

UNIVERZITA KARLOVA

### 3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA



**Tereza Řezníková**

## **Vliv příjmu proteinů na vytrvalostní výkon**

*Effect of proteins intake on endurance performance*

Bakalářská práce

Michalov, 2022

Autor práce: Tereza Řezníková

Studijní program: Nutriční terapie

Bakalářský studijní obor: Nutriční terapie

Vedoucí práce: doc. MUDr. Jan Polák, Ph.D.

Pracoviště vedoucího práce: Ústav patofyziologie 3. LF UK

Předpokládaný termín obhajoby: 13. září 2022

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracovala samostatně a použila výhradně prameny, literaturu a další odborné zdroje, uvedených v seznamu citované literatury. Současně dávám svolení k tomu, aby má bakalářská práce byla používána ke studijním účelům.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací. Potvrzuji, že tištěná i elektronická verze v Studijním informačním systému UK je totožná.

V Michalově dne 15. 8. 2022

Tereza Řezníková

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce, panu doc. MUDr. Janu Polákovi, Ph.D., za odborné vedení a užitečné informace, které mi při zpracování této práce poskytl.

Také děkuji PhDr. Haně Svobodové, Ph.D. za cenné rady, konzultace a pomoc při grafickém uspořádání.

Poděkování patří i mé rodině, zejména rodičům a také partnerovi Jirkovi, kteří mě během tvorby velmi podporovali.

V neposlední řadě děkuji svým svěřencům, které mohu ve svém volném čase trénovat, za jejich otázky ohledně sportovní výživy, které mě motivovaly k hlubšímu zamyšlení nad tímto tématem a k následnému napsání práce

# Obsah

## ÚVOD

<b>1. BÍLKOVINY.....</b>	<b>8</b>
1.1. Aminokyseliny.....	8
1.1.1. Klasifikace základních aminokyselin .....	9
1.1.2. Struktura aminokyselin.....	10
1.2. Klasifikace bílkovin.....	12
1.3. Funkce bílkovin .....	12
1.4. Zdroje bílkovin a ukazatele kvality.....	13
1.4.1. Biologická hodnota bílkovin.....	13
1.4.2. Čistá využitelnost bílkovin.....	14
1.4.3. Stravitelnost bílkovin.....	14
1.4.4. Aminokyselinové skóre korigované proteinovou stravitelností....	14
1.5. Metabolismus bílkovin a aminokyselin.....	15
1.5.1. Anabolismus.....	16
1.5.2. Katabolismus.....	18
1.5.2.1. Trávení a resorpce bílkovin.....	18
1.5.2.2. Degradace aminokyselin.....	20
1.5.2.3. Ubikvitin – proteazový systém.....	22
1.5.2.4. Lysozomální proteolýza.....	23
1.5.3. Dusíková bilance.....	24
<b>2. VYTRVALOSTNÍ VÝKON A TRÉNINK.....</b>	<b>25</b>
2.1. VO <sub>2max</sub> .....	26
2.2. Aerobní a anaerobní práh.....	27
2.3. Svalovina.....	29
2.3.1. Typologie svalových vláken.....	30
2.3.2. Motorická jednotka.....	31
2.3.2.1. Fyziologická adaptace na vytrvalostní a silový trénink.....	32
2.4. Obrat bílkovin.....	33
2.5. Inkorporace bílkovin do svalu .....	34

2.6. Dávkování a načasování příjmu bílkovin.....	34
2.6.1. Anabolické okno.....	36
2.7. Aminokyseliny a vytrvalostní výkon.....	36
2.7.1. Glutamin.....	37
2.7.2. Tryptofan.....	38
2.7.3. BCAA.....	38
2.7.3.1. Teorie centrální únavy a vytrvalostní sportovci.....	38
<b>3. CÍL PRÁCE.....</b>	<b>40</b>
3.1. Cílové otázky.....	40
<b>4. METODY.....</b>	<b>41</b>
4.1. Identifikace studií.....	41
4.2. Kritéria pro zařazení prací.....	41
4.3. Kritéria pro vyloučení prací.....	41
4.4. Statistické zpracování.....	42
<b>5. VÝSLEDKY.....</b>	<b>43</b>
<b>6. DISKUZE.....</b>	<b>48</b>
<b>7. ZÁVĚR.....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>62</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>64</b>

## Úvod

Bílkoviny patří spolu se sacharidy a tuky mezi makronutrienty – základní živiny nezbytné pro fungování života. Význam sacharidů a tuků pro vytrvalostní trénink je dobře znám, zatímco role bílkovin a jejich vliv na vytrvalostní výkon je nejasná. Doporučený denní příjem bílkovin pro zdravou populaci je 0,8 g/kg, obecně potom pro sportovce, 1 g/kg a více. Jaký je ale ideální příjem pro vytrvalostního sportovce? Laická veřejnost ví, že když chtějí svaly a lepší fyzičku, musí přijímat více bílkovin. Sportovec chce také vybudovat svalovou hmotu, ale jen v takovém množství, které zvyšuje efektivitu jeho výkonu. Co to ale znamená? Kolik gramů proteinů musí přijímat, aby jeho výkonnost rostla? A poroste?

Toto téma jsem si vybrala, protože sama se vytrvalostním sportům (cyklistice, běhu a běžeckému lyžování) věnuji od dětských let a nikdy jsem nezjistila, jaké výhody má, když budu užívat proteinové doplňky. Na internetu jsem se nejčastěji setkávala se slovy typu: „nárůst svalové hmoty, více síly, redukce tuku“, ale já měla vždy svalů dost, tak proč proteosyntézu ještě podporovat? Nakonec jsem proteinové doplňky užívala, ale jen jako podporu při regeneraci v náročnější části tréninkového cyklu.

V teoretické části mé práce popisuji samotné bílkoviny – z čeho se skládají, jaké tvoří struktury, jejich funkce, hodnocení jejich kvality a následně vysvětluji samotný metabolismus. Dále shrnuji aktuální informace týkající se vytrvalostního výkonu a tréninku. Popisuji základní výkonnostní parametry a úlohu bílkovin i aminokyselin.

Praktická část se věnuje analýze prací vyhledaných v PubMed databázi na základě vytvořených kritérií. Zabývám se zde vytrvalostními sportovci, jejich suplementací proteinů (či aminokyselin) během aktivity nebo bezprostředně před/po a následném ovlivnění výkonnosti.

Důkazy spojující příjem bílkovin s přínosem pro vytrvalostní sporty, nebyly doposud jednoznačně prokázány. Cílem mé práce je proto porovnání studií a vědeckých poznatků v oblasti vytrvalostního výkonu a jeho ovlivnění přijímáním bílkovin.

# 1. BÍLKOVINY

Bílkoviny, též zvané proteiny, jsou základním stavebním kamenem všech živých organismů. Jako stavební látky slouží především pro svalová vlákna, ale jsou důležité i pro správný růst či vývoj jednotlivých orgánů a tkání. Zároveň jsou základní funkční jednotkou enzymů, hormonů a imunitního systému. Pro vznik života a jeho následného fungování, mají proteiny hlavní roli. (Konopka, 2004)

V oblasti sportu mají bílkoviny klíčovou roli, protože jsou hlavní živinou pro růst síly, zvýšení objemu svalových vláken a regeneraci. Vytrvalostní sporty, jako je například běžecké lyžování, atletické disciplíny či cyklistika, dbají hlavně na regeneraci po tréninku či po závodě. Fitness a silové sporty usilují nejen o zregenerování svalové hmoty, ale převážně o zvýšení síly a svalového objemu, což znamená, že se snaží ve svalech zadržovat větší množství aminokyselin a myofibrily progresivně zvyšují svůj objem a sílu. Tato důležitá úloha bílkovin se nevztahuje pouze pro silové sporty, ale pro kohokoliv, kdo se snaží dosáhnout změny tělesné kompozice a chce zvýšit podíl aktivní tělesné hmotnosti. Ze všech živin mají bílkoviny nejvyšší sytící efekt i termický účinek a nerozkládají se až na energii, což znamená, že samotné bílkoviny jsou vhodné, pokud chceme jen hubnout a shazovat tuk a naším cílem není budování nových svalů a síly.

(Roubík, 2018)

## 1.1. Aminokyseliny

Bílkoviny jsou organické sloučeniny, které řadíme po chemické stránce mezi polyamidy. Jsou složeny ze stovek až tisíc jednotek aminokyselin (AMK), které se navzájem spojují pomocí peptidové vazby. Dle počtu aminokyselin vázaných v řetězci rozlišujeme oligopeptidy (2 – 10 AMK), polypeptidy (11 – 100 AMK) a bílkoviny (100 a více AMK). V přírodě existují stovky různých aminokyselin, v lidském těle však najdeme pouze 20 druhů, ze kterých je možné tvořit bílkoviny. Můžeme se setkat i s čísly 21 nebo 23, protože 21. proteinogenní aminokyselinou je *selenocystein*, který se v těle vyskytuje v enzymu glutathion-peroxidáze (antioxidační enzym měnící peroxid vodíku na vodu a kyslík) a nahrazuje tak základní aminokyselinu cystein. Zbylé dvě aminokyseliny, *pyrolysin* a *N-*



*formylmethionin* se vyskytují vzácně. Pro každou aminokyselinu existuje v těle genetický kód, díky kterému se zařazují do proteinu. Proto jim říkáme tzv. biogenní (neboli kódované či základní) aminokyseliny. (Roubík, 2018; Klouda 2013)

### 1.1.1 Klasifikace základních aminokyselin

Základní aminokyseliny (AMK) se od sebe liší zbytkem molekuly R neboli dle polaroty postranního řetězce a jeho iontové formy (obrázek 1):

- s **nepolárním** zbytkem (*glycin, valin, leucin, prolin, fenylalanin, isoleucin*)
- s **polárním** zbytkem (*tyrosin, glutamin, cystein, asparagin, threonin, serin*)
- s **kyselým** zbytkem (*aspartát, glutamát*)
- se **zásaditým** zbytkem (*lysin, arginin, histidin*)

Dále můžeme AMK rozdělit dle struktury postranního řetězce a funkčních skupin:

- alifatické aminokyseliny s **nesubstituovaným** řetězcem
- alifatické **hydroxyaminokyseliny**
- alifatické **sirné** aminokyseliny
- s **karboxylovou** skupinou v postranním řetězci
- s **karboxamidovou** skupinou v postranním řetězci
- s **bazickými** skupinami v postranním řetězci
- s **aromatickým** (heterocyklickým) postranním řetězcem

(Klouda, 2013)

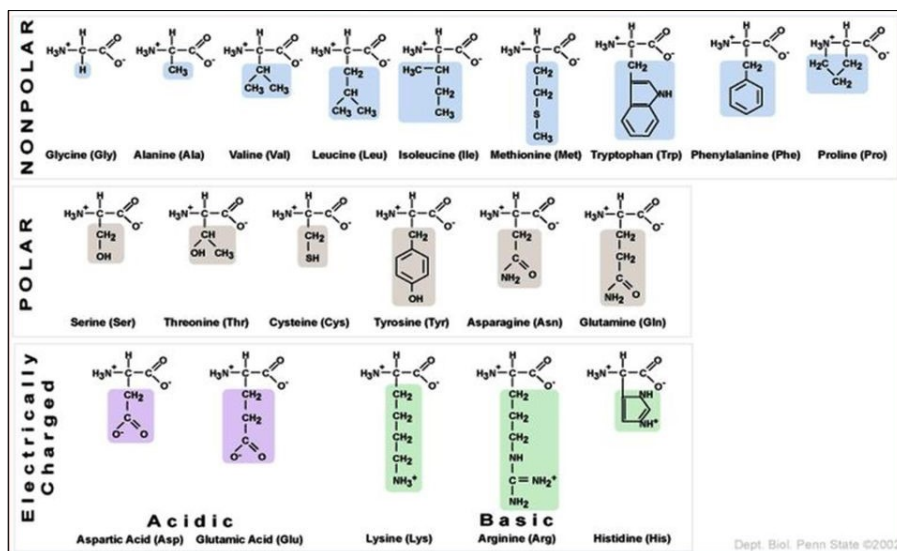
Aminokyseliny rozdělujeme také dle významu ve výživě člověka:

- **esenciální** (nepostradatelné)
- **semiesenciální**
- **neesenciální** (postradatelné)

Esenciální aminokyseliny přijímáme výhradně z potravy (případně suplementací), protože obsahují řetězce, které tělo nedovede syntetizovat. Jedná se o 8 esenciálních aminokyselin: *valin, leucin, isoleucin, methionin, threonin, fenylalanin, tryptofan a lysin*. Semiesenciální aminokyseliny (*arginin, histidin*) si naše tělo syntetizovat umí, ale ne v dostatečném množství a jejich tvorba může být ovlivněna řadou

různých faktorů (např. v období rychlého růstu v pubertě, v kojeneckém věku). Neesenční aminokyseliny si tělo dokáže syntetizovat z jiných aminokyselin, z glukózy nebo z mastných kyselin. Patří sem *alanin, asparagin, aspartát, cystein, glutamin, glutamát, tyrosin, glycin, prolin a serin*. (Roubík, 2018)

Obr. 1 Klasifikace základních aminokyselin dle polaridy postranního řetězce a jeho iontové formy



Zdroj: <https://docplayer.cz/12743219-Aminokyseliny-proteiny-enzymy.html>

### 1.1.2. Struktura aminokyselin

Pro správnou funkci bílkovin je nezbytná jejich struktura. Bez ohledu na to, zda se jedná o bílkovinu svalu, hormonu, či enzymu, je struktura tvořena pouze 21 základními aminokyselinami. (Roubík, 2018)

Struktura popisujeme ve 4 úrovních: primární, sekundární, terciální a kvartérní. (obrázek 2)

#### Primární struktura bílkovin

Primární struktura bílkovin je dána pořadím (sekvencí) aminokyselin v řetězci bílkoviny. Určuje vlastnosti, biologickou funkci a následné prostorové uspořádání molekuly.

## Sekundární struktura bílkovin

Sekundární struktura bílkovin je prostorové uspořádání polypeptidového řetězce. Vznikají vodíkové vazby a rovinné útvary, které jsou otáčivé a může tak vznikat nekonečná řada konformačních izomerů. Nejčastěji 2 struktury:  $\alpha$  – *helix* (tzv. šroubovice) a  $\beta$  – *struktura* (tzv. skládaný list).

## Terciální struktura bílkovin

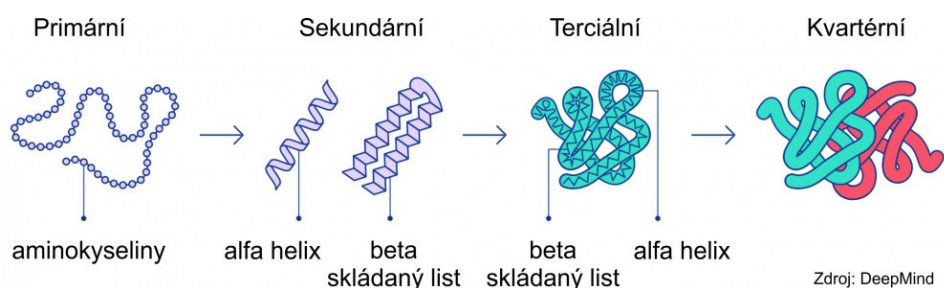
Tato struktura představuje trojrozměrnou strukturu polypeptidového řetězce. Výsledný tvar bílkoviny udržují kovalentní vazby (peptidová, disulfidová), disperzní síly mezi nepolárními skupinami a elektrostatické přitažlivé síly mezi ionty a dipóly. Základními typy terciální struktury je: *fibrilární struktura* (vláknitá) a *globulární struktura* (kulovitá).

## Kvartérní struktura bílkovin

Kvartérní strukturu bílkovin tvoří samostatné prostorové uspořádání polypeptidových podjednotek (tzv. *protomerů*), které dohromady tvoří jednu funkční bílkovinu. Podjednotky se navzájem vážou s využitím nekovalentních interakcí.

