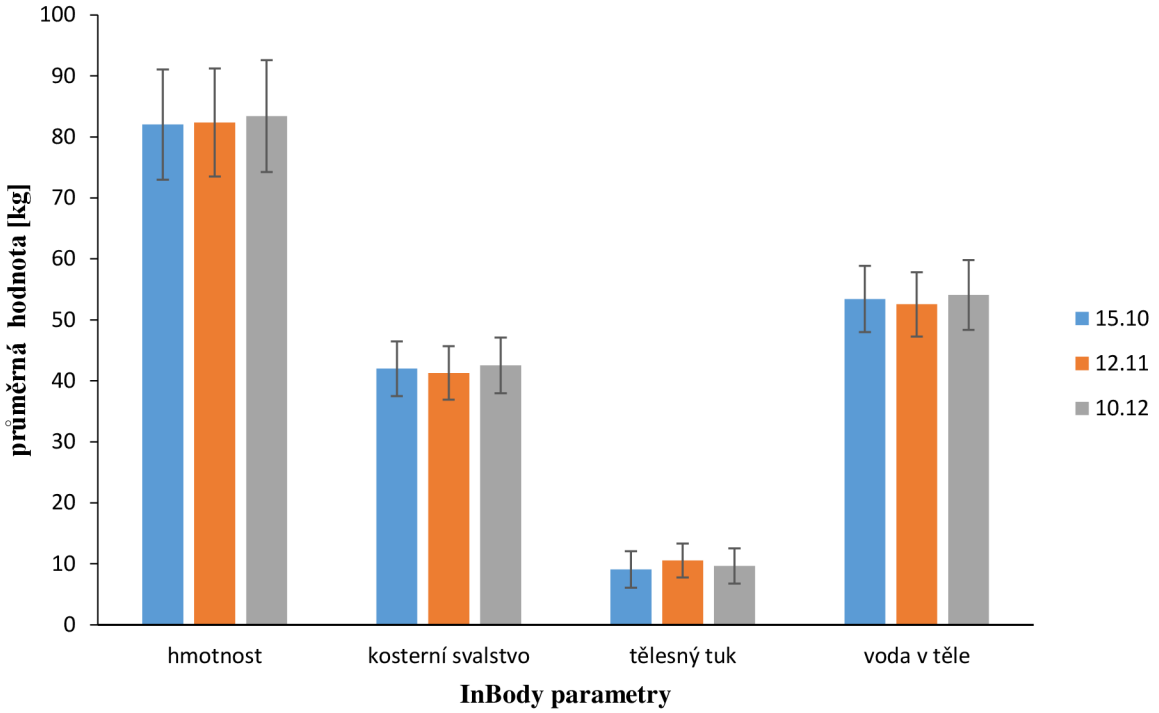
Z grafu je ovšem patrné, že po prvním měsíci suplementace kreatinem dochází u všech parametrů s výjimkou tělesného tuku k mírnému zvýšení. Přírůstek celkové hmotnosti, kosterního svalstva i vody v těle je poměrně konstantní, zatímco množství tělesného tuku nepatrně ubývá. Hodnoty jsou porovnávány vzhledem k vstupnímu měření:

- hmotnost: 1,4 kg
- kosterní svalstvo: 0,8 kg
- Tělesný tuk: –0,2 kg

- Voda v těle: 1,0 kg

V druhém měsíci, po vysazení suplementace pozorujeme snížení všech parametrů s výjimkou tělesného tuku. Snížení hmotnosti, kosterního svalstva i celkové vody v těle je poměrně konstantní, ovšem přírůstek tělesného tuku je znatelný. Hodnoty naměřené v během druhého měsíce jsou ovšem stále vyšší než hodnoty ze vstupního měření.

Graf 33: *Průměrné hodnoty InBody parametrů skupiny 2 v rámci celého výzkumu*



Graf 33 popisuje průměrné hodnoty parametrů respondentů skupiny 2, stanovené přístrojem InBody.

Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla testována změna každého InBody parametru zvlášť. Jednotlivé výsledky popisuje **Tabulka 21**.

Tabulka 21: *Zhodnocení statistické významnosti změn Inbody parametrů skupiny 2 v průběhu výzkumu*

Testovaná partie (α = 0,05)	**Vypočítaná hodnota p**
Hmotnost	0,8994
Kosterní svalstvo (SMM)	0,7293
Tělesný tuk	0,3601
Celková voda v těle (TBW)	0,7314
Bazální metabolismus (BMR)	0,9108

Z tabulky vyplývá, že nebyla zaznamenána statisticky signifikantní změna žádného z InBody parametrů. Rozhodnutí je správné z 95 %. Ve všech případech byla potvrzena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a tudíž vyvrácena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Výsledné hodnoty α svědčí o statisticky nesignifikantním rozdílu v jednotlivých InBody parametrech.

Z grafu je vidět, že v prvním měsíci, kdy skupina 2 nebyla suplementovaná kreatinem, ale pouze hořčíkem a vitamínem C, pozorujeme minimální přírůstek celkové hmotnosti, který ovšem nedoprovází nárůst kosterního svalstva. Celková voda v těle ubývá a množství tělesného tuku se zvyšuje.

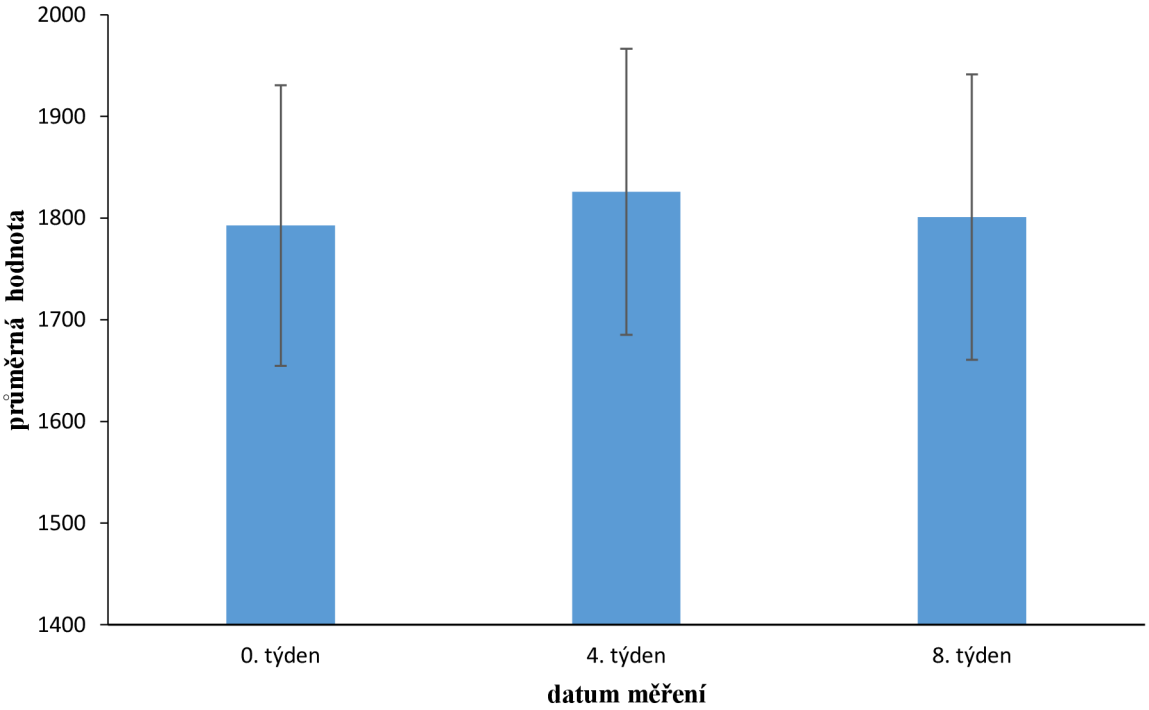
V druhém měsíci, kdy skupina 2 byla suplementovaná kreatinem, dochází k opětovnému zvýšení hmotnosti, ovšem doprovázené přírůstkem kosterního svalstva, celkové vody v těle i tělesného tuku. Hodnoty jsou porovnávány vzhledem k vstupnímu měření:

- hmotnost: 1,4 kg
- kosterní svalstvo: 0,6 kg
- tělesný tuk: 0,6 kg
- voda v těle: 0,7 kg

Srovnáním obou grafů zjistíme, že suplementace kreatinem sehrává důležitou roli z hlediska tělesné konstituce. Suplementace obou skupin vede k poměrově velmi podobným přírůstkům z hlediska celkové hmotnosti, množství kosterního svalstva i celkové vody v těle, zatímco množství tělesného tuku se vzhledem k vstupní hodnotě snižuje jen u skupiny 1. Tento fakt ovšem vychází ze znatelně zvýšeného tělesného tuku suplementací pouze hořčíkem a vitamínem C. Z tohoto důvodu se projevuje vliv suplementace kreatinem na spalování tuků ve skupině dvě pouze vzhledem k předchozímu měsíci a ne k vstupní hodnotě. Denní dávka kreatinu 3 g vede k lehce vyššímu přírůstku v oblasti všech InBody parametrů, mimo tělesný tuk.

