

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv HMB (hydroxymethylbutyrátu) a leucinu na nárůst  
svalové hmoty u trénujících jedinců**

**Diplomová práce**

**Bc. Kateřina Hercíková**

**Výživa a potraviny**

**Vedoucí práce: prof. Ing. Lenka Kouřimská, Ph.D.**

**Odborný konzultant: Ing. Josef Soukup**

**©2022 ČZU v Praze**

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "*Vliv HMB a leucinu na růst svalové hmoty u trénujících jedinců*" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí a konzultanta diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13. 4. 2022 -----

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala mé vedoucí diplomové práce prof. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D. za vedení a cenné rady při tvorbě diplomové práce a odbornému konzultantovi Ing. Josefu Soukupovi za neustálou pomoc při testování jedinců, trpělivost, rady a konzultace během této práce. Dále bych chtěla poděkovat všem subjektům zařazeným do experimentální části této práce, za jejich důslednost, co se týče stravy, tréninků a užívání doplňků. Děkuji těm, kteří přes všechnu snahu nemohli být zařazeni do výsledků vlivem nelehké situace, se kterou se všichni potýkáme.

## **Vliv HMB (hydroxymethylbutyrátu) a leucinu na nárůst svalové hmoty u trénujících jedinců**

### **Souhrn**

HMB (hydroxymethylbutyrát) je chemická látka užívaná sportovci ke zvýšení fyzického výkonu, lepší stavbě svalové tkáně a pro zabránění odbourávání bílkovin při fyzické zátěži. Tato látka je nezbytná pro syntézu cholesterolu, výstavbu buněčných membrán a steroidních hormonů. Jedná se o metabolit větvené aminokyseliny leucinu, který je ale na HMB přeměňován pouze v malém množství (cca 5 %). Teoretická část práce se věnuje popisu kosterního svalstva a hlavních faktorů ovlivňujících jeho hypertrofii, doplněných o vliv leucinu a HMB. Do teorie byl zároveň zařazen přehled metod měření tělesného složení a závěr teoretické části je věnován dosud publikovaným studiím, které se zabývají působením leucinu a HMB na svalovou hmotu. Výzkum v této oblasti se v posledních letech zabýval otázkou, zda doplnění HMB samotného bude mít vyšší účinek než podání samotného leucinu. Poslední data naznačují, že účinek by mohl být velmi podobný, ale není zatím dostatek klinických dat, abychom něco takového mohli tvrdit. Hraje zde roli mnoho proměnných. Experiment v druhé části této práce přispěl k dosavadním studiím a otestoval vliv těchto dvou látek na budování svalové hmoty u 27 náhodně vybraných zdravých jedinců ve věku 20–47 let. Tito jedinci byli prověřeni dotazníkem, aby byly zjištěny informace o jejich stravovacích návycích, pohybové aktivitě, zdravotním stavu apod. Následně byli seznámeni s testováním, užíváním doplňku a instruováni ohledně jejich doporučeného denního příjmu. Následovalo náhodné rozdělení do 3 skupin: a) skupina, která užívala HMB, b) skupina, která užívala leucine, c) skupina, která užívala placebo. Celá skupina byla v kalorickém nadbytku. Studie byla dvojitě zaslepená. Jedinci ze dvou skupin užívali 6 týdnů doplněk stravy a druzí placebo. Po 1 týdnu vysazení (wash-out pauza) se skupiny „HMB“ a „leucine“ prohodily na dalších 6 týdnů, placebo zůstalo stejné kvůli srovnání nárůstu způsobeného čistě periodizovaným tréninkem s progresivním zatížením. Všichni jedinci byli zváženi na váze měřící tělesné složení – InBody před testováním, v průběhu a na konci první i druhé části. Výsledky po prvních šesti týdnech experimentu ukázaly spíše stejný vliv obou látek na hypertrofii svalu u testovaných jedinců. Statistický výpočet ukázal jen malý rozdíl u působení leucinu ( $p = 0,02$ ) a HMB ( $P = 0,07$ ), kde leucin prokazuje statisticky významný rozdíl. U placebo skupiny je vidět menší vliv látky na svalovou hmotu ( $p = 0,38$ ). Druhá část experimentu byla hodně omezena vlivem onemocnění subjektů a pandemické situace, proto jsou výsledky této části uvedeny a experiment proběhl v plném rozsahu, pouze jejich výsledek není dostatečně směrodatný. Proto není zahrnut do diskuse. HMB a leucin prokázaly v obou částech experimentu potenciálně spíše stejný účinek na růst svalové hmoty. Pro věrohodnější výsledky je v práci zahrnut návrh pro replikaci této studie. Při dodržení stejných podmínek, obohacených o rady pro replikaci, by bylo možné přesněji potvrdit vliv těchto dvou látek na tělesnou kompozici.

**Klíčová slova:** anabolický účinek, hydroxymethylbutyrát (HMB), leucin, svalová hmot, trénink.



## **The effect of HMB (hydroxymethylbutyrate) and leucine on muscle growth in training individuals**

### **Summary:**

HMB ( $\beta$ -Hydroxy  $\beta$ -methylbutyric acid) is a chemical substance utilized by athletes to increase performances, improve muscle hypertrophy and prevent protein degradation due to physical strain. It is essential for synthesis of cholesterol and steroid hormones, as well as for cellular membrane growth. It is a metabolite of leucine, a branched-chain amino acid, although only a small portion of it (about 5 %) is transformed into HMB. The theoretical part of this thesis describes skeletal muscles and the main factors affecting their hypertrophy as well as the effects of leucine and HMB on them. It also provides an overview of various methods of body composition measurement. Lastly, it probes several published studies and papers on the effects of leucine and HMB on muscle tissue. The contemporary research in this area has explored the question if supplementation of just HMB will have better results than supplementation of just leucine. The latest results suggest that the effects could be very similar; however, not enough clinical data is available as of yet to provide much certainty in light of the many variables at play here. The experiment outlined in the second part of this thesis further expands upon this research by examining the effects of these two substances on muscle hypertrophy in a sample of 27 randomly selected healthy individuals aged 20 through 47 years. These individuals were first examined through a questionnaire with the aim of finding out about their eating habits, physical activity, medical conditions, etc. They were then familiarized with the experiment procedures and supplementation as well as instructed on their recommended daily intake. After that, the subjects were randomly split into three groups: a) individuals taking HMB, b) individuals taking leucine, and c) individuals taking placebo. Regardless of their group, all subjects were in caloric surplus. The whole study was double-blind. After six weeks of this supplementation and an additional one week of a wash-out period, the two groups supplementing HMB and leucine were swapped and the experiment continued for another six weeks. Crucially, the placebo group remained the same for the entire duration in order to provide a baseline of expected improvement caused merely by regular exercise with progressive overload. At the beginning of the study, throughout its duration as well as at the end of both major parts, all subjects were weighed on an InBody scale measuring body composition. The results from the first six weeks of the experiment have shown mostly similar effects of both examined substances on muscle hypertrophy. Statistical analysis suggests only a small difference with leucine ( $p = 0.02$ ) or HMB ( $p = 0.07$ ) with leucine's effect being more statistically significant. The placebo group exhibits a lower increase in muscle growth ( $p = 0.38$ ). The second part of the experiment has been significantly marred by the pandemic with many subjects contracting the virus. While the whole experiment still took place in its entirety, the results from this part are not included in the discussion due to their lowered validity. Throughout both parts of the study, both HMB and leucine have exhibited a rather similar effect on muscle growth. This thesis contains suggestions on how to replicate this experiment in order to obtain more credible results. Taking these into account as well as maintaining the same conditions, it would be possible to further confirm the effect of these two substances on body composition. **Keywords:** anabolic effect,  $\beta$ -Hydroxy  $\beta$ -methylbutyric acid (HMB), leucine, muscle, conditioning exercise.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Vědecká hypotéza a cíle práce</b>	<b>12</b>
2.1	Cíl práce	12
2.2	Hypotéza	12
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b>	<b>13</b>
3.1	Kosterní svalstvo	13
3.2	Typy svalových vláken	13
3.3	Růst svalové hmoty	14
3.4	Faktory ovlivňující růst svalové hmoty	15
3.4.1	Trénink	15
3.4.2	Výživa	17
3.4.3	Doplňky stravy	20
3.5	Leucin	23
3.5.1	Působení leucinu na svalovou hmotu	24
3.6	Hydroxymethylbutyrát (HMB)	25
3.6.1	Působení HMB na svalovou hmotu	26
3.7	Metody měření tělesného složení	27
3.7.1	Antropometrie	28
3.7.2	Měření tloušťky kožních řas	28
3.7.3	Denzitometrie	29
3.7.4	Hydrostatické vážení	30
3.7.5	Bioelektrická impedance	30
3.8	Data z klinických studií o účincích leucinu a HMB	31
3.8.1	Shrnutí účinků HMB a leucinu z dostupných studií	33
<b>4</b>	<b>Metodika</b>	<b>35</b>
4.1	Metodika a realizace výzkumu	35
4.1.1	Měření tělesného složení	36
4.1.2	Stravování	37
4.1.3	Testované doplňky stravy	38
4.1.4	Silový trénink	38
4.2	Charakteristika výzkumného vzorku	41
<b>5</b>	<b>Výsledky</b>	<b>42</b>
5.1	Změny antropometrických parametrů a složení těla	43
5.2	Změna parametru hmotnosti a BMI u testovaných osob	44
5.3	Změna parametru tuková tkáň u testovaných osob	45
5.4	Diskuse	46
5.5	Limitace studie	47
5.6	Návrhy pro replikaci studie	48
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>Literatura</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázků a tabulek</b>	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>Samostatné přílohy</b>	<b>I</b>

# 1 Úvod

Už v minulosti bylo ve sportu hlavním cílem dosáhnout co nejlepších výsledků a podávat často až neskutečné výkony. Postupem času výkony a výsledky stále gradovaly až do dnešní doby, kdy lidské tělo již téměř nemá možnost samo o sobě dosahovat rekordních výsledků vyšších, než byly dosud zaznamenány. I přes vrcholové trénování a dodržování striktní stravy má tělo určité limity. Proto se zároveň se stravou a tréninkem začalo využívat doplňků stravy, které pomáhají sportovcům dosáhnout ještě lepších výsledků.

Mezi doplňky stravy můžeme zařadit látky pro urychlení regenerace, stimulaci organismu před tréninkem, látky pro zvýšení výkonu, pro efektivní spalování tuků a také doplňky pro stimulaci růstu svalové hmoty. Leucin a HMB jsou důležitými zástupci mezi látkami stimulačnými nárůst svalové hmoty, a právě těm je věnována tato práce.

Leucin je esenciální aminokyselina, která se významně podílí nejen na růstu a udržení svalové hmoty, ale také na regeneraci svalů. HMB ( $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrát) je chemická látka užívaná sportovci ke zlepšení fyzického výkonu. HMB je látka, která napomáhá zvýšit množství svalové hmoty díky svým antikatabolickým účinkům (zabránění odbourávání bílkovin) při fyzické zátěži. Tato látka je nezbytná pro syntézu cholesterolu, výstavbu buněčných membrán a steroidních hormonů. Jedná se o metabolit větvené aminokyseliny leucinu, který je ale na HMB přeměňován pouze v malém množství (cca 5 %). Výzkum v této oblasti se v posledních letech zabýval otázkou, zda doplnění HMB samotného bude mít vyšší účinek než podání leucinu. Poslední data naznačují, že účinek by mohl být velmi podobný, ale není zatím dostatek klinických dat, abychom něco takového mohli tvrdit a hraje zde roli mnoho proměnných.

Bez látek, podporujících růst výkonu a svalové hmoty, si již dnešní sport na profesionální úrovni nedokážeme ani představit. Řadí se mezi ně také skupiny látek, které jsou označovány za doping a spadají do zakázaných látek českého antidopingového výboru. Zakázané látky jsou oblíbené díky rychlému nástupu jejich účinku a jednodušší cestě k dosahování lepšího sportovního výkonu. Jelikož mají negativní vedlejší účinky, je dobré setrvat u doplňků jako je třeba právě leucin nebo HMB, které do této skupiny nespádají.

## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem práce bylo poskytnout teoretický přehled dané problematiky a zhodnocení stávající odborné literatury na toto téma. V praktické části pak byl zkoumán vliv suplementace HMB a leucinu na ochranu a nárůst svalové hmoty u trénujících jedinců, kteří dodržovali stejný stravovací režim a tréninkový plán.

### **2.2 Hypotéza**

Podání HMB a leucinu bude mít stejný vliv na ochranu svalové hmoty a její nárůst.

### 3 Literární rešerše

#### 3.1 Kosterní svalstvo

Veškerý pohyb a metabolické zdraví jsou závislé na zachování hmoty kosterních svalů a jejich schopnosti kontrakce a relaxace po celý život (Stokes, 2018). Kontrakce kosterní svaloviny vzniká zkrácením svalu pomocí síly, která přitahuje svalové úpony k sobě. Segment se začne pohybovat, je-li síla svalu vyšší nežli odpor na něj vytvářený. Svalová hmota v těle se dělí na tři skupiny – kosterní svalovinu, hladká svalovinu a srdeční svalovinu. Každý typ svalové tkáně je schopný vytvářet kontrakci a relaxaci. Kontrakce u hladké a srdeční svaloviny však probíhá na jiném i když podobném principu (Máček, Radvanský, 2011).

Ke kontrakci dochází řízenou interakcí mezi aktinovým a myosinovým vláknem za přítomnosti kalcia. Vlákná se mezi sebou posouvají a tím se sval zkracuje (Kittnar a kol., 2011).

Při relaxaci jsou vazebná místa na aktinovém vlákně chráněna tropomyosinem. Ve fázi, kdy se energie spotřebovává, se váží myosinové hlavy na aktinové vlákno. K navázání je potřeba, aby byla odkryta vazebná místa aktinového vlákna. K odkrytí je nutné, aby se kalciové ionty, které se nacházejí v tubulech svalového vlákna, navázaly na troponin, tím deformují molekuly tropomyosinu. Na svalové membráně se nacházejí vychlípeniny, které se nazývají transversální tubuly a po nich se vzruch dostane až k terminálním cisternám v sarkoplasmatickém retikulu. Toto sarkoplasmatické retikulum tvoří systém tubul v sarkomeře. Kalciové ionty se po přenosu vzruchu uvolňují z tubulárního systému do myofibril a kontrahují tím svalové vlákno. Svalová vlákna se dělí na různé typy podle toho, jakou cestou se získává energie potřebná k svalové kontrakci. energii získává sval buďto aerobní cestou za přístupu kyslíku (oxidativní pochody), nebo cestou anaerobní, kde je potřeba enzym fosforyláza. Každý z těchto typů svalových vláken má odlišné rysy (Trojan, Langmeier, 2003).

Množství svalové hmoty se odvíjí od dvou metabolických procesů, jedním z nich je syntéza svalových proteinů a druhou odbourávání svalových proteinů. Aby bylo zajištěno zachování svalové hmoty, je nutné dosáhnout vyšší syntézy než odbourávání. Toho docílíme vyšším příjmem bílkovin v potravě (Stokes, 2018).

#### 3.2 Typy svalových vláken

Svalová vlákna se dělí vlákna na 4 typy. Typ I jsou pomalá oxidativní vlákna (SO) a IIa jsou vlákna rychlá, tvoří přechod mezi vlákny typu I a IIb, jsou více oxidativně glykolytická. Vlákná typu IIb jsou vlákna rychlá glykolytická a čtvrtý typ IIx jsou vlákna se střední metabolickou aktivitou, u kterých závisí na jejich umístění ve svalové tkáni. Kromě těchto druhů vláken, se ve svalové tkáni nacházejí také vlákna smíšená jako například typ I/IIa, IIa/IIx anebo IIb/IIx. Každý z těchto typů vláken reaguje na různé vlastnosti a také reagují odlišně na vnější stimul jako je fyzická zátěž (Kallabis a kol., 2020; Kittnar a kol., 2011).

Pomalá vlákna mají červenou barvu díky velkému množství myoglobinu (Kittnar a kol., 2011). Pracují ekonomičtěji, k jejich smrštění dochází mezi 70-120 milisekundami, trvá déle,

ale dokážou dlouhodobě udržovat napětí bez energetického vyčerpání (Dylevský, 2009). Vlákna typu I jsou vysoce oxidativní a mají velké množství mitochondrií. ATP produkují pomocí oxidace mastných kyselin (Zhang a kol. 2017). Při silových pohybech se moc nezapojují (Kittnar a kol., 2011).

Rychlejší produkci energie. zabezpečenou vyšší hladinou fosfokreatinu a vyšší glykolytickou kapacitou, zajišťují vlákna typu II (Edman a kol., 2019). Vlákna typu IIb jsou přesným opakem vláken typu I. Vlákna typu IIb podporují anaerobní glykolýzu, což je daleko méně efektivnější produkce ATP než oxidace mastných kyselin, proto jsou daleko rychleji unavitelná než vlákna I. typu (Zhang a kol. 2017). Množství glykogenu ve svalu je při anaerobní aktivitě rychle vyčerpáno a dojde k přeměně na kyselinu mléčnou (laktát). Regenerace vláken typu IIb trvá až několik hodin. Vlákna odolná vůči únavě jsou při dobrém zásobení kyslíkem schopna vytvářet rychlou a dynamickou kontrakci (Kittnar a kol., 2011). Vlákna typu IIa a IIx jsou svými vlastnostmi mezi typem I a IIb. Mají oxidativní vlastnosti a zároveň jsou bohatá na mitochondrie.

Hybridní vlákna (I/IIa, IIa/IIx, IIb/IIx) jsou vlákna, která mají dvě nebo více forem myosinového řetězce. Tato vlákna jsou běžně součástí svalové hmoty a často představují cca 25 % svalu. Jsou meziproduktem při přechodech mezi typy vláken například při vývoji kosterního svalstva, jeho adaptaci na fyzickou zátěž a při stárnutí organismu (Medler, 2019).

### 3.3 Růst svalové hmoty

Při nárůstu svalové hmoty neboli hypertrofii dochází ke zvětšení průměru jednotlivých svalových vláken, ke zmnožení vaziva a s tím spojenému růstu množství látek potřebných pro svalovou práci (Tlapák, 2011). Dle teorii v publikacích autorů Siffa (2003), Flecka (2013) a Zatsiorského (2006) dochází k růstu svalové hmoty ještě druhým způsobem, který je nazvaný jako hyperplazie. V tomto případě nedochází ke zvětšení průměru svalového vlákna jako u hypertrofie, ale zvyšuje se množství svalových vláken. K hyperplazii však dochází jen ve velmi malém rozsahu, a gto zhruba u 5 % celkového nárůstu svalu (Brown, 2006).

K růstu svalové hmoty dochází aktivací syntézy svalových bílkovin. Anabolický efekt vyvolává dostatečný příjem bílkovin, v potravě ideálně v kombinaci s odporovým cvičením. Edman (2019) ve svém experimentu došel k závěru, že odporový trénink a příjem esenciálních aminokyselin působí anabolicky podobně na vlákna I. i II. typu. Vyšší hypertrofie u vláken II. typu bude pravděpodobně důsledkem vyšší kapacity klíčových enzymů v tomto svalovém vlákně (Edman a kol., 2019).

Grgič a Schoenfeld (2018) ve svém článku uvádějí, že různé druhy odporového tréninku mohou mít různé výsledky u zvětšení průřezu svalových vláken I. a II. typu. To znamená, že pokud bude vykonáván odporový trénink s vysokou zátěží (<60 %), bude mít pravděpodobně vyšší anabolickou odpověď II. typ svalových vláken. Naopak pokud bude zátěž střední (≤ 60 %) a opakování bude prováděno až do selhání, budou mít vyšší anabolickou odezvu svalová vlákna typu I (Grgič, Schoenfeld, 2018).

Hypertrofie se dá dělit na dvě různé kategorie. První z nich je hypertrofie přechodná, která nastává v návaznosti na silový trénink. V okolí svalových vláken se hromadí tekutiny z krve, které tvoří edém v místě svalu a ty následně při regeneraci opět odtékají. Druhou kategorií je hypertrofie chronická. Ta vzniká až po delší době pravidelného silového zatížení. Sval mění

svou strukturu, ať už zvětšením průměru svalových vláken, zmnožením anebo kombinací obou (Kenney a kol., 2007).

### 3.4 Faktory ovlivňující růst svalové hmoty

Růst svalové hmoty není výsledkem pouhého tréninku a silového cvičení (progresivního přetěžování). Pokud nedochází k dostatečnému přísunu živin, není možné, aby tělo nabíralo hmotu. Mimo kvalitní stravu sem patří v dnešní době již běžně dostupné doplňky stravy, pomocí kterých je možné dosáhnout lepších výsledků a lepšího fungování těla. Právě těmto faktorům jako je trénink, výživa a doplňky stravy se věnuje následující kapitola.

#### 3.4.1 Trénink

Je známo, že neúčinněji lze nefarmakologickou cestou dosáhnout svalové hypertrofie vlivem odporového tréninku (Grgič, Schoenfeld, 2018). Tréninky, které mají vést k nárůstu svalové hmoty, jsou v zásadě většinou postaveny na již léta testovaných cvicích, množství jejich opakování, počtu sérií, velikosti zátěže a délce pauzy mezi jednotlivými sériemi (Stoppani, 2016). Za neúčinnější byl po dlouhou dobu považován odporový trénink v maximálním rozsahu opakování 6-12 v jedné sérii a s vysokou zátěží (> 60 %) (Grgič a Schoenfeld, 2018). Schoenfeld a kol. (2017) však došli k závěru, že pokud je aplikována 60 % zátěž a méně a opakování je prováděno až do svalového selhání, kdy subjekt již není schopen provádět cvik v plném rozsahu, má stejný anabolický vliv jako odporový trénink se zátěží vyšší než 60 % (Schoenfeld a kol., 2017). U tréninku s nižší než 60% maximální zátěží nebude pravděpodobně vyšší hypertrofická odezva celého svalu než u tréninku se zátěží nad 60 %, pokud nebude množství opakování cviku dosahovat množství ke svalovému selhání. V případě dostatečného opakování je však možné dosáhnout stejného nárůstu kosterního svalstva jako u tréninku se zátěží vyšší než 60 % (Grgič, Schoenfeld, 2018).