(Klouda, 2013; Barrett, 1998)

Obr. 2 Struktura aminokyselin



Zdroj: <https://www.ukforum.cz/rubriky/veda/7760-umela-intelligence-alphafold-zpusobila-revoluci-v-biologii>

## 1.2. Klasifikace bílkovin

Bílkoviny lze rozdělit dle několika kritérií.

Z **chemického** hlediska dělíme bílkoviny na:

- Jednoduché (obsahují řetězce jen z aminokyselin)
- Složené (obsahují bílkovinnou i nebílkovinnou část)
  - dle typu nebílkovinné části: lipoproteiny, glykoproteiny, nukleoproteiny, fosfoproteiny, hemoproteiny, metaloproteiny.

Z **fyzikálního** hlediska můžeme rozdělit bílkoviny dle:

- Tvaru
  - Fibrilární (vláknité) – kolagen, keratin
  - Globulární (kulovité) – enzymy, albuminy, protilátky
- Rozpustnosti
  - Nerozpustné – většina fibrilárních bílkovin (tzv. skleroproteiny) a globulárních bílkovin obilných zrn (gluteliny, prolaminy)
  - Rozpustné – albuminy (rozpustné ve vodě) a globuliny (rozpustné ve slabých roztocích kyselin, zásad a solí).

Z **funkčního** hlediska jsou bílkoviny důležité ve všech tkáních, rozeznáváme:

- Strukturní/ Katalytické/ Transportní/ Zásobní/ Pohybové/ Obranné/ Regulační.

(Břížd'ala, 2022)

## 1.3. Funkce bílkovin

Bílkoviny jsou základní stavební jednotkou všech živých organismů. V těle se vyskytují v mnoha formách a zastupují různorodé funkce. Bílkoviny jsou jediným zdrojem základního biogenního prvku – dusíku a jediným zdrojem esenciálních aminokyselin. Mohou být využity jako zdroj energie, ale ve srovnání se sacharidy

a tuky, jsou využívány hlavně jako stavební látky pro syntézu enzymů, hormonů apod. (Fourová, 2020; Roubík, 2018)

Mezi hlavní a nejdůležitější funkce bílkovin patří: **strukturní** (v pojivových tkání, svalech i kostech, např. *kolagen, elasticin, keratin*), **katalytické** (enzymy, např. *trypsin*), **transportní** (např. *hemoglobin*), **zásobní** (např. *ferritin* jako zásobárna železa), **pohybové** (*aktin* a *myosin* pro kontrakci svaloviny), **obránné** (*imunoglobuliny*) a **regulační** (hormony, např. *inzulin*).

(Roubík, 2018; Teplá, 2013)

## 1.4. Zdroje bílkovin a ukazatelé kvality

Bohatým zdrojem bílkovin jsou především potraviny **živočišného** původu. Vstřebatelnost bílkovin z těchto zdrojů je vyšší než u rostlinných potravin, ale jsou zároveň i zdrojem nasycených mastných kyselin a cholesterolu. U potravin **rostlinného** původu jsou velmi dobrým zdrojem bílkovin luštěniny a olejniny. Rostlinné potraviny mají i vysoký obsah vitamínů, minerálů a vlákniny. Ideální je kombinace obou dvou typů potravin a to v poměru 1 : 2.

Pro stanovení kvality bílkovin existuje řada metod či ukazatelů. Metody, které následně popisují, řadíme mezi nejčastěji používané: biologická hodnota, čistá využitelnost, stravitelnost a aminokyselinové skóre korigované proteinovou stravitelností.

### 1.4.1. Biologická hodnota bílkovin

Biologická hodnota (BH) měří kvalitu bílkovin tak, že se vypočítá podíl dusíku použitého na tvorbu tkání a dusíku přijatého z potravy. Tento součin se vynásobí 100 a procentuálně vyjádří, kolik endogenních bílkovin je možné vytvořit ze 100 g přijatých bílkovin. BH poskytuje měření toho, jak efektivně tělo využívá bílkoviny přijaté ve stravě. U živočišných zdrojů je BH vyšší než u bílkovin rostlinného původu, ale výsledná BH závisí na množství a poměru jednotlivých esenciálních AMK a jejich stravitelnosti. Nejvyšší biologickou hodnotu získáme z bílkovin vaječného bílku (*ovoalbumin, ovovitelin*), jejich AMK se téměř ze 100 % přemění

na tělesné bílkoviny, bílek je proto tzv. *plnohodnotná bílkovina*. Biologickou hodnotu bílkovin můžeme ale cíleně navyšovat kombinací některých potravin, kdy se jejich aminokyselinové složení může vhodně doplňovat (např. luštěniny a obilniny – kombinace lysinu a methioninu apod.) Biologická hodnota ale nezohledňuje několik klíčových faktorů, které ovlivňují trávení bílkovin a interakci s jinými potravinami před jejich vstřebáním. (Caha, 2016; Fourová, 2020)

#### **1.4.2. Čistá využitelnost bílkovin**

Čistá využitelnost bílkovin je podobná biologické hodnotě s tím rozdílem, že zahrnuje přímé měření retence absorbovaného dusíku. Čistá využitelnost bílkovin i biologická hodnota měří stejný parametr retence dusíku, rozdíl však spočívá v tom, že biologická hodnota se vypočítává z absorbovaného dusíku, zatímco čistá využitelnost bílkovin z dusíku přijatého. (Hoffman, 2004)

#### **1.4.3. Stravitelnost bílkovin**

Proteinová stravitelnost nám říká, kolik aminokyselin může tělo využít poté, co je zdroj bílkovin stráven a vstřebán. Udává se jako poměr mezi stráveným dusíkem a celkovým dusíkem přijatým do těla v bílkovinách. (Caha, 2016)

Stravitelnost bílkovin je ovlivněná složením aminokyselin a zpracováním bílkovin. Například syrovátkové bílkoviny obsahující *glutamin* a *leucin* se do krevního řečiště vstřebají rychleji než kasein. Naproti tomu kasein, díky své pomalejší stravitelnosti, má vyšší sytost než při konzumaci syrovátky. Zpracováním bílkovin při tepelné úpravě či fermentaci může dojít ke štěpení peptidové vazby AMK a ke změně stravitelnosti – např. mléko bude po zahřátí hůře stravitelné, protože se zvýší množství kaseinu, ale pokud tepelně upravíme luštěniny, dochází k rozbití rostlinných stěn a daleko lepší stravitelnosti. (Hoffman, 2004)

#### **1.4.4. Aminokyselinové skóre korigované proteinovou stravitelností**

V roce 1989 Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) a Světová zdravotnická organizace (WHO) ve společném stanovisku uvedly, že kvalitu bílkovin lze určit vyjádřením obsahu první limitující esenciální aminokyseliny testované bílkoviny

jako procenta obsahu stejné aminokyseliny v referenčním vzorci esenciálních aminokyselin. Jinak řečeno – skóre nám udává, jaký je poměr mezi obsahem nejhůře zastoupené esenciální aminokyseliny a jejím obsahem v „ideální“ bílkovině x bílkovinná stravitelnost (mg/g proteinu). Ačkoli skóre není ideálním ukazatelem kvality bílkovin, v současnosti se propaguje jako nejpřesnější metoda pro použití u člověka. Použité referenční hodnoty vycházely z požadavků na esenciální aminokyseliny dětí předškolního věku. Doporučení společného prohlášení FAO/WHO bylo vzít tuto referenční hodnotu a korigovat ji na skutečnou fekální stravitelnost testované bílkoviny. Získaná hodnota byla označena jako skóre aminokyselin korigované na stravitelnost bílkovin (PDCAAS). Hodnoty 1,0 a vyšší znamenají, že bílkovina obsažená v dané potravine, je schopna maximálně pokrýt lidskou potřebu esenciálních aminokyselin. (Hoffman, 2004; Caha, 2016)

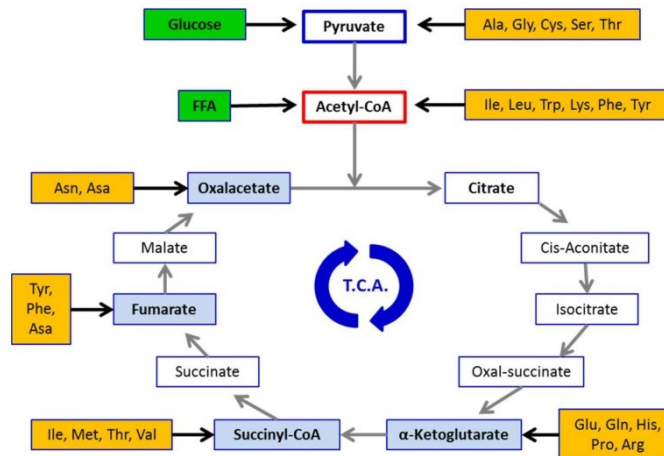
## **1.5. Metabolismus bílkovin a aminokyselin**

Bílkoviny jsou makronutrienty, které mají zásadní význam pro různé buněčné činnosti a také pro metabolismus organismu. Syntéza bílkovin je primárně řízena dostupností aminokyselin (AMK) ve stechiometrickém množství úměrném počtu bílkovin potřebných k syntéze a energetickým požadavkům nutným k udržení syntetického procesu.

Aminokyseliny plní v těle mnoho funkcí. Protože jsou pro organismus jediným zdrojem dusíku, je dusík pocházející z AMK klíčový pro syntézu prekurzorů (purinů a/nebo pyrimidinů) hlavních energetických molekul (tj. ATP, ADP, IMP) a/nebo nukleových kyselin (tj. DNA/RNA) a/nebo pro výrobu sloučenin, které mohou regulovat hlavní biochemické signální dráhy, jako je oxid dusnatý (NO). Navíc deaminací aromatických uhlovodíků uvolňovaných z kosterního svalstva a/nebo cirkulujících viscerálních bílkovin vzniká uhlíkatý skelet bohatý na kyslík a vodík vhodný pro následnou biochemickou transformaci. Tento uhlíkatý skelet mohou játra využít k výrobě glukózy prostřednictvím glukoneogeneze a dalších makromolekul, jako jsou lipidy. Uhlíkový skelet získaný z AMK je také důležitý pro výrobu meziproductů pohánějících Krebsův cyklus, které jsou následně přeměněny na energii a/nebo jiné metabolické meziproducty (obrázek 3). Proto lze

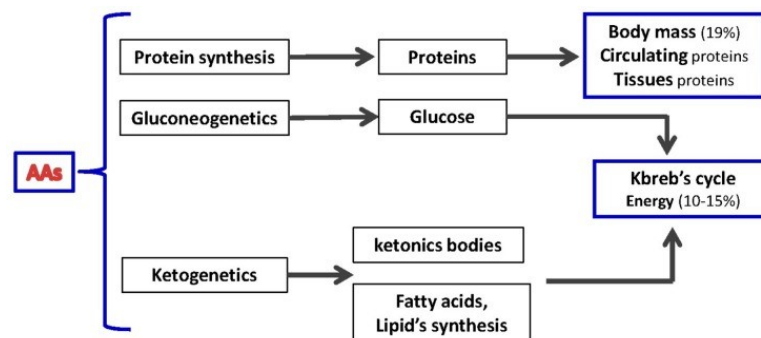
AMK považovat za *biochemické totipotentní molekuly* schopné přeměny na energii, sacharidy, lipidy a biochemické meziproducty v závislosti na metabolických požadavcích organismu (obrázek 4). (Pasini, 2018; Barrett, 1998)

Obr. 3 Krebsův cyklus



Zdroj: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5946176/#!po=8.82353>

Obr. 4 Aminokyseliny (AAs) jako biochemické totipotentní molekuly



Zdroj: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5946176/#!po=8.82353>

### 1.5.1 Anabolismus

Anabolismus představuje syntetické reakce metabolismu, při kterých se spotřebovává energie. Je to proces, zahrnující posloupnost chemických reakcí, při nichž dochází ke stavbě nebo syntéze molekul z menších jednotek. Anabolický stav představuje růst svalů, kostí a dalších tělesných struktur.



*Proteosyntéza* neboli translace je anabolický pochod, při kterém se tvoří bílkoviny. Je to biochemický proces, kdy dochází k překladu nukleotidové sekvence do sekvence aminokyselin. Translace probíhá na ribozomech a účastní se ho všechny 3 typy RNA (tj. mRNA, tRNA, rRNA). Proteosyntetický aparát využívá aminoacyl-tRNA, mRNA, iniciační faktory, ATP a GTP. Zjednodušeně, proteosyntéza je tvorba bílkovin z aminokyselin. (Matouš, 2010)

Translaci lze stručně rozdělit do tří fází: iniciace, elongace a terminace.

Iniace spočívá v určení přesného místa v sekvenci nukleotidů v mRNA pro zahájení translace. Dochází k tvorbě iniciačního komplexu – spojení menší podjednotky ribozomu, iniciační methionyl-tRNA, mRNA, ATP, GTP a iniciačních faktorů. Následně se připojí podjednotka ribozomu za účasti hydrolýzy GTP a dochází k uvolnění iniciačních faktorů. Vzniká kompletní ribozom, kde iniciační methioninové transferové RNA (Met-tRNA) je lokalizována na peptidovém místě (*P – místo*). (Matouš, 2010; Hoerter, 2021)

Po identifikaci počátečního místa translace následuje elongace, kdy se ribozom pohybuje podél mRNA a "čte" skupiny tří nukleotidů, které určují každou aminokyselinu přidanou do rostoucího polypeptidového řetězce. V iniciačním komplexu je iniciační Met-tRNA spárována s iniciačním AUG v ribozomálním místě P, přičemž další kodon mRNA je umístěn v ribozomálním místě A (*A – místo*). Rostoucí polypeptidový řetězec, který se dříve nacházel v místě P, se nyní prodlouží o jednu AMK a přenesení se na aminoacyl-tRNA v místě A. Peptidyl-tRNA v místě A je poté pomocí iniciačních faktorů a GTP přemístěna zpět do místa P. Místo A je nyní prázdné a celý proces se opakuje znovu a znovu, jak se ribozom pohybuje po mRNA.

Nakonec dojde k ukončení, když ribozom narazí na jeden ze tří terminačních kodonů, a dokončený protein se uvolní z ribozomu.

(Matouš, 2010; Hoerter, 2021)

## 1.5.2. Katabolismus

Katabolismus bílkovin je rozklad bílkovin na vstřebatelné monomery. Je to proces zahrnující řadu degradačních chemických reakcí, které rozkládají složité molekuly na menší jednotky a dochází tak k uvolňování energie.

Podstatou degradace je hydrolyza. U hydrolyzy proteinů mluvíme o katabolickém procesu tzv. *proteolýze*, při kterém se bílkovina rozkládá (štěpí) na její peptidy či aminokyseliny. Podobně jako u translace, tak i zde je třeba peptidový produkt tvořit za účasti specifických enzymů a řadou nukleolytických zásahů. Samotná proteolýza probíhá prostřednictvím proteolytických enzymů neboli peptidáz, které štěpí peptidové vazby bílkovin a peptidů. Z pohledu štěpení náleží peptidázy mezi C – N hydrolázy. Podle lokalizace štěpného místa se proteázy dělí na *exo*peptidázy, uvolňované slinivkou břišní (*amino*peptidázy – odštěpování probíhá z N – konce; *karboxy*peptidázy – odštěpování probíhá z C – konce) a *endo*peptidázy, též zvané *proteinázy*, které jsou produkovány žaludeční sliznicí, štěpí proteiny uprostřed řetězce. Další dělení je dle katalytického mechanismu (serinové, cysteinové, aspartylové, metaloendopeptidázy) nebo podle kyselosti prostředí, které je optimální pro jejich aktivitu (kyselé, neutrální, alkalické). Pro tyto enzymy je typická forma tzv. zymogenu (neaktivní forma). Aktivují se až v místě působení, aby nezpůsobovaly proteolýzu v místě svého vzniku. (Klouda, 2013; Matouš, 2010)

### 1.5.2.1 Trávení a resorpce bílkovin

Degradace bílkovin přijatých potravou probíhá v gastrointestinálním traktu za účasti *peptidáz*. Při konzumaci proteinů (denně člověk přijme 70 – 120 g) musí náš trávicí systém rozštěpit bílkoviny na jednotlivé aminokyseliny, dipeptidy či oligopeptidy. Ty jsou následně vstřebávány a využívány buňkami k tvorbě dalších bílkovin či makromolekul. (Matouš, 2010)

Proces trávení začíná v žaludku za přítomnosti kyseliny chlorovodíkové (HCl), díky které se pH žaludku udržuje mezi 1,5 – 3,5. Působení HCl způsobuje denaturaci bílkovin potravy, čímž se rozkládá jejich kvartérní a terciální struktura a odhaluje se pouze polypeptidový řetězec. Jakmile jsou bílkoviny v žaludku

denaturovány, peptidové vazby spojující aminokyseliny jsou přístupnější pro enzymatické trávení. Tento proces zahajuje *pepsin*, enzym, který je vylučován buňkami vystýlajícími žaludek a je aktivován ze zymogenu *pepsinogenu* pomocí HCl. *Pepsin* začne štěpit peptidové vazby a vytvářet kratší polypeptidy.