Z obou grafů můžeme vyčíst, že suplementace pouze hořčíkem a vitamínem C vede k znatelnému zvýšení tělesného tuku. Dá se tudíž předpokládat, že kreatin vykazuje určitý potenciál i v oblasti spalování tuků.

Graf 34: *Průměrné hodnoty bazálního metabolismu respondentů skupiny 1 v průběhu výzkumu*



Graf 34 popisuje průměrné hodnoty bazálního metabolismu skupiny 1, stanovené přístrojem InBody. Statistickou hodnotu p bazálního metabolismu pro skupinu 1 popisuje **Tabulka 20**. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla výsledná hodnota posouzena jako statisticky nesignifikantní.

Z grafu je ovšem patrné, že po prvním měsíci suplementace kreatinem pozorujeme mírně zvýšený bazální metabolismus. Zvýšení vzhledem k vstupní hodnotě činí:

- BMR: 33,19 kcal

To je další velmi pozitivní vliv kreatinu, který může být velmi úzce propojený právě se spalováním tuků.

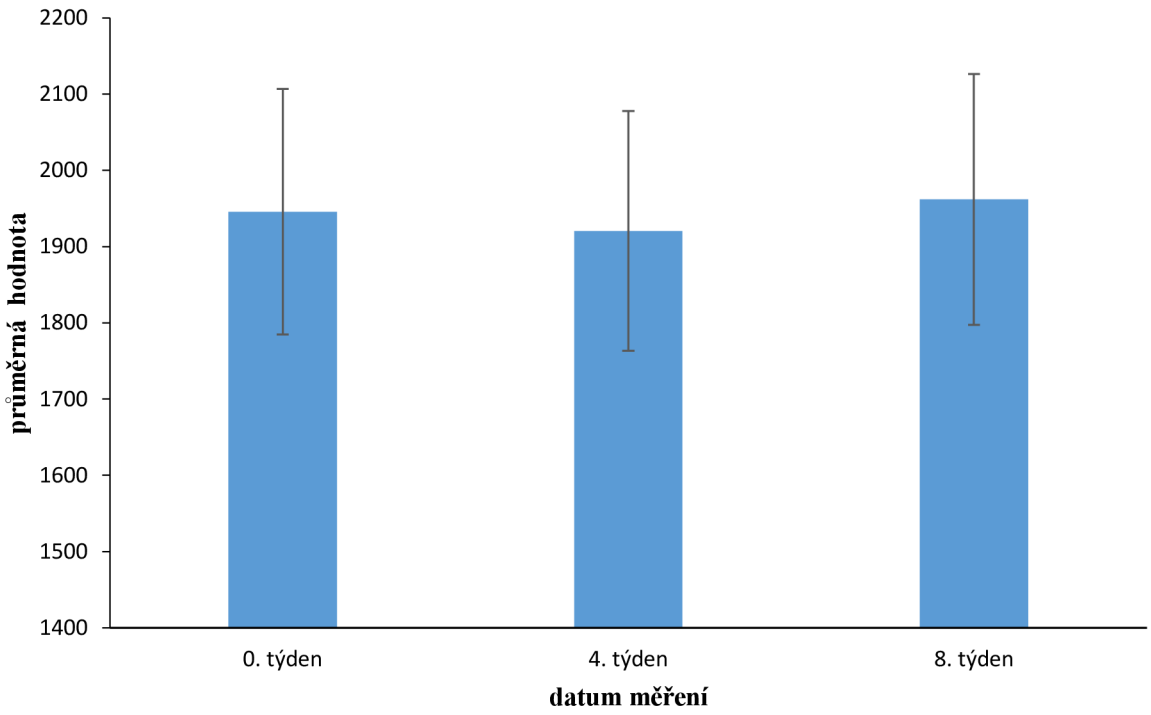
Suplementace pouze hořčíkem a vitamínem C v druhém měsíci vede k znatelnému poklesu hodnoty bazálního metabolismu vzhledem k prvnímu měsíci. Tento rozdíl činí:

- BMR: –24,94 kcal

Vzhledem k vstupní hodnotě vede suplementace v druhém měsíci k stále vyšší hodnotě:

- BMR: 8,25 kcal

Graf 35*: Průměrné hodnoty bazálního metabolismu respondentů skupiny 2 v průběhu výzkumu*



Graf 35 popisuje průměrné hodnoty bazálního metabolismu skupiny 2, stanovené přístrojem InBody. Statistickou hodnotu p bazálního metabolismu pro skupinu 2 popisuje **Tabulka 21**. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla výsledná hodnota posouzena jako statisticky nesignifikantní. Z grafu je ovšem patrné, že po prvním měsíci, kdy skupina 2 nebyla suplementovaná kreatinem dochází ke snížení bazálního metabolismu vzhledem k vstupní hodnotě.

- BMR: –25,29 kcal

V druhém měsíci sledujeme nárust bazálního metabolismu, který je spojený se suplementací kreatinem. Tato hodnota činí vzhledem k vstupní hodnotě:

- BMR: 16,12 kcal

Vzhledem k předcházejícímu měsíci tato hodnota činí dokonce:

- BMR: 41,41 kcal

Porovnáním obou grafů je patrný vliv kreatinu na bazální metabolismus, nehledě na jeho denní dávku. Obě skupiny vykazují porovnatelné zvýšení bazálního metabolismu po suplementaci a okamžité snížení po jeho vysazení. Tyhle hodnoty jsou ovšem na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ statisticky nesignifikantní. Suplementace 3 g kreatinu denně vede k vyššímu nárůstu hodnot bazálního metabolismu (**Graf 34**). Rozdíl průměrného přírůstku bazálního metabolismu mezi oběma skupinami činí:

- BMR (17,07 kcal)

4.3.6 Silový trojboj

Každý z respondentů podstoupil všechny tři disciplíny silového trojboje postupem uvedeným v kapitole 3.7.5. V tabulkách 22–27 jsou uvedeny průměrné hodnoty výkonů respondentů obou skupin odděleně.

Tabulka 22: *Průměrné hodnoty zvednutého závaží při vstupním měření (0. týden)*

Skupina 1			
Vzorek	**Tlak na lavici [kg]**	**Mrtvý tah [kg]**	**Dřep [kg]**
1	105,0	150,0	120,0
8	90,0	120,0	80,0
11	100,0	150,0	120,0
12	110,0	135,0	130,0
13	100,0	140,0	110,0
16	80,0	100,0	90,0
17	85,0	110,0	90,0
21	70,0	90,0	60,0
22	100,0	125,0	120,0
23	70,0	130,0	90,0
24	90,0	120,0	105,0
27	70,0	90,0	70,0
28	100,0	110,0	90,0
30	120,0	190,0	145,0
32	70,0	110,0	90,0
33	80,0	100,0	90,0
Průměr	**90,0**	**123,1**	**100,0**
STD	**15,3**	**25,2**	**22,0**

Tabulka 23: *Průměrné hodnoty zvednutého závaží při vstupním měření (0. týden)*

Skupina 2			
Vzorek	**Tlak na lavici [kg]**	**Mrtvý tah [kg]**	**Dřep [kg]**
2	130,0	180,0	140,0
3	120,0	180,0	140,0
4	120,0	170,0	140,0
5	120,0	120,0	120,0
6	105,0	145,0	120,0
7	70,0	130,0	100,0
9	95,0	130,0	110,0
10	90,0	160,0	130,0
14	70,0	125,0	110,0
15	90,0	130,0	120,0
18	95,0	145,0	110,0
19	100,0	130,0	120,0
20	120,0	190,0	180,0
25	90,0	120,0	100,0
26	90,0	130,0	100,0
29	80,0	110,0	80,0
31	140,0	220,0	180,0
Průměr	**101,5**	**147,9**	**123,5**
STD	**19,9**	**29,5**	**25,9**