Neustálé opakování stejného typu tréninku může mít i diametrální efekt. Po příliš dlouhém opakování stejných tréninkových jednotek může dojít k zastavení rozvoje svalové hmoty. Proto je zásadní po určité době trénink obměnit. Změna může spočívat v jiném množství opakování, intenzitě tréninku nebo hmotnosti zátěže (Stoppani, 2016).

Na rozdíl od tréninku silových schopností, kde je základem úspěchu co nejvyšší štěpení energie a zařazení do pohybu velkého množství svalových vláken, je nutné se u tréninku zaměřeného na růst svalové hmoty soustředit na procítěnější provedení cviku (Tlapák, 2011). To má souvislost s reálným časem, po který je sval ve skutečném zatížení. Doba svalové tenze se označuje jako TUT (time under tension). Vědecké poznatky uvádějí ideální dobu zatížení při jednotlivé sérii pro růst svalové hmoty v kombinaci s rozvojem svalové síly v rozmezí 20-40 sekund. Pokud se zaměříme hlavně na maximální hypertrofii, je ideální doba zatížení 40-70 sekund (**Tabulka 1**) (Šťastný, Petr 2012).

**Tabulka 1** Vhodné parametry pro různé druhy tréninků (Zdroj: Šťastný, Petr2012)

Počet opakování	% maximálního odporu	Doba svalové tenze (TUT)	účinek
1	100,0	Do 20 s	Nárůst maximální síly; vysoký nervosvalový efekt
2	94,3		
3	90,6		
4	88,1		
5	85,6		
6	83,1	20-40 s	Optimální kompromis pro nárůst maximální síly a hypertrofie
7	80,7		
8	78,6		
9	76,5	40-70 s	Ideální rozmezí pro hypertrofii, které dále může vést ke zvýšení maximální síly
10	74,4		
11	72,3		
12	70,3		
13	68,8	Nad 70 s	Vytrvalostní síly; snížený účinek na hypertrofii svalstva.
14	67,5		
15	66,2		
16	65,0		
17	63,8		
18	62,7		
19	61,6		
20	60,6		

Dynamická nebo těž izotonická kontrakce je svalovou činností, při které se mění vzdálenost mezi úponem a začátkem svalu. Zkrácením svalové délky a akcelerací pohybu je typická koncentrická kontrakce. Naopak prodloužením vzdálenosti mezi začátkem a úponem svalu a decelerací pohybu dochází u excentrické kontrakce (Hamill, Knutzen, 2009). Opakem je izometrická kontrakce, při které za zvýšeného napětí svalu nedochází ke změně svalové délky (Lehnert a kol., 2010). Petr a Šťastný (2012) uvádějí nejvhodnější rychlost a tempo kontrakce pro růst svalové hmoty a zároveň síly: 4 sekundy trvající excentrickou fází, a bez izometrické fáze přejít do fáze koncentrické, trvající 1 sekundu a následně setrvat vteřinu v izometrické fázi (Šťastný, Petr, 2012). Intenzitu silového tréninku lze také navýšit různým počtem opakování až do svalového selhání (cvik již nelze provádět v plném rozsahu), následně je možné pokračovat v opakování cviku v menším rozsahu, nebo využít podporu a pokračovat v plném rozsahu či zařadit krátkou pauzu a následně cvik znovu několikrát zopakovat (Delp, 2011).

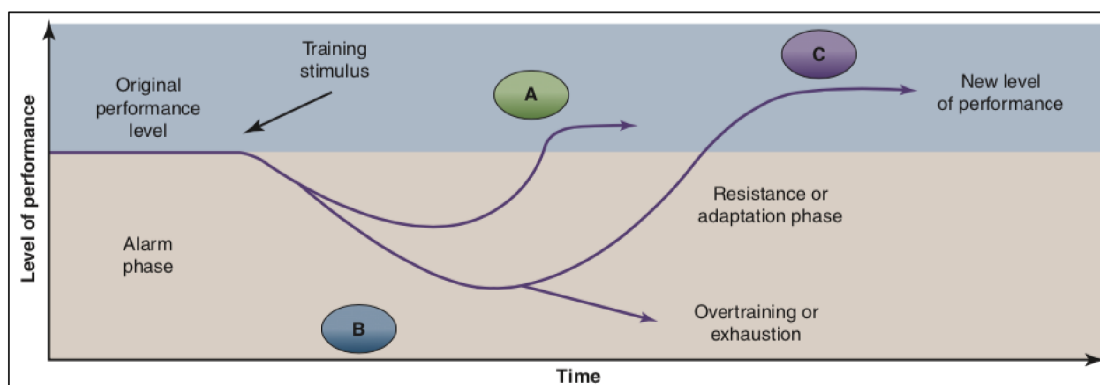
Dalším důležitým činitelem pro stavbu svalové hmoty a uložení proteinů do svalu je dostatečný energetický příjem ve fázi regenerace (Tlapák, 2011). Regenerace je fyziologické nebo psychologické zotavení za určitou dobu (Halsón, 2014). Aby bylo dosaženo zotavení, je nutné obnovit zdroje, které byly při zátěži (psychické nebo fyzické) vyčerpány. Fyzická únava je často důsledkem sportovního tréninku nebo soutěže. Způsoby regenerace jsou různé. Spánek nebo třeba otužování ve studené vodě jsou dvěma nejužívanějšími a často hodnocenými metodami (Kellmann a kol., 2018). Fyziologické i psychické zdraví se zásadně odvíjí



od kvalitního spánku. Sportující jedinci by měli mít přehled o tom, jaké spánkové potřeby mají a jak tyto potřeby reálně uspokojit (Fullagar a kol., 2015).

Dlouhodobá nevyváženost únavy a zotavování může iniciovat nepříznivý vývoj fyzické i psychické výkonnosti jako je syndrom přetrénování (Portenga, 2017). Jeho důsledkem bývá dlouhodobý pokles fyzické výkonnosti a psychické pohody (Meeusen, 2013). Důležitým pojmem při pravidelném zatěžování za účelem růstu svalové hmoty je superkompenzace. Jedná se o dobu, kdy po tréninku dochází k doplnění zásobních látek ještě nad úroveň, která byla před začátkem tréninku. Tyto zásoby energie jsou uloženy jako glykogen (polysacharid), fosfatové sloučeniny ATP (adenosintrifosfát) a CP (kreatinfosfát) ve svalové hmotě (Tlapák, 2011).

Během souvislého tréninkového zatížení se zaměřením na svalovou hypertrofii se počítá s určitou periodizací a tím dosažení optimalizované kondice během daného časového období. Tato periodizace se skládá ze tří různých tělesných reakcí: reakce na stimul, adaptace, vyšší úroveň výkonu (Schoenfeld, 2016). Příkladem je dostatečně náročný silový trénink (stimul), který vyvolá poplachovou reakci organismu, ta zapříčiní zvýšení syntézy proteinů a dalších anabolických procesů v těle (adaptace). Při vhodném zatížení dochází k superkompenzaci, která způsobí vyšší nárůst svalových proteinů (vyšší úroveň výkonu – superkompenzace) (Beachle, Earle, 2008).



**Obrázek 1** - Ilustrace Salyeho obecné teorie adaptačního syndromu. A = typický trénink; B = přetrénování nebo vyčerpání; C = superkompenzace (Schoenfeld, 2016).

Existují různé typy modelů periodizace s jasným pozitivním vlivem na růst svalové hmoty. Nicméně u žádného nebyl prokázán vyšší účinek než u těch ostatních. To znamená, že je velmi důležité si tréninkové období periodizovat tak, aby docházelo k požadované hypertrofii a zároveň se snižovalo riziko přetrénování. Celý proces periodizace je vhodné přizpůsobit potřebám a schopnostem trénujícího jedince (Schoenfeld, 2016).

### 3.4.2 Výživa

Ani ten nejlepší trénink nikdy nezaručí stoprocentní výsledek bez správně nastaveného a striktně dodržovaného jídelníčku. Každodenní strava by měla zajistit dostatečný příjem pro běžné fungování těla a zároveň dostatek energie vydané nad rámec běžného fungování jako jsou například sport nebo jiné záliby. Dobře nastavený jídelníček je při sportování důležitý nejen pro získání potřebné energie ale zároveň při regeneraci po tréninku. Sportovec, dodržující

kvalitní jídelníček, je schopný dosahovat lepších výsledků a zároveň je zdravá a plnohodnotná strava nezbytná pro udržení jeho dobrého zdravotního stavu (Stoppani, 2016).

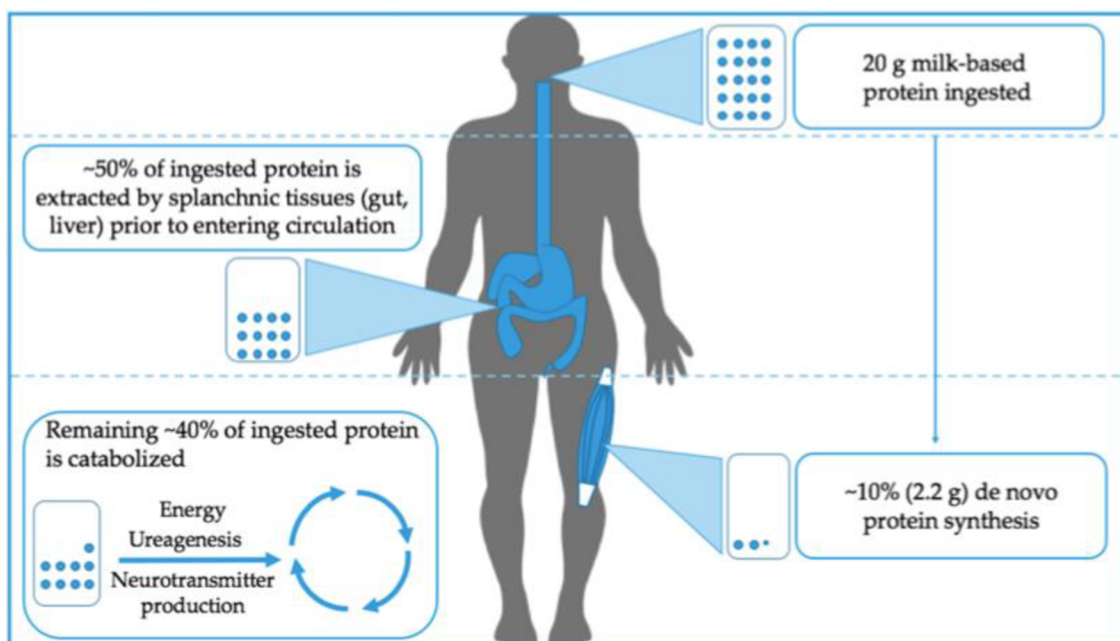
*“Prakticky veškerý příjem energie člověka pochází z potravy z chemické energie jednotlivých energetických substrátů (bílkoviny, sacharidy a tuky v potravě, viz dále) a také přeměnou energetických zásob organismu, jako je např. glykogen v játrech a svalech či tuková tkáň, které jsou rozkládány na základní substráty využitelné jako zdroj energie.”* (Roubík, 2018).

Člověk neustále potřebuje energii přijatou ve formě stravy k životně důležitým pochodům. Ideální situace nastává tehdy, je-li energetický příjem v souladu s energetickým výdejem. Pokud dochází neustále k výkyvům ve směru zvýšeného energetického příjmu a nízkého energetického výdeje, pak dochází zákonitě ke vzniku pozitivní energetické bilance, která vede ke zvyšování tělesné hmotnosti a k ukládání energie do tukových zásob. Na druhé straně může energetický výdej převyšovat příjem, např. v důsledku vysokého výdeje energie na fyzickou zátěž či v důsledku hladovění. Pak dochází k poklesu tělesné hmotnosti a z dlouhodobého hlediska k poškození zdraví (Mandelová a kol., 2007).

Přirozeně by člověk řekl, že strava s převahou bílkovin bude nejvhodnější při požadovaném nárůstu svalové hmoty (Mandelová a kol. 2007). Bilancio (2019) ve svém přehledu důkazů z epidemiologických studií uvádí, že příjem bílkovin v množství 0,8 gramů na kilogram tělesné hmotnosti na den (ideální poměr doporučený WHO) je vhodnou hranicí, při které nehrozí pokles správné funkce ledvin, ani nepřináší nepříznivé účinky na zdraví vlivem nízkého příjmu bílkovin. Na doporučení pro denní dávku bílkovin bývá nahlíženo velmi kriticky, protože tato hodnota sice zajišťuje dostatečné množství bílkovin, aby nedocházelo k malnutrici, ale není zároveň hodnotou, která by zajišťovala optimalizaci zdraví (Carbone a Pasiakos, 2019).

Roubík (2018) uvádí, že v určitých fázích života jako je dospívání, v průběhu růstu, nebo při zvýšené potřebě regenerace tkání je vhodné zvýšit příjem bílkovin na hodnotu 1,5 gramů na kilogram na den. Stejně tak vrcholoví sportovci nebo i pravidelně sportující jedinci mají vyšší požadavky na regeneraci a růst svalové tkáně a síly, proto je pro ně vhodné přijímat až 2 gramy bílkovin na kilogram hmotnosti na den (Roubík, 2018). Také Carbone a Pasiakos (2019) ve svém článku poukazují na studii, kterou prováděla Akademie výživy a dietetiky v Kanadě, ta doporučuje vyšší příjem bílkovin ve výživě u sportujících jedinců a to v rozmezí 1,2–2,0 gramů na kilogram hmotnosti na den (Carbone, Pasiakos, 2019).

Groen s kolektivem (2015) zkoumali využití aminokyselin pro syntézu nových proteinů ve svalové hmoty. Bylo zjištěno, že pouze 11 % (2,2 g) aminokyselin z 20 g požitých nárazově před jídlem bylo využito ve svalové tkáni k syntéze proteinů *de novo*.



**Obrázek 2** - Jednoduchý přehled o využití bílkovin v celém organismu v klidu (Stokes a kol., 2018)

Paradoxně při snižování celkové tělesné hmotnosti by mělo být dbáno na vyšší příjem bílkovin než v období udržující energetickou bilanci. Zamezí se tak odbourávání svalové hmoty při restrikci váhy a může docházet i k hypertrofii. Zároveň by zdroje bílkovinné potravy měly být vysoce kvalitní, tím se sniží chuť k jídlu a snáze se bude udržovat dieta. Příjem bílkovin v restriktivním je doporučen v rozmezí 2,3–3,1 g/kg/den (Stokes a kol., 2018).

Chápání sportovců i široké veřejnosti ve vztahu k nutričním potřebám se v posledních letech hodně zlepšilo a nástroje, kterými je možné měřit asimilaci a metabolismus potravin jsou mnohem vyspělejší. Základní principy výživy ve sportu se za poslední desítky let příliš nezměnily. A s tím i fakt, že sacharidy jsou stále nepostradatelnou živinou pro organismus (Kanter, 2018). Sacharidy představují zdroj energie pro cvičící sval a člověk tak může podstupovat kvalitnější a náročnější silový trénink. Zároveň jsou sacharidy nenahraditelným zdrojem pro práci mozku a celé nervové soustavy (Mandelová a kol., 2007). Energie pro fyzickou aktivitu může lidské tělo získávat také z tuků a bílkovin. Sacharidy však jako jediný zdroj zabezpečují dostatečně rychlý příjem energie během cvičení za vysoké intenzity. Kanter (2018) uvádí ve svém článku, že odborníci zúčastnění v panelové diskusi se shodují na příjmu vysoce kvalitních sacharidů jako nejobsáhlejší části rozložení makroživin na den. Kvalitní zdroje sacharidů zajišťují zvýšení fyzického výkonu a také zlepšení následné regenerace.

Tuky mají v potravě také nezastupitelné funkce. Slouží jako zdroj energie při dlouhodobé zátěži, tvoří ochranu životně důležitým orgánům, jsou transportním médiem pro vitamíny A, D, E, K a karotenoidy, tvoří složky buněčných membrán, jsou prekurzorem pro hormony (hlavně testosteron) a další. Díky tuku se jídlo většinou stává chutnějším a krémovějším (Jeukendrup a Gleeson, 2018).

Pokud je příjem základních složek potravy nedostatečný, hrozí větší pravděpodobnost výskytu zranění a zhoršení zdravotního stavu. V souvislosti s nízkým příjmem sacharidů dochází k omezení vytrvalostních schopností. Sportovec je dříve unavený, protože s vyšší

zátěží rychle spotřebovává glykogen, který je zásobárnou energie při fyzické zátěži. S omezeným příjmem bílkovinných složek zase může docházet k frakturám z únavy a hormonálním poruchám hlavně u žen. V tuku jsou zase obsaženy nezbytné složky jako například esenciální mastné kyseliny, vitamíny B, kyselina listová, kalcium a železo. U těch dochází při vyšší fyzické zátěži k rychlejšímu metabolismu, a proto je potřeba doplňovat alespoň 15 % lipidů z celkového denního příjmu (Bernaciková a kol., 2020).

WHO uvádí jako ideální trojpoměr energetických substrátů (poměrné zastoupení jednotlivých živin) v jídelníčku v hodnotách 55 % sacharidů, 30 % tuků a 15 % bílkovin. V souvislosti s vykonávanou fyzickou zátěží se tyto hodnoty mohou různě měnit a přizpůsobovat jedinci. Například u vytrvalostních sportovců bude vyšší procento tvořit sacharidy na úkor tuků, naopak u silových sportů (silový trojboj) bude vhodné zvýšit příjem tuků a ubrat ze sacharidových složek (Roubík, 2018).

### 3.4.3 Doplnky stravy

*„Doplnky stravy se rozumí potraviny určené k přímé spotřebě, lišící se od potravin pro běžnou spotřebu vysokým obsahem vitamínů, minerálních látek nebo jiných látek s nutričním nebo fyziologickým účinkem a které byly vyrobeny za účelem doplnění běžné stravy pro spotřebitele na úroveň příznivě ovlivňující zdravotní stav a které se uvádí do oběhu pouze s označením účelu jejího použití“ (Zákon č. 456/2004 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích).*

Hlavním důvodem užívání doplňků stravy je dosažení nejrůznějších cílů a doplnění potřebných látek. Jako základní cíle je možné považovat nárůst svalové hmoty, zvýšené množství energie, doplnění vitamínů a minerálů, prevence zdraví, snížení hmotnosti nebo zlepšení vytrvalosti (Mandelová a kol., 2007).

**Tabulka 2** Dělení doplňků sportovní výživy (Zdroj: Mandelová a kol., 2007)

Skupina doplňků sportovní výživy	Příklady doplňků stravy
Doplnky pro svalový růst a sílu	Proteiny, hydrolyzáty bílkovin, peptidy, aminokyseliny (BCAA, glutamin, ...), kreatin, HMB, pyruvát
Doplnky pro získání energie	Sacharidy, kreatin
Doplnky podporující hubnutí, vytrvalost a uvolňování energie	Kofein, CLA, karnitin, koenzym Q10, chrom, vláknina, HCA
Doplnky pro zvyšování imunity s cílem zdravotní prevence	Echinacea, ginko biloba, lněný olej, chondroitin, glukosamin, GLA, n-3 MK
Vitamíny, minerální látky a stopové prvky	Vitamin C, vápník, hořčík, multivitamíny a multiminerály, β-karoten, chrom apod.
Sportovní nápoje	Iontové nápoje, energetické nápoje

Doplnky stravy se u sportovců nejčastěji užívají v situacích, jako jsou soutěže a předzávodní tréninkové jednotky, kdy je potřeba dosáhnout nejlepšího výsledku (Bernaciková a kol., 2020).

Bernaciková a další (2020) ve své publikaci uvádí tyto organizace hodnotící doplňky stravy podložené vědeckými studiemi: AIS (Australian Institute of Sport), ACSM (American College of Sport Medicine), IOC (International Olympic Committee) nebo ISSN (International Society of Sport Nutrition). Tyto organizace klasifikují doplňky, které jsou podloženy vědeckými studiemi a dělí je podle jejich prokazaného působení na lidský organismus u sportujících osob.

Mezi nejdůležitější doplňky napomáhající růstu svalové hmoty zařazujeme proteinové koncentráty, hydrolyzáty a izoláty bílkovin. Jsou bílkovinným zdrojem, který zajišťuje svalový růst a jeho lepší a rychlejší regeneraci. Bílkoviny tvoří 50-96 % celého koncentrátu. Bílkoviny nejsou využitelným zdrojem energie a při vysokém příjmu mohou zatěžovat organismus. Ideálním příjmem se předpokládá 1,5 gramů na kilogram hmotnosti (Clark, 2020). Dle studií je dokázáno, že lidské tělo dokáže naturálně využít maximálně kolem 1,6-2,2 g proteinů na kilogram hmotnosti. Hodnota využití bílkovin záleží na trénovanosti jedince a množství jeho svalové tkáně. Při nadměrném příjmu přitom může docházet k přeměně přebytečných bílkovin a ukládání do tukových tkání. Stejně tak u nadměrné zátěže tréninku může docházet k příbytku na hmotnosti. Dalším negativem by mohlo být nadměrné množství dusíkatých látek z proteinů, které by vedlo k přetížení ledvin (Kliměšová, 2016).

V přehledu studií na toto téma od Biliancia (2019) nebyla zjištěna negativní změna funkce ledvin u zdravých jedinců při lehce vyšším příjmu bílkovin (v průměru 0,75 g/den), než je příjem doporučený světovou zdravotnickou organizací (0,8 g/kg/den). U osob se sníženou funkcí ledvin už před začátkem experimentu byla detekována změna ke zhoršení funkce. Další studie s průměrným příjmem bílkovin 0,61 g/den a 0,62 g/den zase ukazují na vyšší úmrtnost vlivem dlouhodobě nedostatečného příjmu bílkovin (Biliancio a kol., 2019). V dalším odborném článku autoři Carbone a Pasiakos (2019) shrnují poznatky ze studií, týkajících se snížené funkce ledvin následkem nadměrného příjmu bílkovin. Tuto spojitost vysokého příjmu bílkovin a negativního ovlivnění zdraví ledvin vyvrátili. Pokud se příjem bílkovin pohybuje v rozmezí nad minimální hodnotou doporučené denní dávky (0,8 g/kg/den) a pod hranicí doporučeného rozsahu pro bílkoviny (35 % celkového denního příjmu), ledviny se dokážou vyššímu příjmu přizpůsobit a bílkoviny tak nepůsobí negativně na jejich zdraví ani nehrozí zvýšení rozvoje chronického onemocnění u zdravých jedinců (Carbone, Pasiakos, 2019).