(Bhutia, 2018)

Vzniklý chymus opouští žaludek a vstupuje do tenkého střeva, kde probíhá většina trávení bílkovin. Slinivka břišní vylučuje do tenkého střeva pankreatické šťávy (pH = 7,5 – 8) , které obsahují kromě dalších enzymů i zymogeny, které jsou v tenkém střevě postupně aktivovány. Dva hlavní pankreatické enzymy, které tráví bílkoviny v tenkém střevě, jsou *chymotrypsin* a *trypsin*. *Enteropeptidáza* aktivuje zymogen *trypsinogen* na *trypsin* a ten aktivuje přeměnu *chymotrypsinogenu* na *chymotrypsin*, *proelastázy* na *elastázy* a *prokarboxypeptidázy* na *karboxypeptidázy A* a *B*. Tyto enzymy rozkládají bílkoviny na tripeptidy, dipeptidy a jednotlivé aminokyseliny. (Matouš, 2010)

Poslední proces trávení probíhá na enterocytech tenkého střeva pomocí aktivních transportních systémů, které vyžadují ATP. Oligopeptidy jsou aminopeptidázami a dipeptidázami štěpeny na volné aminokyseliny. Všechny tripeptidy a dipeptidy se rozkládají též na jednotlivé aminokyseliny a poté se vstřebávají do krevního oběhu. Jakmile se aminokyseliny dostanou do krve, jsou transportovány do jater a poté slouží buď jako zásobárna AMK, nebo k syntéze bílkovin, k tvorbě dalších sloučenin obsahujících dusík a nebo jsou přeformované a uloží se ve formě tuku (neexistuje skladovací forma bílkovin). Pokud není k dispozici dostatek glukózy nebo energie, mohou být AMK také využity jedním z těchto způsobů:

- a) Přepřacovány na glukózu jako palivo pro mozek a červené krvinky.
- b) Metabolizovány jako palivo pro okamžitý zdroj ATP.

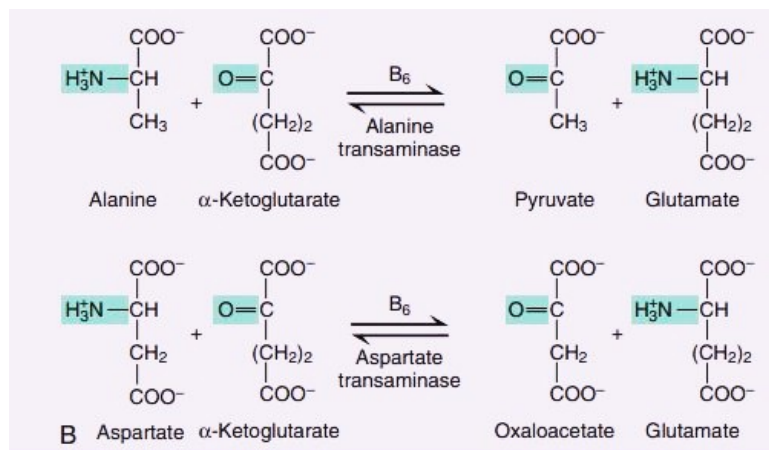
Bílkoviny, které nejsou v tenkém střevě zcela stráveny, nepodléhají intracelulární hydrolyze (př. dipeptidy obsahující *prolin* či  $\beta$  – alanin), přecházejí do tlustého střeva, a nakonec jsou vyloučeny stolicí. (Matouš, 2010; Klouda, 2013)

### 1.5.2.2. Degradace aminokyselin

Aby bylo možné aminokyseliny použít k výrobě ATP, glukózy nebo tuku, musí být dusík nejprve odbourán v procesu *transaminace* či *deaminace*, která probíhá v játrech a ledvinách. Dusík se zpočátku uvolňuje jako amoniak, a protože je amoniak toxický, játra jej přeměňují na močovinu. Močovina je poté transportována do ledvin a vyloučena močí. Močovina je molekula, která obsahuje dva nitrogeny a je dobře rozpustná ve vodě. Díky tomu je ideální pro transport přebytečného dusíku z těla. (Matouš, 2010)

Katabolismus proteinogenních AMK nemůže probíhat dle stejného schématu, protože jednotlivé AMK se liší svým uhlíkovým skeletem. V degradačním pochodu aminokyselin je obvykle prvním procesem odstranění  $\alpha$  – aminoskupiny transaminační reakcí, která je katalyzována působením *aminotransferáz*. Tyto enzymy obsahují jako koenzym pyridoxalfosfát (PLP). Nejčastěji probíhá transaminace za účasti *alaninaminotransferázy* (ALT) a *aspartátaminotransferázy* (AST). Při reakci dochází k výměně aminoskupiny alaninu a aspartátu s oxoskupinou 2 – oxoglutarátu (obrázek 5). Tyto reakce mohou probíhat v obou směrech (degradace i biosyntéza AMK). Vzniklý pyruvát a 2 – oxoglutarát jsou důležité pro metabolismus sacharidů, alanin slouží k přenosu nadbytečného dusíku a transportuje ho tak z tkání zpět do jater. Glutamát je nejčastěji odbouráván aerobní deaminací. (Klouda, 2013)

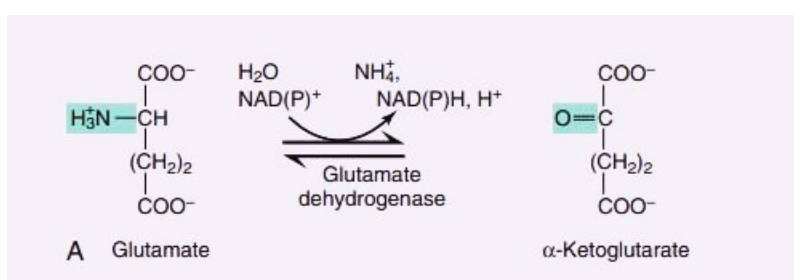
Obr. 5 Transaminace alaninu a aspartátu



Zdroj: Elsevier. Meisenberg a Simmons: Principles of Medical Biochemistry

Nejdůležitější reakcí, při níž vzniká amoniak, je oxidační deaminace glutamátu za působení *glutamátdehydrogenázy*, probíhající v játrech a dalších tkáních. Tato reakce je reverzibilní a může fungovat v obou směrech (při syntéze i degradaci glutamátu). Účastní se ho především enzym *nikotinamidadeninukleotid* (NAD<sup>+</sup>), který působí při degradaci glutamátu a redukovaný *nikotinamidadeninukleotidfosfát* (NADPH) pro syntézu glutamátu (obrázek 6). Reakce *glutamátdehydrogenázy* znamená, že glutamát je neesenciální a zároveň glukogenní. (Meisenberg a Simmons, 2017)

Obr. 6 Oxidační deaminace glutamátdehydrogenázou

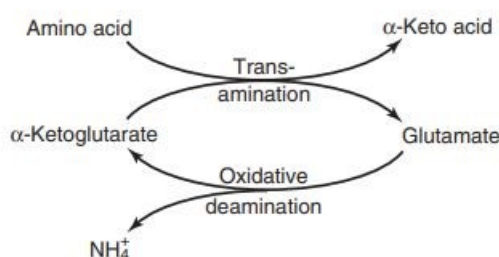


Zdroj: Elsevier. Meisenberg a Simmons: Principles of Medical Biochemistry

V lidských tkání je přítomno nejméně dvanáct transamináz. Většina z nich využívá glutamát/ $\alpha$  – ketoglutarát jako jeden ze svých substrátů/produktů. Všechny aminokyseliny, kromě treoninu, lysinu a prolinu, mohou být transaminovány. Jejich  $\alpha$ -aminoskupiny se začleňují do glutamátu transaminací a poté se uvolňují jako amoniak při deaminaci glutamátu *glutamátdehydrogenázou*. (obrázek 7)

(Meisenberg a Simmons, 2017)

Obr. 7 Transaminace a oxidační deaminace



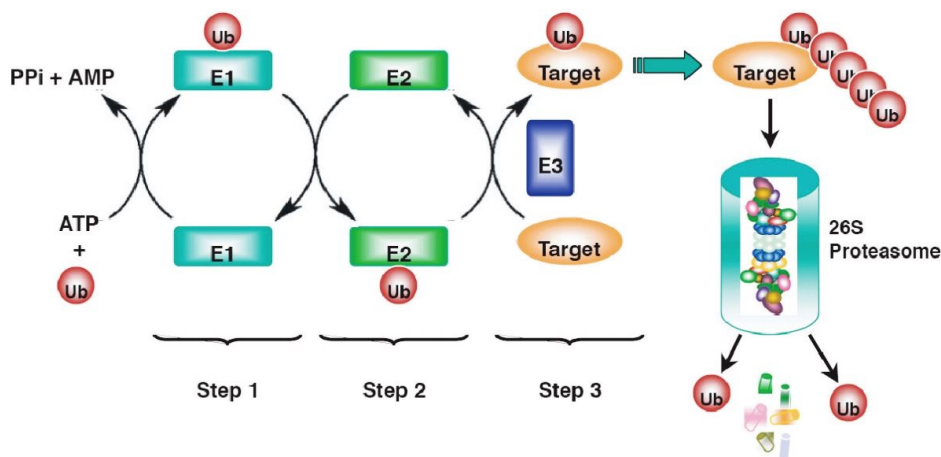
Zdroj: Elsevier. Meisenberg a Simmons: Principles of Medical Biochemistry

### 1.5.2.3. Ubikvitin – proteazomový systém

Intracelulární proteiny, které byly buď chybně složeny, nebo již v buňce nefungují, podléhají intracelulárnímu katabolismu proteinů v lysozomu za pomoci *ubikvitinu* a tvorby *proteazomu*. *Ubikvitin* je malý globulární protein o 76 aminokyselinách, je přítomný ve všech eukaryotických buňkách a slouží jako marker, který cílí cytosolické a jaderné proteiny k rychlé proteolýze. Tento proces se nazývá *ubikvitinace*. (Gurina, 2021)

Proteiny jsou označeny k degradaci navázáním *ubikvitinu* na aminoskupinu postranního řetězce lysinového zbytku. Nejprve *ubikvitin-konjugující enzym* (E1) aktivuje *ubikvitin* a přeneše ho na složku E2 *ubikvitin ligázy* (komplex E2-E3). Složka E3 *ubikvitinové ligázy* rozpoznává cílový protein a přeneše *ubikvitin* z E2 na cílový protein. Tento proces se opakuje, dokud se k cílovému proteinu nepřipojí řetězec čtyř nebo více *ubikvitinů*. Takto ubikvitinované proteiny jsou rozpoznány a hydrolyzovány velkým proteázovým komplexem, tzv. *proteasom*. *Ubikvitin* se při tomto procesu uvolňuje, takže může být znovu použit v dalším cyklu. (obrázek 8) (Cooper, 2000)

Obr. 8 Ubikvitin – proteazomový systém

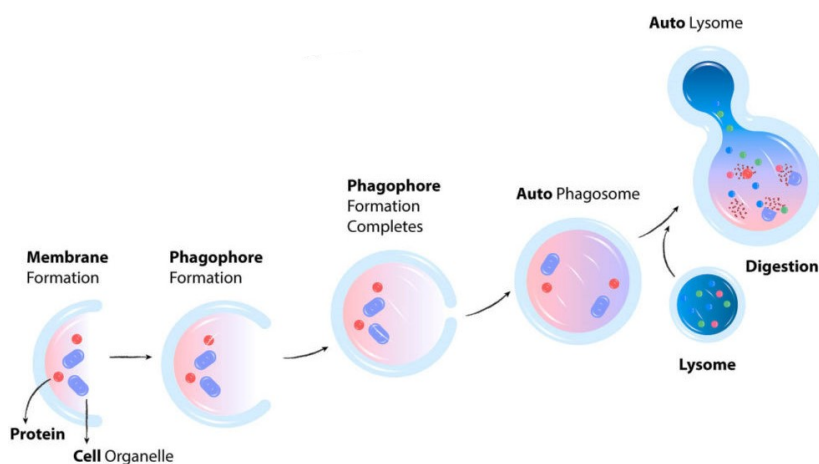


Zdroj: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-ubiquitin-proteasome-system-and-its-role-in-and-Wang-Maldonado/ce36b3c7bb0c3ccd26e57931fdce60eba5d3c004>

#### 1.5.2.4. Lysozomální proteolýza

V lysozomech jsou degradovány převážně extracelulární či tkáňové proteiny a receptory. Lysozomy jsou membránou uzavřené organely, které obsahují přibližně 50 různých hydrolytických enzymů. Nejvíce zde působí proteázy zvané *katepsiny*. Lysozomy mají v buněčném metabolismu mnoho funkcí, včetně trávení extracelulárních proteinů přijatých endocytózou a také postupného obratu cytoplazmatických organel a cytosolických proteinů. Uložení proteáz a dalších trávicích enzymů v lysozomech zabraňuje nekontrolované degradaci obsahu buňky. Proto, aby mohly být buněčné proteiny rozloženy *lysozomální proteolýzou*, musí být nejprve pohlceny lysozomy. Jedna z cest tohoto vychytávání buněčných proteinů, je tzv. *autofagie*. Tento proces zahrnuje tvorbu vezikul (*autofagozomů*), v nichž jsou malé oblasti cytoplazmy nebo cytoplazmatických organel uzavřeny v membránách odvozených od endoplazmatického retikula. Spojením s primárním lysozomem obsahujícím *katepsin* se *autofagozom* přemění na *autolyzom* a proteiny v něm se rozloží, aby se recyklovaly v biosyntéze. (obrázek 9) (Cooper, 2000; Klouda, 2013)

Obr. 9 Autofagie



Zdroj: <https://cz.intelligentlabs.org/autofagie-vedecke-vysvetleni/>

### 1.5.3. Dusíková bilance

Dusíková bilance se běžně označuje jako čistý rozdíl mezi příjmem dusíku (N) obsaženého ve stravě a jeho vylučováním (především ve formě močoviny).

Vzhledem k tomu, že N je obsažen převážně v bílkovinách, vztahuje se tento pojem především na bilanci bílkovin a aminokyselin. N bilance nemusí nutně znamenat, že někdo přijímá stejné množství dusíku, jaké spotřebuje. Je hlavním ukazatelem metabolismu bílkovin a toho, zda jsou splněny fyziologické požadavky na bílkoviny. (Ross, 2013)

Koncept dusíkové bilance spočívá v tom, že rozdíl mezi příjmem a ztrátou dusíku odráží zisk nebo ztrátu celkových tělesných bílkovin. V organismu může ale dojít k negativní nebo pozitivní dusíkové bilanci.

Pokud tělo přijímá méně N, než ho vylučuje (výdej > příjem), mluvíme o tzv. *negativní dusíkové bilanci*. Negativní dusíková bilance je spojena s hladověním či podvýživou, objevuje se při řadě onemocnění (př. nádorové bujení), ve stáří a/nebo nastává při přetrénování, tj. katabolické procesy převažují nad anabolickými.

Naopak *pozitivní dusíkatá bilance* nastává, když jsou ztráty N menší než příjem (výdej < příjem). Pozitivní hodnota se často vyskytuje v růstovém období, u nadměrné výživy (př. těhotenství) a také tehdy, když odporový trénink působí jako stimul pro akumulaci dusíku/proteinů. Anabolismus převažuje nad katabolismem.