Tabulka 24: *Průměrné hodnoty zvednutého závaží při druhém měření (2. týden)*

Skupina 1			
Vzorek	**Tlak na lavici [Kg]**	**Mrtvý tah [Kg]**	**Dřep [Kg]**
1	110,0	160,0	130,0
8	90,0	140,0	90,0
11	100,0	150,0	120,0
12	110,0	140,0	130,0
13	100,0	145,0	130,0
16	85,0	115,0	90,0
17	85,0	125,0	100,0
21	70,0	105,0	70,0
22	100,0	130,0	120,0
23	75,0	140,0	100,0
24	90,0	120,0	110,0
27	75,0	100,0	80,0
28	102,5	160,0	100,0
30	125,0	200,0	145,0
32	75,0	120,0	100,0
33	80,0	100,0	95,0
Průměr	**92,0**	**134,4**	**106,9**
STD	**15,1**	**25,2**	**20,0**
Skupina 2			
2	125,0	180,0	140,0
3	115,0	180,0	150,0
4	120,0	170,0	140,0
5	105,0	100,0	120,0
6	100,0	150,0	130,0
7	65,0	140,0	90,0
9	90,0	150,0	110,0
10	90,0	160,0	135,0
14	65,0	120,0	110,0
15	90,0	120,0	120,0
18	100,0	150,0	115,0
19	90,0	150,0	120,0
20	110,0	180,0	180,0
25	85,0	120,0	105,0
26	90,0	130,0	100,0
29	75,0	120,0	90,0
31	130,0	200,0	180,0
Průměr	**96,8**	**148,2**	**125,6**
STD	**18,6**	**26,8**	**25,8**

Tabulka 25: *Průměrné hodnoty zvednutého závaží při třetím měření (4. týden)*

Skupina 1			
Vzorek	**Tlak na lavici [Kg]**	**Mrtvý tah [Kg]**	**Dřep [Kg]**
1	117,5	170,0	140,0
8	90,0	155,0	90,0
11	100,0	155,0	120,0
12	115,0	140,0	150,0
13	105,0	155,0	140,0
16	85,0	140,0	100,0
17	95,0	135,0	105,0
21	75,0	110,0	75,0
22	102,5	140,0	130,0
23	80,0	140,0	105,0
24	95,0	130,0	115,0
27	75,0	110,0	80,0
28	110,0	165,0	120,0
30	125,0	200,0	145,0
32	80,0	130,0	105,0
33	85,0	110,0	105,0
Průměr	**95,9**	**142,8**	**114,1**
STD	**15,2**	**23,2**	**22,0**
Skupina 2			
2	125,0	175,0	140,0
3	110,0	160,0	150,0
4	115,0	170,0	140,0
5	105,0	120,0	120,0
6	105,0	160,0	120,0
7	70,0	140,0	90,0
9	90,0	150,0	120,0
10	95,0	170,0	135,0
14	70,0	130,0	110,0
15	90,0	132,5	120,0
18	105,0	150,0	120,0
19	105,0	150,0	130,0
20	110,0	190,0	170,0
25	85,0	120,0	100,0
26	85,0	120,0	100,0
29	80,0	120,0	100,0
31	130,0	220,0	170,0
Průměr	**98,5**	**151,6**	**125,6**
STD	**17,0**	**27,1**	**22,6**

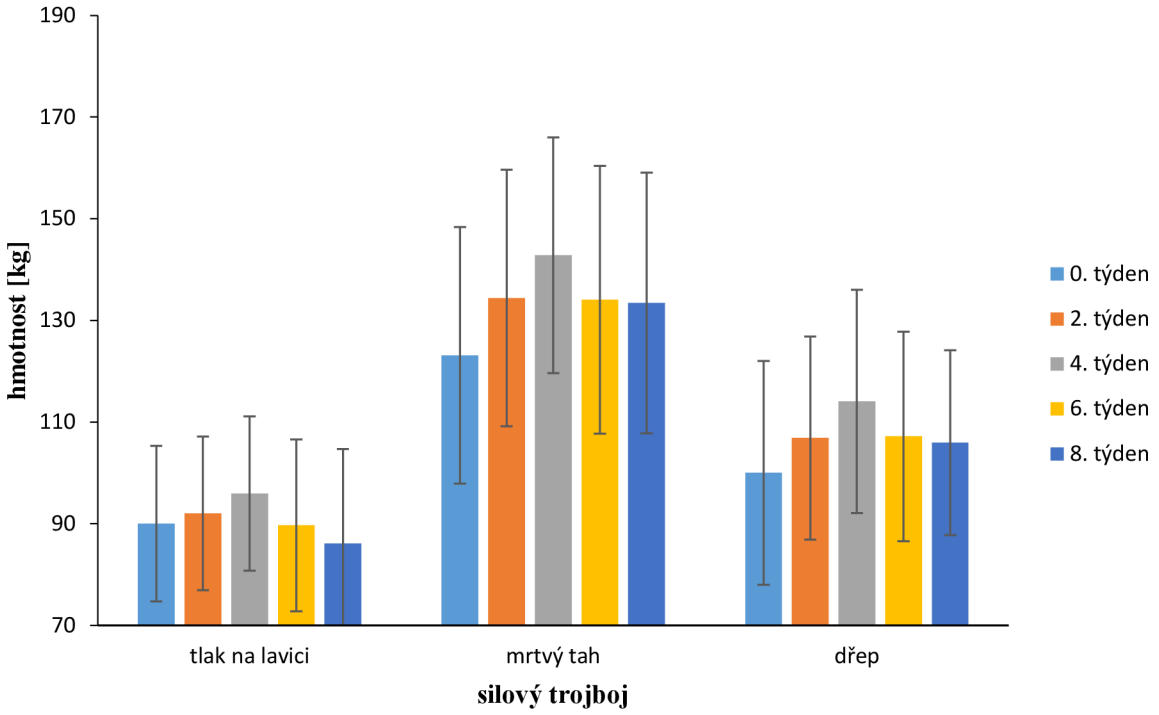
Tabulka 26: *Průměrné hodnoty zvednutého závaží při čtvrtém měření (6. týden)*

Skupina 1			
Vzorek	**Tlak na lavici [Kg]**	**Mrtvý tah [Kg]**	**Dřep [Kg]**
1	115,0	160,0	130,0
8	85,0	145,0	85,0
11	95,0	145,0	120,0
12	110,0	135,0	130,0
13	100,0	150,0	135,0
16	80,0	130,0	90,0
17	80,0	125,0	100,0
21	65,0	100,0	75,0
22	100,0	135,0	130,0
23	75,0	130,0	95,0
24	90,0	130,0	110,0
27	65,0	90,0	80,0
28	105,0	150,0	110,0
30	120,0	205,0	140,0
32	70,0	110,0	95,0
33	80,0	105,0	90,0
Průměr	**89,7**	**134,1**	**107,2**
STD	**16,9**	**26,4**	**20,6**
Skupina 2			
2	135,0	185,0	150,0
3	120,0	180,0	155,0
4	120,0	180,0	145,0
5	120,0	125,0	130,0
6	105,0	160,0	130,0
7	65,0	130,0	90,0
9	90,0	150,0	125,0
10	100,0	160,0	140,0
14	65,0	140,0	115,0
15	85,0	135,0	120,0
18	115,0	160,0	130,0
19	105,0	155,0	125,0
20	115,0	190,0	180,0
25	90,0	130,0	110,0
26	90,0	125,0	105,0
29	85,0	120,0	100,0
31	140,0	210,0	180,0
Průměr	**102,6**	**155,0**	**131,2**
STD	**21,2**	**25,9**	**24,5**

Tabulka 27: *Průměrné hodnoty zvednutého závaží při závěrečném měření (8. týden)*

Skupina 1			
Vzorek	**Tlak na lavici [Kg]**	**Mrtvý tah [Kg]**	**Dřep [Kg]**
1	110,0	160,0	125,0
8	80,0	145,0	80,0
11	95,0	145,0	120,0
12	105,0	130,0	130,0
13	100,0	155,0	130,0
16	75,0	130,0	90,0
17	60,0	125,0	100,0
21	60,0	100,0	80,0
22	100,0	130,0	120,0
23	75,0	130,0	90,0
24	90,0	120,0	110,0
27	70,0	100,0	80,0
28	102,5	155,0	115,0
30	120,0	200,0	130,0
32	60,0	110,0	100,0
33	75,0	100,0	95,0
Průměr	**86,1**	**133,4**	**105,9**
STD	**18,6**	**25,7**	**18,2**
Skupina 2			
2	145,0	190,0	160,0
3	125,0	185,0	160,0
4	125,0	185,0	145,0
5	120,0	130,0	135,0
6	100,0	170,0	140,0
7	70,0	140,0	90,0
9	95,0	150,0	130,0
10	105,0	170,0	150,0
14	65,0	140,0	110,0
15	85,0	140,0	110,0
18	110,0	160,0	130,0
19	100,0	155,0	120,0
20	120,0	205,0	180,0
25	90,0	130,0	110,0
26	80,0	125,0	100,0
29	80,0	120,0	120,0
31	147,5	205,0	190,0
Průměr	**103,7**	**158,8**	**134,1**
STD	**23,6**	**26,9**	**26,9**

Graf 36: *Průměrná hmotnost zvednutého závaží respondentů skupiny 1 dosažená v rámci silového trojboje v průběhu výzkumu*



Graf 36 popisuje průměrné hodnoty jednotlivých disciplín silového trojboje skupiny 1 po dobu celého výzkumu.

Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla testována změna každé disciplíny silového trojboje v průběhu celého výzkumu. Jednotlivé výsledky popisuje **Tabulka 28**.

Tabulka 28: *Zhodnocení statistické významnosti změn každé disciplíny silového trojboje skupiny 1 v průběhu výzkumu*

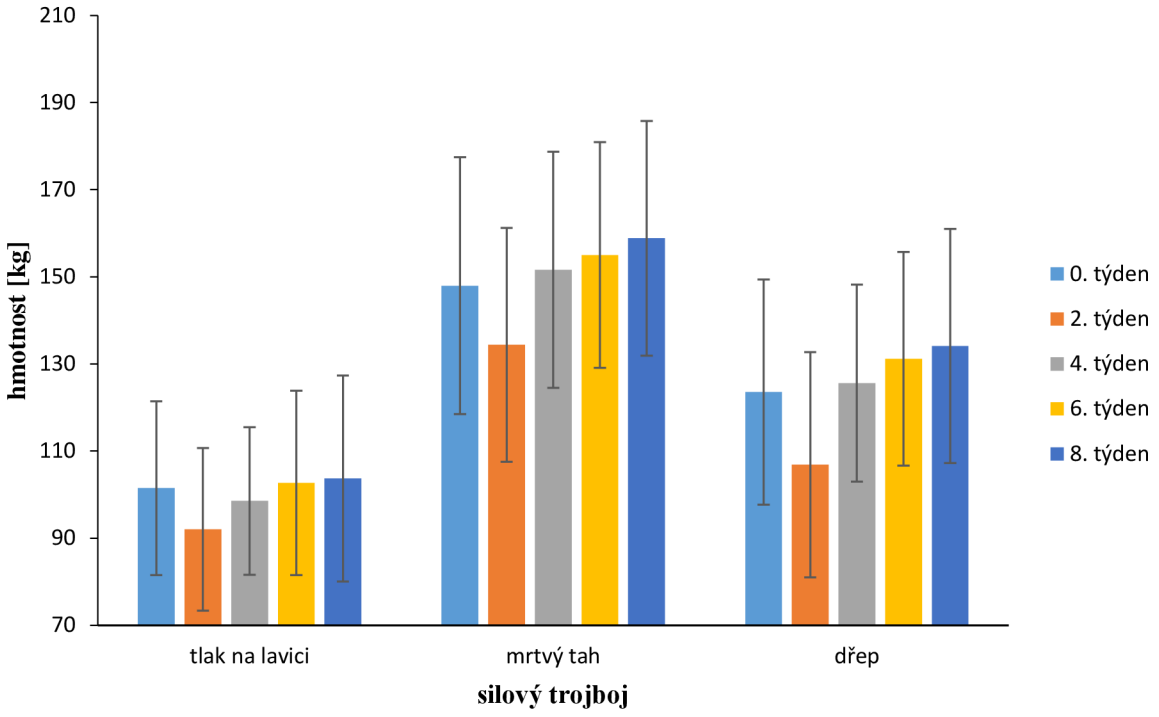
Testovaná disciplína ($\alpha = 0{,}05$)	**Vypočítaná hodnota p**
Tlak na lavici	0,5705
Mrtvý tah	0,3362
Dřep	0,4788

Z tabulky vyplývá, že nebyla zaznamenána statisticky signifikantní změna v žádné disciplíně silového trojboje. Rozhodnutí je správné z 95 %. Ve všech případech byla potvrzena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a tudíž vyvrácena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Výsledné hodnoty α svědčí o statisticky nesignifikantním rozdílu v jednotlivých disciplínách silového trojboje.

Z grafu ovšem vyplývá, že ihned po 14 dnech suplementace vitamínem C, hořčíkem a kreatinem (3 g denně) sledujeme trend směřující ke zlepšení výkonů ve všech třech disciplínách. Podobný trend sledujeme v průběhu celého prvního měsíce, kdy zůstává suplementace beze změny. Vzhledem k vstupním hodnotám dochází po prvním měsíci suplementace k největšímu zlepšení při mrtvém tahu (19,7 kg), dále dřepu (14,1 kg) a nejmenšímu v oblasti tlaku na lavici (5,9 kg).

V průběhu druhého měsíce, po vysazení kreatinu dochází ihned po 14 dnech ke zhoršení výsledků silového trojboje. Suplementace vitamínem C a hořčíkem vede v druhém měsíci ke znatelnému zhoršení výkonů vzhledem k předcházejícímu měsíci. V tlaku na lavici sledujeme v druhém měsíci dokonce nižší hodnotu, než byla naměřena při vstupním měření (3,9 kg). Mrtvý tah i dřep vykazuje v druhém měsíci snížené hodnoty, které ovšem nejsou nižší než při vstupním měření, vůči kterému je každý trend vztahován.

Graf 37: *Průměrná hmotnost zvednutého závaží respondentů skupiny 2 dosažená v rámci silového trojboje v průběhu výzkumu*



Graf 37 popisuje průměrné hodnoty jednotlivých disciplín silového trojboje skupiny 2 po dobu celého výzkumu. Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byla testována změna každé disciplíny silového trojboje v průběhu celého výzkumu. Jednotlivé výsledky popisuje **Tabulka 29**.

Tabulka 29: *Zhodnocení statistické významnosti změn každé disciplíny silového trojboje skupiny 2 v průběhu výzkumu*

Testovaná disciplína ($\alpha = 0{,}05$)	**Vypočítaná hodnota p**
Tlak na lavici	0,8584
Mrtvý tah	0,1087
Dřep	0,7365

Z tabulky vyplývá, že nebyla zaznamenána statisticky signifikantní změna v žádné disciplíně silového trojboje. Rozhodnutí je správné z 95 %. Ve všech případech byla potvrzena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a tudíž vyvrácena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Výsledné hodnoty α svědčí o statisticky nesignifikantním rozdílu v jednotlivých disciplínách silového trojboje.

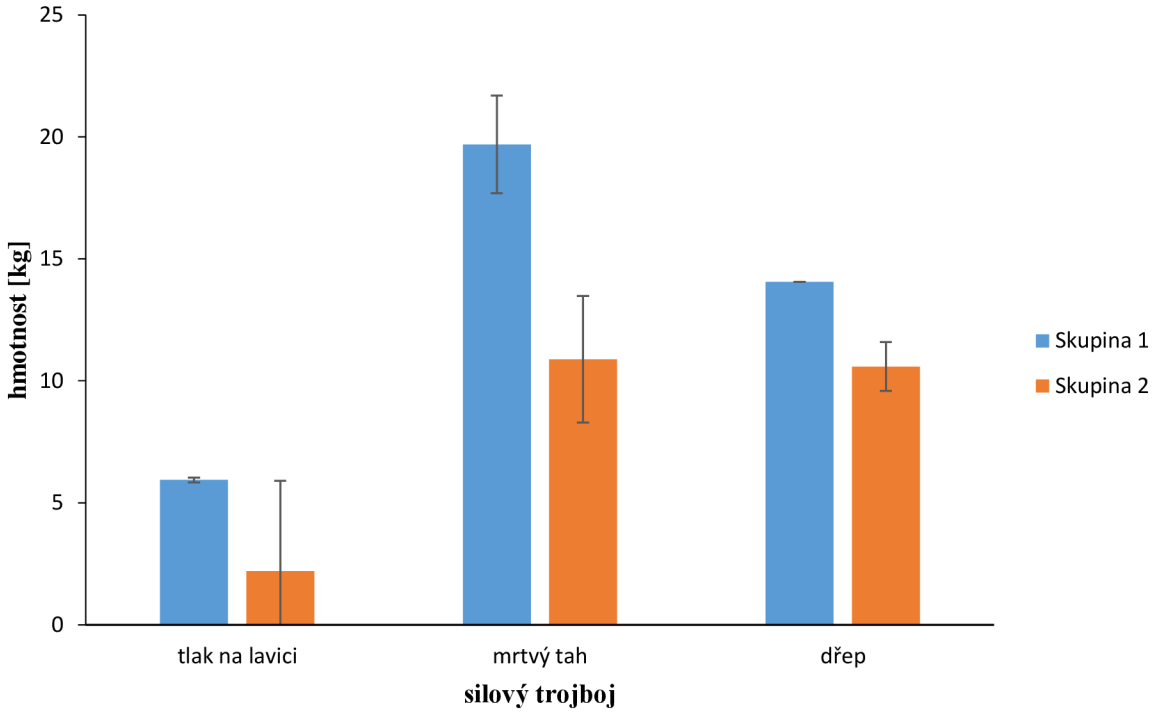
Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}1$, by se již dalo zlepšení v disciplíně mrtvého tahu považovat z 90 % za statisticky signifikantní.