Dalším doplňkem stravy jsou peptidy, což jsou řetězce aminokyselin snadno využitelné v organismu. Skládají se z aminokyselin obsahujících dvě nebo tři molekuly. Výstavba tkání, syntéza hormonů, transport vitaminů a minerálních látek nebo správné fungování imunity jsou funkce na kterých se podílí aminokyseliny (Mach, 2012). Lidé je také v nadbytečném množství konzumují jako doplněk stravy pro jejich pozitivní vliv na podporu imunitních funkcí. Aminokyseliny působí na lepší paměť, zmírňují deprese, fungují jako prevence bolestí hlavy nebo mohou pomáhat k lepšímu spánku (Holeček, 2022).

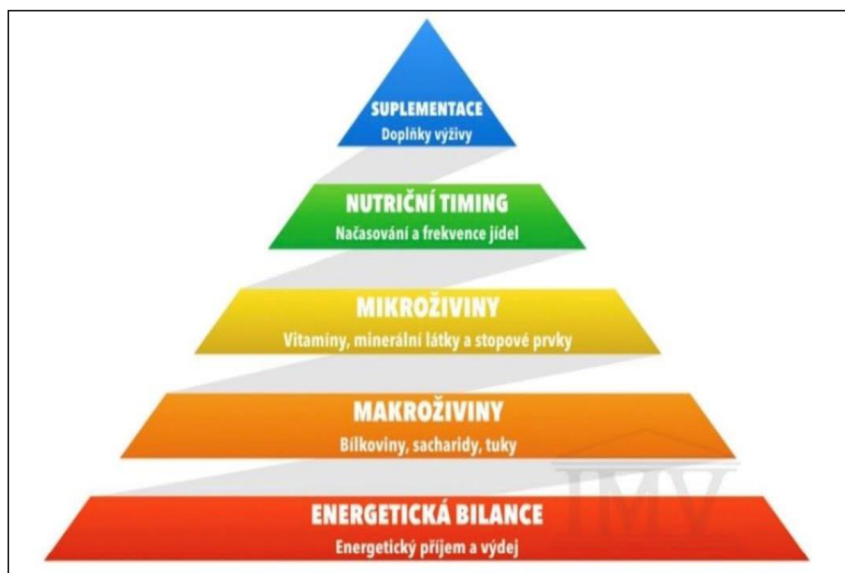
BCAA, přesněji aminokyseliny s větveným řetězcem, jsou dalším oblíbeným výživovým doplňkem, který se narušil od ostatních vstřebává přímo do krve a neprochází přes játra. Díky tomu, že zabraňují vstřebávání aminokyselin ze svalu pomáhají při růstu svalové hmoty a její regeneraci po tréninku (Mach, 2012). Wolfe (2017) ve svém článku posuzuje účinnost BCAA na anabolickou odezvu u svalové tkáně. Došel k závěru, že suplementace pouze tří aminokyselin BCAA (valin, leucin, isoleucin) může naopak snížit množství svalové hmoty. Tento jev může být způsoben nedostatkem zbylých aminokyselin, které jsou potřeba

k proteosyntéze. Navíc nedostatek zbylých esenciálních aminokyselin v potravě zapříčiní, že organismus začne tyto aminokyseliny odbourávat z vlastních zásob, aby vykompenzoval množství přijatých BCAA jako suplementů. Při suplementaci samotných BCAA je tedy nutné doplnit také zbylé esenciální aminokyseliny, aby k odbourávání vlastních aminokyselin nedocházelo (Wolfe, 2017). Asi nejvýznamnější esenciální aminokyselinou ze skupiny BCAA pro sportovce je leucin. Ten bude dále detailněji popsán.

Kreatin je látka peptidového charakteru, který je běžně dostupný ve stravě. Největší zásobárnou je svalová hmota (90-98 %), zbytek najdeme v srdci, mozku, ledvinách, bílých krvinkách a spermích. Nejvýznamnějším zdrojem v potravě je hovězí (5 g/kg) a kuřecí (3,4 g/kg) maso (Páleníček, 2013). Suplementace kreatinu zvyšuje nitrosvalovou koncentraci a tím dochází k viditelně lepším silovým výkonům včetně vyšší adaptace organismu na zátěž. Kromě lepších tréninkových výsledků ukazují výzkumy také na rychlejší zotavení po zátěži. Vědecké studie prokazují zdravotní nezávadnost při krátkodobém i dlouhodobém užívání kreatinu. Suplementace kreatinu mimo jiné zajišťuje dostatečný příjem zajišťující lepší zdraví pro lidi, kteří mají omezené množství ze stravy (Kreider a kol., 2017).

Dalšími doplňky stravy jsou pyruvát, který vzniká při tvorbě adenosintrifosfátu a pomáhá při tvorbě svalové hmoty a HMB což je vedlejší metabolický produkt leucinu a patří mu jedna z dalších kapitol této práce (Mach, 2012).

Přehnané přikládání váhy pouze suplementaci může způsobit, že sportovci tak začnou opomíjet základní principy kvalitní výživy. Suplementy pouze doplňují jídelníček o živiny, které by mohlo tělo postrádat, ale nikdy nenahradí základní stravovací principy, ať už se jedná o dosažení sportovních nebo estetických výsledků či zajištění základních životních funkcí (Roubík, 2018).



**Obrázek 3** - Pyramida důležitosti ve stravování (Zdroj: Roubík, 2018)



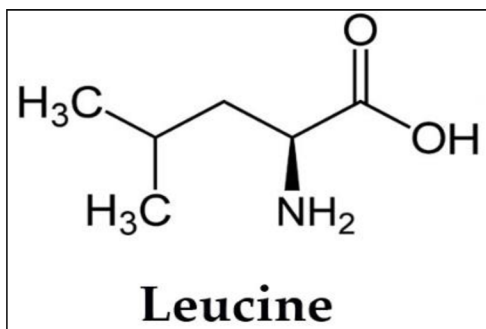
### 3.5 Leucin

Leucin (Obrázek 4) je esenciální aminokyselina, chemicky známá jako kyselina  $\alpha$ -aminoisohexanová, která je často užívána sportovci jako doplněk stravy při aplikování pravidelných silových tréninků. Řadí se mezi skupinu proteinogenních aminokyselin. Tyto aminokyseliny byly pojmenovány díky jejich zastoupení v bílkovinných složkách (Velíšek, 2002). Do stejné skupiny je zařazeno celkem dvacet (někdy se uvádí dvacet jedna nebo i dvacet tři) aminokyselin. Tkáně lidského těla jsou tvořeny dvaceti proteinogenními aminokyselinami. Dvacátou první aminokyselinou je selenocystein obsažen pouze v enzymu glutathionperoxidáze, dvacátou druhou a dvacátou třetí aminokyselinou jsou pyrolysin a N-formylmethionin, které se nevyskytují v lidském těle, ale dokážou se včlenit do proteinů některých organismů (Roubík, 2018). Aminokyseliny biogenní se dále dělí podle toho, zda si je lidské tělo umí samo vytvořit, nebo je potřeba je doplňovat ve stravě. Leucin je aminokyselina esenciální, to znamená, že není syntetizován organismem a stejně tak jako valin, isoleucin, fenylalanin, tryptofan, lysin, threonin a methionin je nutné ho doplňovat pomocí potravy (Velíšek, 2002).

Leucin, isoleucin a valin jsou navíc aminokyseliny s rozvětveným řetězcem a jsou označovány jako BCAA (branched-chain amino acids) (Lynch a kol., 2014). Rozvětvené aminokyseliny jsou ukládány ve svalech, a to v hojném zastoupení oproti ostatním aminokyselinám (Fernstrom a další, 2006). Příčně pruhané svalstvo je schopno uvolňovat bílkoviny déle a v menším množství než játra, slinivka břišní a sliznice střev, proto mají při fyzické aktivitě největší účast na uvolňování aminokyselin. V krevním řečišti je množství aminokyselin velmi malé. Po požití stravy obsahující velké množství bílkovin může hladina stoupnout o 30-100 %, ovšem s jednou dávkou BCAA může být vzestup plazmatických aminokyselin až čtyřnásobný (Fernstrom a kol., 2006).

Aminokyseliny, které si tělo vytváří samo, se nazývají neesenciální a patří mezi ně glycin, alanin, cystein, kyselina asparagová, asparagin, kyselina glutamová, glutamin, tyrosin a prolin. Poslední skupinou jsou aminokyseliny semiesenciální, a to jsou takové, které tělo dokáže tvořit samo, ale jen za určitých okolností, jako je vývoj dítěte nebo těhotenství. Jejich množství je nedostatečné a musí být doplňovány (Kodíček, 2004). Mezi semiesenciální aminokyseliny řadíme arginin a histidin (Roubík, 2018).

Zdroje leucinu mohou být jak živočišného, tak rostlinného původu. Hlavními potravinami, které obsahují velké množství leucinu jsou luštěniny, ryby a vejce (Marádová, 2005). Bohatým zdrojem leucinu je zároveň syrovátka, což je všestranná přírodní bílkovina derivovaná z kravského mléka. Hlavním pozitivem syrovátky je, že se snadno rozkládá a vstřebává do organismu. Svalové buňky ji tak mohou včas využít pro stavbu svalové hmoty a regeneraci svalu (Kleiner, 2015).



**Obrázek 4** - Název, vzorec a zkratka leucinu (Zdroj: Camp, 2019)

### 3.5.1 Působení leucinu na svalovou hmotu

Leucin má v těle hned několik důležitých rolí. Je jednou z látek ovlivňující množství cukru v krvi, tvorbu růstového hormonu, snižování energetického metabolismu a také ovlivňuje růst a regeneraci svalové hmoty. Leucin společně s isoleucinem a valinem nejsou na rozdíl od ostatních aminokyselin přeměňovány v játrech, ale nezměněny jsou zadrženy hlavně v mozku a svalové hmotě, kde se rozkládají. Leucin je dále preventivním opatřením při náročných fyzických aktivitách, kdy dochází ke snižování množství vlastních svalových proteinů a mohlo by docházet k mikrotraumatům ve svalech (Vodrážka, 1992).

Leucin je známý hlavně díky jeho anabolickému účinku na svalovou hmotu. Dalším kladným účinkem je jeho vliv na glukózovou toleranci a tím snížení rizika nástupu obezity. Zároveň má vliv na metabolismus tuků. Studie Zhanga a kol. (2020) dokazuje kladný vliv na metabolismus tuků, růst svalové hmoty a střeva. Dále také ukazuje na zpomalení stárnutí vlivem zmírnění mitochondriálních dysfunkcí, snížení výskytu obezity, cukrovky a kardiovaskulárních onemocnění. Zhang kol. (2020) ale upozorňují na potřebu dalších experimentů pro potvrzení výsledků této studie.

Přestože je leucin uváděn jako nejvíce anabolický mezi ostatními aminokyselinami, existují spekulace, že jeho samostatné podávání bude mít účinek na stimulaci syntézy proteinů pouze přechodný. Pro dlouhodobý účinek je potřeba přijímat zároveň dostatek zbylých EAA (esenciálních aminokyselin) (Holeček, 2022). V jedné z Holečkových studií (2016) byl dokonce prokázán pokles koncentrace valinu a isoleucinu v plazmě a svalové hmotě po dávkování samotného leucinu.

Účinky leucinu na svalovou hmotu jsou zřejmě spojeny s přítomností ostatních aminokyselin i podle Balageho a Daverdeta (2010). Sám o sobě nemá vliv na hypertrofii svalu, ani na svalovou sílu. Lepší účinek na výkon a svalovou hmotu mají komplexní aminokyseliny nebo proteiny s vyšším obsahem leucinu.

Studie z roku 2020, která zkoumala účinek vysokých dávek leucinu dvakrát denně na svalovou hmotu při silovém zatížení dvakrát týdně. Mezi testované subjekty byli přijímáni pouze trénovaní jedinci. Experiment trval 12 týdnů. Výsledek této studie ukazuje neúčinnost leucinu na svalovou hypertrofii i zvýšení svalové síly (Andrade a kol., 2020).

Novější studie od Plotkina a kol. (2021) uvádí, že pokud je dostatečný příjem esenciálních aminokyselin z potravy, nemá suplementace leucinu ani komplexu BCAA téměř žádný vliv na svalovou hypertrofii ani při dávce 10 g/den po dobu 12 týdnů. Jeho vliv se projevil ve studii od Dudgeona a kol. (2016) za hypokalorických podmínek, kdy bylo cílem snížit



celkovou tělesnou hmotnost, ale zachovat co nejvyšší množství svalové hmoty. Tuto studii zpochybňují fakta o nevhodně použitém testování, které mohlo zkreslovat výsledky, malém testovaném vzorku, tréninky a suplementace bez odborného dohledu nebo nedostatečné sledování stravování jedinců. To vše ovlivňuje výsledky celého experimentu (Dieter a kol., 2016). Další studie, kde účastníci měli celkový příjem bílkovin nastavený na 0,99 g/kg/den a k tomu dávkovali 7,5 g/den leucinu, nedisponovali žádným svalovým příbytkem (Verhoeven a kol., 2009).

Ze studií je vidět jasný vliv leucinu na omezení ukládání energie v tukových buňkách a lepší využití mastných kyselin ve svalové hmotě. Nejasností je, zda se jedná o účinek přímo leucinu, nebo má větší vliv jeho metabolit HMB. K tomu je potřeba dalších výzkumů (Zhang, 2020).

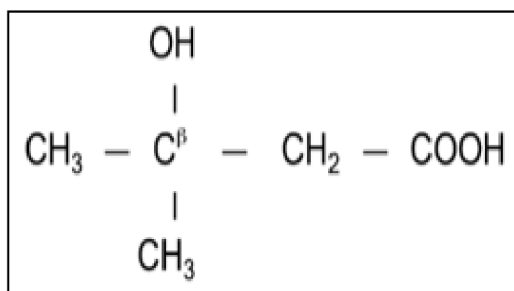
Příčně pruhovaná svalovina je schopná látkové přeměny aminokyselin, a to nejvíce těch, které se řadí mezi BCAA (leucin, valin, isoleucin). Přestože největší podíl na zásobě energie pro trénink při střední zátěži mají lipidy a cukry ze zásob, malé množství (3–6 %) proteinů je také schopno poskytnout energii k neočekávané potřebě. Přímým sledováním oxidace nebo nepřímo z koncentrace plazmy v močovině se dá odhadnout jaké množství leucinu je využíváno při zátěži (Maughan, Burke, 2006).

Podle množství nezbytných esenciálních aminokyselin se uvádí konečné návrhy dávkování proteinů u sportovců. Leucin je během fyzické zátěže využíván jako zdroj energie. Například u dvouhodinového vytrvalostního běhu s 50 % maximálního využití kyslíku je možné spálit až 90 % souhrnného doporučeného příjmu leucinu na celý den. Čím delší a náročnější trénink je, tím vyšší je potřeba bílkovin (Mach a kol., 2013).

### **3.6 Hydroxymethylbutyrát (HMB)**

Hydroxymethylbutyrát (Obrázek 5) chemickým označením  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrát, je derivátem kyseliny máselné a vzniká metabolickou přeměnou aminokyseliny leucinu v organismu (Zou a kol., 2022).

Kvůli jeho pozitivnímu působení na proteinovou rovnováhu, obnovu bílkovin a správnou funkci kosterních svalů se využívá jako doplněk stravy (Holeček, 2022). Podle AIS (Australian Institute of Sport) a jejich ABCD systému klasifikace je zařazen do skupiny B. Látky zastupující tuto skupinu nemají dostatečně ověřený účinek specifických studií. Zkoumány již byly, ale ne natolik dostatečně, aby mohly být zařazeny do skupiny A. Podle dosavadních průzkumů však mají kladný účinek na zdravotní stav trénovaného jedince, stejně tak jako na jeho sportovní výsledky (Bernaciková a kol., 2020). Doporučená denní dávka je 3 g. Zdrojem mohou být grapefruity nebo sumčí maso (Holeček, 2022).



**Obrázek 5** - Vzorec hydroxymethylbutyrátu (HMB) (Zdroj: Vilikus a kol., 2015)

Tkáňové zásoby aminokyseliny leucinu závisí na zdrojích z potravy (exogenní) a rozkladu bílkovin v organismu (endogenní). Bylo dokázáno (*in vivo* i *in vitro*), že za běžné situaci se na HMB přemění zhruba 5–10 % leucinu přijatého z potravy (Zhang a kol., 2020). To znamená, že tělo normálního člověka o hmotnosti 70 kg vyprodukuje denně cca 200–400 mg HMB. To samozřejmě závisí na dostatečném příjmu leucinu z potravy (Pinheiro a další, 2012).

Leucin je v organismu transaminací změněn na KIC (ketoisokapronová kyselina), který je nejvíce oxidován v játrech na isovaleryl-CoA prostřednictvím enzymů s rozvětveným řetězcem. Další rozklad probíhá v mitochondriích, přičemž vznikají další metabolity a ty vedou k tvorbě HMG-CoA který se nakonec mění uvnitř mitochondrií na acetoacetát a acetyl-CoA. V alternativním metabolickém schématu je KIC oxidován na HMB v cytoplazmě v játrech nebo jiných tkáních pomocí enzymu dioxygenáza (Obrázek 6), (Nissen a kol., 1997).

### 3.6.1 Působení HMB na svalovou hmotu

Studie potvrzují účinek HMB na svalovou syntézu a vliv na omezení úbytku svalové hmoty (Gepner, 2019). HMB stimuluje produkci růstového hormonu inzulínu a tím dochází k lepší syntéze proteinů v kosterní svalovině. HMB může mít také strukturální funkci, a to jako složka buněčných membrán (Duan a kol. 2016).

HMB je rozšířeným a oblíbeným doplňkem v odvětví silových sportů, a to hlavně kulturistů díky jeho anabolickým účinkům na organismus. Zabraňuje rozpadu svalové bílkoviny po fyzickém výkonu a pomáhá při nabírání svalové hmoty a zlepšování silových schopností (Vilikus, 2012). HMB má zároveň vliv na tvoření nových svalových vláken (Wilson, a další, 2013). Dále se HMB využívá před kulturistickými závody, kdy je potřeba zviditelnit texturu svalů, kvůli jeho kladným účinkům při snižování množství podkožního tuku (Vilikus, 2012).

HMB má zároveň kladné účinky na zpomalení úbytku svalové hmoty při rakovině tím, že pomáhá při stimulaci proteosyntézy. Stejně tak HMB zpomaluje růst nádoru, a to při minimální dávce 0,125 g / kg za den (Smith a kol., 2005).

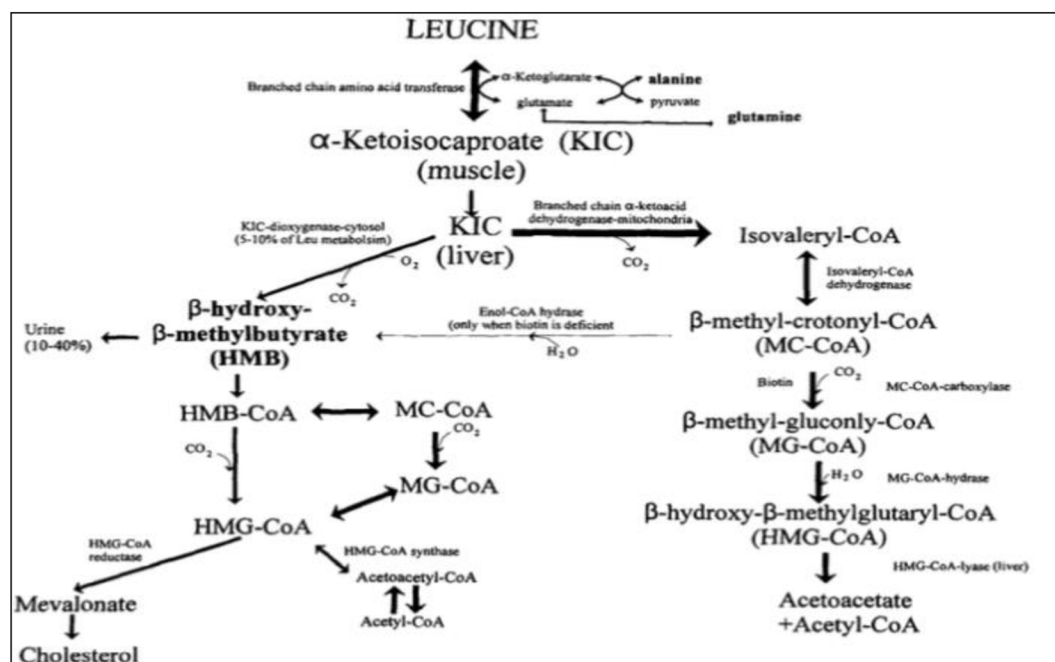
Duan (2018) ve svém experimentu dokázal, že HMB je schopen regulovat množství tukové tkáně jeho působením na oxidaci mastných kyselin a lipolýzu (Duan, 2018). Jelenik (2013) zmiňuje také pozitivní účinky na regulaci funkce mitochondrií, což může zpomalovat stárnutí, snižovat riziko neurodegenerativních onemocnění, obezity, cukrovky a nemocí oběhové soustavy (Duan, 2018).

Metaanalýza od Jakubowského a kol. (2020) zkoumala anabolické účinky HMB v kombinaci se silovým tréninkem. Z tělesných parametrů byla zkoumána celková tělesná hmotnost a množství tukové hmoty. Na 302 subjektech nebylo zjištěno významné působení HMB na tyto parametry. Dále se zkoumal vliv na svalovou sílu u 248 osob a ani zde se nepotvrdil účinek suplementace HMB. Tato studie nedoporučuje suplementaci HMB za účelem zvýšení síly nebo nárůstu svalové hmoty (Jakubowski a kol., 2020).

Článek shrnující poznatky ze studií ohledně účinku HMB na svalovou hmotu u starších jedinců, na rozdíl od předchozí studie v závěru ukazuje na jeho přínos v parametru svalové síly hlavně dolních končetin v kombinaci s odporovým tréninkem (Zou, 2022).

V nedávné metaanalýze byly zahrnuty výsledky vlivu HMB na rekonvalescenci svalové hmoty po silovém tréninku z dostupných elektronických databází. Bylo dokázáno, že suplementace doplňku HMB, která trvala souvisle více než 6 týdnů měla statisticky významný vliv na obnovu poškozené svalové hmoty vlivem silového tréninku (Rahimi a kol., 2018).

