

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Bílkoviny ve výživě sportovců**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Adéla Ducháčová**

**Studijní program: Výživa a potraviny**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Boris Hučko, CSc.**

**© 2022 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Bílkoviny ve výživě sportovců" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.4.2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé závěrečné práce doc. Ing. Borisovi Hučkovi, CSc. za čas věnovaný konzultacím a pomoc při zpracovávání mé závěrečné práce.

# Bílkoviny ve výživě sportovců

## Souhrn

Bílkoviny jsou hlavní stavební složkou svalů a tkání. Pro sportovce jsou bílkoviny důležité při budování svalové hmoty i pro regeneraci svalů po cvičení. V této práci jsem se zabývala sepsáním některých dostupných informací z odborných zdrojů o příjmu bílkovin a jejich účincích na sportovní výkon. Bílkoviny přijímané ze stravy slouží tělu jako bohatý zdroj dusíku a esenciálních aminokyselin. Díky nim může tělo růst a udržovat zdravé tkáně. Sportovce bude zajímat hlavně schopnost bílkovin účastnit se syntézy svalových bílkovin.

Kvalita bílkovin se určuje podle aminokyselinového skóre a biologické hodnoty bílkovin, která odráží stravitelnost a využitelnost bílkovin. Ke stanovení kvality bílkovin se používají různé metody. Nejčastějšími metodami jsou PDCAAS (protein digestibility-corrected amino acid score) a DIAAS (digestible indispensable amino acid score).

Z hlediska kvality bílkovin jsou živočišné bílkoviny hodnotnější než rostlinné, jelikož mají správné zastoupení AMK a vyšší biologickou hodnotu. Rostlinné bílkoviny bychom ale ve stravě rozhodně neměli opomíjet. Pokud chceme konzumovat bílkoviny pouze z rostlinných zdrojů, je vhodné zvýšit celkový příjem bílkovin a zaměřit se na kombinaci různých druhů rostlinných bílkovin pro zajištění příjmu všech potřebných AMK. Další možností je obohacení stravy některými limitujícími AMK v podobě doplňků stravy. Pro nabírání, regeneraci a udržení svalové hmoty je důležitý především lysin, který bývá limitující kyselinou například v obilovinách. Vlivem jedné chybějící aminokyseliny se omezuje využití ostatních AMK a tělo vyvažuje chybějící AMK rozpadem vlastních bílkovin. Celkový nedostatek bílkovin, ať už vlivem hladovění nebo onemocnění znemožňující vstřebávání bílkovin, způsobuje poruchy fungování všech orgánových soustav. Především se zastaví růst svalové hmoty a energii tělo začne čerpat z rozkladu vlastních bílkovin. Podle nejnovějších studií nemá ani několikanásobně vyšší příjem (3 g/kg/den) doporučené denní dávky bílkovin negativní vliv na ledviny, játra nebo jiné orgány.

Ve světě sportu jsou bílkoviny velice probíraným tématem, a proto byl v práci kladen důraz na potřeby bílkovin u jednotlivých druhů sportu. Běžná lidská populace vystačí s příjmem bílkovin okolo 0,8 g/kg/den, což je podle několika organizací uvedeno jako doporučené množství. Sportovci však mají vyšší nároky na potřebu bílkovin, proto je mnohdy potřeba doporučenou denní dávku až zdvojnásobit. U silových sportovců se doporučuje denní příjem bílkovin 1,6 – 2,2 g/kg hmotnosti. Doporučená denní dávka bílkovin pro vytrvalostní sportovce se pohybuje okolo 1,4 – 1,6 g/kg hmotnosti. Doporučený denní příjem bílkovin pro silově-vytrvalostní sportovce se uvádí 1,2-1,7 g/kg hmotnosti.

Při konzumaci bílkovin u sportovců je důležité i jejich načasování příjmu. Jako nejlepší vzorec se ukázal příjem 20 g bílkovin v jedné dávce jídla 3 – 5krát denně rovnoměrně rozložený do celého dne. Z bílkovinných suplementů se jeví nejvhodněji syrovátkový protein pro jeho dobrou stravitelnost a zastoupení AMK. Z rostlinných suplementů na bázi bílkovin nejlépe vychází sójový protein. Siloví sportovci mohou podpořit svalovou syntézu a silový výkon pomocí kreatinu, BCAA nebo  $\beta$ -alaninu. U vytrvalostních sportovců se jako dobré prostředky pro zlepšení výkonu a regenerace nejlépe osvědčily L-arginin,  $\beta$ -alanin, BCAA a karnitin.

**Klíčová slova:** svalová hmota, pohyb, aminokyseliny, vyvážená strava, doplňky stravy

# Proteins in sports nutrition

## Summary

Proteins are main building components of muscles and other body tissues. Concerning athletes, proteins are especially important for muscle grow and regeneration after exercise. This thesis contains information available from academical sources on protein intake and its effects on sports performance. Consumed protein serves the body as a rich source of nitrogen and essential amino acids, which allows the body to grow, maintain healthy tissues and synthesize muscle proteins.