Z grafu ovšem vidíme, že suplementace pouze hořčíkem a vitamínem C vede v průběhu prvních 14 dnů ke zhoršení výsledků ve všech disciplínách silového trojboje. V průběhu celého měsíce se výsledky zlepšují, nicméně jsou stále srovnatelné se vstupním měřením. Výjimkou je tlak na lavici, kde jsou výsledky po prvním měsíci slabší, než při vstupním měření.

V druhém měsíci je suplementace doplněna dávkou 10 g kreatinu denně, která vede ke zlepšení ve všech disciplínách. Největší zlepšení pozorujeme v rámci mrtvého tahu (10,9 kg), dále dřepu (10,6 kg) a nejnižší opět v tlaku na lavici (2,2 kg). Všechny hodnoty se opět vztahují k vstupnímu měření.

Z obou grafů je patrné, že kreatin sehrává z hlediska silového trojboje poměrně důležitou roli. Během suplementace menší dávkou (3 g denně) i vyšší dávkou (10 g denně) dochází vždy ke zlepšení výsledků. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ se ovšem nejedná o statisticky signifikantní změny.

Graf 38*: Srovnání průměrných váhových přírůstků zvednutého závaží v rámci silového trojboje mezi oběma skupiny.*



Graf 38 znázorňuje průměrný progres obou skupin po měsíční suplementaci kreatinem vzhledem k vstupní hodnotě.

Byla provedena statistická analýza rozptylu pomocí ANOVA testu. Na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ byl testován rozdíl přírůstků zvednutého závaží mezi oběma skupinami. Jednotlivé výsledky popisuje **Tabulka 30**.

Tabulka 30: *Zhodnocení statistické významnosti změn každé disciplíny silového trojboje a jejich porovnání mezi oběma skupinami*

Testovaná disciplína ($\alpha = 0,05$)	**Vypočítaná hodnota p**
Tlak na lavici	0,0781
Mrtvý tah	0,0395
Dřep	0,3749

Z tabulky vyplývá, že byla zaznamenána statisticky signifikantní změna pouze v disciplíně „Mrtvý tah“. Ve zbývajících dvou disciplínách nebyla zaznamenána statisticky signifikantní změna, ovšem pokud by hladina významnosti byla snížena na $\alpha = 0,1$, za statisticky signifikantní by bylo možné považovat i zlepšení v disciplíně „Tlak na lavici“. Rozhodnutí je správné z 95 %. V prvním případě byla vyvrácena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a potvrzena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$. Ve zbylých dvou disciplínách byla potvrzena nulová hypotéza $\mu_0 = \mu_1$ a vyvrácena alternativní hypotéza $\mu_0 \neq \mu_1$.

Z grafu je ovšem patrné, že suplementace 3 g kreatinu denně vede k většímu zlepšení ve všech třech disciplínách. Největší rozdíl byl zaznamenán v disciplíně mrtvý tah (8,8 kg), dále v tlaku na lavici (3,7 kg) a nejmenší v dřepu (3,5 kg).

V kapitole 4 byly shrnuty výsledky optimalizací všech tří metod, které byly nezbytné pro analýzu vzorků v močové matrici. Byly zde popsány výsledky stanovení jednotlivých metabolitů v biologickém vzorku. Respondenti zde byli na základě vyplněných formulářů důkladně charakterizováni z hlediska zdravotního stavu, výživových zvyklostí a mezi skupinami porovnáni z hlediska výšky a věku. Byly zde popsány výsledky respondentů z hlediska obvodové proporcionality, InBody parametrů a výsledků v silovém trojboji. Veškerá naměřená data a hypotézy byly statisticky ověřeny pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) a dány do souvislostí s interpretací výsledků.

5. ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce bylo stanovit optimální dávku kreatinu v kombinaci se synergicky působícím pozadím v podobě vitamínu C a hořčíku. Práce vznikla jako reakce na současnou situaci v oblasti suplementace kreatinem, která mnohdy zdaleka překračuje tělem využitelné hodnoty.

První část diplomové práce pojednává komplexně o svalstvu, základních metabolických drahách, doplňcích stravy, silovém trojboji a somatotypech.

Kreatin, vitamín C i hořčík byly v experimentální části zkoumány z hlediska výkonu v rámci silového trojboje, metabolizace i antropologických změn. Bylo vybráno 33 respondentů, kteří se v průběhu výzkumu lišili množstvím denní dávky kreatinu, zatímco hořčík i vitamín C byly podávány po celou dobu výzkumu v konstantních dávkách. Respondenti rozdělení do dvou skupin podstupovali veškerá potřebná měření po dobu 8 týdnů.

Na základě vyplněných formulářů bylo zjištěno, že skupina 1 vykazuje z hlediska zdravotního stavu poněkud menší četnost výskytu civilizačních chorob, což se projevuje i zaznamenanou nižší medikací. Většinou se ovšem jedná o alergie, které nemají na výsledky práce žádný vliv.

Přestože výběr jedinců do skupin byl náhodný, podíl respondentů, kteří měli předchozí zkušenosti s užíváním kreatinu, byl v obou skupinách stejný.

Z hlediska pestrosti stravy pozorujeme v obou skupinách téměř stejné hodnoty, lišící se pouze četností příjmu během týdne. Respondenti 2. skupiny přijímají v průměru více masa, mléčných výrobků, vajec, ovoce i zeleniny. Zpravidla je v rámci obou skupin upřednostňováno bílé maso před červeným, či rybím. Důraz je kladen na rýži a těstoviny. Rozmanitost příjmu ovoce je větší, než při příjmu zeleniny. Zanedbatelná je potom konzumace vnitřností, suchých plodů, celozrnného pečiva i luštěnin.

Celkové srovnání vlivu dvou typů významně odlišné suplementace kreatinem přineslo velmi zajímavé výsledky, které na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ statisticky potvrzují nulovou hypotézu H_0. Z grafického trendu je ovšem patrné, že suplementace kreatinem v denní dávce 3 g zaznamenala během měsíce vyšší váhové přírůstky zvednutého závaží v silovém trojboji, než suplementace 10 g kreatinu denně. Došlo k většímu průměrnému zlepšení ve všech třech disciplínách. Zlepšení v jednotlivých skupinách po suplementaci kreatinem ovšem nebylo na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ statisticky signifikantní.

Toto zlepšení je doprovázeno lepšími výsledky i v oblasti InBody parametrů. Suplementace 3 g kratinu denně vedla k většímu zvýšení průměrné hmotnosti, kosterního svalstva, celkové vody v těle i bazálního metabolismu (BMR). Všechny tyto parametry spolu velmi úzce souvisí. Zvýšení hmotnosti je úměrné zvýšenému množství kosterního svalstva, jelikož suplementace vedla i ke snížení celkového množství tuku v těle. Zvýšené množství vody v těle, které mnohdy závisí od celkové hmotnosti jedince, je ovlivněno hygroskopickými vlastnostmi kreatinu. Zvýšené množství vody v těle indikuje přítomnost kreatinu ve svalech a je vypovídajícím údajem o přítomnosti využitelného kreatinu. Větší průměrná hodnota BMR je opět velmi žádoucím faktorem v oblasti dynamického cvičení, jelikož svědčí o zvýšení svalové hmoty v těle a zároveň o zvýšeném výkonu v oblasti spalování tuků. Tím se

zákonitě zvyšuje množství vydané energie v klidovém stavu, v neutrálním prostředí nalačno (BMR). Žádný z těchto parametrů ovšem nebyl shledán na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ jako statisticky signifikantní, a proto byla z hlediska statistiky potvrzena nulová hypotéza H_0.

Suplementace nižší dávkou kreatinu vedla i k průměrně vyšším přírůstkům obvodové proporcionality. Všech 5 měřených partií (ramena, hrudník, biceps, pas, stehno) vykazovalo vyšší zlepšení v denní dávce 3 g kreatinu. Obvodová proporcionalita žádné lidské partie ovšem nebyla shledána na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ jako statisticky signifikantní, čímž byla statisticky potvrzena nulová hypotéza H_0.