Ve většině studií je zamítnut jakýkoli neblahý účinek na zdraví. U experimentu na potkanech se projevil pokles glutaminu do 24 hodin po podání HMB. Zároveň se snížila koncentrace ATP ve svalové a jaterní tkáni u krys s diabetickým nálezem po léčbě HMB. Je potřeba dalších studií, aby bylo možno zamítnout negativní vliv na metabolismus ATP a účinky na snížení koncentrace aminokyselin (Holeček, 2022).



Obrázek 6 - Leucin a HMB ve stresové situaci (Zdroj: Nissen a kol., 1997)

### 3.7 Metody měření tělesného složení

Existují nejrůznější možnosti, jak změřit tělesné složení. Metodu je potřeba důkladně vybrat s ohledem na finanční náročnost, přesnost měření, časovou náročnost, dostupnost měřicího stroje, nebo třeba odbornou obsluhu strojů. V této kapitole budou vypsány různé metody měření tělesného složení včetně metody bioelektrické impedance, která byla vybrána jako vhodná pro tento experiment.

Metody tělesného složení můžeme dělit do dvou skupin. Jsou to metody měřené v laboratoři jako je denzitometrie, hydrostatické vážení, metoda DEXA, hydrometrie nebo přímé změření draslíku v těle. Finanční náročnost přístrojů, nutnost odborníků k jejich obsluze a celková organizace by byla v terénu nemožná, proto se přímo v terénu využívají jednodušší metody jako je kaliperace nebo bioelektrická impedance (Pastucha, 2014).

Druhým způsobem dělení metod měření tělesného složení je dělení na přímé, nepřímé a dvakrát nepřímé. Přímé metody se vyznačují stanovením neznámé veličiny bezprostředně při měření. Ty se ale dají provádět pouze při pitvě chemickou analýzou nebo neutronovou aktivační analýzou *in vivo* (Bray, Bouchard, 2004). Metody jednou nepřímé (denzitometrie, hydrostatické měření, DEXA, a další), kde pro výpočet požadovaného parametru stačí pouze jeden přepočtení, patří mezi přesnější metody. Metody s nižší přesností, kde dochází k více přepočtům, se nazývají dvojitě nepřímé (měření tloušťky kožních řas, bioimpedanční analýza) (Hainer, 2004).

### 3.7.1 Antropometrie

Antropometrie je metoda nepřímého měření, kdy se nepřímo stanoví množství tuku a následně množství tukuprosté hmoty. Tento pojem jako první přiblížil ve své studii Matiegka (1921), který se zaměřil na vnější (antropometrické) rozměry těla. Hmotnost kostry, kůže, tukové tkáně, příčně pruhovaného svalstva a rezidua jsou čtyři komponenty těla definované v jeho studii. Antropometrie tedy spočívá v měření různých tělesných proporcí a z toho odvození tělesného složení (Bláha, 1982).

Mezi základní parametry antropometrického měření se řadí zjišťování tělesné hmotnosti pomocí osobních vah, výšky pomocí stadiometru a obvodů částí těla (pasu, boků). Měření obvodu pasu definuje množství intraabdominálního tuku, jehož nadměrné množství signalizuje možný rozvoj kardiovaskulárních onemocnění, dny, vyšší hladinu lipidů v krvi nebo kloubních nemocí. Míry pasu u žen by se měly pohybovat v rozmezí do 80 cm a u mužů do 94 cm. Metabolické komplikace s velkou pravděpodobností postihnou ženy s obvodem pasu nad 88 cm a muže s obvodem větším než 102 cm (Havlíčková a kol., 2006).

### 3.7.2 Měření tloušťky kožních řas

Tato dvojitě nepřímá metoda se provádí přístrojem zvaným kalipermetr – odborný název pro měření tloušťky kožních je tedy kaliperace. Podle předpokladu tohoto měření je celková tělesná tuková složka uložena z 50 % právě v podkoží. Existují různé metody pro měření i různé druhy kalipermetrů, a tak tato metoda není považována za příliš přesnou (Havlíčková a kol., 2006).

Nejčastěji používanou metodou je metoda podle Pařízkové. Podle této metody se měří kožní řasy na různých deseti místech na těle a následně se hodnoty sečtou a dosadí do vzorce, ze kterého se vypočítá množství tuku v těle (Kleinwächterová, 2001).

**Tabulka 3** Rovnice pro výpočet množství tělesného tuku pomocí kaliperace (Zdroj: Kleinwächterová, 2001)

Pohlaví	Rovnice
Muži	$\% \text{ BF} = 28,96 \times \log \text{ MM} - 41,27$
Ženy	$\% \text{ BF} = 35,572 \times \log \text{ MM} - 61,25$

\*vysvětlení zkratk použitých v tabulce:

% BF = výsledné procento tělesného tuku

MM = součet tloušťky kožních řas v milimetrech



**Obrázek 7** - Ukázka kalipermetru pro měření kožních řas (Zdroj: Demura a kol., 2004)

### 3.7.3 Denzitometrie

Denzitometrie je metoda referenční (jednou nepřímá). Při použití této metody se stanovuje množství tělesného tuku z celkové denzity (hustoty) těla, kde se hodnoty dosazují do rovnice. Denzitometrie dělí tělo na dva komponenty (dvoukomponentový model) – tuk a tukuprostou složku. Tuk má konstantní hustotu  $0,9 \text{ g/cm}^3$  a denzita složky bez tuku je  $1,1 \text{ g/cm}^3$  (Kutáč, 2009).

Vzorec pro výpočet tělesné hmoty uvádí Kutáč (2009) v této podobě: Tělesná hmota = denzita x objem. S přibývajícím věkem, u ženského pohlaví a u dětské populace je známo, že hustota tukuprosté hmoty je nižší, než stanovená konstantní hodnota.

Na rozdíl od toho mají lidé černé rasy tuto hodnotu vyšší než zbytek populace. Proto byly sestaveny různé specifické rovnice pro stanovení podílu tukové hmoty v organismu přepočtem z celkové hustoty těla. Přestože se u denzitometrie mohou objevit chyby až 3-4 %, se tato metoda využívá k vyhodnocení validity jiných metod (Kutáč, 2009).

Tyto rovnice k přepočtu celkové tělesné hustoty na množství tělesného tuku uvádí Riegerová a kol. (2006) ve své práci:

Brožek (1963):  $\% \text{ tělesného tuku} = (4,57/D - 4,412) \times 100$

Siri (1961):  $\% \text{ tělesného tuku} = (4,95/D - 4,5) \times 100$

Lohman:  $\% \text{ tělesného tuku} = (2,118/D - 0,78 \times W - 1,354) \times 100$   
 $\% \text{ tělesného tuku} = (6,386/D + 3,961 \times m - 6,090) \times 100$   
( $W = \text{hustota vody (0,9937 g/cc)}$ ,  $m = \text{kostní minerály}$ )

### 3.7.4 Hydrostatické vážení

Hydrostatické vážení se řadí mezi metody jednou nepřímé. Tato metoda spočívá ve vážení hydrostatické váže, na které sedí testovaná osoba a je zcela ponořena do vody. V moment ponoření musí být subjekt v maximální expiraci, aby nebylo tělo pod vodou nadlehčováno vzduchem v plicích a v dýchacích cestách. Výsledná hodnota tělesného tuku se vypočítává z hustoty těla (Clark, 2009).

Rozdílem hmotnosti těla na suchu a pod vodou zjistíme výsledek měření. Na výsledek má vliv také teplota vody a denzita váženého organismu, a tak je nutné provést korekci při výpočtu. Zbytkové množství vzduchu je následně také odečteno od výsledku. Pro výpočet celkového tělesného složení se použije predikční rovnice. Jak zní Archimedův zákon „Těleso ponořené do tekutiny, které je v klidu, je nadlehčováno silou rovnající se tíze tekutiny stejného objemu, jako je ponořená část tělesa.“ Tato metoda je postavena na stejném principu. Hustota vody je asi 1 g/ml a hustota tuku asi 0,900 g/ml, což znamená, že se ve vodě bude vznášet, hustota aktivní tělesné hmoty je asi 1,100 g/ml, a tak se bude snášet ke dnu (Power, Howley, 2007).

Metoda DEXA (Dual X-Ray Absorptiometry – duální rentgenová absorpciometrie) Za nejvyspělejší metodu je nyní v považována právě metoda DEXA. Zároveň se může chlubit nejpresnějšími výsledky měření. Díky této metodě je možné získat přesné celkové i segmentální údaje o lidském těle a jeho složení. Měření probíhá pomocí rentgenových paprsků, které mají dvě pulzní hladiny. Kostní a měkká tkáň pohlcují tento paprsek rozdílně a díky tomu je možné určit složení těla. Využívá se tříkomponentový model, který se skládá z tuku, měkké tkáně a kostních minerálů (Heywards, Wagner, 2004).

*„Metoda DEXA má své limity, je relativně drahá, není možné vyšetřovat děti, obézní a vysoké jedince, také dochází k zatížení rentgenovými paprsky“* (Patucha a kol. 2014, s. 101). Testovaná osoba je měřena vleže a v závislosti na přístroji se měří po dobu 5-20 minut (Riegrová a kol. 2006).

### 3.7.5 Bioelektrická impedance

*„BIA je neinvazivní, relativně levná, rychlá, terénní, bezpečná a v současnosti velmi rozšířená metoda po celém světě. Lze ji využít pro odhad složení u zdravých jedinců i u pacientů s různými klinickými projevy.“* (Pastucha, 2014).

Je to dvojitě nepřímá metoda a její měření je založeno na principu toho, jak se elektrický proud šíří v různých tělesných strukturách. Při měření tělem projde střídavý proud s velmi nízkou intenzitou (většinou 800 nA) a frekvence proudu bývá 50 kHz. Při takto nízkém proudu nehrozí měřené osobě žádné nebezpečí a proud osoba ani nezaznamená (Toomey a kol., 2015).

Voda a elektrolyty jsou dobrým vodičem pro elektrický proud, proto tělesnou hmotou bez tuku, která obsahuje hodně vody (cca 73 %), prochází proud bez problémů, zatímco samotná tuková tkáň průchodu proudu zabraňuje – izoluje (Riegrová, 2006).

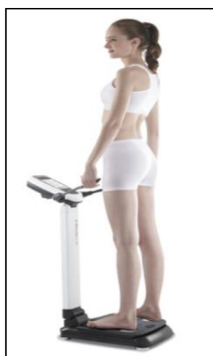
Původně se bioelektrická impedance používala pro studie posuzující celkové množství tělesné vody. Dále se tím daly určit různé fyziologické proměnné jako například správné fungování štítné žlázy nebo výše bazálního metabolismu. Na komerčním trhu se první bioimpedanční váhy objevily na začátku osmdesátých let (Heymsfield, 2005).

Bioimpedanční přístroje ruční nebo bipedální využívají k měření pouze 2 elektrody. Přístroje s ručními elektrodami (zajišťují měření proudem procházejícím pouze horní polovinou těla. Dle Clarkové (2009) jsou přesnější váhy, které mají elektrody, na které se přikládají chodidla se nazývají bipedální a elektrický proud tak prochází dolní polovinou těla. Bioimpedanční přístroje se čtyřmi elektrodami se nazývají tetrapolární a vzhledem k jejich lepší přesnosti je vhodnější je využívat pro odborné studie. Dvě elektrody se uchopují do ruky a dvě přiléhají k dolním končetinám (Riegrová, 2006).

Jak již bylo zmíněno, tetrapolární přístroje jsou přesnější a zároveň jsou dostupné, a proto bylo tohoto přístroje využito k měření v experimentální části této práce.



**Obrázek 8** - Bipedální přístroj (bioelektrická impedance) pro měření tělesného složení (Zdroj: Tanita [online], 2011)



**Obrázek 9** - Tetrapolární váha InBody pro měření tělesného složení (Zdroj: InBody [online], 2010)

### **3.8 Data z klinických studií o účincích leucinu a HMB**

Účinky leucinu a HMB se začínaly nejprve testovat na zvířatech, a to především na myších. Například Nissen a kol. (1997) uvádí, že HMB je velmi podstatnou látkou a ve stravě ho bývá nedostatečné množství pro potřeby zvířecího organismu. Jeho článek přezkoumává již provedené studie, kde bylo HMB přidáváno do krmení zvířete. U testovaných

zvířat se díky HMB zlepšil zdravotní stav a imunita. Dále bylo změřeno vyšší procento tuku v mléce u dojných zvířat.

Bruckbauer (2012) zase ve své velmi zajímavé studii testoval vliv suplementace HMB ve dvou různých dávkách na obézních myších. Ze studie byl zřejmý vliv suplementace HMB na stimulaci energetického metabolismu, glukózovou toleranci a citlivost na inzulín.

Mirza a kol. (2014) ve své studii zkoumali účinek leucinu a jeho metabolitu hydroxymethylbutyrátu (HMB) na zachování svalové hmoty a jejich vliv na metabolismus svalových proteinů při tomto onemocnění. Pokus byl proveden jak v laboratorních podmínkách, tak u živých organismů. Výsledkem studie bylo zjištění, že jak leucin, tak HMB snižují rychlost atrofie a zároveň snižují syntézu bílkovin v myotubech myší, které byly vyvolané faktorem indukujícím proteolýzu, lipopolysacharidy a angiotensin II. HMB mělo silnější účinek než leucin. Stačilo pouhých 50  $\mu\text{M}$ , aby byl stejný účinek jako u leucinu při 1 mM. Byla měřena enzymová aktivita proteazomu ve svalových lysátech a ta ukázala, že jak HMB, tak leucin snížily aktivitu ubikvitin-proteazomové dráhy. U myší s adenokarcinomem 16 se ukázalo, že HMB má lepší účinky na zpomalení atrofie asi o 60 % než samotný leucin. Tato studie podporuje teorii, že lze Ca-HMB použít ve vysokých dávkách jako doplněk při léčbě kachexie u rakoviny.

Studie Pantona a kol. (2000) je první, která krátkodobě zkoumá vliv HMB na růst svalové síly a hypertrofii v souvislosti se silovým tréninkem. Testováno bylo celkem 39 mužů a 36 žen ve věkovém rozmezí 20-40 let. Ženy i muži byli náhodně rozděleni do dvou skupin. Jedné skupině bylo podáváno HMB v množství 3,0 g/den a druhé skupině pouze placebo. Každý účastník absolvoval třikrát týdně silový trénink po dobu čtyř týdnů.

Dle výsledků Pantona a kol. (2000) skupina užívající HMB měla razantnější rozdíl ve zvýšení hmoty horní části těla a to o  $7,5 \pm 0,6$  kg oproti skupině s placebem, kde bylo zvýšení pouze o  $5,2 \pm 0,6$  kg. S užíváním HMB vzrostla hmotnost bez tuku o  $1,4 \pm 0,2$  kg a došlo k regulaci tuku o  $1,1 \% \pm 0,2 \%$ . V případě skupiny užívající pouze placebo se zvýšila hmotnost bez tuku o  $0,9 \pm 0,2$  kg a u tukové hmoty došlo ke snížení jen o  $0,5 \% \pm 0,2 \%$  (Panton a kol., 2000).

Nissen a kol. (1996) také zkoumali vliv HMB na svalovou hmotu během tréninku, a to ve dvou různých experimentech. V prvním experimentu užívaly subjekty různý příjem bílkovin. Byly rozděleny na dvě skupiny – „control plus“ ( $117 \pm 4,3$  g) a „high protein“ ( $175 \pm 4,3$  g). Tyto dvě skupiny byly dále rozděleny do tří skupin s různým dávkováním HMB. Skupina „control plus“ zahrnovala 18 lidí, rozdělených po šesti. První skupina neužívala žádné množství HMB, druhá 1,5 g HMB za den a třetí 3 g HMB za den. Skupina „high protein“ byla rozdělena do třech skupin po sedmi lidech a množství HMB bylo dávkováno stejně. Testování věděli, jaké množství bílkovin mají v jídelníčku, ale množství HMB bylo utajeno. Tělesná kompozice byla zaznamenávána nalačno přístrojem TOPEC, který vyhodnocuje tělesné složení pomocí elektrické vodivosti. Z výsledků této první studie nebyl úplně jasný vliv množství přijímaných bílkovin na růst svalové hmoty a síly. I když byl příjem bílkovin při nejmenším 2x vyšší nežli ten doporučený, nedošlo k extrémnímu nárůstu svalové hmoty.

Ve druhém experimentu studie Nissen a kol. (1997) testovali 32 subjektů, ve věku 12-22 let, kteří měli již dřívější zkušenosti se cvičením. Tyto subjekty se živily podle vlastního uvážení a absolvovaly 6 tréninkových jednotek v týdnu, které trvaly 2-3 hodiny a do toho zařazovaly aerobní činnosti nejméně 3x za týden. Subjekty byly rozděleny do dvou skupin.



Jedna skupina užívala placebo a druhá HMB. Ve druhé studii bylo evidentně zatížení subjektů daleko vyšší než v první a bez suplementace HMB byly výsledky, po třech týdnech cvičení, minimální. Při suplementování 3 g HMB na den je vidět u trénujících jedinců jasný nárůst síly i svalové hmoty. Zároveň klesla proteolýza bílkovin ve svalu a z výsledků krve je vidět nižší poškození svalu po tréninku a pokles esenciálních aminokyselin v plazmě o 50 %.

Stejně tak v článku Nissen (1997) uvádí 7 studií, kde bylo HMB testováno na lidech. Výsledek těchto studií ukazuje rovněž pozitivní vliv na svalovou hmotu u jedinců se suplementací HMB. Množství svalové hmoty vzrostlo z 50 % na 200 % v porovnání s lidmi se stejným tréninkovým zatížením, ale bez suplementace.

Novější studie testovala rozdíl ve svalové hypertrofii u skupiny lidí užívajících HMB a skupiny užívající leucin. Bylo testováno 26 mužů ve věku 21 až 25 let. Dvanáct týdnů vykonávali souvisle silové tréninky ve třech stupních. První stupeň zahrnoval osm týdnů se třemi silovými tréninky za týden, dalších osm týdnů absolvovali pět tréninků týdně a na závěr se opět opakovaly tři tréninky týdně. Účastníci byli rozděleni náhodně do dvou skupin. Jedna skupina dostávala 2x denně 25 g syrovátkového proteinu s 1,5 g HMB, druhá skupina užívala 2x denně stejnou dávku, jen místo HMB byl se syrovátkovým proteinem užíván leucin. Před začátkem studie bylo provedeno první měření. Toto měření zahrnovalo vážení těla bez tuku a kostí, ultrazvukové měření síly přímého svalu stehenního a velikost jeho průřezu, průměru svalové vlákniny. Síla se měřila jedním opakováním při maximální síle. Při tomto experimentu obě skupiny vykazovaly úplně stejný účinek obou látek (Jakubowski a kol., 2019).

V experimentu bylo cílem změřit účinek leucinu a HMB na metabolismus svalové hmoty pomocí indikátoru v myofibrilách a měření svalové proteolýzy. Účelem měření bylo také zjistit působení leucinu a HMB na zvýšení hladiny insulinu v plazmě po konzumaci doplňků. Bylo vybráno 15 mladých mužů ve věku 21-23 let s BMI mezi hodnotami 23 a 25. Všichni zúčastnění byli rekreačním sportovci a dříve neabsolvovali podobný experiment. Tito muži byli rozděleni do dvou skupin: HMB skupina s osmi členy a Leu skupina se sedmi členy. Subjekty konzumovali 3,42 g volné kyseliny FA-HMB, která obsahuje 2,42 g čistého HMB a 3,42 g leucinu. Studie probíhala na dvou různých místech. Skupina užívající leucin byla z Kanady a HMB skupina ze Spojeného království. Oba zařazené doplňky stravy vyvolaly anabolickou reakci, leucin však vyšší než HMB. U HMB byla prokázána nižší míra odbourávání svalových bílkovin nezávisle na inzulinu (Wilkinson a kol., 2013).

### **3.8.1 Shrnutí účinků HMB a leucinu z dostupných studií**

Dosavadní výsledky ukazují, že bez ohledu na pohlaví nebo druh tréninku je HMB účinným pomocníkem při zvyšování síly u horní části těla a zároveň minimalizuje poškození svalů tréninkovým zatížením (Panton a kol., 2000). Díky příznivým vlivům HMB na rozpad svalové bílkoviny a zároveň snížení poškození svalu během silového tréninku dochází k hypertrofii. Množství přijímaných bílkovin v potravě ani extrémní zatížení subjektů během týdne nemělo evidentní vliv na růst svalové hmoty. U subjektů užívajících HMB jako doplněk stravy však nárůst svalové hmoty i síly byl evidentní (Nissen a kol., 1996).

Článek Zanchiho a kol. (2010) shrnul klinické testy z let 1996 až do roku 2010 ohledně suplementace HMB a jeho účinku na sportovní výkon. Tyto experimenty zkoumají efektivitu působení HMB na svalovou sílu, svalovou hmotu a poškození svalu. V článku je vyzdvižen

kladný vliv HMB na efektivnější nabírání svalové hmoty, snížení proteolýzy ve svalu, nižší množství poškozené svalové hmoty a zlepšení funkce imunitního systému u osob s HIV. Článek uvádí, že HMB nemá vliv na krevní obraz ani při jeho užívání nehrozí poškození jater a ledvin. Některé studie uvádí, že nedošlo k nárůstu svalové hmoty ani při užívání HMB, to však může být krátkou dobou testování, nebo nedostatečným tréninkovým zatížením. U testů aerobní zdatnosti byl naopak zaznamenán kladný vliv HMB na dýchací soustavu. Po skončení zatížení dle studií dochází k rychlejší regeneraci svalu díky užívání HMB.

Dle dosavadních studií je růst svalové hmoty během silových tréninků výraznější, když sportovci zařadí do jídelníčku větší množství proteinů bohatých na leucin. Užívání metabolitu leucinu neboli HMB ale v některých datech vykazuje daleko lepší anabolické účinky než samotný leucin. Jakubowski a kol. (2019) ve své studii však nezaznamenali žádné rozdíly mezi skupinami sportovců užívajících leucin a HMB, a to ani v koncentracích hormonů v těle při žádné ze tří fází studie. To znamená, že HMB, které bylo užíváno se syrovátkou nemělo větší vliv na nárůst svalové hmoty a svalové síly a zároveň více neovlivnilo koncentraci hormonů v krvi než leucin užívaný rovněž se syrovátkou. Závěrem je, že HMB nemá větší účinek na svalovou hypertrofii v souvislosti se silovými tréninky ani na svalovou sílu než leucin. V experimentu Wilkinsona a kol. (2013) byla dokonce prokázána vyšší anabolická reakce při užívání leucinu než HMB.