Jak pozitivní, tak negativní dusíková bilance jsou indikací k doplnění stravy po úplném posouzení, kterých konkrétních aminokyselin je nedostatek.

(Dickerson, 2016; Matouš, 2010)



## 2. VYTRVALOSTNÍ VÝKON A TRÉNINK

Vytrvalostní sport je jakýkoli sport, ve kterém se vyžaduje udržení určité úrovně aktivity při fyzické zátěži po za delší časový úsek, jako je například běh, jízda na kole, lyžování, plavání nebo kanoistika. Základním požadavkem pro každý vytrvalostní sport je schopnost udržet submaximální pracovní výkon po delší dobu.

Jaké jsou hlavní fyziologické determinanty vytrvalostního výkonu?

- $VO_{2max}$
- Aerobní a anaerobní práh
- Svalovina

$VO_{2max}$  a anaerobní práh se vzájemně ovlivňují a určují tzv. "výkonnostní  $VO_2$ ", což je spotřeba kyslíku, kterou lze udržet po určitou dobu. Mezi další ukazatele patří například účinnost energetických systémů, zdroje energie, ekonomika běhu nebo pak samotná psychologie sportovce. (Joyner, 2008; Lehner, 2014)

V každém případě cílem tréninku je zvýšit funkci kosterních svalů, což se týká nejen maximální svalové síly a výkonu, ale také vytrvalosti a únavy. Vytrvalost je schopnost svalu udržet si svou funkci po celou dobu a několikanásobné kontrakce. Svalovou vytrvalost lze vyjádřit jako pokles síly, který představuje rozvoj únavy během tréninku. Svalová únava je definovaná jako neschopnost svalu generovat sílu nebo výkonnost, což zhoršuje pak samotný fyzický výkon. Hlavními příčinami únavy jsou: hromadění protonů ve svalové buňce, vyčerpání zdrojů energie, hromadění amoniaku v krvi a tkáních, oxidační stres, poškození svalů a změny v syntéze neurotransmiterů, jako je zvýšení serotoninu a snížení dopaminu. Následkem fyzické aktivity dochází kromě únavy i k nárůstu svalových zranění a k regeneraci nových kontraktálních vláken, kdy se uplatňuje působení bílkovin. (Gacesa, 2013; Shephard, 1992; Coqueiro, 2019)

Vytrvalost můžeme rozdělit do čtyř skupin dle převládajícího metabolismu, který zásobuje svaly energií na základě délky trvání dané vytrvalosti:

- **Rychlostní vytrvalost** – trvání do 20-60 vteřin (např. běh na 400 m), hydrolýza ATP na ADP, převládá laktátový metabolismus, tzv. anaerobní glykolýza
- **Krátkodobá vytrvalost** – 2-3 minuty, pohybová činnost o vyšší intenzitě (např. běh na 800 m), dominantní anaerobní glykolýza, začíná se uplatňovat aerobní metabolismus, tzv. oxidativní fosforylace
- **Střednědobá vytrvalost** – 3-10 minut (např. běh na 1500-5000 metrů), dominantní oxidativní fosforylace, anaerobní glykolýza není tak intenzivní
- **Dlouhodobá vytrvalost** – délka trvání je přibližně 10 minut až několik hodin (např. půlmaraton), oxidativní fosforylace dominantní, začíná se uplatňovat lipolýza, při dalším trvání mohou být zdrojem pro glukoneogenezi AMK

(Zahradník, 2012; Vilikus, 2020)

## 2.1. $VO_{2max}$

$VO_{2max}$  neboli aerobní kapacita plic, je ukazatel aerobní vytrvalosti, tj. udává maximální objem kyslíku, které tělo dokáže využít během 1 minuty aktivity. Měří se v mililitrech na kilogram tělesné hmotnosti za minutu. Vysokého  $VO_{2max}$  se obvykle dosahuje při výkonu s relativně velkou svalovou hmotností a představuje integrační schopnost srdce vytvářet vysoký srdeční výdej a celkový tělesný hemoglobin. S vyšším věkem pak hodnota  $VO_{2max}$  klesá. (obrázek 10)

(Joyner, 2008)

Nejdůležitějším fyziologickým faktorem pro vysoký výkon v maratonu je disponovat vysokou aerobní kapacitou. Elitní maratonec vykazuje vysoké  $VO_{2max}$  (více než 80 ml/kg/min), podobně je  $VO_{2max}$  důležitým parametrem běžců na střední a dlouhé tratě, cyklistů či dálkových plavců (70-80 ml/kg/min), zatímco sprinteři

vykazují relativně nižší  $VO_{2max}$  (45-55 ml/kg/min). Při dlouhodobých vytrvalostních závodech hraje dominantní roli oxidativní metabolismus, a proto se maximální příjem kyslíku stává jedním z hlavních určujících faktorů ve vrcholovém sportu.  $VO_{2max}$  je omezena pouze na kardiopulmonální kapacitu jedince týkající se příjmu, transportu a využití kyslíku. Nejen v maratonu, ale i ve všech ostatních sportovních výkonech s dlouhotrvající aktivitou, ať už jde o kontinuální nebo nekontinuální typ, hraje  $VO_{2max}$  klíčovou roli. Maximální příjem kyslíku může být fyziologicky nejvýznamnějším a nejčastěji měřeným parametrem při fyziologickém hodnocení dobře trénovaných sportovců. Vysoké  $VO_{2max}$  je ve vytrvalostních sportech výhodou, ale udržet vysoký podíl  $VO_{2max}$  po dlouhou dobu je důležitější. (Ghosh, 2004; Zahradník, 2012)

Obr. 10 Průměrné  $VO_{2max}$  podle věku a pohlaví

	Age	1	2	3	4	5	6	7
	ANNEES MAUVAIS	MEDIOCRE	FAIBLE	MOYEN	BON	TRÈS BON	EXCELLENT	
<b>HOMME</b>	20-24	< 32	32-37	38-43	44-50	51-56	57-62	>62
	25-29	< 31	31-35	36-42	43-48	49-53	54-59	>59
	30-34	< 29	29-34	35-40	41-45	46-51	52-56	>56
	35-39	< 28	28-32	33-38	39-43	44-48	49-54	>54
	40-44	< 26	26-31	32-35	36-41	42-46	47-51	>51
	45-49	< 25	25-29	30-34	35-39	40-43	44-48	>48
	50-54	< 24	24-27	28-32	33-36	37-41	42-46	>46
	55-59	< 22	22-26	27-30	31-34	35-39	40-43	>43
	60-65	< 21	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	>40
	<b>FEMME</b>	20-24	< 27	27-31	32-36	37-41	42-46	47-51
25-29		< 26	26-30	31-35	36-40	41-44	45-49	>49
30-34		< 25	25-29	30-33	34-37	38-42	43-46	>46
35-39		< 24	24-27	28-31	32-35	36-40	41-44	>44
40-44		< 22	22-25	26-29	30-33	34-37	38-41	>41
45-49		< 21	21-23	24-27	28-31	32-35	36-38	>38
50-54		< 19	19-22	23-25	26-29	30-32	33-36	>36
55-59		< 18	18-20	21-23	24-27	28-30	31-33	>33
60-65		< 16	16-18	19-21	22-24	25-27	28-30	>30

Zdroj: <https://age-impulse.com/cest-quoi-le-vo2max-2/>

## 2.2. Aerobní a anaerobní práh

U vytrvalostních výkonů je do různé míry využíván aerobní i anaerobní energetický systém, jak jsem již naznačila výše. Svaly produkují energii prostřednictvím *aerobního* (vyžadujícího kyslík) a *anaerobního* (nevyžadujícího kyslík)

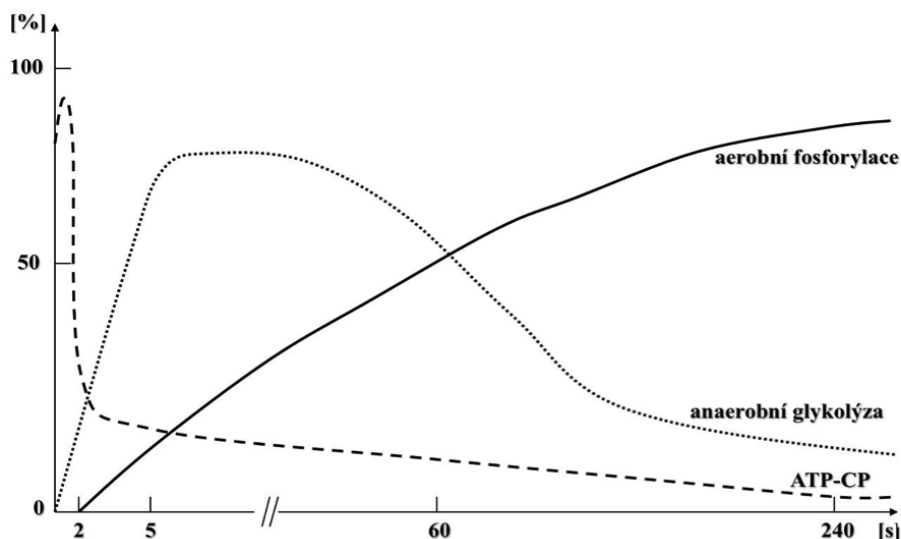
metabolismu. Při vytrvalostních sportech pokrýváme většinu energetických potřeb aerobním metabolismem. S rostoucí intenzitou cvičení (například při vysoce intenzivním intervalovém tréninku) však úměrně roste význam anaerobního metabolismu (obrázek 11). Poměr jednotlivých složek se liší v závislosti na zaměření tréninku sportovce. Musíme také zohlednit fyziologické rozdíly mezi sportovci – všichni sportovci jsou jedineční a nereagují stejně na různé typy tréninku. (Fallowfield, 1999; Máček, 2011)

Jak jsem již zmiňovala, při vyšší intenzitě se aerobní metabolismus stále z části podílí na celkové energii. Jde jen o to, že rychlá svalová vlákna a anaerobní metabolismus nabývají na významu. Ačkoli anaerobní metabolismus dokáže dodávat energii mnohem rychleji, je zde i určitá „daň“:

1. Vede k hromadění vodíkových iontů, což zvyšuje kyselost svalů a může narušit výkon při cvičení.
2. Rychle se zmenšují klíčové zásoby svalového glykogenu.

Intenzita přechodu z aerobního do anaerobního režimu je jednou z nejvýznamnějších fyziologických proměnných ve vytrvalostních sportech. Pro tento přechod existuje mnoho výrazů, například počátek akumulace laktátu v krvi, bod vychýlení tepové frekvence nebo maximální ustálený stav laktátu, nejčastěji se ale setkáváme s pojmem *laktátový* či *anaerobní práh*. Tento údaj má velkou roli jak při sledování tréninkového plánu, tak při určování sportovního výkonu. Pokud se sportovci věnují vytrvalostním závodům, musí si také vypěstovat schopnost udržet vysoké frakční využití svého maximálního příjmu kyslíku ( $VO_{2max}$ ) a stát se fyziologicky efektivními při výkonu své činnosti. *Anaerobní práh*, v porovnání s maximálním  $VO_{2max}$ , významně koreluje s vytrvalostním výkonem, protože udržení vysokého frakčního využití  $VO_{2max}$  po dlouhou dobu, oddaluje metabolickou acidózu. Trénink na úrovni intenzity anaerobního prahu nebo jen těsně nad ní, je ve vytrvalostních disciplínách stěžejní, protože je nezbytná pro maximalizaci výkonnostního potenciálu – navyšuje se  $VO_{2max}$  a posouvá se hranice anaerobního prahu. (Fallowfield, 1999; Ghosh, 2004; Máček, 2011)

Obr. 11 Zapojení energetických systémů a jejich přibližný podíl na produkci energie v průběhu času při maximální intenzitě pohybu



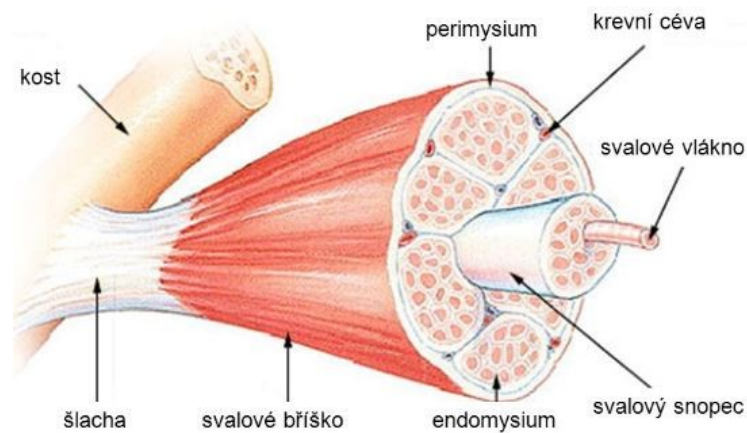
Zdroj: <https://publi.cz/books/149/01.html>

### 2.3. Svalovina

Příčně pruhované, kosterní svalstvo tvoří zhruba 25 – 45 % tělesné hmotnosti. *Epimysium* neboli fascie (povázka) je vrstva hustého vaziva, která obklopuje celý sval. Kosterní sval tvoří svalová vlákna v délce 1 – 40 mm. Tato svalová vlákna jsou spojena do svazků tvořící svalové snopce, a jsou zásobena bohatou sítí cév a nervů. Každý kosterní sval je tvořen několika svalovými snopci, které obklopuje *perimysium* neboli vazivový obal (obrázek 12). (Pastucha, 2014)

Každé svalové vlákno se skládá z myofibril a je obaleno membránou, tzv. *sarkolemou*. Svalová vlákna obsahují stovky až tisíce myofibril uložené paralelně vedle sebe v sarkoplazmě. Základní a nejmenší kontraktilní jednotkou svalového vlákna je *sarkomera* obsahující myofibrily. Myofibrily tvoří myofilamenta: aktin (izotropní, světlá) a myozin (anizotropní, tmavá). Vlákna aktinu jsou tvořena dvoušroubovicí skládající se z globulárního aktinu a dvou řetězců tropomyozinu, na kterém jsou vazebná místa pro myozin. Vlákna myozinu mají globulární „hlavičku“, na kterou se váže aktin. (Shephard, 1992; Pastucha, 2014)

Obr. 12 Složení kosterního svalu



Zdroj: <https://slideplayer.cz/slide/3368228/>

### 2.3.1. Typologie svalových vláken

Svalová vlákna lze klasifikovat dle rychlosti kontrakce v porovnání s ostatními a dle regenerace ATP:

- **Typ I – pomalá červená (SO – slow oxidative):** mají bohaté kapilární zásobení, četné mitochondrie a aerobní dýchací enzymy a vysokou koncentraci myoglobinu. Jsou málo unavitelná a zajišťují udržování postojů, vytváření izometrických kontrakcí, stabilizaci kostí a kloubů a provádění malých pohybů, které se dějí často, ale nevyžadují velké množství energie.
- **Typ IIA – rychlá oxidativní (FO – fast oxidative):** někdy nazývána intermediálními vlákny, protože mají vlastnosti na pomezí rychlých a pomalých vláken. Produkují ATP relativně rychle, rychleji než vlákna SO, ATP produkují aerobně, mají vysoké množství mitochondrií a jsou odolnější proti únavě než vlákna SO. Vlákna FO se používají především při rychlejších a silově náročnějších pohybech (např. chůze).
- **Typ IIB – rychlá glykolytická (FG – fast glycolytic):** využívají jako zdroj ATP především anaerobní glykolýzu, disponují velkým množstvím glykogenu, který je využíván v glykolýze k rychlé tvorbě ATP pro vytvoření vysoké úrovně napětí. Protože nevyužívají primárně aerobní metabolismus,

nemají značný počet mitochondrií ani významné množství myoglobinu, a proto mají bílou barvu. FG vlákna slouží k produkci rychlých, silných kontrakcí, které umožňují rychlé a silné pohyby. Tato vlákna se ale rychle unaví, což umožňuje jejich krátkodobé využití (např. sprint).