Stanovení metabolitů kreatinu, vitamínu C i hořčíku přineslo komplexnější pohled na celou problematiku.

Z hlediska suplementace hořčíkem bylo po podávání 200 mg denně vidět mírně zvýšené vylučování močí, které ovšem zůstalo v referenčních hodnotách. Toto zvýšení bylo na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ shledáno jako statisticky signifikantní. Koncentrace v séru se touto suplementací pravděpodobně nezvýšila natolik, aby docházelo k vysokému vylučování močí. Z této informace se dá usuzovat na dobrou využitelnost dávky 200 mg denně pro sportovce. Vyšší využitelnosti by mohlo být docíleno rozdělením dávky do více menších dávek.

Suplementace vitamínem C zaznamenala poněkud jiný trend. Po 14 dnech užívání 500 mg denně došlo k poměrně zvýšenému vylučování vitamínu C močí. Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ se jednalo o statisticky signifikantní zvýšení. To bylo předvídatelné vzhledem k povaze vitamínu C. Zvýšené množství v těle se vylučuje výhradně močí. V průběhu celého výzkumu ovšem sledujeme postupně se snižující vylučování vitamínu C, které se po 2 měsících suplementace prakticky dostává na počáteční hodnotu. Dá se tedy předpokládat, že fyzická i psychická zátěž sportovce vede k vyšším nárokům z hlediska příjmu vitamínu C. Po dobu 2 měsíců každý respondent užíval denní dávku 500 mg ve formě dvou dílčích dávek. Suplementace 500 mg denně se z hlediska analýzy vitamínu C v moči jeví jako velmi vhodná pro aktivně žijícího člověka. Vyšší využitelnost by mohla nastat rozdělením denní dávky do více menších dávek.

Nejdůležitějším parametrem celého výzkumu bylo stanovení kreatininu v moči. Tento odpadní produkt kreatinu se charakteristicky vylučuje do moči a dává nám informaci o využitelnosti kreatinu v lidském těle. Suplementace 3 g kreatinu denně vedla k lehkému zvýšení kreatininu v moči, ovšem v rámci fyziologických mezí. Toto zvýšení bylo na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ shledáno jako statisticky nesignifikantní. Suplementace 10 g kreatinu denně vedla k znatelně vyššímu vylučování kreatininu močí, které vedlo již nad fyziologické hodnoty. Tohle zvýšení již bylo posouzeno na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ jako statisticky signifikantní. Z pohledu metabolizace byla statisticky potvrzena alternativní hypotéza H_1.

Z hlediska posilovacího bloku zahrnujícího: silový trojboj, obvodovou proporcionalitu a analýzu InBody parametrů byla potvrzena nulová hypotéza H_0, zatímco z pohledu metabolizace byla potvrzena alternativní hypotéza H_1. Z výzkumu vyplývá, že suplementace kreatinem 3 g denně zajistí dostatečný příjem kreatinu potřebného k vybudování svalové hmoty, zvýšení energetického metabolismu i celkového fyzického výkonu. Samotná metabolizace probíhá velmi dobře a v rámci fyziologických hodnot. Suplementace 10 g kreatinu denně nevedla k žádnému vyššímu benefitu ve srovnání s menší dávkou. Naopak byla vypozorována nízká využitelnost tělem v podobě zvýšené hladiny kreatininu v moči.

Práce také poukazuje na důležitost vitamínů a minerálních látek. Vitamín C i hořčík vytvářely synergické biochemické prostředí pro kreatin. Jejich metabolizace ukázala, že s fyzickým výkonem stoupá jejich potřeba.

Statistická nesignifikantnost na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ v oblasti obvodové proporcionality, InBody parametrů i silového trojboje je výsledkem menšího statistického souboru, variability respondentů a minimální tolerance v oblasti parametrické statistiky. I přes to, je ovšem zjevný trend, který poukazuje na jednoznačně větší zlepšení s nižší dávkou kreatinu.

Závěrem lze konstatovat, že dostačující doporučená dávka kreatinu dle provedeného výzkumu činí 3 g denně podávané ihned po tréninku. V kombinaci s 200 mg hořčíku a 500 mg vitamínu C jde o optimální suplementaci pro zajištění optimálního sportovního výkonu za udržení celkové rovnováhy metabolismu.

6. LITERATURA

1. MURRAY, Robert K. *Harperova Biochemie*. 3. vyd. Jinočany: Lange medical book, 2001. ISBN 80-731-9003-6.
2. NOVÁKOVÁ, L., M. ŠAJDÍKOVÁ. *Funkce buněk a lidského těla: Funkční morfologie svalů* [online]. Lékařská fakulta Karlovy Univerzity, 2013 [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: http://fblt.cz/skripta/iv-pohybova-soustava/5-funkcni-morfologie-svalu-slachy/.
3. ŠANTAVÝ, F. *Biochemie pro studující medicíny*. 1. vyd. Brno: Avicenum, 1975. 672 s. ISBN: 735-21-08/29
4. MAĎA, P., J. FONTANA. *Funkce buněk a lidského těla: Svalová kontrakce* [online]. Lékařská fakulta Karlovy Univerzity, 2013 [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: http://fblt.cz/skripta/iv-pohybova-soustava/6-svalova-kontrakce/.
5. FONTANA, J., P. LAVRÍKOVÁ. *Funkce buněk a lidského těla: Metabolismus svalové tkáně* [online]. Lékařská fakulta Karlovy Univerzity, 2013 [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: http://fblt.cz/skripta/iv-pohybova-soustava/7-metabolismus-svalove-tkane/.
6. BERNACIKOVÁ, M., K. KAPOUNKOVÁ a kol. *Fyziologie člověka pro studenty bakalářských oborů Tělesné výchovy*. 1. vyd. Brno: Fakulta sportovních studií, Masarykova univerzita, 2014. ISBN 978-80-210-7697-6
7. HOLEČEK, M. *Regulace metabolizmu cukrů, tuků, bílkovin a aminokyselin.* 1. vyd. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1562-7
8. KARAS, V., S. OTÁHAL a P. SUŠANKA. *Biomechanika tělesných cvičení*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990. ISBN 80-042-0554-2.
9. FONTANA, J., P. LAVRÍKOVÁ. *Funkce buněk a lidského těla: Odbourávání a syntéza glukózy* [online]. Lékařská fakulta Karlovy Univerzity, 2013 [cit. 2017-02-27].
   Dostupné z: http://fblt.cz/skripta/ii-premena-latek-a-energie-v-bunce/9-odbouravani-a-synteza-glukozy/.
10. FONTANA, J., P. LAVRÍKOVÁ. *Funkce buněk a lidského těla: Ukládání energie v lidském těle – metabolismus glykogenu a tvorba mastných kyselin a triacylglycerolů* [online]. Lékařská fakulta Karlovy Univerzity, 2013 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: http://fblt.cz/skripta/ii-premena-latek-a-energie-v-bunce/13-ukladani-energie-v-lidskem-tele-metabolismus-glykogenu-a-tvorba-mastnych-kyselin-a-triacylglycerolu/
11. FONTANA, J., P. LAVRÍKOVÁ. *Funkce buněk a lidského těla: Odbourávání lipidů a metabolizmus ketolátek* [online]. Lékařská fakulta Karlovy Univerzity, 2013 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: http://fblt.cz/skripta/ii-premena-latek-a-energie-v-bunce/11-odbouravani-lipidu-a-metabolismus-ketolatek/
12. KERESTEŠ, J. *Biotechnológie, výživa a zdravie.* 1. vyd. Považská Bystrica: Eminent, 2009. ISBN 978-80-970205-9-0.
13. MACH, I. *Doplňky stravy: Jaké si vybrat při sportu i v každodenním životě*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4353-0.