Protein quality is determined by the amino acid score and the biological value of the protein, which is determined by the digestibility and usability of the protein. Various methods are used to determine protein quality, the most common ones are PDCAAS (protein digestible amino acid score) and DIAAS (digestible essential amino acid score).

Animal proteins are of higher quality as they have the correct ratios of amino acids, higher biological value and significantly better usability and absorbability. However, plant proteins should not be neglected. If one is to consume plant proteins only, it is appropriate to increase the total protein intake and focus on the consumption of different types of plant protein to ensure the intake of all essential amino acids. Another option is to enrich the diet with some limiting amino acids in the form of food supplements. Lysine, which is a limiting amino acid in cereals, is especially important for gaining, regenerating, and maintaining muscle mass. Even one missing kind of amino acids is reducing effectiveness of other amino acids and the body is forced to break down its own proteins to compensate. A general lack of protein, whether due to starvation or disease that makes it absorption of protein less effective, causes disorders in all organ systems. The growth of muscle mass stops, and the body begins to draw energy from the breakdown of its own proteins. According to the latest studies, even seriously exceeding the recommended daily protein intake (3 g / kg / day) does not have any negative effects on the kidneys, liver, or other organs.

For an average human, a protein intake of about 0.8 g / kg / day is adequate and stated by several organizations as the recommended amount. However, when it comes to athletes, it is often necessary to double the recommended daily dose due to their lifestyle. This thesis focuses on needs of proteins concerning many kinds of sports. For strength athletes, a daily protein intake of 1.6 - 2.2 g / kg is recommended. The recommended daily protein intake for endurance athletes is around 1.4 - 1.6 g / kg. The recommended daily protein intake for strength-endurance athletes is 1.2-1.7 g / kg.

The timing is also important for protein consumption. The best is the intake of 20 g of protein per consumption, occurring daily 3-5 times, evenly distributed throughout the daytime. The best protein supplement in most cases appears to be whey protein for its good digestibility and amino acids content. Soy protein is the best plant-based protein supplement. Strength athletes can support muscle synthesis and their performance with creatine, BCAA or  $\beta$ -alanine. L-arginine,  $\beta$ -alanine, BCAAs and carnitine have proven to be the best supplements for endurance athletes to improve both performance and regeneration.

**Keywords:** muscle mass, exercise, amino acids, balanced nutrition, dietary supplements



## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce.....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Bílkoviny .....</b>	<b>11</b>
3.1.1	Struktura a dělení bílkovin.....	11
3.1.2	Funkce bílkovin.....	12
3.1.3	Aminokyseliny .....	12
3.1.4	Peptidy .....	14
<b>3.2</b>	<b>Bílkoviny v lidské výživě.....</b>	<b>15</b>
3.2.1	Metabolismus bílkovin.....	16
3.2.2	Metabolismus aminokyselin.....	17
3.2.3	Nedostatek bílkovin .....	17
3.2.4	Nadměrná konzumace bílkovin.....	18
3.2.5	Kvalita bílkovin.....	18
<b>3.3</b>	<b>Bílkoviny ve sportovní výživě.....</b>	<b>20</b>
3.3.1	Timing bílkovin.....	20
3.3.2	Bílkoviny a růst svalové hmoty.....	21
3.3.3	Zdroje bílkovin .....	22
3.3.3.1	Živočišné bílkoviny .....	22
3.3.3.2	Rostlinné bílkoviny.....	25
3.3.4	Suplementace bílkovin.....	28
3.3.5	Suplementace aminokyselin.....	30
3.3.5.1	EAA .....	30
3.3.5.2	BCAA .....	32
3.3.5.3	Arginin .....	33
3.3.5.4	Glutamin.....	34
3.3.5.5	Kreatin.....	34
3.3.5.6	Karnitin .....	36
3.3.5.7	β-alanin .....	37
<b>3.4</b>	<b>Potřeba bílkovin v různých sportovních odvětvích .....</b>	<b>38</b>
3.4.1	Příjem bílkovin u rychlostních a vytrvalostních sportů .....	38
3.4.1.1	Doplňky stravy pro vytrvalostní sportovce .....	39
3.4.2	Příjem bílkovin u silových sportů.....	41
3.4.2.1	Doplňky stravy pro silové sportovce .....	42
3.4.3	Příjem bílkovin u silově-vytrvalostních sportů .....	44

<b>4</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>Seznam použitých zkratek.....</b>	<b>52</b>