(Máček, 2011; Scott, 2001)

Počet pomalých a rychlých vláken v těle se u různých jedinců značně liší a je dán genetickými předpoklady. Lidé, kteří jsou dobří ve vytrvalostních sportech, mají tendenci mít vyšší počet pomalých svalových vláken, zatímco lidé, kteří jsou lepší ve sprintu, mají vyšší počet rychlých svalových vláken. Trénink může ovlivnit jak pomalá, tak rychlá vlákna. Úroveň zlepšení se liší v závislosti na jednotlivci a tréninkem nikdy nelze dosáhnout toho, aby pomalá vlákna byla stejně výkonná jako rychlá, ani toho, aby rychlá vlákna byla stejně odolná vůči únavě jako vlákna pomalá. (Scott, 2001)

### **2.3.2. Motorická jednotka**

Motorická jednotka (MJ) je základní funkční jednotka svalové kontrakce a zahrnuje motorické nervové vlákno a svalová vlákna. MJ se skládá z motorického neuronu, tzv. motoneuronu (MN), a skupiny svalových vláken, která neuron inervuje. Počet svalových vláken v rámci MJ je různý a závisí na schopnosti svalu vykonávat přesný a jemný pohyb. Přesnost je nepřímo úměrná velikosti MJ; malé motorické jednotky tedy mohou vykonávat větší přesnost pohybu ve srovnání s většími motorickými jednotkami. V průměru vychází na jednu MJ přibližně 150 svalových vláken, například stehenní svaly, zodpovědné za velké silné pohyby, mohou mít v každé jednotce 1000 vláken, zatímco oční svaly, vyžadující malé přesné pohyby, mohou mít jednotek jen pár. (Máček, 2011; Pastucha, 2014)

Fyziologické dělení motorických jednotek vychází z metabolické aktivity svalových bérů obsažených v jednotlivých MJ. U většiny kosterních svalů se MJ rozděluje na základě kontrakce, rychlosti záškubu a unavitelnosti (charakterově se shodují s popsányými typy svalových vláken):

- MJ typu S (slow) – pomalu se stahující, odolné vůči únavě, s nízkou silovou kapacitou, tvořené malými MN a malým počtem svalových vláken;
- MJ typu FR (fast resistance) – rychle se stahující, odolné vůči únavě, se střední silovou kapacitou, schopnost vytvářet konstantní napětí;
- MJ typu FF (fast fatigable) – rychle se kontrahující, únavné, s vysokou silovou kapacitou a s nejvyšší rychlostí vedení.

(Mrowczynski, 2014; Pastucha, 2014)

### **2.3.2.1. Fyziologická adaptace na vytrvalostní a silový trénink**

Fyzický trénink vyvolává změny na ultrastrukturální i funkční úrovni nervosvalového systému a vede ke změnám ve fyziologii MJ. Studie naznačují, že alterace v nervosvalovém systému závisí na typu tréninku a že rozsah tréninkových účinků závisí na frekvenci, intenzitě a délce tréninku. Je dobře známo, že funkční vlastnosti MN, fenotyp a kontraktilní vlastnosti svalových vláken obsažených v MJ a jejich distribuce ve svalu, závisí na svalové funkci a vzorci aktivity. V reakci na různé formy fyzické zátěže lze ve vlastnostech MJ pozorovat různé morfologické, biochemické a fyziologické změny, tzn. že MJ lze vytrénovat.

(Mrowczynski, 2014; Duchateau, 2006)

Vytrvalostní a silový trénink jsou dvě formy fyzické aktivity, které vedou k rozdílným modifikacím fyziologických vlastností MJ. Vytrvalostní trénink zlepšuje schopnost svalu udržet kontrakční aktivitu po dlouhou dobu, zatímco silový trénink zlepšuje svalovou sílu a výkon. Obecně platí, že oba typy tréninku jsou zodpovědné za zlepšení schopnosti vykonávat fyzickou zátěž a výrazně zlepšují kardiorespirační a svalovou zdatnost. Vytrvalostní a silový trénink však vedou k odlišným adaptačním změnám ve fyziologických vlastnostech MJ, tj. v základních funkčních jednotkách nervosvalového systému. (Duchateau, 2006)



## 2.4. Obrat bílkovin

Ve všech buňkách dochází k neustálé syntéze a degradaci proteinů za účelem udržení proteinové homeostázy a změny úrovně genové exprese v reakci na podněty. Procesy syntézy a degradace proteinů se souhrnně označují jako obrat bílkovin. Svalová kontrakce během cvičení, ať už odporové nebo vytrvalostní povahy, má zásadní vliv na obrat svalových bílkovin, který může přetrvávat až 72 hodin. V ustáleném stavu je obrat proteinů konstantní (celková rychlost syntézy bílkovin = rychlosti jejich odbourávání), ale v dynamických reakcích proteiny mění rychlost syntézy a degradace, aby se přizpůsobily proteomům na vnitřní nebo vnější podněty. Obrat bílkovin je regulován několika kontrolovanými procesy, které pomáhají usnadnit homeostázu neboli proteostázu. (Ross, 2020)

Syntézu myofibrilárních proteinů řídí dvě hlavní signální dráhy:

1. dráha inzulínu IGF-1-Akt-*mammalian target of rapamycin* (mTOR), která působí jako pozitivní regulátor;
2. dráha myostatínu působícího jako negativní regulátor, aby se zabránilo deregulaci procesů.

Syntéza svalových bílkovin (MPS) je regulována IGF-1 a kaskádou intracelulárních efektorů, které zprostředkovávají svalovou hypertrofii. Mezi četnými účinky vyvolanými cvičením je kromě nervové stimulace na membráně kosterního svalu, která vyvolává uvolňování vápníku ze sarkoplazmatického retikula, známa i dráha Akt-mTOR, kterou můžeme definovat jako serin/treoninová proteinkináza, která je ústředním regulátorem buněčného metabolismu, růstu a nejdůležitějším buněčným signalizačním komplexem pro nárůst svalové hmoty. Většina těchto efektorů je pozitivně řízena fosforylačními mechanismy vedoucími k hypertrofii svalových vláken a biogenezi mitochondrií (včetně některých regulačních enzymů). (Poortmans, 2016; Roubík, 2018)

Klasickým způsobem měření obratu bílkovin je sledování dusíkové bilance. Jak jsem již popsala výše, *pozitivní dusíková bilance* signalizuje nárůst bílkovin, zatímco *negativní* ukazuje ztráty bílkovin.

## 2.5. Inkorporace bílkovin do svalu

Syntéza svalových bílkovin je metabolický proces, který popisuje zabudování AMK do vázaných bílkovin kosterního svalu. Svalové bílkoviny lze rozdělit na kontraktilní myofibrilární bílkoviny a mitochondriální bílkoviny produkující energii. Syntéza myofibrilárních proteinů je primárně zodpovědná za změny v hmotnosti kosterního svalstva po odporovém tréninku, zatímco mitochondriální proteiny jsou syntetizovány především v reakci na trénink vytrvalostního typu. Měření MPS se nejčastěji vyjadřuje jako „*rychlost inkorporace AMK do vázaných svalových bílkovin za určitý časový úsek, obvykle za jednu hodinu nebo jeden den*“.  
(Witard, 2022, s.49)

K měření akutní reakce MPS na cvičení a výživu bylo použito několik metod. Nejběžnějším přístupem je metoda prekurzor-produkt, která umožňuje stanovit míru frakční syntézy svalových bílkovin (FSR). V praxi tato metoda využívá stabilními izotopy značené aminokyseliny (tj.  $^{13}\text{C}_6$  fenylalanin,  $1\text{-}^{13}\text{C}$  leucin). Izotopy jsou obvykle podávány intravenózní infuzí v kontrolovaných laboratorních podmínkách, k přímému sledování inkorporace volných aminokyselin do nově syntetizovaných vázaných svalových bílkovin, většinou v akutním časovém období 3-12 h po jednom cvičebním a/nebo výživovém stimulu.  
(Witard, 2022; Pasiakos, 2012)

## 2.6. Dávkování a načasování příjmu bílkovin

Potřeba bílkovin ať už u obecné populace či u sportovců, byla vždy předmětem rozsáhlých studií. Současná doporučená denní dávka, dle WHO, je 0,8 g/kg/den pro dospělé s nízkou fyzickou aktivitou (např. při sedavém zaměstnání). Potřeba bílkovin samozřejmě roste, a to v období růstu/dospívání, v těhotenství či v době rekonvalescence (např. po nemoci, zranění). V těchto případech se může denní dávka vyšplhat až na 1,5 g/kg/den. U silových sportů, kde k poškozování svalových vláken dochází téměř při každém tréninku (na rozdíl od vytrvalostních disciplín), se můžeme setkat s příjmem bílkovin až na 2 g/kg/den. Pro samotné stanovení doporučené denní dávky je důležité vycházet z tzv. *aktivní tělesné hmotnosti*. Proto

hlavně u obézních jedinců či začínajících sportovců je důležité toto zohlednit a bílkoviny stanovovat na základě aktivní tělesné hmotnosti, nikoliv aktuální. (Naderi, 2016; Roubík, 2018)

Pro sportovce obecně platí přijímat vyšší množství bílkovin, tj. doporučená denní dávka v rozmezí 1,0-2,0 g/kg/den. Jak jsem již zmiňovala, u silových sportů je prioritou vybudovat svalovou hmotu, proto je příjem bílkovin až dvojnásobně vyšší než u běžné populace. Průměrný příjem bílkovin u vytrvalostních sportů se u mužů pohybuje kolem 90-150 g/den, tj. 1,2-2,0 g/den/kg, u žen je to méně, přibližně 1,1-1,7 g/kg/den, což znamená příjem bílkovin kolem 60-90 g/den. (Maughan, 2002)

Jednou z hlavních otázek z hlediska bílkovin ve sportovní výživě je ideální načasování jejich příjmu. Přísun proteinů by měl být takový, aby jejich absorpce ve formě AMK byla co nejefektivnější a syntéza nových bílkovin byla co nejvyšší. Typ bílkovin a následně stravitelnost, množství a druh AMK mohou ovlivnit syntézu bílkovin. Základním východiskem pro správné načasování je aktivace kaskádovitých fosforylačních procesů, které řídí protein *mammalian target of rapamycin* (mTOR). K aktivaci mTORu dochází buď silovým tréninkem, růstovými faktory (např. IGF, EGF či somatotropin) nebo větvenými AMK (tzv. BCAA), a to především *leucinem*. Abychom maximalizovali proteosyntézu, měli bychom preferovat takové zdroje bílkovin, které obsahují ideálně 10 g esenciálních AMK, jsou zdrojem leucinu a mají potenciál k tvorbě svalových bílkovin. (Roubík, 2018)

Proteinové doplňky jsou sportovcům doporučovány ke zvýšení retence dusíku a zvýšení svalové hmoty, k prevenci katabolismu bílkovin během dlouhodobého cvičení, k podpoře resyntézy svalového glykogenu po cvičení a k prevenci sportovní anémie tím, že podporují zvýšenou syntézu hemoglobinu, myoglobinu, oxidačních enzymů a mitochondrií během aerobního tréninku. Zda sportovci potřebují více bílkovin, je však v současné době stále sporné.

### **2.6.1. Anabolické okno**

Převážně u silových sportů se můžeme setkat s pojem „*anabolické okno*“ (či proteinové nebo metabolické). Tento termín označuje krátkou dobu po tréninku, kdy se svaly opravují a zotavují. Údajně je tato anabolická reakce časově omezená, trvá přibližně 30 minut. Okamžitá konzumace bílkovin a sacharidů je prý rozhodující pro: zvýšení syntézy bílkovin, snížení odbourávání svalových bílkovin a doplnění svalového glykogenu. (Schoenfeld, 2017)

Odbourávání svalových bílkovin (MPD) se zvyšuje v reakci na silový trénink. Syntéza svalových bílkovin (MPS) se také zvyšuje, ale ve větší míře. Rovnováha mezi MPD a MPS určuje svalový růst. Tato rovnováha se nazývá čistá bilance svalových bílkovin. Příjem bílkovin omezuje MPD a podporuje MPS, ale tento efekt je krátkodobý. (Kumar, 2009)

Po cvičení by se mohlo zdát logické okamžitě sníst bílkoviny a sacharidy, aby se potlačila MPD. Předpokládá se také, že se tím zvýší svalová hmota zvýšením čisté bilance bílkovin, ale tak jednoduché to není, protože změny velikosti svalů závisí na myofibrilárních bílkovinách. Aby se zvýšila svalová hmota, muselo by se potlačení MPD zaměřit výhradně na tyto bílkoviny. Navíc kromě výživy existuje mnoho faktorů, které ovlivňují regeneraci a růst, včetně věku, hormonů a tréninkové rutiny. (Schoenfeld, 2017)

Nicméně tento pojem není stále vědecky potvrzený, naopak je kritizován a řada studií má rozporuplné výsledky.

### **2.7. Aminokyseliny a vytrvalostní výkon**

Aminokyseliny podle teorie zvyšují výkonnost různými způsoby, například zvyšují sekreci anabolických hormonů, upravují spotřebu paliva během cvičení, zabraňují nepříznivým účinkům přetrénování a zabraňují psychické únavě. Bílkoviny ve stravě se skládají z 20 různých AMK, které, pokud jsou přijímány jednotlivě, mají ergogenní potenciál. AMK přípravky patří tak mezi nejoblíbenější sportovní doplňky pro fyzicky aktivní jedince. U silových sportovců se navrhuje, aby

suplementace AMK zvýšila dostupnost esenciálních aminokyselin, posílila anabolické procesy podporující akumulaci tkání a urychlila rychlost regenerace během tréninku. U vytrvalostních sportovců byla suplementace AMK navržena ke zlepšení fyziologických a psychologických reakcí během vytrvalostního cvičení a tréninku. Pro vytrvalostní sportovce jsou zajímavé zejména AMK: *glutamin*, *tryptofan*, *valin*, *leucin* a *isoleucin*. Ale existuje stále málo vědeckých důkazů na podporu hypotézy, že suplementace aminokyselinami může zlepšit fyziologické reakce. (Williams, 2005)

### 2.7.1. Glutamin

Glutamin je důležitým palivem pro některé buňky imunitního systému, jako jsou lymfocyty a makrofágy, jejichž množství může být sníženo při dlouhodobém intenzivním cvičení (např. v souvislosti s přetrénováním). Plní řadu dalších biologických funkcí, jako je proliferace buněk, produkce energie, glykogeneze, pufrování amoniaku či udržování acidobazické rovnováhy. Glutamin může také podporovat syntézu svalového glykogenu a je stále zkoumán pro potenciální zvýšení svalové síly. Několik nedávných studií ale naznačuje, že krátkodobá ani dlouhodobá suplementace glutaminem nemá ergogenní účinek na svalovou hmotu nebo silový výkon. (Ahmadi, 2018)

Poškození svalů a oxidační stres jsou dalšími příčinami únavy, které by glutamin mohl minimalizovat. Některé studie ukazují, že suplementace glutaminem snížila plazmatické koncentrace kreatinkinázy (CK) a laktátdehydrogenázy (LDH) - ukazatelů svalového poškození. Tento ochranný účinek glutaminu lze vysvětlit několika mechanismy: tato AMK se vstřebává prostřednictvím transportu závislého na sodíku, zvyšuje intracelulární koncentraci sodíkových iontů a podporuje retenci vody, což zvyšuje hydrataci buněk a jejich odolnost vůči poškození. (Coqueiro, 2019)

### 2.7.2. Tryptofan

Tryptofan se podílí (podobně jako další AMK) na stavbě a opravě svalových tkání a je prekurzorem serotoninu, mozkového neurotransmiteru, který potlačuje bolest. Volný tryptofan vstupuje do mozkových buněk a vytváří serotonin, který je zodpovědný za tzv. centrální formu únavy. Proto se suplementace tryptofanem používá ke zvýšení produkce serotoninu při pokusech o zvýšení tolerance bolesti během intenzivního cvičení. (Novotný, 2021)

### 2.7.3. BCAA

BCAA (Branched chain amino acids) – aminokyseliny s rozvětveným řetězcem patří mezi nejznámější a nejoblíbenější doplňkem ve sportovní výživě. Konkrétně se jedná o *valin*, *leucin* a *isoleucin*. Největší význam má *leucin*, jak jsem již zmiňovala výše, a to díky své schopnosti aktivovat mTOR proteinkinázu a stimulovat tak proteosyntézu. Konzumace maximální dávky esenciálních AMK, která je obohacena o *leucin*, za podmínek zvýšené metabolické potřeby (např. při ustáleném cvičení), může šetřit endogenní bílkoviny a zvyšovat MPS při zotavení. (Pasiakos, 2012)

BCAA jsou mezi sportovci populární a nejčastěji jsou suplementovány jak kvůli stimulaci proteosyntézy, tak i z důvodu ochrany svalů, zmírnění únavy nebo za účelem lepšího výkonu. Ale opravdu to tak je? Může suplementace BCAA podpořit syntézu svalových bílkovin?