14. TALBOTT, S. *A guide to understanding dietary supplements*. 1. vyd. New York: Haworth Press, 2003. ISBN 07-890-1456-4.
15. RHAO, N. *T-NATION: Catching Up On Creatine* [online]. 2009, last revision 7th of May 2009 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: https://www.t-nation.com/supplements/catching-up-on-creatine/
16. PREEN, D., a spol. *Pre-exercise oral creatine ingestion does not improve prolonged intermittent sprint exercise in humans*. J Sports Med Phys Fitness, 2002 DOI: 12094123.
17. HARRIS, R., a spol. *Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation*. London: Clin Sci, 1992. Sep;83(3):367-74, PMID: 1327657
18. TIPTON, K., a spol. Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. J Sports Med Phys Fitness, 2001. Aug;281(2):E197-206, PMID: 11440894
19. BARR, D. *T-NATION: The Creatine Controversy* [online]. 2005, last revision 27th of September 2005 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: https://www.t-nation.com/supplements/creatine-controversy
20. STEIDL, L. *Magnezium donor zdraví a pohody*. 1. díl. Interní medicína pro praxi. 2001, roč. 3, č. 4, s. 150-152. ISSN: 1212-7299
21. BOWMAN, B., a spol. *Present knowledge in nutrition*. 8th. edition. Washington, DC.: ILSI Press, 2001. ISBN 15-788-1107-4
22. SUCHOPÁR, J., Š. VALENTOVÁ a spol. *Remedia compendium*. 4. vyd. Praha: Panax, 2009. ISBN 978-80-902806--4-9.
23. TROJAN, S. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 8024705125.
24. ZATSIORSKY, Vladimir M. a William J. KRAEMER. *Silový trénink: praxe a věda*. Praha: Mladá fronta, 2014. Edice Českého olympijského výboru. ISBN 9788020432612.
25. VÍTEK, L. *Jak ovlivnit nadváhu a obezitu*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. ISBN 978802-4722-474.
26. CARTER, J., B. HEATH. *Somatotyping-development and applications*. Cambridge: Cambridge university press, c1990, 503 s. ISBN 05-213-5117-0.
27. PAVLÍK, J. *Tělesná stavba jako faktor výkonnosti sportovce*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1999, 57 s. ISBN 80-210-2130-6.
28. RIEGEROVÁ, J., M. ULBRICHOVÁ. *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu*. 2. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1998, 185 s. ISBN 80-706-7847-X.
29. HAINER, V., M. SKOPOVÁ. *Základy klinické obezitologie. 2*., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011, 183 s. ISBN 978-802-4732-527.
30. BERÁNKOVÁ, J., M. SKOPOVÁ. *Aerobik kompletní průvodce*. Praha: Grada, 2007. ISBN 80-247-1746-8.
31. VILIKUS, Z., P. BRANDEJSKÝ a V. NOVOTNÝ. *Tělovýchovné lékařství*. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0821-9.

32. SCHNEIDERKA, P. *Kapitoly z klinické biochemie*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0678-X
33. VELÍŠEK, J. *Chemie potravin*. Tábor: OSSIS, 1999. ISBN 80-902-3914-5.
34. BERG, J., M. John L. TYMOCZKO a L. STRYER. *Biochemistry*. 5th ed. New York: W.H. Freeman, c2002. ISBN 0-7167-3051-0.
35. PAVLÍK, Tomáš a Ladislav DUŠEK. Biostatistika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-782-6.

7. SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

AMP	Adenosinmonofosfát
CAMP	Cyklické AMP
ADP	Adenosindifosfát
ATP	Adenosintrifosfát
GTP	Guanosintrifosfát
UTP	Uridintrifosfát
UDP	Uridindifosfát
FAD	Flavinadenindinukleotid
NAD^+	Nikotinamidadenindinukleotid
$NADP^+$	Nikotinamidadenindinukleotidfosfát
ACh	Acetylcholin
P	Anorganický fosfát
Cr	Kreatin
CP	Kreatinfosfát
CM	Kreatin monohydrát
C-AKG	Kreatin α-keto-glutarát
CEE	Kreatin ethyl-ester
Vit C	Vitamín C
Mg	Hořčík
RP-HPLC	Vysokoúčinná kapalinová chromatografie s reverzní fází
UV	Ultrafialové záření
ICP-OES	Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
DAD	Detektor diodového pole
CoA	Koenzym A
Suc-CoA	Sukcinylkoenzym A
LDH	Laktátdehydrogenáza
TAG	Triacylglyceroly
ACP	Acyl carrier protein
CPT	Karnitinpalmitoyltransferáza
AK	Aminokyseliny
MK	Mastné kyseliny
EPA	Eikosapentaenová (omega 3 mastná kyselina)
DHA	Dokosahexaenová (omega 3 mastná kyselina)
GIT	Zažívací trakt
FDA	Úřad pro kontrolu potravin a léčiv
ADHD	Porucha chování s hyperaktivitou
ROS	Reaktivní formy kyslíku
α	Hladina významnosti

8. PŘÍLOHY

Příloha 1: Informovaný souhlas

Vážení účastníci

Rád bych Vás seznámil se studií, která bude prováděna ve spolupráci s AZ-Fitness a Ústavem chemie potravin a biotechnologií FCH VUT v Brně.

Cílem studie je sledovat výkon v oblasti silového trojboje po suplementaci kreatinem v kombinaci s hořčíkem a vitamínem C. Každému účastníkovi bude pravidelně v intervalu 14 dnů po dobu 2 měsíců odebírána moč. Na základě výsledků studie mohou být formulována určitá výživová doporučení zaměřená specificky na českou populaci tak, aby přirozená výživa každého jedince byla co možná nejlepší.

Studie bude zcela anonymní, osobní údaje nebudou nikomu poskytovány.
Účastníci obdrží své identifikační číslo, pod kterým se mohou informovat o výsledcích studie (předpokládaný termín celkového vyhodnocení studie červen 2017).

Kontaktní osoba: Jan Vlasák
Mobilní tel.: 732 712 633
vlasak.jenda@gmail.com.

Děkuji Vlasák Jan

Souhlasím se suplementací kreatinem, hořčíkem, vitamínem C a s odběrem vzorku moči v rámci studie zaměřené na monitoring obsahu vybraných aktivních látek. Souhlas s účastí ve studii potvrzuji svým podpisem.

_____ _____

Datum Podpis účastníka studie

Příloha 2: Charakteristika respondentů z hlediska výšky a věku

Tabulka 31: *Průměrné hodnoty tělesné výšky a věku respondentů obou skupin*

Skupina 1		
Vzorek	**Věk [rok]**	**Výška [cm]**
1	23	180
8	22	177
11	22	175
12	24	170
13	24	179
16	23	181
17	18	179
21	24	175
22	24	185
23	20	178
24	26	176
27	19	175
28	23	180
30	18	179
32	23	183
33	24	182
Průměr	**22,3**	**178,4**
STD	**2,3**	**3,6**
Skupina 2		
2	23	170
3	21	185
4	20	180
5	24	184
6	18	169
7	26	178
9	19	180
10	21	182
14	21	183
15	22	185
18	23	184
19	24	180
20	19	184
25	24	181
26	20	183
29	23	173
31	23	188
Průměr	**21,8**	**180,1**
STD	**2,1**	**5,2**

Příloha 3: Základní anamnestické údaje účastníka

Osobní číslo:

Věk účastníka studie:

Nekuřák/kuřák:

Pravidelné užívání léků:

1. Osobní anamnéza:
Uveďte prosím, zda trpíte nebo jste trpěl nějakým závažnějším onemocněním (cukrovka – diabetes, vysoký krevní tlak, vysoká hladina tuků/cholesterolu, onemocnění zažívacího traktu, cévní onemocnění, nádorové onemocnění, alergie apod.); pokud ano, tak uveďte i období onemocnění.

2. Rodinná anamnéza:
Uveďte prosím, zda někdo z Vašich blízkých příbuzných trpěl nebo trpí některou z výše uvedených nemocí (týká se členů rodiny účastníka studie – otce, matky, bratří a sester; prosíme uvést, u koho z rodiny se příslušná nemoc vyskytla).

3. Uveďte prosím Váš současný zdravotní stav:

□ bez obtíží

□ zažívací potíže

□ infekce

□ alergie

□ astma

□ další potíže

4. Výživové zvyklosti

a. **Používáte nějaký zvláštní výživový režim nebo používal jste jej dříve – vegetariánství, veganství, makrobiotika, dělená strava apod.**

b. **Užíváte nebo užíval jste nějaké potravinové doplňky nebo vitaminové preparáty (např. antioxidanty, preparáty na podporu trávení, gainery, proteiny, bca, kreatin apod.) – pokud ano, uveďte, jaké a jak dlouho jste je užíval.**

c. **Změnil jste nějak zásadně jídelníček v posledních měsících?**

d. **Kolik jste asi v předchozích měsících požíval následujících potravin (průměrně) – uveďte prosím množství do příslušného sloupce.**

Potravina (ks, g, ml)	**1 denně**	**2–3 týdně**	**1 týdně**	**1 měsíčně**	**méně**
Mléčné výrobky					
Mléko					
Jogurt					
Sýr					
Zakysané výrobky					
Vejce					
Pečivo					
Celozrnné pečivo					
Bílé pečivo					
Maso					
Maso bílé: drůbež					
Maso: vepřové					
Maso: hovězí					
Ryby, rybí výrobky					
Vnitřnosti (játra..)					
Ovoce					
Jablko					
Citrusové plody					
Jižní: ananas, meloun					
Ovoce: tuzemské					
Ovoce: kompot					
Jiné					
Zelenina					
Zelená (špenát..)					
Rajčata, paprika					
Mrkev					
Vařená, dušená					
Jiné					
Přílohy					
Luštěniny					
Brambory					
Rýže					
Těstoviny					

Děkujeme za laskavé vyplnění a přejeme hodně zdraví, štěstí a pohody!