Systematický přehled a metaanalýza od Jakubowského a kol. (2020) popisuje anabolické účinky HMB v souvislosti se silovým tréninkem jako nevýznamné. Malý nárůst tělesné hmotnosti nemá významný vliv v přírůstku svalové hmoty ani v úbytku tukové tkáně. Zároveň nedošlo ani k významnému zvýšení silových schopností. Vliv HMB na tělesné složení je zanedbatelný, a proto neexistuje důvod pro jeho užívání jako doplňku stravy.

## 4 Metodika

V Experimentální části byla použita metoda dvojitě zaslepené, randomizované, cross-over studie, kontrolované placebem. Testovaní jedinci byli vybráni s ohledem na jejich zdravotní stav a fyzickou zdatnost tak, aby zvládli celý průběh experimentu bez obtíží. Souhlas s účastí potvrdili podpisem a týden před začátkem experimentu byli důkladně zaškoleni a obeznámeni pravidly pro užívání doplňku a stravování. Zároveň postupně docházeli do fitness centra, kde jim byl názorně předveden každý cvik a nastaveny váhy pro 3 tréninkové jednotky v prvním týdnu experimentu.

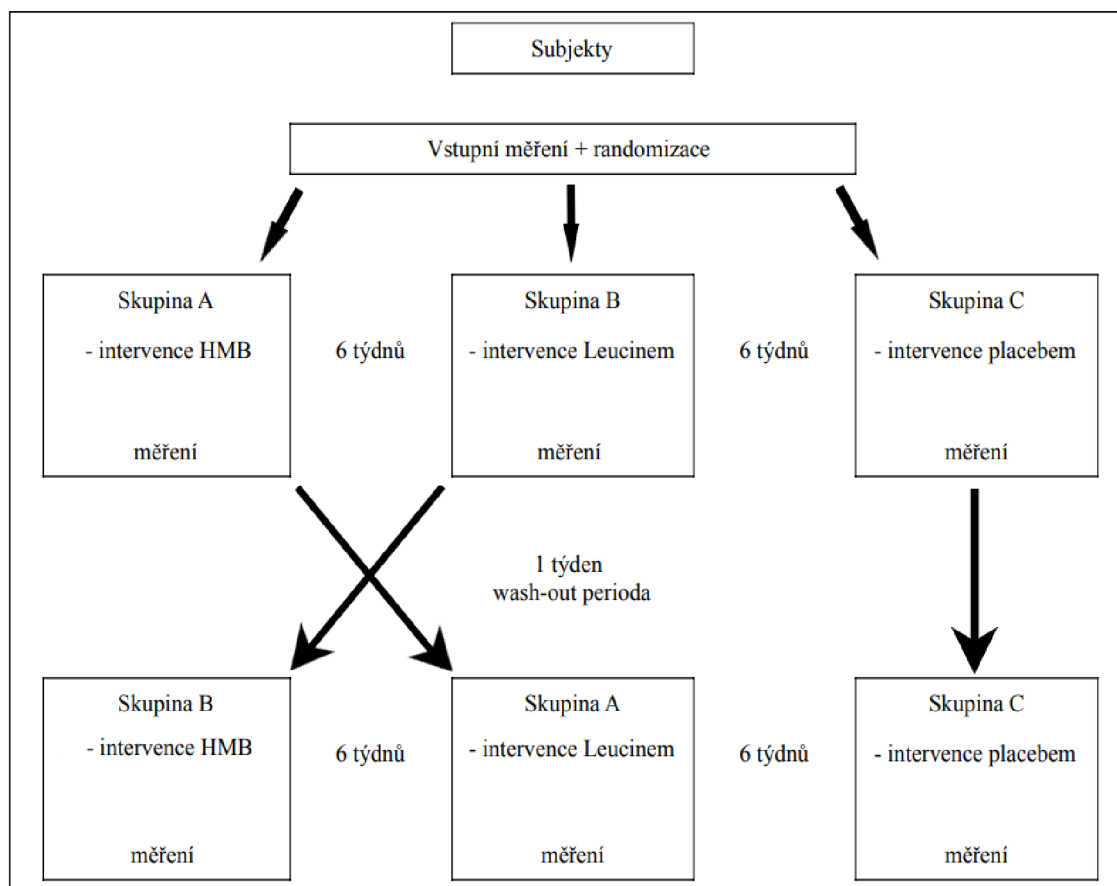
### 4.1 Metodika a realizace výzkumu

Teoretická část diplomové práce zahrnovala testování trénujících jedinců a vliv leucinu a HMB na růst jejich svalové hmoty. Bylo vybráno 26 subjektů ve věku 20-47 let s pohybovou schopností potřebnou pro dokončení experimentu. Všichni jedinci byli dokonale obeznámeni s průběhem celého experimentu a svůj souhlas stvrdili podpisem na informovaném souhlasu, který je zahrnut v **příloze 1** a **příloze 2**. Subjekty byly náhodně rozděleny do tří testovacích skupin. První skupina (A) užívala 3 gramy leucinu za den, druhá skupina (B) 3 gramy HMB za den a třetí skupina (C) suplementovala pouze placebo – také 3 gramy. Jako placebo byl využit maltodextrin, což je zdroj sacharidů, který se vyrábí ze škrobu.

Délka celého experimentu byla stanovena na 13 týdnů – 2 intervenční období po šesti týdnech a mezi nimi 1 týden bez doplňků (wash-out perioda). V druhé 6týdenní fázi si skupiny A a B prohodily doplňky. Tím vznikla dvojitě zaslepená studie. Na obrázku č. 9 (pod textem) je zobrazen diagram celého experimentu.

Nikdo ze subjektů nesměl vědět, který z doplňků mu byl přiřazen. Suplementy byly podávány současně s banánem, aby nebylo možné odlišit chuť doplňku. Každý ze subjektů byl před začátkem studie, to bylo v neděli 19. 9. 2021, změřen na přístroji InBody, pro stanovení jejich tělesného složení a další měření probíhalo po dvou týdnech do konce studie. Dále od pondělí 20. 9. 2021 musely subjekty přesně dodržovat stanovený počet makronutrientů v jídelníčku. Zároveň musel každý jedinec odcvičit 3 tréninkové jednotky týdně.

První trénink v týdnu obsahoval tlakové cviky, druhý trénink cviky na posílení svalů dolních končetin a břicha a třetí trénink byl složen z tahových cviků a posílení břišního svalstva. Trénink byl sestaven na principu 5x5 (5 sérií x 5 opakování u základních silových cviků), každý týden bylo nutné u každého jednotlivého cviku zvýšit zátěž. Subjekty dodržovaly tento režim stravy, tréninku a doplňků po dobu třinácti týdnů s výjimkou týdenní pauzy mezi intervenčními obdobími. Celý výzkum byl zakončen posledním přeměřením na přístroji InBody v neděli 19. 12. 2021.



**Obrázek 10** - Diagram experimentu

#### 4.1.1 Měření tělesného složení

Měření testovaných jedinců probíhalo na přístroji In body 270 (InBody Co., Ltd., Korea), před, v průběhu i na konci studie, a to v rozmezí dvou týdnů. Přístroj slouží k diagnostickému a analytickému vyhodnocení tělesného složení. Měření probíhalo od neděle 19. 9. 2021 mezi 19-20 hodinou každé dva týdny ve stejný čas až do ukončení studie po šesti týdnech v neděli 19. 12. 2021. Každý subjekt byl měřen minimálně po třech hodinách od posledního jídla a dvou hodinách bez pití. Zároveň nesměli absolvovat žádný trénink v den měření. Po každém měření zapsaly subjekty hodnoty do vytvořené tabulky (viz **Příloha 3**), pro lepší orientaci ve výsledcích, které pro nás byly stěžejní.

Přístroj InBody 270 provádí diagnostiku tělesného složení na principu segmentové a simultánní multi-frekvenční bioelektrické impedance. Jelikož se lidské tělo chová jako elektrický obvod, je pomocí elektrod do těla zaveden střídavý proud slabé intenzity a z průchodu tohoto proudu tělem stanovuje přístroj výsledky měření (Lukaski, 2013). Přístroj takto dokáže odhadnout množství celkové vody v těle, bílkovin, minerálních látek, hmotnost tuku, celkovou hmotnost a pro tuto práci zásadní hmotnost kosterní svaloviny. Dále také ukazuje hodnotu BMI, množství tuku a svalů vyjádřených v procentech a také složení těla po segmentech (pravá ruka, levá ruka, trup, pravá noha a levá noha). Přístroj zároveň vyhodnocuje doporučení pro ideální hmotnost, kontrolu tuků a svalů. Další parametry, které

přístroj měří, jsou bazální metabolismus a hodnota viscerálního tuku. InBody také vyhodnocuje graf z historie měření a bodově ohodnocuje stav tělesného složení – Fitness skóre.

#### 4.1.2 Stravování

Jednou z podmínek pro to, aby byl jedinec zařazen mezi subjekty, byla možnost stáhnout si aplikaci „kalorické tabulky“. V těch si všechny subjekty nastavily stejné podmínky pro výpočet množství makronutrientů. A podle výpočtu kalorických tabulek se následně stravovaly až do konce experimentu, s výjimkou týdenní rest-pauzy. Během wash-out pauzy byly subjekty instruovány ohledně zachování podobného režimu stravování jako předchozích 6 týdnů experimentu, aby nebylo ovlivněno následné měření případným kalorickým deficitem nebo nadbytkem.

Nastavení kalorických tabulek bylo následovné (viz **Příloha 4**):

- Každý jedinec si samozřejmě nejprve nastavil své demografické údaje (pohlaví, rok narození, váha, výška).
- Vlastním cílem bylo „nabrat svaly“ – to vytvoří kalorický nadbytek (surplus).
- V nastavení jídelníčku bylo zvoleno započítávání trávení, zohlednění aktivit v DDD.
- Denní výdej byl nastaven na „sedavý“ a fyzickou aktivitu si každý denně zadával.
- Cílová hmotnost byla nastavena na hodnotu o 3 kg vyšší, než byla nynější váha jedince z prvního změření na InBody před začátkem experimentu.

Z tohoto nastavení vypočítaly kalorické tabulky ideální denní příjem živin při nabírání svalové hmoty (viz **Příloha 5**).

Tabulky ukazují celkové množství energie, která by měla být přijata a zároveň je rozdělena na jednotlivé makronutrienty – tuky, cukry, bílkoviny, vláknina. Jak již bylo zmíněno, tak energii na trénink a fungování nervové soustavy si tělo vytváří ze sacharidů. Proto je množství sacharidů v jídelníčku poměrně vysoké (cca 48 % celkové energie. Příjem bílkovin byl cca 1,6 g na kg hmotnosti. Obsah tuku ve stravě byl vypočten na cca 25 % z celkového příjmu.

Zadané hodnoty makroživin musely subjekty striktně dodržovat. Usnadnilo jim to zapisování veškeré stravy do kalorických tabulek, které automaticky přepočítávají množství snědeného jídla na procenta z denního cíle. Původní hodnoty vypočtené tabulkami však nezahrnují kalorický výdej během celého dne. To bylo vyřešeno zadáním veškeré aktivity do tabulek, které automaticky odečetly spálené množství kalorií z provedené pohybové aktivity. A tak subjekty musely jakoukoli pohybovou aktivitu „dojíst“.

### 4.1.3 Testované doplňky stravy

#### **HMB (4FITNESS s.r.o., Brno, Česká republika)**

Hydroxymethylbutyrát s přidaným kalcie ve složení: 84 % kyseliny 3-hydroxy-3-methylbutanové, 15 % kalcia (informace dostupné z obalu výrobku). Doplněk byl podáván v prášku.

#### **Leucin (4FITNESS s.r.o., Brno, Česká republika)**

Leucin nebo také L-leucin ve složení: L-leucin báze, vyrobený fermentací (informace dostupné z obalu výrobku). Doplněk byl podáván v prášku.

#### **Maltodextrin (4FITNESS s.r.o., Brno, Česká republika)**

Jako placebo byl využit maltodextrin se středním dextrózovým ekvivalentem (15), což je polysacharid o složení: kukuřičný maltodextrin DE 15. DE je ukazatelem procentuálního podílu dextrózy. Profil sacharidů výrobku: glukóza 1 %, maltóza 4 %, trisacharidy 7 %, polysacharidy 88 % (informace dostupné z obalu výrobku).

Testování si jednotlivé přípravky dávkovali odměrkou o objemu 1 g = 3 odměrky v netréninkový den ráno, v tréninkový den odpoledne.

### 4.1.4 Silový trénink

Jako vhodný koncept silového tréninku byla zvolena metoda 5x5 u základních více kloubových cviků. To znamená, že základní silové cviky (bench press, dřep a mrtvý tah) se vždy dělají v pěti sériích po pěti opakování. Celý tréninkový program obsahoval v jednom týdnu 3 cvičící jednotky, opakující se po dobu šesti týdnů. Každý trénink zahrnoval základní a doplňkové cviky.

U základního cviku se vždy dodržovalo pravidlo 5x5 a každý další týden bylo nutné zvýšit zátěž. U doplňkových cviků, které stimulovaly velké svalové partie (např. prsní svaly, zádové svaly, deltové svaly) se dodržovalo stejné pravidlo, a až poté, co bylo dosaženo maximálního zatížení a cvičící nebyl schopen váhu navýšit, mu byl zvýšen počet opakování. Stejně tak to bylo u cviků se zaměřením na menší svalové partie (např. dvojhlavý a trojhlavý sval pažní), ale u těch byl snížen počet sérií na čtyři.

Každou tréninkovou jednotku si testovaní jedinci pro lepší přehlednost zaznamenali do tabulky (viz **Příloha 6**) tak bylo zajištěno, že každý následující týden byla přidána zátěž nebo opakování. Tréninkové jednotky v první polovině experimentu byly sestaveny tak, jak je uvedeno v tabulkách 4, 5 a 6.

**Tabulka 4** Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 1 první poloviny experimentu

<b>TRÉNINK Č. 1</b>	<b>Počet sérií</b>	<b>Počet opakování</b>
1. Bench press	5	5
2. Tlaky nad hlavu s JČ	5	5
3. Rozpažky na lavici s JČ	5	8
4. Francouzské tlaky v leže s osou	4	6
5. Upažování / upažování v předklonu	4	8 / 6
6. Tricepsově stahování horní kladky	4	8

JČ – jednoruční činka

**Tabulka 5** Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 2 první poloviny experimentu

<b>TRÉNINK Č. 2</b>	<b>Počet sérií</b>	<b>Počet opakování</b>
1. Dřepy	5	5
2. Rumunské mrtvé tahy	5	6
3. Výpady vzad s osou	5	5 + 5
4. Hypthrusts	5	8
5. Výpony na multipressu	4	8
6. Přítahy nohou v visu	4	8

**Tabulka 6** Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 3 první poloviny experimentu

<b>TRÉNINK Č. 3</b>	<b>Počet sérií</b>	<b>Počet opakování</b>
1. Mrtvé tahy	5	5
2. Stahování horní kladky nadhmatem	5	5
3. Přítahy jednoručních činek v předklonu	5	5
4. Pull down na kladce s nataženýma rukama	4	6
5. Kladivový bicepsový zdvih	4	8
6. Zkracovačky ke zdviženým nohám	4	8

Do druhé poloviny experimentu byly jednotlivé cviky v tréninkových jednotkách nahrazeny jinými tak, aby zátěž i procvičovaná část svalu odpovídala té předchozí, ale nedocházelo ke stagnaci růstu svalové hmoty vlivem adaptace těla na dlouhodobě stejný styl tréninku. Přehled cviků v jednotlivých tréninkových jednotkách druhé poloviny experimentu je zahrnut v tabulkách 7, 8 a 9.

**Tabulka 7** Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 1 druhé poloviny experimentu

<b>TRÉNINK Č. 1</b>	<b>Počet sérií</b>	<b>Počet opakování</b>
1. Bench press	5	5
2. Tlaky nad hlavu s osou	5	5
3. Střihy na protisměrných kladkách	5	5
4. Francouzské tlaky v leže s jednoručními činkami	4	6
5. Přítahy osy pod prsa / upažování na zadní delty na kladce	4	8 / 5
6. Tricepsově stahování horní kladky nadhmatem	4	6

**Tabulka 8** Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 2 druhé poloviny experimentu

<b>TRÉNINK Č. 2</b>	<b>Počet sérií</b>	<b>Počet opakování</b>
1. Dřepy	5	5
2. Single leg rumunské mrtvé tahy	5	5
3. Split dřepy	5	5
4. Single leg hipthrusts	5	6
5. Výpony na jedné noze s jednoručními činkami	4	8
6. Šikmé zkracovačky	4	10

**Tabulka 9** Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 3 druhé poloviny experimentu

<b>TRÉNINK Č. 3</b>	<b>Počet sérií</b>	<b>Počet opakování</b>
1. Mrtvé tahy	5	5
2. Stahování horní kladky pohmatem	5	5
3. Přítahy jednoruční činky v předklonu s oporou	5	5
4. Pull down na kladce neutrálním úchopem	5	6
5. Bicepsový zdvih s osou podhmatem	4	8
6. Pokládání nohou v leže na lavici	4	10

Týden před začátkem studie byl každý účastník otestován a následně mu bylo určeno počáteční zatížení u každého cviku. Dále už si sám podle vlastního uvážení každý týden navyšoval váhu závaží, nebo počet opakování (u doplňkových cviků). Pro průběžné připomenutí správného provedení cviku byla natočena videa představující každou tréninkovou jednotku cvik po cviku (**Příloha 7**).

Veškerá pohybová aktivita byla zaznamenávána do kalorických tabulek (**Příloha 8**), kde si subjekty hlídaly množství jídla. Podle počtu spálených kalorií tak musely navýšit denní příjem. Testovaným osobám bylo také zakázáno silové cvičení mimo rozsah programu.



## 4.2 Charakteristika výzkumného vzorku

Výzkumný vzorek tvořili muži a ženy ve věku 27 let. Do vzorku byli vybráni jedinci, kteří splňovali podmínku dostačujících fyzických schopností pro dokončení experimentu. Zároveň museli vlastnit dostačující vybavení pro stažení aplikace „Kalorické tabulky“ kam si zaznamenávali svůj denní příjem a svoji dobrovolnou účast stvrdili podpisem na informovaném souhlasu. Subjekty byly vybrány z řad lidí se zkušenostmi z posilovny i z řad úplných začátečníků. Všechny subjekty byly týden před začátkem experimentu důkladně zaučeny a byla jim sdělena veškerá pravidla pro správné provedení experimentu.

Experiment bohužel nebyli schopni dokončit všichni testovaní jedinci. Za znemožnění použití výsledků se považuje jakékoli narušení celého programu (suplementace, cvičení, jídelníček).

## 5 Výsledky

Experimentální část této diplomové práce byla započata vstupním měřením na přístroji InBody v neděli 19. 9. 2021 mezi 19–20 hod. Na vstupním měření bylo změřeno celkem 27 dobrovolníků (14 mužů a 13 žen), kteří následně od pondělí 20. 9. 2021 začali užívat jim přiřazený doplněk a začali dodržovat jasně daný režim stravování a cvičení. Jelikož experiment testoval účinek 2 doplňků oproti placebo, byl celý soubor rozdělen do tří skupin po devíti osobách. Pro výsledné zhodnocení první poloviny experimentu, po závěrečném měření (31. 10. 2021) a před týdenní wash-out pauzou, bylo však použito jen 22 vzorků. Správnou vypovídající hodnotu měly pouze vzorky, u kterých bylo dodrženo veškerých zásad experimentu. Z vyřazených vzorků bylo pár subjektů nemocných, zraněných či se dostali do karantény vzhledem k situaci ohledně onemocnění COVID-19. Z hodnocených 22 vzorků bylo 11 mužů a 11 žen. Vzhledem k suplementaci doplňků bylo hodnocených výsledků: 8 ze skupiny A, 8 ze skupiny B a 6 ze skupiny C.

Průměrný věk všech účastníků první poloviny experimentu ( $n = 27$ ) byl  $28,7 \pm 6,7$  let. Další průměrné hodnoty včetně směrodatných odchylek celého souboru z první poloviny experimentu jsou uvedeny v tabulce níže.

**Tabulka 10** Základní charakteristika celého souboru vstupujícího do 1. poloviny experimentu

I. polovina experimentu	
Parametr	Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky
Pohlaví celkem, n (%)	27,00
žena	13 (48,15 %)
muž	14 (51,85 %)
Věk (roky)	$28,7 \pm 6,7$
Tělesná výška (cm)	$179,2 \pm 10,0$
Iniciální tělesná hmotnost (kg)	$81,2 \pm 15,9$
Iniciální BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	$25,3 \pm 4,3$
Iniciální hmotnost kosterních svalů (kg)	$36,8 \pm 9,3$
Iniciální hmotnost tukové složky (kg)	$16,5 \pm 8,8$

Druhá polovina experimentu navazovala na týdenní wash-out pauzu. Během této pauzy subjekty neužívaly žádný doplněk stravy, stravovaly se dle vlastního uvážení v rámci jejich kalorického doporučení a pohybová aktivita byla (vyjma silového tréninku) taktéž pouze na jejich svobodné vůli.

Do této experimentální části nastoupilo již pouze 15 jedinců ( $n = 15$ ), kteří byli tentokrát v neděli (7. 11. 2021) přeměřeni na přístroji InBody v čase mezi 19 a 20 hodinou. Skupiny podle suplementovaných doplňků se nyní prohodily, a jedinci kteří byli ve skupině A se v druhé polovině vyměnili s jedinci ve skupině B, skupina C zůstala totožná. Početně to bylo na začátku druhé poloviny experimentu takto: skupina A = 5 osob, skupina B = 6 osob, skupina C = 4 osoby.

Vzhledem k situaci ohledně onemocnění COVID-19 a znemožnění vstupu neočkovaných jedinců do fitness center v průběhu druhé poloviny experimentu se opět snížil počet testovaných jedinců, kteří dokončili experiment podle zadaných pravidel. Experiment byl ukončen závěrečným měřením tělesného složení na přístroji InBody, kde byl vyhodnocen konečný počet platných účastníků na 12 osob ( $n = 12$ ) – 6 mužů a 6 žen. Rozdělení do skupin bylo následovné: skupina A = 5 osob, skupina B = 4 osoby, skupina C = 3 osoby.