#### 2.7.3.1. Teorie centrální únavy a vytrvalostní sportovci

Teorie centrální únavy předpokládá, že dlouhodobé cvičení snižuje koncentraci BCAA v plazmě prostřednictvím oxidace AMK a zvyšuje plazmatickou koncentraci volných mastných kyselin (FFA). Zvýšené množství FFA soutěží právě s *tryptofanem* o vazebná místa na albuminu, který je pro oba transportním proteinem. Tento kaskádový efekt nakonec vede ke zvýšení hladiny volného *tryptofanu* v mozku, kde se tryptofan přeměňuje na neurotransmiter serotonin.

Serotonin může mít sedativní účinek na centrální nervový systém a zhoršovat sportovní výkon. (Seeborah, 2009)

Během dlouhodobého vyčerpávajícího cvičení se předpokládá, že k nerovnováze mezi BCAA a *tryptofanem* přispívají dva mechanismy:

1. V posledních fázích dlouhodobého cvičení stimuluje nízká hladina cukru v krvi glukoneogenezi, což je syntéza nové glukózy z nesacharidových zdrojů nebo AMK. Zejména BCAA jsou odbourávány, aby mohly být využity jako zdroj paliva. Když k tomu dojde, poměr BCAA/tryptofan se sníží a zůstane relativně vysoká hladina tryptofanu, který se dostane do krevní mozkové bariéry a přemění se na serotonin.
2. FFA se také odbourávají ve větším množství, protože během vytrvalostního cvičení dochází k vyčerpání glykogenu. Volné mastné kyseliny jsou rozpustné ve vodě, a proto se vážou na albumin a transportují se v krvi. Tryptofan se ale také váže s albuminem. Protože mezi tryptofanem a FFA existuje konkurence o vazebná místa pro albumin, přebytečný volný tryptofan překračuje hematoencefalickou bariéru a přeměňuje se na serotonin.

(Newsholme, 2006; Seeborah, 2009)

Výzkumné studie o vlivu BCAA na MPS nejsou koherentní. Jsou ovlivněny mnoha faktory, jako je věk, zdroj přísunu AMK/proteinů, způsoby suplementace a doba zpracování.

### **3. CÍL PRÁCE**

Cílem této rešerše bylo prozkoumat literaturu, která se zabývá zvoleným tématem, tuto literaturu popsat, analyzovat, interpretovat a dát do kontextu. Většina předchozích studií (Morton, 2018; Wirth, 2020; Haaf, 2018) byla provedena s cílem zjistit, zda suplementace bílkovin souvisí s nárůstem svalové hmoty, svalové síly či se zvýšením fyziologických determinantů vyvolané převážně odporovým tréninkem. Proto bylo provedeno toto systematické review, abychom zjistili, zda má suplementace vliv na vytrvalostní výkon z globálního hlediska. Na základě této rešerše a jejího zasazení do kontextu nejnovějších teoretických poznatků, jsou formulována doporučení pro praxi i další výzkum v této oblasti.

#### **3.1. Výzkumné otázky**

VO 1: Má suplementace proteinů vliv na vytrvalostní výkon?

VO 2: Ovlivňuje suplementace proteinů jednotlivé determinanty vytrvalostního výkonu?



## 4. METODY

### 4.1. Identifikace studií

K získání dat pro svou práci jsem využila systematické vyhledávání pomocí databáze PubMed. Na základě stanoveného cíle bylo pomocí klíčových slov (protein AND supplement\* AND endurance) identifikováno 869 prací. Následně byly vyřazeny práce, které nebyly označeny v databázi jako klinická studie („clinical trial“), což vedlo k výchozímu počtu 323 studií.

Pro určení významnosti jednotlivých studií byl sestrojen index významnosti (I), který představuje součin počtu probandů zařazených ve studii a délky trvání studie ve dnech ( $I = n \times doba$ , kde  $n$  = počet probandů ve studii a  $doba$  = počet dnů suplementace proteinů) Studie splňující kritéria pro zařazení jsem seřadila na základě vypočítaného indexu významnosti (I).

### 4.2. Kritéria pro zařazení prací

Zařazovací kritéria byla: 1) věk 18 – 60 let; zdraví sportovci (fyzicky aktivní, pravidelně sportující lidé); 2) studie se týká proteinů/aminokyselin; 3) sportovní aktivita trvající > 60 min.; 4) subjektům bylo v rámci studie změřeno  $VO_{2max}$ ; 5) suplementace ve formě proteinu (kasein, vaječná bílkovina, sójová bílkovina, apod...) či aminokyselin, případně kombinace těchto látek.

Níže umístěné schéma (obrázek 13) tento zařazovací proces znázorňuje.

### 4.3. Kritéria pro vyloučení prací

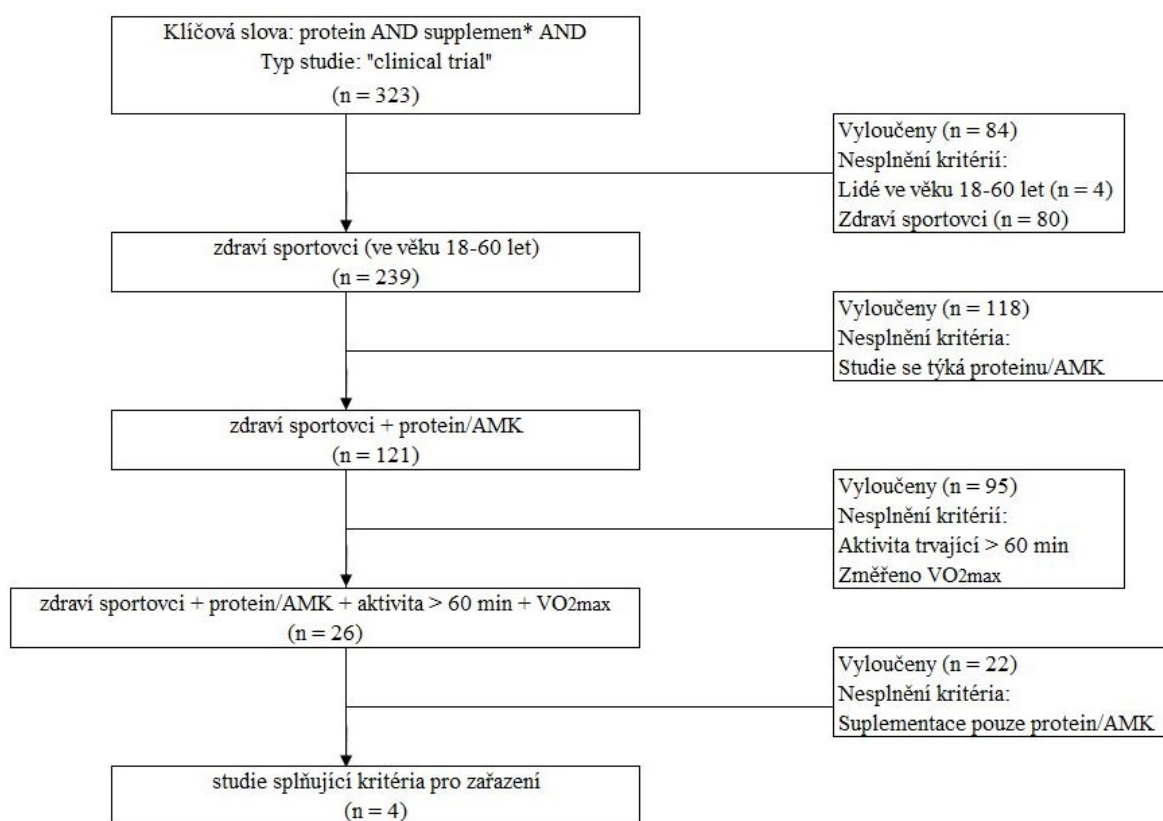
Práce, které nemohly být součástí mé rešerše byly vyloučeny na základě těchto kritérií: účastníci jsou starší 60 let; nesportovci; přítomnost onemocnění/úrazu nebo se sportovec nachází v období rekonvalescence; přítomnost alergie nebo intolerance; neznámé  $VO_{2max}$ ; suplementace jiných doplňků stravy.

#### 4.4. Statistické zpracování

Ke statistickému zpracování jsem použila nástroj MS Excel (Microsoft 365).

Všechna data jsou vyjádřena jako průměr  $\pm$  SD.

Obr. 13 Flow diagram znázorňující postup při zařazování prací



## 5. VÝSLEDKY

Všechna zvolená kritéria celkem splnily 4 studie,  $n = 4$ . Celkový počet zařazených subjektů byl 94, z toho 85,1 % mužů a 14,9 % žen. Subjekty charakterizují následující hodnoty (průměr  $\pm$  SD): věk byl  $24,7 \pm 3,2$ ; hodnota BMI byla  $22,99 \pm 0,6$ ; změřené  $VO_{2max}$  se pohybovalo kolem  $54,55 \text{ ml/kg/min} \pm 4,9$  a doba intervence byla od 10 do 84 dnů s průměrem 51 dní.

Žádná z uvedených studií neprokázala vliv na vytrvalostní výkon, jedna studie dokonce poukázala na pravděpodobné snížení vytrvalostního výkonu. Důležité je také upozornit, že tři studie s nejvyšším indexem významnosti, shodně nezjistily žádný efekt suplementace proteinů či aminokyselin na celkový podaný výkon. Zjištěn byl efekt u determinantů ( $VO_{2max}$ , svalovina, síla), které se díky suplementaci bílkovin zvýšily. U studie č. 4 (Schroer, 2014) byl výkon negativně ovlivněn kvůli gastrointestinálním potížím.

Klíčové aspekty designu a hlavní výsledky jednotlivých studií jsou uvedeny stručně níže (tabulka 1) a dále zde studie detailněji popisují.

### Studie č. 1

Knuiman a kolegové (Knuiman, 2019) zkoumali 44 fyzicky aktivních mužů ve věku 19 – 23 let, kteří pravidelně sportovali (1 – 4 h týdně) a jejich průměrné  $VO_{2max}$  bylo  $49,9 \text{ ml/kg/min}$ . Použili dvojitě zaslepenou randomizovanou kontrolovanou studii s opakovanými měřeními. Kaseinové suplementy byly podávány po každém tréninku a poté před spánkem, přičemž jako kontrola byly podávány buď bílkoviny nebo izokalorické množství sacharidů. Cílem této studie bylo zjistit vliv suplementace bílkovinami na změny  $VO_{2max}$  během dlouhodobého vytrvalostního tréninku. Subjekty absolvovaly progresivní vytrvalostní tréninkový plán se třemi tréninky týdně. Celkem subjekty provedly 28 vytrvalostních tréninků během 10 týdnů (v 6. a 12. týdnu byla provedena měření).

Tab. 1 Klíčové aspekty designu a hlavní výsledky

Významnost	Název	Autor + rok publikace	Subjekt	Délka intervence	Suplementace (g)	Kontrolní skupina/ placebo	Parametr	Změna (%)	Statistická významnost
1	Protein supplementation elicits greater gains in maximal oxygen uptake capacity and stimulates lean mass accretion during prolonged endurance training	Knuiman P. et. al (2019)	fyzicky aktivní (44 mužů)	12 týdnů	kaseinový protein (29 g)	+	výkon (cyklo časovka, W/kg)	11 %	Ne
2	Continuous Protein Supplementation Reduces Acute Exercise-Induced Stress Markers in Athletes Performing Marathon	Röhling M. et. al. (2021)	třénovaní běžci (20 mužů, 10 žen)	12 týdnů	sójový bílkovinný izolát + koenzym Q, karnitin, palatinóza, k. $\alpha$ -lipoová (50 g)	+	rychlost (běh, km/h)	3 %	Ne
3	Effect of High-Fat, High-Carbohydrate, and High-Protein Meals on Metabolism and Performance During Endurance Cycling	Rowlands D. S. et. al. (2002)	třénovaní cyklisté a triatlonisté (12 mužů)	4 týdny	sójový bílkovinný izolát (28 g)	-	výkon (cyklo časovka na 50 km)	NA	Ne
4	Cycling Time Trial Performance May Be Impaired by Whey Protein and L-Alanine Intake During Prolonged Exercise	Schroer A. B. et. al. (2014)	třénovaní cyklisté (4 muži, 4 ženy)	5-14 dni	syrovátkový bílkovinný hydrolyzát (45 g) + L-alanin (15 g)	+	výkon (průměrný čas na 30 km)	-2,5 %	Ano

Přidáním proteinové suplementace vyvolalo větší nárůst  $VO_{2max}$ , stimulovalo nárůst svalové hmoty a zároveň podpořilo úbytek hmoty tukové. Suplementace však nezlepšila oxidační kapacitu kosterního svalstva a výkonnost v časovce. Studie je nakonec označena jako nedostatečně silná či příliš krátká na to, aby odhalila potenciální rozdíly ve vytrvalostní výkonnosti v důsledku suplementace bílkovinami. Za zavádějící faktor lze považovat konzumaci 2 plátků perníku (2 x 28 g sacharidů) bezprostředně po každém tréninku.

## Studie č. 2

Autoři studie, Röhling, McCarthy a Berg (Röhling, 2021), zjišťovali změny ve vytrvalostním výkonu a v hodnotách stresových ukazatelů vyvolané vytrvalostní zátěží (maratonský závod) při kombinované strategii tréninků a suplementaci bílkovinného doplňku. Studie byla randomizovaná kontrolovaná a absolvovalo jí 30 vytrvalostně trénovaných subjektů (2 skupiny; v každé bylo 10 mužů a 5 žen). Věkové rozmezí bylo 18 – 60 let,  $VO_{2max}$  bylo mezi 45 – 60 ml/kg/min. Tříměsíční studie byla koncipovaná jako tréninková příprava na maratónský závod, kterým byla samotná intervence zakončena. Účastníci pili sójový proteinový nápoj dvakrát denně; ráno před snídaní a pak odpoledne či večer.

Suplementace bílkovin byla přínosná ve vztahu k syntéze bílkovin, snížení svalového poškození a lepšímu zotavení svalových funkcí. Suplementace ale neovlivnila ani tréninkem navozené zlepšení výkonnostních ukazatelů měřených po intervenci, ani čas maratónského běhu mezi testovanými skupinami. Zavádějícím faktorem byla adaptace subjektů na pravidelně prováděný vytrvalostní trénink před studií, neboť všichni účastníci byli profesionální běžci. Dalším faktorem byly i ergogenní látky obohacující proteinový nápoj – karnitin, koenzym Q a kyselina  $\alpha$  – lipoová.

Studie nedosáhla statické významnosti, protože nebyla provedena pomocí placebem kontrolovaného designu a také kvůli malému vzorku testovaných osob.

### Studie č. 3

Ve dvojitě zaslepené randomizované zkřížené studii Rowlandse a Hopkinse (Rowlands, 2002) byl zkoumán vliv složení jídla na metabolismus a výkonnost při cyklistice. Dvanáct závodních cyklistů a triatlonistů (průměrný věk 27 let, průměrné  $VO_{2max} = 64 \text{ ml/kg/min}$ ) přijímalo 90 minut před zátěžovým testem jídlo s vysokým obsahem sacharidů, tuků nebo bílkovin. Jednalo se o směsi čokoládovo-kokosových krémů s nerozlišitelnou chutí a konzistencí a jako zdroj bílkovin byl zvolen sójový bílkovinný izolát.