Příloha 4: Zdravotní stav respondentů – souborné vyhodnocení

Tabulka 32: *Zdravotní stav respondentů obou skupin*

Skupina 1					
Vzorek	**Bez obtíží**	**Alergie**	**Astma**	**Reflux**	**Hypotyreóza**
1		ANO	ANO		
8	ANO				
11	ANO				
12				ANO	
13	ANO				
16	ANO				
17	ANO				
21					ANO
22		ANO			
23	ANO				
24	ANO				
27					
28	ANO				
30	ANO				
32	ANO				
33				ANO	
Celkem	**10**	**2**	**1**	**2**	**1**
Skupina 2					
2		ANO			
3					ANO
4		ANO	ANO		
5		ANO			
6	ANO				
7		ANO		ANO	
9		ANO			
10		ANO			
14	ANO				
15					ANO
18	ANO				
19	ANO				
20	ANO				
25			ANO		
26	ANO				
29		ANO			
31	ANO				
Celkem	**7**	**7**	**2**	**2**	**1**

Tabulka 33: *Rozdělení respondentů z hlediska kouření*

Skupina 1		
Vzorek	**Kuřák**	**Nekuřák**
1		ANO
8	ANO	
11		ANO
12		ANO
13		ANO
16		ANO
17		ANO
21		ANO
22		ANO
23		ANO
24		ANO
27		ANO
28		ANO
30		ANO
32		ANO
33		ANO
Celkem	**1**	**15**
Skupina 2		
2		ANO
3		ANO
4		ANO
5		ANO
6		ANO
7		ANO
9		ANO
10		ANO
14	ANO	
15		ANO
18		ANO
19		ANO
20	ANO	
25		ANO
26		ANO
29		ANO
31		ANO
Celkem	**2**	**15**

Tabulka 34: *Rozdělení respondentů z hlediska medikace*

Skupina 1		
Vzorek	**Pravidelná medikace**	**Bez medikace**
1	ANO	
8		ANO
11		ANO
12		ANO
13		ANO
16		ANO
17		ANO
21		ANO
22		ANO
23		ANO
24		ANO
27		ANO
28		ANO
30		ANO
32		ANO
33	ANO	
Celkem	**2**	**14**
Skupina 2		
2	ANO	
3	ANO	
4		ANO
5	ANO	
6		ANO
7	ANO	
9		ANO
10		ANO
14		ANO
15		ANO
18		ANO
19		ANO
20		ANO
25		ANO
26		ANO
29		ANO
31		ANO
Celkem	**4**	**13**

Příloha 5: Výživové zvyklosti – souhrnné vyhodnocení

Tabulka 35: *Zkušenosti respondentů s doplňky stravy*

Skupina 1			
Vzorek	Pravidelné užívání	Občasné užívání	Žádná zkušenost
1		ANO	
8		ANO	
11		ANO	
12			ANO
13	ANO		
16			ANO
17			ANO
21		ANO	
22			ANO
23	ANO		
24	ANO		
27			ANO
28	ANO		
30	ANO		
32			ANO
33			ANO
Celkem	5	4	7
Skupina 2			
2	ANO		
3	ANO		
4	ANO		
5	ANO		
6	ANO		
7		ANO	
9		ANO	
10		ANO	
14	ANO		
15	ANO		
18			ANO
19	ANO		
20	ANO		
25			ANO
26	ANO		
29	ANO		
31	ANO		
Celkem	12	3	2

Tabulka 36: *Zkušenosti respondentů s kreatinem*

Skupina 1			
Vzorek	**Zkušenost s kreatinem**	**Bez zkušenosti**	
1	ANO		
8		ANO	
11	ANO		
12		ANO	
13	ANO		
16		ANO	
17		ANO	
21		ANO	
22		ANO	
23	ANO		
24	ANO		
27		ANO	
28	ANO		
30	ANO		
32		ANO	
33		ANO	
Celkem	**7**	**9**	
Skupina 2			
2		ANO	
3		ANO	
4	ANO		
5	ANO		
6		ANO	
7		ANO	
9		ANO	
10		ANO	
14	ANO		
15		ANO	
18		ANO	
19	ANO		
20		ANO	
25		ANO	
26	ANO		
29	ANO		
31	ANO		
Celkem	**7**	**10**	

Tabulka 37: *Konzumace mléčných výrobků*

Vzorek	1 denně	2–3 týdně	1 týdně
1	ANO		
8		ANO	
11	ANO		
12		ANO	
13	ANO		
16		ANO	
17			ANO
21		ANO	
22		ANO	
23	ANO		
24	ANO		
27		ANO	
28	ANO		
30		ANO	
32		ANO	
33		ANO	
Celkem	**6**	**9**	**1**
Skupina 2			
2			ANO
3		ANO	
4	ANO		
5	ANO		
6		ANO	
7	ANO		
9	ANO		
10		ANO	
14	ANO		
15		ANO	
18	ANO		
19	ANO		
20			ANO
25		ANO	
26			ANO
29	ANO		
31		ANO	
Celkem	**8**	**6**	**3**

Tabulka 38*: Konzumace vajec*

Vzorek	1 denně	2–3 týdně	1 týdně
1		ANO	
8			ANO
11		ANO	
12			ANO
13		ANO	
16			ANO
17			ANO
21			ANO
22			ANO
23		ANO	
24	ANO		
27		ANO	
28			ANO
30		ANO	
32		ANO	
33			ANO
Celkem	**1**	**7**	**8**
Skupina 2			
2	ANO		
3	ANO		
4	ANO		
5			ANO
6	ANO		
7	ANO		
9		ANO	
10	ANO		
14			ANO
15	ANO		
18		ANO	
19			ANO
20	ANO		
25		ANO	
26	ANO		
29		ANO	
31		ANO	
Celkem	**9**	**5**	**3**

Tabulka 39*: Konzumace masa*

Vzorek	1 denně	2–3 týdně	1 týdně
1	ANO		
8		ANO	
11	ANO		
12	ANO		
13	ANO		
16	ANO		
17	ANO		
21		ANO	
22			ANO
23	ANO		
24	ANO		
27			ANO
28	ANO		
30		ANO	
32		ANO	
33		ANO	
Celkem	**9**	**5**	**2**
Skupina 2			
2	ANO		
3	ANO		
4	ANO		
5		ANO	
6	ANO		
7	ANO		
9	ANO		
10	ANO		
14		ANO	
15	ANO		
18	ANO		
19	ANO		
20	ANO		
25			ANO
26	ANO		
29		ANO	
31	ANO		
Celkem	**13**	**3**	**1**

Tabulka 40: *Konzumace zeleniny*

Vzorek	1 denně	2–3 týdně	1 týdně
1	ANO		
8			ANO
11			ANO
12	ANO		
13		ANO	
16		ANO	
17			ANO
21		ANO	
22	ANO		
23			ANO
24	ANO		
27	ANO		
28		ANO	
30	ANO		
32		ANO	
33			ANO
Celkem	**6**	**5**	**5**
Skupina 2			
2	ANO		
3	ANO		
4		ANO	
5	ANO		
6	ANO		
7	ANO		
9	ANO		
10	ANO		
14		ANO	
15		ANO	
18	ANO		
19			ANO
20	ANO		
25		ANO	
26	ANO		
29	ANO		
31	ANO		
Celkem	**12**	**4**	**1**

Tabulka 41*: Konzumace ovoce*

Vzorek	1 denně	2–3 týdně	1 týdně
1	ANO		
8			ANO
11	ANO		
12		ANO	
13	ANO		
16	ANO		
17		ANO	
21		ANO	
22	ANO		
23	ANO		
24	ANO		
27		ANO	
28	ANO		
30	ANO		
32	ANO		
33			ANO
Celkem	**10**	**4**	**2**
Skupina 2			
2	ANO		
3	ANO		
4	ANO		
5	ANO		
6	ANO		
7		ANO	
9		ANO	
10	ANO		
14		ANO	
15		ANO	
18	ANO		
19		ANO	
20	ANO		
25			ANO
26	ANO		
29	ANO		
31	ANO		
Celkem	**11**	**5**	**1**