Průměrný věk testovaných lidí vstupujících do druhé poloviny experimentu ( $n = 15$ ) byl  $27 \pm 6,5$  let. Další průměrné hodnoty včetně směrodatných odchylek celého souboru z první poloviny experimentu jsou uvedeny v tabulce níže.

**Tabulka 11** Základní charakteristika celého souboru vstupujícího do 2. poloviny experiment (Zdroj: vlastní tvorba)

<b>2. polovina experimentu</b>	
<b>Parametr</b>	<b>Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky</b>
Pohlaví, n (%)	15
žena	8 (53,33 %)
muž	7 (46,67 %)
Věk (roky)	$27,0 \pm 6,5$
Tělesná výška (cm)	$177,7 \pm 10,3$
Iniciální tělesná hmotnost (kg)	$77,4 \pm 14,5$
Iniciální BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	$24,6 \pm 3,8$
Iniciální hmotnost kosterních svalů (kg)	$36,0 \pm 8,4$
Iniciální hmotnost tukové složky (kg)	$14,1 \pm 8,0$

## 5.1 Změny antropometrických parametrů a složení těla

Tabulka 12 ukazuje změny u všech tří skupin v rozmezí prvních šesti týdnů experimentu. Na druhou polovinu (8.–13. týden) experimentu ukazují hodnoty v Tabulce 7. Konkrétně jsem se zaměřila na změnu celkové hmotnosti a s tím spojeného BMI. Hlavním ukazatelem v této práci je množství svalové hmoty a pro zajímavost jsem do tabulek zahrнула změnu v hmotnosti tukové hmoty v průběhu experimentu.

Jak je vidět v tabulce 6, jediný statisticky významný rozdíl ve změně množství svalové tkáně se prokázal u skupiny užívající leucin. Tato testovaná skupina prokázala příbytek množství svalové hmoty v průměru o  $0,85 \pm 0,72$  kg za 6 týdnů experimentu. U leucinu ani placebo není statisticky významný rozdíl ve změně množství svalové tkáně během prvních šesti týdnů. Ovšem pokud se podíváme na P-hodnotu u skupiny HMB, která je ve výši 0,07, tak i přesto, že rozdíl není statisticky významný, tak se daleko více blíží k hladině významnosti, nežli P-hodnota placebo skupiny (0,38). To naznačuje, že vliv obou suplementů na růst svalové tkáně je podobný.

**Tabulka 12** Výsledky měření první poloviny experimentu (1.-6. týden): Závislé proměnné a jejich změny (data jsou uvedena jako průměrné hodnoty a jejich směrodatné odchylky, velikost efektu a jeho 95% interval spolehlivosti)

Parametry	Začátek	6. týden	p*	Změna	p**		
<b>HMOTNOST (kg)</b>							
Leucin	75,79 ± 17,07	76,15 ± 16,90	0,36	-0,36 ± 0,97	0,72	1	
HMB	77,65 ± 17,15	77,61 ± 17,40	0,91	0,04 ± 1,36			0,94
Placebo	80,33 ± 8,97	80,63 ± 8,60	0,62	-0,30 ± 1,26			
<b>BMI</b>							
Leucin	23,15 ± 2,69	23,31 ± 16,90	0,36	-0,16 ± 0,44	0,51	1	
HMB	23,85 ± 4,45	23,79 ± 4,38	0,72	0,06 ± 0,44			0,57
Placebo	26,13 ± 3,48	26,22 ± 3,23	0,67	-0,08 ± 0,42			
<b>SVAL. TKÁŇ (kg)</b>							
Leucin	37,1 ± 11,59	37,95 ± 11,16	<b>0,02</b>	-0,85 ± 0,72	0,57	0,34	
HMB	36,74 ± 9,4	36,74 ± 9,36	0,07	0,00 ± 0,83			0,49
Placebo	33,93 ± 6,32	34,28 ± 6,82	0,38	-0,35 ± 0,81			
<b>TUK. TKÁŇ (kg)</b>							
Leucin	10,69 ± 3,17	9,88 ± 3,26	<b>0,02</b>	0,81 ± 0,75	0,88	0,18	
HMB	14,19 ± 4,87	12,96 ± 4,85	0,06	1,23 ± 1,41			0,18
Placebo	20,20 ± 10,38	20,07 ± 10,71	0,65	0,13 ± 0,61			
* p-hodnota pro párový t-tes							
** p-hodnota pro Mann-Whitneyův U test							
** p-hodnota pro Mann-Whitneyův U test mezi leucinem a HMB							
** p-hodnota pro Mann-Whitneyův U test mezi leucinem a placebem							
** p-hodnota pro Mann-Whitneyův U test mezi HMB a placebem							
Červeně vyznačené hodnoty označují statisticky významný rozdíl							

Porovnáváme-li vliv dvou látek, a to HMB a leucinu, tak v tabulce 6 je vidět, že zde není statisticky významný rozdíl. Proto byla hypotéza „Podání HMB a leucinu bude mít stejný vliv na ochranu svalové hmoty a její narůst“ přijata.

V případě srovnání účinku HMB oproti placebo a účinku leucinu oproti placebo ani v jednom z případů nedošlo ke statisticky významnému rozdílu.

V **tabulce 7** jsou viditelné hodnoty změny parametrů pro druhou polovinu experimentu (8.–13. týden). Zde je vidět u skupiny užívající HMB a skupiny užívající placebo statisticky významný rozdíl ve změně množství svalové tkáně. U HMB to bylo  $0,35 \pm 0,30$  kg a u placebo  $0,63 \pm 0,17$  kg za 6 týdnů.

Nicméně pokud se znovu zaměříme na porovnání vlivu HMB a leucinu na růst svalové hmoty, tak zde opět nevidíme významný statistický rozdíl. I v tomto případě přijímáme hypotézu „Podání HMB a leucinu bude mít stejný vliv na ochranu svalové hmoty a její narůst“.

## 5.2 Změna parametru hmotnosti a BMI u testovaných osob

Ve změně hmotnosti nebyl sledován statisticky významný rozdíl ani u jedné ze tří skupin testovaných osob, a to ani v první, ani ve druhé polovině experimentu (**Tabulka 6, Tabulka 7**). A vzhledem k závislosti BMI na tělesné hmotnosti se statisticky významný rozdíl neprojevil v první polovině ani u parametru BMI. Ve druhé polovině experimentu však došlo k statisticky významnému rozdílu u parametru BMI u skupiny testovaných osob užívajících placebo, a to ve snížení o hodnotu  $0,47 \pm 0,05$ . Při porovnání účinku jednotlivých látek mezi sebou (HMB

a leucin, leucin a placebo, HMB a placebo) bylo zjištěno, že všechny látky měly spíše stejnou účinnost na tyto dva parametry.

### 5.3 Změna parametru tuková tkáň u testovaných osob

Na tento parametr jsem se záměrně zaměřila, abych zjistila, zda bude testovaná osoba přibírající na objemu svalové tkáně současně shazovat na objemu tkáně tukové, nebo se tato má hypotéza nepotvrdí. V prvních šesti týdnech je v Tabulce 6 zřejmé, že jediný statisticky významný rozdíl se potvrdil u skupiny užívající leucin, a to při úbytku tukové tkáně o  $0,81 \pm 0,75$  kg za 6 týdnů. Jestliže byl stejně tak u této skupiny statisticky významný rozdíl u nabírání svalové tkáně ( $0,85 \pm 0,72$  kg), průkazně mají vlivem leucinu tyto dva parametry mezi sebou určitou závislost.

V první polovině experimentu dále nedošlo ke statisticky významnému rozdílu, a to ani u porovnání jednotlivých skupin testovaných doplňků mezi sebou (HMB a leucin, HMB a placebo, leucin a placebo).

Ve druhé polovině (**Tabulka 7**) nedošlo k žádnému statisticky významnému rozdílu v množství tukové tkáně s ohledem na vliv všech tří skupin doplňků. Zároveň všechny tři skupiny doplňků měly spíše stejný účinek na množství tukové tkáně u testovaných osob.

**Tabulka 12** Výsledky měření první poloviny experimentu (1.-6. týden): Závislé proměnné a jejich změny (data jsou uvedena jako průměrné hodnoty a jejich směrodatné odchylky, velikost efektu a jeho 95% interval spolehlivosti)

Parametry	8. týden	13. týden	p*	Změna	p**		
<b>HMOTNOST (kg)</b>							
Leucin	73,46 ± 16,09	73,66 ± 15,47	0,12	-0,20 ± 1,59	0,9	0,11	
HMB	71,73 ± 13,63	79,25 ± 13,98	0,81	-7,52 ± 0,66			0,57
Placebo	77,23 ± 9,74	76,47 ± 9,12	0,37	0,77 ± 0,95			
<b>BMI</b>							
Leucin	23,64 ± 4,83	23,70 ± 4,61	0,15	-0,06 ± 0,54	0,73	0,06	
HMB	23,33 ± 1,54	23,55 ± 1,62	0,83	-0,23 ± 0,20			0,39
Placebo	24,33 ± 2,18	23,87 ± 2,19	<b>0,01</b>	0,47 ± 0,05			
<b>SVAL. TKÁŇ (kg)</b>							
Leucin	35,60 ± 6,32	35,60 ± 6,23	0,13	0,00 ± 0,59	0,11	0,4	
HMB	39,60 ± 10,95	39,95 ± 10,25	<b>0,02</b>	-0,35 ± 0,30			0,25
Placebo	35,27 ± 6,53	35,90 ± 6,38	<b>0,03</b>	-0,63 ± 0,17			
<b>TUK. TKÁŇ (kg)</b>							
Leucin	12,48 ± 5,98	11,44 ± 6,17	0,83	1,40 ± 1,48	0,19	0,11	
HMB	9,35 ± 3,79	9,48 ± 2,78	0,13	-0,13 ± 0,94			0,57
Placebo	15,10 ± 5,05	13,60 ± 5,27	0,09	1,50 ± 0,70			
* p-hodnota pro párový t-test							
** p-hodnota pro Mann-Whitneyův U test							
** p-hodnota pro Mann-Whitneyův U test mezi leucinem a HMB							
** p-hodnota pro Mann-Whitneyův U test mezi leucinem a placebem							
** p-hodnota pro Mann-Whitneyův U test mezi HMB a placebem							
Červeně vyznačené hodnoty označují statisticky významný rozdíl							

## 5.4 Diskuse

Výsledky tohoto experimentu tedy ukázaly v první polovině na jasný statisticky významný rozdíl u počáteční hodnoty svalové tkáně a hodnoty po šesti týdnech experimentu u skupiny testovaných lidí užívajících leucinu. Ve druhé polovině experimentu naopak hodnoty leucinové skupiny neprokázaly statisticky významný rozdíl a HMB a placebo skupiny tento významný rozdíl na začátku a po šesti týdnech experimentu prokázaly. Vzhledem ke sníženému množství subjektů v druhé polovině experimentu (8.-13. týden), bych tyto výsledky nepovažovala za signifikantní a zaměřila se spíše na první polovinu experimentu (1.-6. týden), kde byl testovaný vzorek výrazně větší.

Některé již dokončené studie vlivu HMB a leucinu na změnu tělesné kompozice se shodují nebo alespoň blíží stejnému výsledku, ke kterému jsme došli i v tomto experimentu.

Studie od Jakubowského (2019) byla velmi podobná našemu experimentu. Testovala vliv HMB a leucinu na svalovou hypertrofii. Na rozdíl od našeho cross-over experimentu však probíhal tento pokus 12 souvislých týdnů a subjekty si nevyměňovaly doplňky v půlce studie. To znamená, že pro dosažení statisticky významného rozdílu v nárůstu svalové hmoty měly skupiny testovaných lidí dvakrát delší dobu a dávky suplementů byly poloviční (1,5 g). Přesto v této studii nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi účinkem leucinu a HMB. Stejně tak jako v našem experimentu po šesti týdnech s dávkováním 3 g leucinu nebo 3 g HMB na den. Výsledky naší studie a studie Jakubowského (2019) se tedy i přes různou délku trvání a různé množství podávaných suplementů shodují.

Panton a kol. (2000) zahrnul do svého experimentu 39 mužů a 36 žen. Tento vzorek prokazoval již po čtyřech týdnech jasný účinek HMB na tělesnou hmotu bez tuku, která vzrostla o 1,4 kg, a to je o 0,5 kg více než u subjektů užívajících placebo. Stejně tak mělo HMB větší vliv na odbourání tukové tkáně (1,1 %) a to je o 0,6 % více než vliv placebo při stejném tréninkovém režimu. V mém experimentu je vidět v Tabulce 6, že P-hodnota HMB skupiny je 0,07. Tato hodnota se alespoň částečně blíží k hladině významnosti (0,05), na rozdíl od toho je P-hodnota placebo skupiny daleko vyšší (0,38). Je možné uznat, že HMB mělo vyšší účinek na svalovou hmotu než placebo. V našem experimentu se jednalo o daleko menší vzorek subjektů užívajících HMB nebo placebo. Dá se tedy předpokládat, že pokud by bylo testováno větší množství subjektů, dosáhli bychom statisticky významného rozdílu u nárůstu svalové hmoty vlivem HMB.

Wilkinson a kol. (2013) dospěli ve své studii k závěru, že leucinu měl dokonce větší vliv na anabolickou reakci organismu. V mé studii ukázaly výsledky po zhodnocení prvních šesti týdnů statisticky významný rozdíl u rostoucího množství svalové tkáně. Při porovnání látek HMB a leucinu však nedošlo ke statisticky významnému rozdílu v jejich účincích na svalovou hmotu, a tak lze uznat, že oba suplementy mají spíše stejný vliv.

V experimentu Nissen a kol. (1997) testovali osoby, které již měly dřívější zkušenosti se silovým tréninkem. V mé studii byl výběr zcela náhodný a do experimentu byli zařazeni i zájemci bez jakýchkoliv zkušeností s cvičením. Myslím si, že toto může být dalším z faktorů ovlivňujících výsledky. Je známo, že člověk s minimálními zkušenostmi se cvičením a s nízkým procentem svalové hmoty bude hned od začátku nabírat svalovou hmotu rychleji nežli člověk s již vysokým procentem svalů, jehož tělo je na cvičení zvyklé. Je tedy možné, že

pokud v naší skupině se suplementací placebo bylo více úplných nováčků, ovlivnilo to rychlejší růst svalové hmoty u této skupiny a v důsledku i výslednou statistiku.

Článek od Nissena (1997) shrnující 7 studií zabývajících se změnami svalové hmoty v důsledku suplementace HMB uvádí, že množství svalové hmoty vzrostlo z 50 % na 200 % oproti lidem se stejným zatížením, ale bez suplementace. To zdaleka neodpovídá mým výsledkům. V mém experimentu skupina užívající HMB nepřibrala na množství svalové tkáně žádnou hmotu, zatímco skupině s placebem stoupla hmotnost svalové tkáně o 380 g.

Výsledky tohoto experimentu se významně shodují s nedávnou metaanalýzou od Jakubowského a kol. (2020). Jejich výsledky nepotvrzují významný anabolický vliv suplementace HMB při současném silovém cvičení, stejně jako výsledky naší studie.

## 5.5 Limitace studie

Asi největší limitací tohoto experimentu byl fakt, že testovací vzorek nebyl dostatečně rozsáhlý. Při snížení počtu testovaných lidí vlivem onemocnění COVID-19 a dalších běžných onemocnění již v druhé polovině experimentu není možné výsledky brát za průkazné. Zároveň by rozhodně prospělo i v prvních šesti týdnech počítat s více výsledky. Samozřejmě čím je testovaný vzorek rozsáhlejší, tím průkaznější výsledky můžeme očekávat.

Abychom mohli s jistotou konstatovat, že subjekty opravdu měly stejný příjem leucinu a tím pádem i HMB na den, bylo by nutné jim sestavit naprosto stejný jídelníček v poměru k jejich hmotnosti, vybrat naprosto stejné suroviny a zvolit stejnou přípravu jídel.

Jako další faktor ovlivňující výsledky tohoto výzkumu bylo pravděpodobně nerovnoměrné rozdělení nováčků a pokročilých cvičenců v jednotlivých skupinách suplementovaných doplňků. Jak již bylo zmíněno, tělo, které není adaptované na cvičení reaguje jinak než tělo úplného začátečníka.

Dále je potřeba zmínit vysoký vliv spánkové hygieny a stresových situací na změny tělesné kompozice. Jåbekk a kol. (2020) ve svém experimentu testovali dvě skupiny lidí. Jedna ze skupin byla seznámena se správným spánkovým režimem, zatímco ta druhá ne. Obě skupiny osob dodržovaly stejný tréninkový program. Tato studie dokázala, že skupina poučená o správném spánkovém režimu přibrala na svalové hmotě  $1,7 \pm 1,1$  kg, druhá skupina  $1,3 \pm 0,8$  kg. Na svalové hmotě tedy nebyl viditelný takový rozdíl jako na úbytku tukové hmoty. U skupiny poučené o správném spánkovém režimu se snížila hmotnost o  $1,8 \pm 0,8$  kg, zatímco skupina, která spala podle vlastního uvážení shodila na tuku pouze  $0,8 \pm 1,0$  kg (Jåbekk a kol., 2020).

Článek od Nedeltcheva a kol. (2010) týkající se spánkové deprivace a jejím vlivu na kompozici těla popisuje studii, kde bylo testováno 10 subjektů s nadváhou. Tito účastníci měli nastavený režim pro redukci tělesné hmotnosti. Polovina subjektů měla nastavenou dobu spánku na ideálních 8,5 hodiny, zatímco druhá polovina musela dodržovat délku spánku pouhých 5,5 hodiny. Skupina subjektů, která měla dostatečný spánek snížila hmotnost tukové tkáně v průměru o 1,4 kg a zároveň jejich svalová hmota klesla pouze o 1,5 kg. U skupiny subjektů s nedostatečným spánkem byl výsledek těchto dvou proměnných opačný, což rozhodně není žádoucí. Z tukové tkáně v tomto případě byly ztráty pouhých 0,6 kg a svalová hmota ztratila na hmotnosti 2,4 kg (Nedeltcheva a kol. 2010).



Z těchto studií lze odvodit vliv nedostatečné spánkové hygieny na úbytek svalové hmoty při redukčních postupech a zároveň konstatovat, že správná spánková hygiena má vliv na kompozici těla při nabírání a tréninku.

## 5.6 Návrhy pro replikaci studie

Výsledky celého experimentu mohou být zavádějící. Proto jsem po jeho dokončení uvážila další faktory, které mohly výsledky tohoto experimentu ovlivnit. Při replikaci tohoto experimentu by bylo vhodné sehnat širší testovaný vzorek subjektů, protože po komplikacích spojených s onemocněním COVID-19 nebyl tento vzorek dostačující a výsledky zvláště druhé poloviny experimentu (8.–13. týden) nejsou vypovídající. Jako minimální počet subjektů by bylo ideální mít v každé skupině alespoň 15 osob ( $n=45$ ) a počítat se ztrátami subjektů během relativně dlouhého testování.

Při rozdělování subjektů do skupin by bylo dobré dbát na rovnoměrné rozdělení cvičících nováčků a pokročilých pro zamezení rozdílných vlivů na adaptované a neadaptované tělo na určitý režim cvičení. Popřípadě výběr omezit pouze na lidi se zkušenostmi se cvičením, nebo nezkušené jedince.

Při replikaci studie bychom navrhovali pro subjekty zařídit vyloženě jednotné stravování například formou krabičkové diety. Vyvarovali bychom se odlišného příjmu makroživin, a to i z různých zdrojů. Zdroje, ze kterých živiny přijímáme velmi ovlivňují energetické hodnoty a také jejich zpracování v organismu. Potrava připravená stejným způsobem je zásadní, protože způsobem úpravy potravin se mění jejich výživové hodnoty. Krabičky by samozřejmě musely být upraveny každé osobě na míru, podle vypočtených hodnot jeho ideálního denního příjmu.

Dále bychom se při opakování tohoto experimentu zaměřili také na spánkovou hygienu. Poučení subjektů o zásadách správného a kvalitního spánku může ovlivnit odbourávání svalové hmoty při redukci tělesné hmotnosti a celkově změnit vliv cvičení na tělesnou kompozici.

Organizace National Sleep Foundation na základě podložených vědeckých doporučení sestavila tabulku shrnující ideální množství spánku pro různé věkové kategorie (**Obrázek 11**). Pro vytvoření ideálního spánkového režimu je vhodné si nastavit určitou denní rutinu času pro usínání a pro probuzení. Ke spánku se ubírat ne příliš hladoví, abychom nemuseli myslet na prázdný žaludek, ale zároveň se nepřejídat těsně před spaním. Přiměřené fyzické vyčerpání je základem kvalitního spánku, ať už jde o silový trénink, kardio trénink nebo obyčejnou procházku na čerstvém vzduchu. Není však vhodné zařazovat intenzivní trénink ve večerních hodinách. Velmi důležité je připravit si příjemné a vhodné prostředí na spánek. Do požadavků na vhodné prostředí patří: volba kvalitní matrace, peřiny a polštáře, ideální teplota (18,3 °C) (Okamoto-Mizuno, 2012). Ticho, nebo zvuky navozující příjemné prostředí a zatemněná místnost jsou dalšími faktory, které pomohou ke zkvalitnění spánku. Důležité je vyhnout se užívání elektroniky před a v průběhu spánku, kvůli modrému světlu, které má stimulační účinky a ty mohou narušovat spánek (West, 2011).

Je známo, že osoby s vysokým fyzickým vyčerpáním přes den potřebují delší dobu spánku. Běžný spánek přes noc lze doplnit kratším spánkem přes den („nap“) a to ideálně po obědě (20-



30 minut). Tento správně nastavený, krátký spánek může zlepšit sportovní výkon. Pozor, aby dlouhý spánek po obědě nenarušil naši spánkovou rutinu přes noc.