Průměrné časy zkrátilo jídlo s vysokým obsahem tuků, ve srovnání s jídly s vysokým obsahem sacharidů a bílkovin, o 0,8 až 2,8 %. Při měření u časového testu na 50 km byla chyba 3,7 %, což je jedním z faktorů nízké spolehlivosti této studie. Časové zkoušce totiž předcházela předzátěž o přibližně stejném objemu práce, proto je možné, že předběžná zátěž mohla zvýšit chybu v časové zkoušce přibližně dvojnásobně. Navzdory podstatnému vlivu na plazmatické koncentrace hormonů, nemělo žádné z jídel jasný vliv na výkonnost.

### Studie č. 4

Schroer (Schroer, 2014) a jeho kolegové posuzovali ve své dvojitě zaslepené studii vliv suplementace hydrolyzátu syrovátky proteinů a L – alaninu na výkon a různé fyziologické parametry. Odkazují se na předchozí studie, kde se přidáním bílkovin k roztoku sacharidů zvyšuje vytrvalostní výkon a je tak možné, že ergogenní účinek způsobují právě přidané bílkoviny/aminokyseliny, ale to nebylo prozkoumáno. Této studii se zúčastnilo 8 trénovaných cyklistů; 4 muži v průměrném věku 25 let a 4 ženy ve věku 20 – 21 let. Průměrné  $VO_{2max}$  skupiny bylo  $> 50 \text{ ml/kg/min}$ . Subjekty absolvovaly 120 min jízdy na kole při konstantní zátěži a časovku na 30 km (s odstupem 5 – 14 dnů). Před každým výkonem dostali účastníci buď 250 ml proteinového/L-alaninového roztoku nebo placebo (nekalorické uměle slazené). Poté účastníci dostávali 250 ml každých 15 min během výkonu. Oba roztoky dále obsahovaly 470 mg/l chloridu sodného, 200 mg/l chloridu draselného a 4,1 g/l vanilkového aroma.

Příjem proteinového i L-alaninového nápoje pravděpodobně zhoršil čas výkonu v časovce na 30 km přibližně o -2,1 – 2,7 % ve srovnání s placebem. Zajímavé bylo, že suplementace L-alaninu snížila srdeční frekvenci ve srovnání s placebem během cvičení při konstantní zátěži, ale ve výsledku neovlivnila percepční zátěž ani výkon v časovce. Dalším pozoruhodným zjištěním bylo, že protein tlumil reakci IL-6 na cvičení ve srovnání s placebem, ale bohužel ani v tomto případě se tento účinek nepromítl do zlepšení výkonu. Zavádějícím faktorem mohly být gastrointestinální potíže (u 3 z 8 subjektů), které mohly maskovat jinak příznivý účinek na výkon (v časovce). Tyto 3 subjekty totiž podaly při suplementaci proteinů o 4,2 % pomalejší výkon než v testu s L-alaninem, zatímco zbývajících 5 subjektů podalo výkon jen o 1 % pomalejší.

Studie ukazuje, že podáním 45 g proteinu nebo 15 g L-alaninu nezlepšuje vytrvalostní cyklistický výkon a může ho pravděpodobně i zhoršit. Kromě toho možný škodlivý vliv proteinů ve srovnání s placebem naznačuje, že ergogenní účinky v kombinaci protein + sacharidy, nejsou výsledkem dodaných proteinů.

### **Zodpovězení stanovených výzkumných otázek:**

#### **VO 1: Má suplementace proteinů vliv na vytrvalostní výkon?**

Ne (viz data výše). Na základě této lze konstatovat, že suplementace proteinů u elitních sportovců nemá na vytrvalostní výkon, z globálního hlediska, významný účinek. Žádná z analyzovaných studií nedošla k pozitivnímu výsledku, tj. suplementace proteinů zvyšuje vytrvalostní výkon.

#### **VO 2: Ovlivňuje suplementace proteinů jednotlivé determinanty vytrvalostního výkonu?**

Ano. Suplementace proteinů, jak jsem již ve své práci zmiňovala, vede ke zvýšení retence dusíku a zvýšení svalové hmoty, k prevenci katabolismu bílkovin během dlouhodobého cvičení či k podpoře resyntézy svalového glykogenu. Jak ukázala první studie (Knuijan, 2019), výkonnostní determinanty se zlepšily, ale samotná výkonnost už ne.

## 6. DISKUZE

Tato rešerše analyzuje klinické kontrolované studie v oblasti vytrvalostního výkonu a jeho ovlivnění suplementací bílkovinových doplňků. Cíleně jsem si vybrala populaci v širokém věkovém rozmezí (18 – 60 let), protože vytrvalostní výkonnost se udržuje přibližně do 35 let, poté následuje mírný pokles do 60 let a následně dochází k progresivnímu poklesu výkonnosti, přičemž k největšímu poklesu dochází po 70. roce života (Tanaka, 2003; Hawkins, 2001).

Výsledky studií mě překvapily, očekávala jsem zlepšení výkonnosti, ale bylo tomu spíše naopak. Celkem jsem analyzovala 4 práce, z toho 2 studie zjistily, že suplementace proteinů na vytrvalostní výkon nemá vliv (bez efektu), jedna práce nemá jednoznačný výsledek a studie č. 4 (Schroer, 2014) dokonce poukazuje na zhoršení vytrvalostního výkonu. Vzhledem k vysoké variabilitě jednotlivých prací ale není možné vyvodit zcela jednoznačné závěry. Výsledky potvrzují slova autorů Knuiiman a kol. (Knuiiman, 2018), kteří říkají, že v současné době existuje jen málo důkazů o zlepšení vytrvalostního výkonu při příjmu bílkovin před/po nebo během vytrvalostního výkonu a výsledky studií zdůrazňují spíše význam exogenních bílkovin pro remodelaci/opravu poškozených bílkovin způsobenou cvičením.

V první studii (Knuiiman, 2019) je pozoruhodné, že suplementace bílkovin vyvolala větší nárůst  $VO_{2max}$  a stimulovala nárůst svalové hmoty, ale nezlepšila se oxidační kapacita kosterního svalstva ani samotná výkonnost. Je pravděpodobné, že větší nárůst  $VO_{2max}$  může souviset se změnami oxidační kapacity kosterního svalstva, jako je hustota či funkce mitochondriálních bílkovin či nárůst svalové hmoty. Proč ale nevzrostla i samotná výkonnost, když determinanty výkonnosti ano? Ani v druhé studii (Röhling, 2021) suplementace nezlepšila vytrvalostní výkon, a dokonce ani výkonnostní ukazatele. Je možné, že díky hypertrofii svalstva a následnému nárůstu hmotnosti, tak lepší vytrvalostní výkon podat nelze. Účinek proteinové suplementace může totiž ovlivnit řada faktorů; trénovanost, typ cvičení, velikost dávky, tělesná kompozice atd. Proto je pravděpodobné, že pokud by účastníci nebyli sportovci a neměli už před studií vytvořený vyšší podíl svalové hmoty, výkonnost by mohla vzrůst, případně urychlit nárůst aerobního výkonu, tak



jak to ukazuje systematická review (Pasiakos, 2015), zajímaví se účinky proteinových doplňků na svalovou hmotu, sílu a aerobní a anaerobní výkon.

K podobným výsledkům došli i ve čtvrté studii (Schroer, 2014), kde příjem syrovátkového hydrolyzátu a L-alaninu dokonce zhoršil vytrvalostní cyklistický výkon. V této studii se odkazují, že k možnému zhoršení výkonu, mohly přispět gastrointestinální potíže, které se projevíly u 38 % účastníků. Proto je velmi pravděpodobné, že zbylí účastníci, u kterých se zažívací potíže neobjevily, regulovalo intenzitu zátěže, tak, aby se potížím vyhnuli. Taková teorie mi přijde reálná, protože účastníci studie dostávali proteinové či L-alaninové roztoky před zátěží a poté během zátěže a to každých 15 minut, což znamená, že na 30 km časovce, dostali nápoj nejméně třikrát. Žádná z ostatních analyzovaných studií totiž suplementy při zátěži nepodávala, podávala je buď před nebo bezprostředně po výkonu. Proto je možné, že kdyby v této studii (Schroer, 2014) dávali subjektům suplementy až po výkonu, výsledky by se obrátily nebo by se zlepšily výkonnostní determinanty tak jako u první studie (Knuiman, 2019).

U třetí studie (Rowlands, 2002) neobsahovala čokoládovo-kokosová směs pouze bílkoviny (83 g), ale i 122 g sacharidů a 36 g tuku. Takové složení jídla není nikterak výjimečné, protože podobných hodnot lze docílit například u 250 g kuřecího prsa s kůží orestovaného na lžici oleje s pár kopečky rýže. Možná proto nebyl zjištěn žádný významný vliv na výkonnost.

Limitujícími faktory předložené práce jsou: 1) práce byla zaměřena na identifikaci studií provedených u elitních sportovců, což znamená, že u netrénovaných jedinců bychom změny ve výkonu pozorovat mohli; 2) zařazené studie neměly identické načasování suplementace (před tréninkem, po tréninkem, během zátěže) ani stejné zatížení v jednotlivých trénincích (běžecký maraton, cyklistická časovka); 3) subjektům byly podávány různé formy proteinových suplementů obohacené například o L – alanin, koenzym Q či karnitin, které mohly výkon ovlivnit.

## 7. ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce je systematickým review zabývajícím se vlivem suplementace proteinů/AMK, případě kombinací těchto látek, na vytrvalostní výkon u aktivních sportovců.

Z výsledků analyzovaných studií se ukázalo, že ohledně tohoto tématu je stále velmi málo důkazů o zlepšení vytrvalostního výkonu při příjmu bílkovin. Žádná ze 4 prací nedošla k jednoznačnému závěru, tj. přijímáním bílkovin se vytrvalostní výkon zvýší, přitom výkonnostní determinanty vzrostly, stejně jako svalová hmota.

Vzhledem k osobním zkušenostem v oblasti sportu vím, že v běžeckém lyžování i v cyklistice je suplementace proteinů i aminokyselin podporována (osobní zjištění). Já jsem zastávce názoru, že pokud člověku odměrka proteinu nebo tableta BCCA psychicky pomůže k lepšímu výkonu, tak proč ne. Tato literární rešerše ale potvrzuje, že stále není dostatek vědeckých důkazů o účinnosti proteinů na vytrvalostní výkon.

Do budoucna by bylo vhodné provést výzkum s vyšším počtem subjektů a s minimálními proměnnými (trénovanost, věk, pohlaví, druh sportovní aktivity, celkové stravování, načasování suplementace, lačnění v době fyzické aktivity). Ideálně, aby suplementace byla po tréninku, aby nedošlo k ovlivnění výkonu gastrointestinálními potížemi (Schroer, 2014) a mohli bychom tak získat i více informací o *anabolickém oknu*, u kterého není účinnost stále definitivně prokázána (Aragon, 2013). Dále by bylo vhodné, aby studii tvořila tréninkově podobná skupina (počet tréninkových hodin za měsíc, druh regenerace, počet silových tréninků) a docházelo tak k minimálním odlišnostem v podaném výsledném vytrvalostním výkonu. Intervenci by bylo ideální vést v době tréninkového cyklu a zakončit jí vytrvalostním závodem (cyklistický maraton, běh nad 10 km nebo běh na lyžích na 30 či 50 km).

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### Knihy:

1. BARRET, G. C. a D. T. ELMORE, 2004. *Amino acids and peptides*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 0-511-03952-2.
2. FALLOWFIELD, Joanne a David A. WILKINSON, 1999. *Improving Sports Performance in Middle and Long-Distance Running: A Scientific Approach to Race Preparation*. Chichester: John Wiley. ISBN 978-0-471-98437-5.
3. FOUROVÁ, Karolína, 2020. *Nejez blbě: jediná kniha o jídle, kterou potřebujete*. Praha: Esence. ISBN 978-80-242-7157-6.
4. KLOUDA, Pavel, 2013. *Základy biochemie*. 3. dopl. vyd. Ostrava: Pavko. ISBN 978-80-86369-16-7.
5. KONOPKA, Peter, 2004. *Sportovní výživa*. České Budějovice: Kopp. ISBN 978-80-7232-228-2.
6. LEHNER, Michal, 2014. *Kondiční trénink* [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci [cit. 2022-07-20]. ISBN 978-80-244-4369-0.  
Dostupné z: <https://publi.cz/books/149/Cover.html>
7. MÁČEK, Miloš a Jiří RADVANSKÝ, 2011. *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-695-3.
8. MATOUŠ, Bohuslav, 2010. *Základy lékařské chemie a biochemie*. Praha: Galén, 2010. ISBN 978-80-7262-702-8.
9. MAUGHAN, Ron J. a Louise BURKE, 2006. *Výživa ve sportu: příručka pro sportovní medicínu*. Praha: Galén. ISBN 80-7262-318-4.

10. MEISENBERG, Gerhards a William H. SIMMON, 2017. *Principles of Medical Biochemistry*. 4th ed. Philadelphia: Elsevier. ISBN 9780323296168.
11. PASTUCHA, Dalibor, 2014. *Tělovýchovné lékařství: Vybrané kapitoly*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4837-5.
12. ROSS, A. Catherine, 2013. *Modern Nutrition in Health and Disease*. 11th ed. Burlington: Jones & Bartlett Learning. ISBN 978-1605474618.
13. ROUBÍK, Lukáš, 2018. *Moderní výživa: Ve fitness a silových sportech*. Praha: Erasport. ISBN 978-80-905685-5-6.
14. SHEPHARD, Roy J. a Per-Olof ÅSTRAND, 1992. *Endurance in sport*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. ISBN 9780632053483.
15. VILIKUS, Zdeněk, 2020. *Výživa sportovců a sportovní výkon*. 3. přep. vyd. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-4455-4.
16. ZAHRADNÍK, David, 2012. *Základy sportovního tréninku* [online]. Brno: Masarykova univerzita [cit. 2022-05-20]. ISBN 978-80-210-5890-3.  
Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-5/08.html>

### **Internetové zdroje:**

17. BŘÍŽĎALA, Jan. *E-ChemBook.cz: Multimediální učebnice chemie: Bílkoviny* [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <http://e-chembook.eu/bilkoviny>
18. TEPLÁ, Milada, 2013. *StudiumBiochemie: Metabolismus bílkovin* [online]. Praha, 4.3.2022 [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: [http://www.studiumbiochemie.cz/metabolismus\\_bilkoviny.html](http://www.studiumbiochemie.cz/metabolismus_bilkoviny.html)

19. *Elektronická učebnice ELUC: Bílkoviny* [online]. [cit. 2022-04-17].  
Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/2503>
20. PASINI, E., 2018. Protein-Amino Acid Metabolism Disarrangements: The Hidden Enemy of Chronic Age-Related Conditions. *Nutrients* [online]. 22 Mar 2018, (4), 391 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z:  
doi:10.3390/nu10040391
21. HOFFMAN, Jay R. a Michael J. FALVO. Protein – Which is Best?. *Journal of Sports Science & Medicine* [online]. 1 Sep 2004, (3), 118-130 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3905294/>
22. GHOSH, Asok Kumar, 2004. Anaerobic Threshold: Its Concept and Role in Endurance Sport. *Malays J Med Sci.* [online]. Jan 2004, **11**(1), 24-36 [cit. 2022-06-01]. PMID: PMC3438148, PMID: 22977357. Dostupné z:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3438148/>
23. HOERTER, Jacob E. a Steven R. ELLIS. Biochemistry, Protein Synthesis. *StatPearls* [online]. 22 Jul 2021 [cit. 2022-06-07]. PMID: 31424745. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545161/>
24. DICKERSON, Roland N. Nitrogen Balance and Protein Requirements for Critically Ill Older Patients. *Nutrients* [online]. 7 Mar 2016, (4), 226 [cit. 2022-05-01]. PMID: 27096868. Dostupné z: doi:10.3390/nu8040226
25. GURINA, Tatyana S. a Shamim S. MOHIUDDIN. Biochemistry, Protein Catabolism. *StatPearls* [online]. 15 Dec 2021 [cit. 2022-05-17]. PMID: 32310507. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32310507/>
26. COOPER, Geoffrey M., 2000. Protein Degradation. COOPER, Geoffrey M. *The Cell: A Molecular Approach* [online]. 2nd ed. Sinauer Associates

[cit. 2022-05-17]. ISBN 10: 0-87893-106-6. Dostupné z:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK9957/>

27. BHUTIA, Yangzom D. a Vadivel GANAPATHY. Protein Digestion and Absorption. *Physiology of the Gastrointestinal Tract* [online]. Academic Press, 30 Mar 2018, **6**, 1063-1086 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z:  
doi:10.1016/B978-0-12-809954-4.00047-5
28. JOYNER, Michael J. a Edward COYLE. Endurance exercise performance: The physiology of champions. *The Journal of Physiology* [online]. February 2008, (586), 35-44 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z:  
doi:10.1113/jphysiol.2007.143834
29. GACESA, Jelena Z. Popadic, Nikola G. GRUJIC a Aleksandar V. KLASNJA, 2013. Changes in strength, endurance, and fatigue during a resistance-training program for the triceps brachii muscle. *J Athl Train* [online]. Nov-Dec 2013, **48**(6), 804-809 [cit. 2022-06-20]. PMCID: PMC3867092, PMID: 23914910. Dostupné z: doi:10.4085/1062-6050-48.4.16
30. NADERI, Alireza, Erick P. de OLIVEIRA, Tim N. ZIEGENFUSS a Mark E.T. WILLEMS, 2016. Timing, optimal dose and intake duration of dietary supplements with evidence-based use in sports nutrition. *J Exerc Nutrition Biochem.* [online]. 31 Dec 2016, **20**(4), 1-12 [cit. 2022-06-21]. PMCID: PMC5545206, PMID: 28150472. Dostupné z:  
doi:10.20463/jenb.2016.0031
31. ROSS, Alison Barbara, Julian David LANGER a Marko JOVANOVIC, 2020. Proteome Turnover in the Spotlight: Approaches, Applications, and Perspectives. *Papers in Press* [online]. Nov 30 2020, 1-18 [cit. 2022-06-25]. Dostupné z: doi:doi.org/10.1074/mcp.R120.002190

32. POORTMANS, Jacques R. a Alain CARPENTIER, 2016. Protein metabolism and physical training: any need for amino acid supplementation?. *Poortmans and Carpentier: Nutrre* [online]. 19 Dec 2016, 1-17 [cit. 2022-06-25]. Dostupné z: doi:10.1186/s41110-016-0022-x
33. WITARD, Oliver C., Laurent BANNOCK a Kevin D. TIPTON, 2022. Making Sense of Muscle Protein Synthesis: A Focus on Muscle Growth During Resistance Training: in International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* [online]. 25 Oct 2021, **32**(1), 49-61 [cit. 2022-06-25]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1123/ijsnem.2021-0139
34. WILLIAMS, Melvin. Dietary Supplements and Sports Performance: Amino Acids. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* [online]. 1 Dec 2005, **2**(63) [cit. 2022-07-01]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1186/1550-2783-2-2-63
35. NOVOTNÝ, Tomáš. Tryptofan může ovlivnit náladu, spánek i sportovní výkon.: Máte ho ve stravě dostatek? *Aktin* [online]. 26. 2. 2021 [cit. 2022-07-01]. Dostupné z: https://aktin.cz/tryptofan-muze-ovlivnit-naladu-spanek-i-sportovni-vykon-mate-ho-ve-strave-dostatek
36. PASIAKOS, Stefan M., 2012. Exercise and Amino Acid Anabolic Cell Signaling and the Regulation of Skeletal Muscle Mass. *Nutrients* [online]. Jul 10 2012, **4**(7), 740-758 [cit. 2022-07-02]. PMID: 22852061. Dostupné z: doi: 10.3390/nu4070740
37. NEWSHOLME, Eric A. a Eva BLOMSTRAND, 2006. Branched-Chain Amino Acids and Central Fatigue. *The Journal of Nutrition* [online]. 1 Jan 2006, **136**(1), 274S–276S [cit. 2022-07-02]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1093/jn/136.1.274S

38. AHMADI, Amirhossein Ramezani, Elham RAYYANI, Mehdi BAHREINI a Anahita MANSOORI. The effect of glutamine supplementation on athletic performance, body composition, and immune function: A systematic review and a meta-analysis of clinical trials. *Clin Nutr.* [online]. May 9 2018, **38**(3) [cit. 2022-07-02]. PMID: 29784526. Dostupné z: doi:DOI: 10.1016/j.clnu.2018.05.001
39. COQUEIRO, Audrey Yule, Marcelo Macedo ROGERO a Julio TIRAPEGUI. Glutamine as an Anti-Fatigue Amino Acid in Sports Nutrition. *Nutrients* [online]. 17 Apr 2019, **11**(4), 863 [cit. 2022-07-10]. PMCID: PMC6520936 PMID: 30999561. Dostupné z: doi:10.3390/nu11040863
40. SCOTT, Wayne, Jennifer STEVENS a Stuart A. BINDER–MACLEOD, 2001. Human Skeletal Muscle Fiber Type Classifications. *Physical Therapy* [online]. 1 Nov 2001, **81**(11), 1810–1816 [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1093/ptj/81.11.1810>
41. MROWCZYNSKI, Włodzimierz. Physiological adaptations of motor units to endurance and strength training. *TRENDS in Sport Sciences* [online]. Sep 2014, **3**(21), 129-134 [cit. 2022-07-23]. ISSN 2299-9590. ISSN 2299-9590. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/272094350\\_Physiological\\_adaptations\\_of\\_motor\\_units\\_to\\_endurance\\_and\\_strength\\_training](https://www.researchgate.net/publication/272094350_Physiological_adaptations_of_motor_units_to_endurance_and_strength_training)
42. DUCHATEAU, Jacques, John G. SEMMLER a Roger M. ENOKA, 2006. Training adaptations in the behavior of human motor units. *Journal of Applied Physiology* [online]. 1 Dec 2006, **101**(6), 1766-1775 [cit. 2022-07-24]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00543.2006>



43. SCHOENFELD, Brad Jon, Alan A. ARAGON, Colin WILBORN, Stacie L. URBINA, Sara E. HAYWARD a James KRIEGER, 2017. Pre- versus post-exercise protein intake has similar effects on muscular adaptations. *PeerJ* [online]. Jan 3 2017, **5** [cit. 2022-07-30]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.2825>
44. KUMAR, Vinod, Philip AHERTON, Kenneth SMITH a Michael J. RENNIE, 2006. Human muscle protein synthesis and breakdown during and after exercise. *Journal of Applied Physiology* [online]. 1 Jun 2009, **106**(6), 2026-2039 [cit. 2022-07-30]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91481.2008>
45. ARAGON, Alan Albert a Brad Jon SCHOENFELD, 2013. Nutrient timing revisited: is there a post-exercise anabolic window?. *J Int Soc Sports Nutr* [online]. 29 Jan 2013, **10**(5) [cit. 2022-07-30]. PMID: PMC3577439 PMID: 23360586. Dostupné z: doi:[doi:10.1186/1550-2783-10-5](https://doi.org/10.1186/1550-2783-10-5)
46. KNUIMAN, Pim, Maria T. E. HOPMAN, Conor VERBRUGGEN a Marco MENSINK, 2018. Protein and the Adaptive Response With Endurance Training: Wishful Thinking or a Competitive Edge?. *Front Physiol* [online]. May 23 2018, **9**(598) [cit. 2022-08-03]. PMID: PMC5974122 PMID: 29875696. Dostupné z: doi:[10.3389/fphys.2018.00598](https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00598)
47. PASIAKOS, Stefan M., Tom M. MCLELLAN a Harris R. LIEBERMAN, 2015. The effects of protein supplements on muscle mass, strength, and aerobic and anaerobic power in healthy adults: a systematic review. *Sports Med* [online]. 29 Aug 2014, **45**, 111-131 [cit. 2022-08-03]. Dostupné z: doi:[10.1007/s40279-014-0242-2](https://doi.org/10.1007/s40279-014-0242-2)

48. MORTON, Robert W. a kol., 2018. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br J Sports Med.* [online]. 11 Jul 2017, **52**(6), 376-384 [cit. 2022-08-06]. PMID: 28698222. Dostupné z: doi:doi:10.1136/bjsports-2017-097608
49. WIRTH, Janine, Elaine HILLESHEIM a Lorraine BRENNAN, 2020. The Role of Protein Intake and its Timing on Body Composition and Muscle Function in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *The Journal of Nutrition* [online]. 31 Mar 2020, **150**(6), 1143-1460 [cit. 2022-08-06]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1093/jn/nxaa049>
50. HAAF, Dominique S M ten, Malou A H NUIJTEN, Martijn F H MAESSEN, Astrid M H HORSTMAN, Maria T E HOPMAN a Thijs M H EIJSVOGELS, 2018. Effects of protein supplementation on lean body mass, muscle strength, and physical performance in nonfrail community-dwelling older adults: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 23 Nov 2018, **18**(5), 1043-1059 [cit. 2022-08-06]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy192>
51. HAWKINS, S. A., T. J. MARCEL, J. S. VICTORIA a R. A. WISWELL, 2001. A longitudinal assessment of change in  $\dot{V}O_2$ max and maximal heart rate in master athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* [online]. Oct 2001, **33**(10), 1744–1750 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: [https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2001/10000/A\\_longitudinal\\_assessment\\_of\\_change\\_in\\_V\\_O2max\\_and.20.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2001/10000/A_longitudinal_assessment_of_change_in_V_O2max_and.20.aspx)

52. TANAKA, Hirofumi a Douglas R. SEALS, 2003. Invited Review: Dynamic exercise performance in Masters athletes: insight into the effects of primary human aging on physiological functional capacity. *Journal of Applied Physiology* [online]. 01 Nov 2003, **95**(5), 2152-2162 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00320.2003>
53. RÖHLING, M., D. MCCARTHY a A. BERG, 2021. Continuous Protein Supplementation Reduces Acute Exercise-Induced Stress Markers in Athletes Performing Marathon. *Nutrients* [online]. Aug 2021, **13**(9), 2929 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/nu13092929>
54. SCHROER, A. B., M. J. SAUNDERS, D. A. BAUR, Ch. J. WOMACK a N. D. LUDEN, 2014. Cycling Time Trial Performance May Be Impaired by Whey Protein and L-Alanine Intake During Prolonged Exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* [online]. 2014, **24**(5), 507-515 [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: doi:<http://dx.doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0173>
55. HALL, Ulrika Andersson, Stefan PETTERSSON, Fredrik EDIN, Anders PEDERSEN, Daniel MALMODIN a Klavs MADSEN, 2017. Metabolism and Whole-Body Fat Oxidation Following Post-Exercise Carbohydrate or Protein Intake. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* [online]. **28**(1), 37-45 [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0129>
56. KNUIMAN, Pim, Luc J C van LOON, Jeroen WOUTERS, Maria HOPMAN a Marco MENSINK, 2019. Protein supplementation elicits greater gains in maximal oxygen uptake capacity and stimulates lean mass accretion during prolonged endurance training: a double-blind randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 26

Jun 2019, **110**(2), 508-518 [cit. 2022-08-09]. Dostupné z:  
doi:<https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz093>

57. ROWLANDS, David S. a Will G. HOPKINS, 2002. Effect of High-Fat, High-Carbohydrate, and High-Protein Meals on Metabolism and Performance during Endurance Cycling. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* [online]. 2002, **12**(3), 318-335 [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1123/ijsnem.12.3.318>

### **Obrázky:**

58. MAREK, Josef. Aminokyseliny, proteiny, enzymy. *DOCPLAYER* [online]. 2014 [cit. 2022-08-16]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12743219-Aminokyseliny-proteiny-enzymy.html>

59. HUBÁLKOVÁ, Pavla. *Forum magazín Univerzity Karlovy: Umělá inteligence AlphaFold způsobila v biologii revoluci* [online]. 16. 12. 2020 [cit. 2022-08-16]. Dostupné z: <https://www.ukforum.cz/rubriky/veda/7760-umela-inteligence-alphafold-zpusobila-revoluci-v-biologii>

60. Protein-Amino Acid Metabolism Disarrangements: The Hidden Enemy of Chronic Age-Related Conditions. *Nutrients* [online]. Apr 2018, 391 [cit. 2022-08-16]. Dostupné z: doi:10.3390/nu10040391

61. MEISENBERG, Gerhard a William H. SIMMONS, 2016. *Principles of Medical Biochemistry*. 4th. Elsevier – Health Sciences Division. ISBN 9780323296168.

62. WANG, Jingsong a M. MALDONADO. *The ubiquitin-proteasome system and its role in inflammatory and autoimmune diseases* [online]. 1 Aug

2016 [cit. 2022-08-16]. Dostupné z:  
<https://www.semanticscholar.org/paper/The-ubiquitin-proteasome-system-and-its-role-in-and-Wang-Maldonado/ce36b3c7bb0c3ccd26e57931fdce60eba5d3c004>

63. MOBBS, Andy. Autofagie a její vědecké vysvětlení – Za hranice populární postěni. *Intelligentlabs* [online]. 28. 6. 2021 [cit. 2022-08-16]. Dostupné z: <https://cz.intelligentlabs.org/autofagie-vedecke-vysvetleni/>
64. What is the VO<sub>2</sub>max? How does it relate to my healthy life expectancy?. *Age Impulse* [online]. [cit. 2022-08-16]. Dostupné z: <https://age-impulse.com/cest-quoi-le-vo2max-2/>
65. VACEK, Mikuláš. Svalová (pohybová) soustava. *SlidePlayer* [online]. [cit. 2022-08-16]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3368228/>
66. LEHNERT, Michal, 2014. *Kondiční trénink* [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci [cit. 2022-08-16]. ISBN 978-80-244-4369-0. Dostupné z: <https://publi.cz/books/149/01.html>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ADP adenosindifosfát

AMK aminokyseliny

ATP adenosintrifosfát

BCAA branched chain amino acids

BH biologická hodnota

CK kreatinkináza

DNA deoxyribonukleová kyselina

FAO Organizace pro výživu a zemědělství

FFA free fatty acids

FG fast glycolytic

FO fast oxidative

FSR fractional synthesis rate

GTP Guanosintrifosfát

IGF-1 inzulin like growth factor – 1

IMP inosinmonofosfát

LDH laktátdehydrogenáza

MJ motorická jednotka

MN motoneuron

MPD muscle protein degradation

MPS muscle protein synthesis

mRNA mediátorové ribonukleové kyseliny

PDCAAS skóre aminokyselin korigované na stravitelnost bílkovin

RNA ribonukleové kyseliny

rRNA ribozomální ribonukleové kyseliny

SO slow oxidative

tRNA transferové ribonukleové kyseliny

VO<sub>2</sub> vitální kapacita plic

VO<sub>2max</sub> maximální kapacita plic

WHO Světová zdravotnická organizace

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

### Obrázky:

Obr. 1 Klasifikace základních aminokyselin dle polarity postranního řetězce a jeho iontové formy.....	10
Obr. 2 Struktura aminokyselin.....	11
Obr. 3 Krebsův cyklus.....	16
Obr. 4 Aminokyseliny (AAs) jako biochemické totipotentní molekuly.....	16
Obr. 5 Transaminace alaninu a aspartátu.....	20
Obr. 6 Oxidační deaminace glutamátdehydrogenázou.....	21
Obr. 7 Transaminace a oxidační deaminace.....	21
Obr. 8 Ubikvitin – proteazomový systém.....	22
Obr. 9 Autofagie.....	23
Obr. 10 Průměrné $VO_{2max}$ podle věku a pohlaví.....	27
Obr. 11 Zapojení energetických systémů a jejich přibližný podíl na produkci energie v průběhu času při maximální intenzitě pohybu.....	29
Obr. 12 Složení kosterního svalu.....	30
Obr. 13 Flow diagram znázorňující postup při zařazování prací.....	42

### Tabulky:

Tab. 1 Klíčové aspekty designu a hlavní výsledky analyzovaných studií.....	44
--	----