	Age Range	Recommended Hours of Sleep
Newborn	0-3 months old	14-17 hours
Infant	4-11 months old	12-15 hours
Toddler	1-2 years old	11-14 hours
Preschool	3-5 years old	10-13 hours
School-age	6-13 years old	9-11 hours
Teen	14-17 years old	8-10 hours
Young Adult	18-25 years old	7-9 hours
Adult	26-64 years old	7-9 hours
Older Adult	65 or more years old	7-8 hours

Obrázek 11 - Ideální množství spánku pro různé věkové kategorie (Sleep foundation, 2022)

## 6 Závěr

Tato práce měla sloužit k vyhodnocení rozdílného vlivu dvou výživových doplňků – HMB a leucinu na růst svalové tkáně u trénujících jedinců, kteří dodržovali stejný stravovací režim. I přes komplikace ohledně onemocnění COVID-19 a běžná sezónní onemocnění byla tato práce dokončena v plném rozsahu. To znamená, že se jednalo o randomizovanou, dvojitě zaslepenou, placebem kontrolovanou, cross-over studii. Je však potřeba zohlednit, že testovaný vzorek subjektů v druhé polovině experimentu (8.–13. týden) byl příliš malý, aby byly výsledky signifikantní. Tabulka 7 s výsledky 8.-13. týdnu je v práci zahrnuta, ve výsledcích je i popsána, ale v diskusi ji nebyla věnována pozornost.

Ke zhodnocení experimentu tedy bylo nahlíženo jako ke studii randomizované, dvojitě zaslepené a placebem kontrolované. Výsledky neodhalily statisticky významný rozdíl v účinku HMB a leucinu na svalovou hmotu. Jediný statisticky významný rozdíl byl ve změně množství svalové hmoty při suplementaci leucinem, ten však nebyl tak výrazný oproti účinku HMB. Můžeme tedy konstatovat, že mezi doplňky nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v jejich působení na svalovou hmotu. Zároveň se ukázalo, že HMB i leucin mají spíše stejné účinky i na celkovou tělesnou hmotnost, BMI i množství tukové tkáně. Ani v jednom z těchto parametrů nebyl statisticky významný rozdíl v účinku HMB a leucinu.

Na základě těchto výsledků nemůže být hypotéza předpokládající stejný vliv HMB a leucinu na ochranu svalové hmoty a její narůst zamítnuta. Mezi účinkem leucinu a HMB na množství svalové hmoty nebyl statisticky významný rozdíl. Lze tedy říct, že na růst svalové tkáně při stejném tréninkovém a stravovacím režimu bude mít suplementace HMB a suplementace leucinu stejný vliv.

I přes závěrečné potvrzení hypotézy je klinický vliv těchto látek na růst svalové hmoty nejasný jako v některých předešlých studiích. Výsledky z výrazně většího počtu testovaných subjektů by následně mohly dopomoci přesněji objasnit účinky těchto dvou látek, zejména přispět k řešení otázky vlivu působení HMB a leucinu na růst svalové hmoty. Stejně tak opakování experimentu podle doporučení z kapitoly „Návrhy pro replikaci studie“ by mohlo přinést přesnější a přínosnější vyhodnocení.

## 7 Literatura

- Balage M, Dardevet D. Long-term effects of leucine supplementation on body composition. *Clinical Nutrition and Metabolic Care* [online]. 13(3), 265-270 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: doi:10.1097/MCO.0b013e328336f6b8.
- Baptista IL, Silva JW, Artioli GG, Guilherme JP L.F., Leal ML, Aoki MS, Miyabara EH, Moriscot AS 2013. Leucine and HMB Differentially Modulate Proteasome System in Skeletal Muscle under Different Sarcopenic Conditions. *PLOS ONE*. 2013, Sv. 8, 10.
- Baechle TR, Earle RW. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2008.
- Bernaciková M, Cacek J, Dovrtělová L, Hrnčířiková I, Hlinksý T, Kapounková K, Kopřivová J, Kumstát M, Novotný J, Pospíšil P, Řezaninová J, Šafář M, Struhár I. 2020. *Regenerace a výživa ve sportu*. Brno: Masarykova univerzita, 2020. str. 250. ISBN 978-80-210-9725-4.
- Bilancio G, Cavallo P, Ciacci C, Cirillo M. Dietary Protein, Kidney Function and Mortality: Review of the Evidence from Epidemiological Studies. *Nutrients* [online]. 18 January 2019 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: [www.mdpi.com/journal/nutrients](http://www.mdpi.com/journal/nutrients)
- Block RJ. Některé aminokyseliny, peptidy a aminy v mléce, koncentrovaných mlékách a sýrech. *J. Dairy Sci.* 1951,34, 1–10.
- Tanita [online]. 2011 [cit. 2011-04-09]. Body composition analyzer. Dostupné z WWW: <http://www.tanita.com/en/sc-240/>
- Bláha Pavel. *Antropometrie československé populace od 6 do 35 let: (Československá spartakiáda 1980)*. Praha: ÚV ČSTV, 1982, 401 s.
- Bray GA, Bouchard C. (2004). *Handbook of obesity: etiology and pathophysiology*. USA: Marcel Dekker.
- Brown Lee E. 2006. *Strength Training*. USA: Human Kinetics; 1 edition, 2006. str. 368. ISBN 978-0736060592.
- Bruckbauer A, Zemel MB, Thorpe T, Akula MR, Stuckey AC, Osborne, D, Martin EB, Kennel S, Wall JS. Synergistic effects of leucine and resveratrol on insulin sensitivity and fat metabolism in adipocytes and mice. *Nutr. Metab.* 2012, 9, 77.
- Camp Shobana. 2019. *Chemistry*. Toppr. [Online] December 2019. <https://www.toppr.com/ask/question/write-the-structure-of-leucine/>.

- Carbone JW, Pasiakos SM. Dietary Protein and Muscle Mass: Translating Science to Application and Health Benefit. *Nutrients* [online]. 2019, 2019, 11(5) [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: doi:10.3390/nu11051136.
- Clark Nancy. 2020. Sportovní výživa: stravovací plán, potravinové doplňky, strava před výkonem i po něm, specifické výživové potřeby, hubnutí bez hladovění, recepty. Praha: Grada, 2020. ISBN 978-80-271-1030-8.
- De Aandrade, Gualano B, Hevia-Larraín V, Neves-Junior J, Cajueiro M, Jardim F, Gomes RL, Artioli GG, Phillips SM, Compos-Ferraz P, Roschel H. Leucine supplementation has no further effect on training-induced muscle adaptations. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2020, 52.8: 1809-1814.
- Demura S, Sato S, Kitabayashi T. 2004. Percentage of Total Body Fat as Estimated by Three Automatic Bioelectrical Impedance Analyzers. *Journal of Physiological Anthropology*. 23, s. 93-99.
- Delp Ch. 2011. Efektivní posilování s činkami: nejlepší cviky pro naše tělo (D. Halová, Trans.). Brno: Computer Press.
- Dieter BP, Schoenfeld BJ, Aragon AA. 2016. The data do not seem to support a benefit to BCAA supplementation during periods of caloric restriction. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13(1), 21. PubMed ID: 27175106 doi:10.1186/s12970-016-0128-9.
- Duan YHH, Zeng LMM, Li, FNN, Kong XFF, Xu, K, Guo QPP, Wang WLL, Zhang LYY. Beta-hydroxy-methyl butyrate promotes leucine metabolism and improves muscle fibre composition in growing pigs. *J. Anim. Physiol. N.* 2018, 102, 1328–1339.
- Duan Y, Li F, Li Y, Tang Y, Kong X, Feng Z, Anthony TG, Watford M, Hou Y, Wu G, Yin Y. The role of leucine and its metabolites in protein and energy metabolism. *Amino Acids*, 2016, 48(1): 41-51.
- Dudgeon WD, Kelle EP, Scheett TP. (2016). In a single-blind, matched group design: Branched-chain amino acid supplementation and resistance training maintains lean body mass during a caloric restricted diet. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13(1), 1. PubMed ID: 26733764 doi:10.1186/s12970-015-0112-9.
- Edman S, Söderlund K, Moberg M, Apró W a Blomstrand E. 2019. mTORC1 Signaling in Individual Human Muscle Fibers Following Resistance Exercise in Combination With Intake of Essential Amino Acids. *Frontiers in Nutrition* [online]. 6(96) [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: doi:10.3389/fnut.2019.00096

- Fernstrom J, Fernstrom M. 2006. Branched-Chain Amino Acids in Exercise. *Journal of Nutrition*. stránky 544–547.
- Fleck S, Kraemer W. 2013. *Designing Resistance Training Programs: Human Kinetics*; 3 edition, 2013. str. 392. ISBN 978-0736042574.
- Fullagar HH, Skorski S, Duffield R, Hammes D, Coutts AJ, Meyer T. Spánek a sportovní výkon: účinky ztráty spánku na výkon při cvičení a fyziologické a kognitivní reakce na cvičení. *Sports Med*. 2015; 45:161–186. PubMed. doi:10.1007/s40279-014-0260-0.
- Gepner Y, Varanoske AN, Boffey D, Hoffman JR. 2019. Benefits of  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate supplementation in trained and untrained individuals. *Research in Sports Medicine*, 27(2): 204-218.
- Grgic J, Schoenfeld BJ. 2018. Are the Hypertrophic Adaptations to High and Low-Load Resistance Training Muscle Fiber Type Specific?. *Frontiers in Physiology* [online]. 9(402) [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2018.00402
- Groen BB, Horstman AM, Hamer HM, De Haan M, Van Kranenburg J, Bierau J, Poeze M, Wodzig WK, Rasmussen BB, Van Loon LJ. 2015. Post-prandial protein handling: You are what you just ate. *PLoS ONE*, 10, e0141582.
- Havlíčková L, Bartůňková S, Dlouhá R, Melichna J, Šrámek P, Vránová J. 2006: *Fyziologie tělesné zátěže I*. Karolinum. Univerzita Karlova, Praha206s., ISBN 80-7184-875-1.
- Hainer V. 2004. *Základy klinické obezitologie*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing. 356 s. ISBN 80-247-0233-9.
- Halson SL. 2014. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med*. 44:139–147.
- Hamill J. Knutzen KM. 2009. *Biomechanical basis of human movement*. Philadelphia, Pa.
- Heymsfield S. 2005. *Human body composition (2nd ed.)*. Champaign: Human Kinetic.
- Heyward W, Wagenr DR. 2004. *Applied body composition assessment (2nd ed.)* Champaign: Human Kinetics.
- InBody [online]. 2004 [cit. 2011-04-09]. User's manual. Dostupné z WWW: <http://inbody.fi/resources/userfiles/file/720manual.pdf>
- Holeček Milan. 2022. Side Effects of Amino Acid Supplements. *PHYSIOLOGICAL RESEARCH: Fyziologická klinika, Lékařská fakulta v Hradci Králové* [online]. [Czech Republic, 29-45 \[cit. 2022-04-03\]. ISSN 1802-9973.](#)

- Jåbekk P, Jensen RM, Sandell MB, Haugen E, Katralen LM, Bjorvatn B. 2020. A randomized controlled pilot trial of sleep health education on body composition changes following 10 weeks' resistance exercise. *J Sports Med Phys Fitness*. 60(5):743-748. doi: 10.23736/S0022-4707.20.10136-1. Epub 2020 Mar 4. PMID: 32141273.
- Jakubowski JS, Wong EPT, Nunes EA, Noguchi KS, Vandeweerd JK, Murphy KT, Morton, RW, McGlory C, Phillips SM. Equivalent Hypertrophy and Strength Gains in  $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -Methylbutyrate – or Leucine-supplemented Men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2019, Sv. 51, 1, stránky 65-74.
- Jakubowski JS, Nunes EA, Teixeira FJ, Vescio V, Banfield L, Phillips SM. 2020. Supplementation with the Leucine Metabolite  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (HMB) does not Improve Resistance Exercise-Induced Changes in Body Composition or Strength in Young Subjects: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients* [online]. 12(1523) [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: doi:10.3390/nu12051523
- Jelenik T, Roden M. 2013. Mitochondrial Plasticity in Obesity and Diabetes Mellitus. *Antioxid Redox Sign*, 19, 258–268.
- Jeukendrup A, Gleeson M. 2018. *Sport Nutrition*. 3. Champaign, IL: Human Kinetics, ISBN 9781492529033.
- Kanter M. 2018. High-Quality Carbohydrates and Physical Performance. *Nutrition and Physical Activity* [online]. Wolters Kluwer Health, 53(1) [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5794245/pdf/nt-53-35.pdf>
- Kallabis S, Abraham L, Müller S, Dzialis V, Türk C, Wiederstein JL, Bock T. 2020. High throughput proteomics fiber typing (ProFiT) for comprehensive characterization of single skeletal muscle fibers. *Skeletal Muscle* [online]. 10(7) [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: doi:10.1186/s13395-020-00226-5
- Kellmann M, Bertollo M, Bosquet L, Brink M, Coutts AJ, Duffield R. 2018. Recovery and Performance in Sport: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance* [online]. Human Kinetics, (13)240–245 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2017-0759>
- Kenney LW, Wilmore J, Costill D. 2007. *Physiology of sport and exercise*. USA: Human Kinetics Publishers; 4th edition, 2007. ISBN 978-0736060592.
- Kittnar O. a kol. 2011. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Publishing, a.s., str. 800. Sv. 1. ISBN 978-80-247-3068-4.

- Kleiner SM. 2015. Fitness výživa. Praha: Grada Publishing (2. vydání), 2015. str. 352. ISBN 978-80-247-5289-1.
- Kleinwächterová H, Brázdová Z. 2001. Výživový stav člověka a způsoby jeho zjišťování. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví. ISBN 978-80-7013-336-1.
- Kliměšová Iva. 2016. Základy sportovní výživy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2016. ISBN 978-80-244-4834-3.
- Kodíček Milan. 2004. Biochemické pojmy: výkladový slovník. Praha: Vysoká škola chemicko technologická, 2004. str. 171. ISBN 80-708-0551-X.
- Kreider RB, Kalman DS, Antonio J, Wildman R, Ziegenfuss TN, Collins R, Candow DG, Kleiner SM, Almada AL, Lopez HL. International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* [online]. 2017 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: doi:10.1186/s12970-017-0173z
- Lehnert Michal. 2010. Trénink kondice ve sportu. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 143 s. ISBN 9788024426143.
- Lukaski Hank. 2013. Evolution of bioimpedance: A circuitous journey from estimation of physiological function to assessment of body composition and a return to clinical research. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2013.
- Lynch CJ, Adams SH. 2014. Branched-chain amino acids in metabolic signalling and insulin resistance. *Nature Reviews. Endocrinology*. 10.1038/nrendo.2014.171, 2014, stránky 723-736.
- Mach Iva, Borkovec Jiří. 2013. Výživa pro fitness a kulturistiku. Praha: Grada, 2013. str. 128. ISBN 978-802-4746-180.
- Mach Ivan. 2012. Doplnky stravy: jaké si vybrat při sportu i v každodenním životě. Praha: Grada, 2012. ISBN: 978-80-247-4353-0.
- Máček M, Radvanský J. (2011). Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity. Praha: Galén.
- Mandelová L, Hrnčířiková I. 2007. Základy výživy ve sportu. Brno: MU, 2007. 978-80-210-4281-0.
- Marádová Eva. 2005. Výživa a hygiena ve stravovacích službách. Praha: Vysoká škola hotelová v Praze 8 (Vyd. 2), 2005. str. 183. ISBN 9788087411025.

- Maughan RJ, Burke LM. 2006. *Výživa ve sportu*. Praha: Galén, 2006. ISBN 8072623184.
- Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, Raglin J, Steinacker J, Urhausen A. Prevention, diagnosis, and treatment of overtraining syndrome: joint consensus statement of European College of Sport Science a American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45:186–205. PubMed doi: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a.
- Medler Scott. 2019. Mixing it up: the biological significance of hybrid skeletal muscle fibers. *Journal of Experimental Biology* [online]. 222(23) [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: doi:10.1242/jeb.200832
- Mirza KA, Pareira SL, Voss AC, Tisdale MJ. 2014. Comparison of the anticatabolic effects of leucine and Ca- $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate in experimental models of cancer cachexia. *Nutrition*. 2014, Sv. 30, 7-8, stránky 807-813.
- Nedeltcheva AV, Kilkus JM, Imperial J, Schoeller DA, Panev PD. 2010. Insufficient sleep undermines dietary efforts to reduce adiposity. *Annals of internal medicine*, 153.7: 435-441.
- Nissen S, Sharp R, Ray M, Rathmacher JA, Rice D, Fuller JC, Connelly AS, Abumrad N. 1996. Effect of leucine metabolite  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate on muscle metabolism during resistance-exercise training. místo neznámé: *Journal of Applied Physiology*.
- Nissen SL, Abumrad NN. 1997. Leucine metabolite  $\beta$ -hydroxy  $\beta$ -methylbutyrate (HMB). *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 1997, Sv. 8, 6.
- Okamoto-Mizuno K, Mizuno K. 2012. Effects of thermal environment on sleep and circadian rhythm. *Journal of physiological anthropology*, 31.1: 14.
- Panton LB, Rathmacher JA, Baier S, Nissen S. 2000. Nutritional supplementation of the leucine metabolite  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (hmb) during resistance training. Sv. 16, 9, stránky 734-739.
- Pastucha D, Bartůňková S, Filipčíková R, Gallo J, Havlíček P, Hyjánek J, Šafář M. 2014. *Tělovýchovné lékařství: vybrané kapitoly*. Praha: Grada.
- Power SK, Howley ET. 2007. *Body composition and nutrition for help. Excercise physiology: Theory and Application to fitness and performance*. 6 th Ed. Section 2. Chapter 18: 359-405. McGraw-Hill Companies Inc.



- Pinheiro CH, Gerlinger-Romero F, Guimarães-Ferreira L, de Souza AL, Vitzel KF, Nachbar RT, Nunes MT, Curi R. 2012. Metabolic and functional effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) supplementation in skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*. Sv. 112, 7, stránky 2531-2537.
- Pastucha Dalibor a kolektiv. *Tělovýchovné lékařství*. B.m.: Grada Publishing, a.s., 2014. ISBN 978-80-247-4837-5.
- Rahimi MH, Hamed M, Hesam E, Askari G, Miraghajani M. 2022. The Effects of Beta Hydroxy-Beta-Methylbutyrate Supplementation on Recovery Following Exercise-Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American College of Nutrition* [online]. 37(7), 640-649 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: doi:10.1080/07315724.2018.1451789
- Riegrová J, Přidalová M, Ulbrichová M. 2006. *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu: příručka funkční antropologie (3rd ed.)*. Olomouc: HANEX.
- Roubík L. 2018. *Moderní výživa ve fitness a silových sportech*. Erasport.
- Siff Mel Cunningham. 2003. *Supertraining*. USA: Supertraining Institute; 4th Edition edition, 2003. ISBN 978-1874856658.
- Smith HJ, Mukerji P, Tisdale MJ. 2005. Attenuation of proteasome-induced proteolysis in skeletal muscle by {beta}-hydroxy-{beta}-methylbutyrate in cancer-induced muscle loss. *Cancer Res*. 2005, Sv. 65, 1, stránky 277-283.
- Spánek a tělesná kompozice. [www.institutmodernivyzy.cz](http://www.institutmodernivyzy.cz) [online]. Praha, 2022, 7.2.2022 [cit. 2022-03-19]. Dostupné z: <https://www.institutmodernivyzy.cz/spanek/>
- Schoenfeld Brad. 2016. *Science and development of muscle hypertrophy*. 2. Champaign, IL: Human Kinetics, ISBN 9781492519607.
- Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. 2017. Strength and hypertrophy adaptations between low – versus high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. *J. Strength Cond. Res*. 31, 3508–3523. doi: 10.1519/JSC.0000000000002200
- Stokes TA, Hector AJ, Morton RW, McGlory C, Phillips SM. 2018. Recent Perspectives Regarding the Role of Dietary Protein for the Promotion of Muscle Hypertrophy with Resistance Exercise Training. *Nutrients* [online]. 10(180) [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: doi:doi: 10.3390/nu10020180
- Stoppani Jim. 2016. *Velká kniha posilování*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2016. str. 147. ISBN 978-80-247-5643-1.

- Suni Eric. 2021. How Much Sleep Do We Really Need. Sleep Foundation: A OneCare Media Company [online]. 18.3.2021 [cit. 2022-03-19]. Dostupné z: <https://www.sleepfoundation.org/how-sleep-works/how-much-sleep-do-we-really-need>
- Šťastný P, Petr M. 2012. Funkční silový trénink. Praha: Univerzita Karlova. ISBN 978-80-86317-93-9.
- Tlapák Petr. 2011. Tvarování těla pro muže a ženy. Praha: ARSCI, 2011. ISBN 9788074200144.
- Velíšek Jan. 2002. Chemie potravin 1. Tábor: OSSIS (2. upr. vyd.), 2002. str. 331. ISBN 80-866-5903-8.
- West KE, Jablonski MR, Warfield B, Cecil KS, James M, Ayers MA, Mida J, Sliney DH, Rollag MD, Hanifin JP, Brainard GC. 2011. Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *Journal of applied physiology*, 110.3: 619-626.
- Vilikus Zdeněk. 2012. Výživa sportovců a sportovní výkon. Praha: Karolinum, 2012. str. 177. ISBN 978-80-246-2064-0.
- Vilikus Z, Mach I, Brandejský P. 2015. Výživa sportovců a sportovní výkon. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2015.
- Vodrážka Zdeněk. 1992. Biochemie. Praha: Academia, 1992. str. 180. ISBN 80-200-9439-4.
- Wilkinson DJ, Hossain T, Hill DS, Crossland H, Williams J, Loughna, Breen L, Phillips SM, Etheridge T, Rathmacher JA, Smith K. 2013. Effects of leucine and its metabolite  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate on human skeletal muscle protein metabolism. místo neznámé: The Physiology Society, Dostupné z doi: 10.1113/jphysiol.2013.253203.
- Wilson JM, Wilson JG, Manninen AH. 2013. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) on exercise performance and body composition across varying levels of age, sex, and training experience. *Nutrition*. 2013, Sv. 5, 1.
- Wolfe RR. 2017. Branched-chain amino acids and muscle protein synthesis in humans: myth or reality? *Journal of the International Society of Sports Nutrition* [online]. 14(30) [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: doi:10.1186/s12970-017-0184-9
- Zanchi NE, Gerlinger-Romero F, Guimarães-Ferreira L, de Siqueira Filho MA, Felitti V, Lira FS, Seelaender M, Lancha AH. 2010. HMB supplementation: clinical and athletic performance-related effects and mechanisms of action. *Amino acids*. 2010, Sv. 40, stránky 1015-1025.

- Zhang L, Li F, Guo Q, Duan Y, Wang W, Zhong Y, Yang Y, Yin Y. 2020. Leucine Supplementation: A Novel Strategy for Modulating Lipid Metabolism and Energy Homeostasis. *Nutrients* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: doi:10.3390/nu12051299
- Zhang L, Zhou Y, Wu W, Hou L, Chen H, Zuo B, Xiong Y, Yang J. 2017. Skeletal Muscle Specific Overexpression of PGC-1 $\alpha$  Induces Fiber-Type Conversion through Enhanced Mitochondrial Respiration and Fatty Acid Oxidation in Mice and Pigs. *International Journal of Biological Sciences* [online]. 13(9), 1152–1162 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: doi:10.7150/ijbs.20132
- ZouG, Wang Q, Wan H, Lu X, Gao W. 2022. Leucine metabolite  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methyl butyrate (HMB) supplementation on muscle mass during resistance training in older subjects: meta-analysis. *Aging Pathobiology and Therapeutics* [online]. 4(1), 04-13 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: doi:10.31491/APT.2022.03.079

## 8 Seznam obrázků a tabulek

### Seznam obrázků

Obrázek 1 - Ilustrace Salyeho obecné teorie adaptačního syndromu. A = typický trénink; B = přetrénování nebo vyčerpání; C = superkompenzace (Schoenfeld, 2016). .....	17
Obrázek 3 - Pyramida důležitosti ve stravování (Zdroj: Roubík, 2018).....	22
Obrázek 4 - Název, vzorec a zkratka leucinu (Zdroj: Camp, 2019) .....	24
Obrázek 5 - Vzorec hydroxymethylbutyrátu (HMB) (Zdroj: Vilikulus a kol., 2015).....	26
Obrázek 6 - Leucin a HMB ve stresové situaci (Zdroj: Nissen a kol., 1997).....	27
Obrázek 7 - Ukázka kalipermetru pro měření kožních řas (Zdroj: Demura a kol., 2004).....	29
Obrázek 8 - Bipedální přístroj (bioelektrická impedance) pro měření tělesného složení (Zdroj: Tanita [online], 2011) .....	31
Obrázek 9 - Tetrapolární váha InBody pro měření tělesného složení (Zdroj: InBody [online], 2010) .....	31
Obrázek 10 - Diagram experimentu .....	36
Obrázek 11 - Ideální množství spánku pro různé věkové kategorie (Sleep foundation, 2022)	49

### Seznam tabulek

Tabulka 1 Vhodné parametry pro různé druhy tréninků (Zdroj: Šťastný a Petr2012) .....	16
Tabulka 2 Dělení doplňků sportovní výživy (Zdroj: Mandelová a kol., 2007).....	20
Tabulka 3 Rovnice pro výpočet množství tělesného tuku pomocí kaliperace (Zdroj: Kleinwächterová, 2001).....	29
Tabulka 4 Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 1 první poloviny experimentu .....	39
Tabulka 5 Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 2 první poloviny experimentu .....	39
Tabulka 6 Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 3 první poloviny experimentu .....	39
Tabulka 7 Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 1 druhé poloviny experimentu .....	40
Tabulka 8 Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 2 druhé poloviny experimentu .....	40
Tabulka 9 Přehled cviků, počtu sérií a počtu opakování v tréninku č. 3 druhé poloviny experimentu .....	40
Tabulka 10 Základní charakteristika celého souboru vstupujícího do 1. poloviny experimentu . .....	42
Tabulka 11 Základní charakteristika celého souboru vstupujícího do 2. poloviny experiment (Zdroj: vlastní tvorba).....	43
Tabulka 12 Výsledky měření první poloviny experimentu (1.-6. týden): Závislé proměnné a jejich změny (data jsou uvedena jako průměrné hodnoty a jejich směrodatné odchylky, velikost efektu a jeho 95% interval spolehlivosti).....	45

## Seznam zkratk

HMB	Hydroxymethylbutyrát
WHO	Světová zdravotnická organizace
BCAA	Aminokyseliny s rozvětveným řetězcem
KIC	Ketoisokapronová kyselina
JČ	jednoruční činka



## **9 Samostatné přílohy**

- Příloha 1** Vzor informovaného souhlasu (strana 1)
- Příloha 2** Vzor informovaného souhlasu (strana 2)
- Příloha 3** Vzor tabulky pro zaznamenání výsledků měření na InBody
- Příloha 4** Nastavení kalorických tabulek pro počítání denního příjmu
- Příloha 5** Vypočtené množství energie a makronutrientů v kalorických tabulkách
- Příloha 6** Vzor tabulky pro zaznamenání silového tréninku
- Příloha 7** Tréninkové jednotky cvik po cviku – videa
- Příloha 8** Vzor tabulky pro zaznamenání množství přijatých živin z kalorických tabulek

## Příloha 1 - Vzor informovaného souhlasu (strana 1)

### INFORMOVANÝ SOUHLAS S ÚČASTÍ NA STUDII

**Název studie:** Vliv HMB a leucinu na růst svalové hmoty u trénujících jedinců.

**Informace o výzkumu:**

**Zpracovává:** Bc. Hercíková Kateřina

**Obor:** NUTRIM

**Pracoviště:** KMVD

**Vedoucí:** doc. Ing. Lenka Kouřimská, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Josef Soukup

**Kontakt:** mob.: 774942912, e-mail: [xherk013@studenti.czu.cz](mailto:xherk013@studenti.czu.cz), [hercikovakejta@gmail.com](mailto:hercikovakejta@gmail.com)

**Doba studie:** Zahájení studie – 20.9.2021, výzkum potrvá 12 týdnů s jednou týdenní pauzou.

Výzkum je součástí diplomové práce na téma "Vliv HMB (hydroxymethylbutyrátu) a leucinu na nárůst svalové hmoty u trénujících jedinců" studentky ČZU v Praze Hercíkové Kateřiny. Cílem studie je zkoumání vlivu suplementace HMB a leucinu na ochranu a nárůst svalové hmoty u trénujících jedinců. Údaje ze studie budou určeny pouze pro účel zpracování výsledků studie a nebudou poskytnuty třetí straně. Vybraní jedinci jsou všichni starší osmnácti let. Budou rozděleni do tří skupin, tedy skupina, která bude užívat leucin, skupina, která bude užívat HMB a skupina, která bude užívat placebo. Studie je dvakrát zaslepena. Jedinci budou zváženi před začátkem studie na přístroji InBody a každé dva týdny přeměřovány. Poslední vážení proběhne po dvanácti týdnech výzkumu.

Hodnoceno bude celkové tělesné složení – zejména svalová hmota, podkožní tuk, voda a viscerální tuk. Jedinci jsou seznámeni s nutričním a tréninkovým plánem, který budou dodržovat. Každý týden mají účastníci přesně předepsané 3 tréninkové jednotky zaměřené na nárůst svalové hmoty. V rámci výzkumu nehrozí žádná rizika, u těchto doplňků nejsou známy žádné negativní vedlejší účinky.

**Informace o účastníkovi výzkumu:**

jméno a příjmení:

datum narození:

telefon:

e-mail:



## Příloha 2 - Vzor informovaného souhlasu (strana 2)

### Prohlášení

Já níže podepsaný/-á potvrzuji, že

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

Zároveň prohlašuji, že

- a) souhlasím se zveřejněním anonymizovaných dat a výstupů vzešlých z výzkumu a s jejich dalším využitím;
- b) souhlasím se zpracováním a uchováním osobních a citlivých údajů v rozsahu v tomto informovaném souhlasu uvedených ze strany ČVUT v Praze, Jugoslávských partyzánů 1580/3, 160 00 Praha 6-Dejvice 1, a to pro účely zpracování dat vzešlých z výzkumu, pro účely případného kontaktování z důvodu zpracování dat vzešlých z výzkumu či z důvodu nabídky účasti na obdobných akcích a pro účely evidence a archivace; a s tím, že tyto osobní údaje mohou být poskytnuty subjektům oprávněným k výkonu kontroly projektu, v jehož rámci výzkum realizován;
- c) jsem seznámen/-a se svými právy týkajícími se přístupu k informacím a jejich ochraně podle § 12 a § 21 zákona č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů a podle čl. 89 The EU general data protection regulation 2016/679 (GDPR) Záruky a odchylky týkající se zpracování pro účely archivace ve veřejném zájmu, pro účely vědeckého či historického výzkumu nebo pro statistické účely, tedy že mohu požádat ČVUT v Praze o informaci o zpracování mých osobních a citlivých údajů a jsem oprávněn/-a ji dostat a že mohu požádat ČVUT v Praze o opravu nepřesných osobních údajů, doplnění osobních údajů, jejich blokaci a likvidaci.

Výše uvedená svolení a souhlasy poskytnuji dobrovolně na dobu neurčitou až do odvolání a zavazuji se je neodvolat bez závažného důvodu spočívajícího v podstatné změně okolností.

Vše výše uvedené se řídí zákony České republiky, s výjimkou tzv. kolizních norem, a bude v souladu s nimi vykládáno, přičemž případné spory budou řešeny příslušnými soudy v České republice.

Dne:

Podpis:

### Příloha 3 - Vzor tabulky pro zaznamenání výsledků měření na InBody

Záznam měření na InBody								
	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	6. měření	7. měření	8. měření
Termín měření	19.9.2021	3.10.2022	17.10	31.10	7.11	21.11	5.12	19.12
	1. (počáteční měření)	2. (2 týdny)	3. (4 týdny)	4. (6 týdnů)	5. (před 2. polovinou)	6. (8 týdnů)	7. (10 týdnů)	8. (12 týdnů - konečné)
<b>hmotnost (kg)</b>	64,7	64,4	64,9	64,1	64,1	64,2	65	65
<b>BMI</b>	20	19,9	20	19,8	19,8	19,8	20,1	20,1
<b>hmotnost kosterních svalů (kg)</b>	29,4	29,5	29,9	30,1	30,3	30,6	31,5	31,5
<b>množství tělesného tuku (kg)</b>	12	11,7	11,4	10,3	10,1	9,6	8,8	8,8
<b>procento tělesného tuku</b>	18,6	18,1	17,5	16,1	15,7	14,9	13,5	13,5
<b>úroveň útrobního tuku</b>	4	4	4	3	3	3	3	3
<b>celková tělesná voda</b>	38,6	38,6	39,2	39,4	39,6	40	41,2	41,2
<b>bazální metabolická míra</b>	1508	1509	1527	1532	1537	1550	1585	1585
<b>výsledek InBody</b>	75	75	75	75	75	76	78	78

#### Příloha 4 - Nastavení kalorických tabulek pro počítání denního příjmu

### Nastavení jídelníčku

Jednotka energie ⓘ	kcal
Započítávat trávení ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>
Zápis přesného času ⓘ	<input type="checkbox"/>
Váš denní výdej ⓘ	Sedavý
Zohlednění aktivit v DDD ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>
Přesný zápis gramů ⓘ	<input type="checkbox"/>
Zobrazovat Typy v jídelníčku ⓘ	<input checked="" type="checkbox"/>
Pohlaví	Žena
Rok narození	1994

### Sledované údaje

Zapsat Přehled

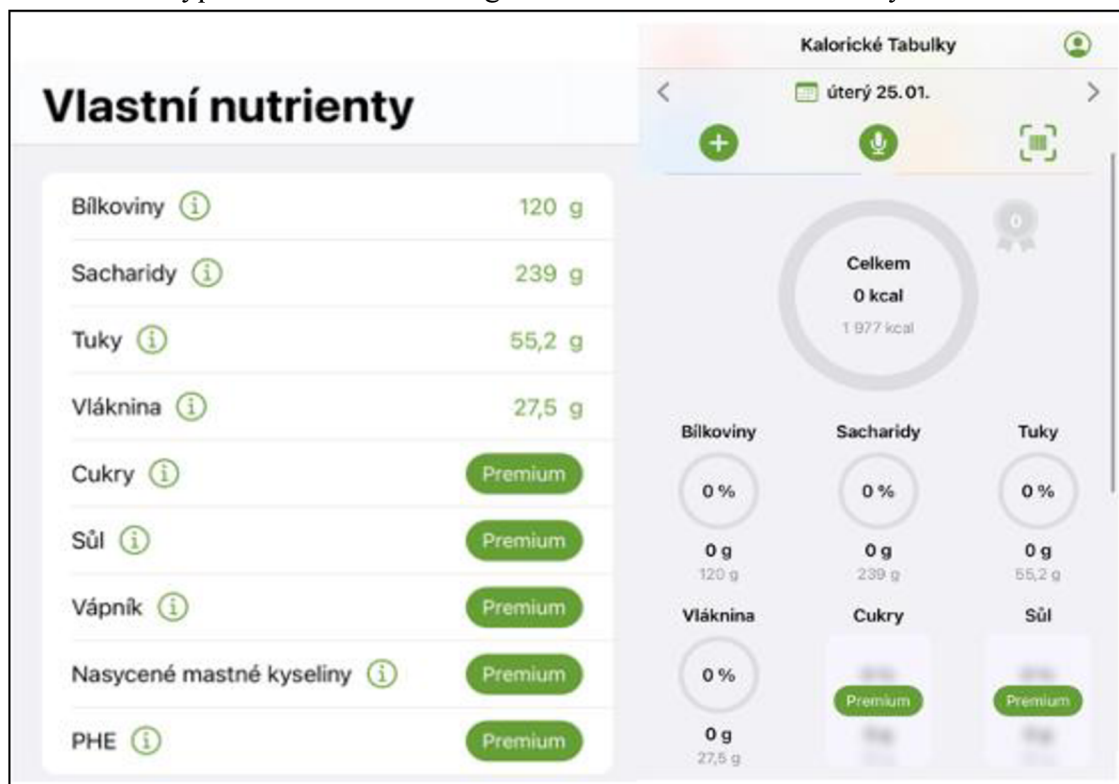
Hmotnost [kg]	68.6
Výška [cm]	178.0

[Přidat sledované](#)

### Vlastní cíle

Cíl ⓘ	Nabrat svaly
Denní příjem ⓘ	1977 kcal
Cílová hmotnost ⓘ	71,6 kg
Pitný režim ⓘ	3,5 l
Vlastní BM ⓘ	1498 kcal

## Příloha 5 - Vypočtené množství energie a makronutrientů v kalorických tabulkách



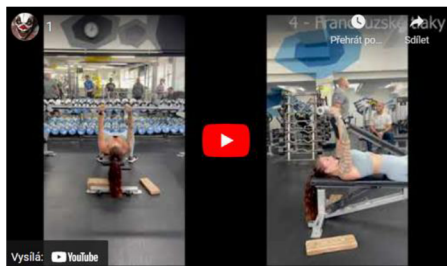
## Příloha 6 - Vzor tabulky pro zaznamenání silového tréninku

1. POLOVINA TESTOVÁNÍ																		
1. PUSH tréninky (1. - 6. týden)																		
	1. týden			2. týden			3. týden			4. týden			5. týden			6. týden		
	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha
1. Bench press	5	5	20	5	5	25	5	5	27,5	5	5	30	5	5	30	5	5	31
2. Tlaky nad hlavu s JČ	5	5	6	5	5	7	5	5	8	5	6	8	5	7	8	5	5	9
3. Rozpažky na lavici s JČ	5	6	3	5	6	4	5	6	5	5	6	6	5	7	6	5	6	6
4. Francouzské tlaky v leže s osou	4	5	střední osa	4	6	střední +1	4	6	Střední + 2,5	4	6	střední + 2,5	4	7	střední + 2,5	4	8	Střední+2,5
5. Upažování + upažování v předklonu	4	6+6	4+2	4	6+6	4+2	4	6+6	4+3	4	6+6	5+4	4	7+7	5+4	4	6+7	6+4
6. Tricepsově stahování horní kladky	4	8	13,5	4	10	13,5	4	11	13,5	4	6	18	4	7	18	4	8	18
2. LOW BODY tréninky (1. - 6. týden)																		
	1. týden			2. týden			3. týden			4. týden			5. týden			6. týden		
	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha
1. Splít dřepy / dřepy	5	5	30	5	5	35	5	5	37,5	5	5	40	5	5	42,5	5	5	45
2. Rumunské mrtvý tahy	5	6	20	5	6	25	5	6	30	5	6	35	5	6	40	5	6	45
3. Výpady vzad (osa/jednoručky)	5	5+5	8+8	5	5+5	20	5	5+5	22,5	5	5+5	25	5	5+5	27,5	5	5+5	30
4. Hipthrusts	5	8	25	5	8	35	5	8	40	5	8	50	5	8	60	5	8	65
5. Výpony	4	8	20	4	8	25	4	8	30	4	8	35	4	8	40	4	8	45
6. Přitahy nohou ve visu	4	8	-	4	10	-	4	11	-	4	12	-	4	13	-	4	14	-
3. PULL tréninky (1. - 6. týden)																		
	1. týden			2. týden			3. týden			4. týden			5. týden			6. týden		
	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha	Série	Opakování	Váha
1. Mrtvý tah s osou	5	5	40	5	5	50	5	5	55	5	5	60	5	5	62,5	5	5	63,5
2. Stahování horní kladky	5	5	27,5+27,5	5	5	27,5+35	5	5	35+35	5	6	35+35	5	7	35+35	5	8	35+35
3. Přitahy jednoruček v předklonu	5	5	10+10	5	5	12,5+12,5	5	6	12,5+12,5	5	14	10+10	5	8	12,5+12,5	5	10	12,5
4. Pull down na kladce	4	6	22,5	4	6	27,5	4	8	27,5	4	9	27,5	4	10	27,5	4	6	32
5. Kladičkový bicepsový zdvih	4	8	5+5	4	6	6+6	4	7	6+6	4	8	6+6	4	9	6+6	4	10	6+6
6. Zkracovačky ke zdviženým nohám	4	10	-	4	12	-	4	13	-	4	14	-	4	15	-	4	16	-

## Příloha 7 - Tréninkové jednotky cvik po cviku – videa

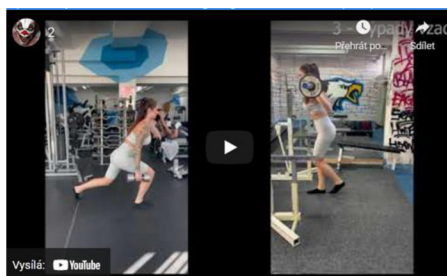
### Video č. 1

[https://www.youtube.com/watch?v=iLw4\\_jBcUPM&list=PLPWP1mqrH9ApN8r8X6K13DW36e0-lo1WL&index=1](https://www.youtube.com/watch?v=iLw4_jBcUPM&list=PLPWP1mqrH9ApN8r8X6K13DW36e0-lo1WL&index=1)



### Video č. 2

<https://www.youtube.com/watch?v=N5EgVPdguxY&list=PLPWP1mqrH9ApN8r8X6K13DW36e0-lo1WL&index=2>



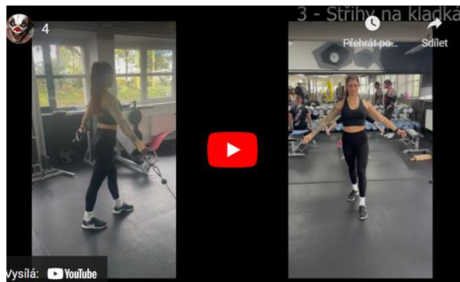
### Video č. 3

<https://www.youtube.com/watch?v=e1Y8EI9Qyfg&list=PLPWP1mqrH9ApN8r8X6K13DW36e0-lo1WL&index=3>



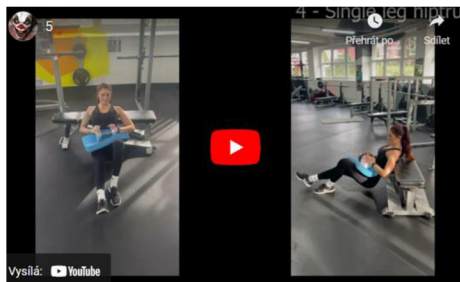
#### Video č. 4

<https://www.youtube.com/watch?v=vpTZ9VVWfzU&list=PLPWP1mqrH9ApN8r8X6K13DW36e0-lo1WL&index=4>



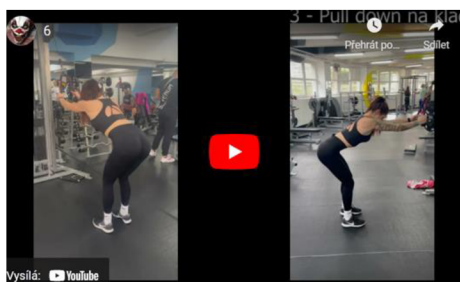
#### Video č. 5

[https://www.youtube.com/watch?v=h\\_XYJC5mdco&list=PLPWP1mqrH9ApN8r8X6K13DW36e0-lo1WL&index=5](https://www.youtube.com/watch?v=h_XYJC5mdco&list=PLPWP1mqrH9ApN8r8X6K13DW36e0-lo1WL&index=5)



#### Video č. 6

<https://www.youtube.com/watch?v=BRLe61ffROM&list=PLPWP1mqrH9ApN8r8X6K13DW36e0-lo1WL&index=6>



**Příloha 8 - Vzor tabulky pro zaznamenání množství přijatých živin z kalorických tabulek**

<b>JÍDELNÍČEK</b>					
<b>1. polovina</b>					
	<b>Celkový příjem (kcal)</b>	<b>Bílkoviny (g)</b>	<b>Sacharidy (g)</b>	<b>Tuky (g)</b>	
	1935	119	234	54	
<b>1. týden</b>					
	<b>Celkový příjem (kCal)</b>	<b>Bílkoviny (g)</b>	<b>Sacharidy (g)</b>	<b>Tuky (g)</b>	<b>aktivita (kcal)</b>
<b>pondělí</b>	2123	115	247	68	224
<b>úterý</b>	2080	121	227	70,4	237
<b>středa</b>	2065	158	203	65,8	271
<b>čtvrtek</b>	1983	138	223	58,8	166
<b>pátek</b>	2208	154	281	54,5	224
<b>sobota</b>	1936	124	230	55,2	0
<b>neděle</b>	2026	139	242	49,8	83
<b>2. týden</b>					
	<b>Celkový příjem (kCal)</b>	<b>Bílkoviny (g)</b>	<b>Sacharidy (g)</b>	<b>Tuky (g)</b>	<b>aktivita (kcal)</b>
<b>pondělí</b>	1976	124	246	52,2	0
<b>úterý</b>	2108	140	237	65,7	224
<b>středa</b>	2033	153	211	59,3	280
<b>čtvrtek</b>	2019	120	208	72,1	224
<b>pátek</b>	1821	114	211	53,7	0
<b>sobota</b>	1967	142	206	50,2	0
<b>neděle</b>	1737	116	218	43,3	0