# 1 Úvod

Bílkoviny jsou jednou ze 3 základních živin nepostradatelných v lidské výživě. Jsou tvořeny 20 základními druhy aminokyselin, které se v těle ukládají z větší části do svalů a kolagenu, kde plní stavební funkci. Každá bílkovina je tvořená specifickou sadou aminokyselin a podle toho plní buď funkci ochrannou, regulační, strukturální, nebo transportní. Nejdůležitější skupinou bílkovin pro lidské tělo jsou strukturní bílkoviny, které tvoří až 90 % všech bílkovin v těle (Soeters et al. 2015, Master et al. 2021). Bílkoviny slouží jako strukturální složka v kontraktilních bílkovinách, kostech, pojivových tkáních a kolagenu. Zároveň jsou schopny v těle transportovat živiny a další látky. Bílkoviny jsou hlavní stavební složkou svalů, proto jsou důležité při budování svalové hmoty (Woodruff 2016). Bílkoviny přijímané ze stravy slouží tělu jako bohatý zdroj dusíku a esenciálních aminokyselin. Díky nim může tělo růst a udržovat zdravé tkáně. Bílkoviny v těle slouží především jako stavební látka (Agostoni et al. 2012). V případech, kdy tělo nemá možnost využít sacharidy nebo tuky, mohou bílkoviny sloužit jako zdroj energie (Woodruff 2016).

Aminokyseliny v bílkovinách se dělí na esenciální, neesenciální nebo semiesenciální. Z hlediska výživy a kvality bílkovin se musíme zaměřit především na příjem esenciálních aminokyselin, které si tělo nedokáže samo vytvořit, proto je musíme přijímat potravou (Master et al. 2021). Mezi esenciální aminokyseliny patří valin, leucin, izoleucin, threonin, methionin, lysin, fenylalanin, tryptofan a histidin (Bruice 2015).

Podle většiny zdrojů se uvádí doporučený příjem bílkovin pro běžnou populaci 0,8 g bílkovin/kg/den (Joanisse et al. 2021). Kromě množství bílkovin nás také zajímá jejich kvalita. Kvalita bílkovin se hodnotí podle množství a zastoupení esenciálních AMK, stravitelnosti a využitelnosti bílkovin (Agostoni et al. 2012). Rostlinné bílkoviny mají obecně horší kvalitu bílkovin z hlediska obsahu esenciálních AMK a snížené využitelnosti vlivem některých antinutričních látek, které obsahují (Day 2013). Živočišné bílkoviny jsou lépe stravitelné a aminokyselinový profil je ve většině případů výrazně lepší než u rostlinných bílkovin (Kaur et al. 2022). Bílkoviny bychom měli přijímat z různých zdrojů a nekonzumovat pouze jeden druh bílkoviny, aby strava byla rozmanitá a předcházeli jsme deficitu některé aminokyseliny. Důležité je, aby každá aminokyselina byla v těle zastoupená v dostatečném množství. V opačném případě může docházet ke katabolismu aminokyselin, které jsou v těle ve větším množství vzhledem k chybějící aminokyselině (Matthews 2020). Pro naše tělo jsou důležité i ostatní látky přijímané společně s bílkovinami, které jsou v jednotlivých zdrojích obsažené a mohou mít vliv na vstřebatelnost nebo využitelnost bílkovin. Proto není vhodné převážně přijímat pouze izolované zdroje bílkovin.

Sportovci mají rozdílné nároky na příjem bílkovin oproti běžné populaci, proto je důležité se na tuto problematiku více zaměřit. Kromě poctivého trénování je pro sportovce důležitá skladba stravy a důraz na zvýšený příjem bílkovin. Rozdíly ve výživě a příjmu bílkovin pozorujeme i mezi jednotlivými druhy sportu a jejich intenzitou. Ve sportovní výživě hraje významnou roli taktéž načasování příjmu bílkovin. Bílkoviny mají vliv na růst a udržení svalové hmoty a také na regeneraci svalů po náročném tréninku (Burd et al. 2019). Ve výživě sportovců mají své místo i doplňky stravy na bázi bílkovin a AMK, na které je vhodné se také více zaměřit.

## 2 Cíl práce

Cílem mé práce bylo na základě studia zahraniční a naší literatury sepsat rešerši na téma Bílkoviny ve výživě sportovců. V práci jsem se snažila sepsat současné poznatky o potřebě bílkovin pro člověka a pro různé druhy sportů. V této práci byl kladen důraz na potřeby bílkovin u vrcholových sportovců s rozdělením na vytrvalostní, silové a silově-vytrvalostní sportovce. Různá sportovní odvětví se liší náročností na potřeby živin, proto bylo důležité se zmínit o potřebách bílkoviny u každého odvětví zvlášť. Zároveň jsem se o něco více zaměřila na suplementy, které sportovci běžně užívají, a vyhodnotila, zda pro ně mají výraznější účinek.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Bílkoviny

Bílkoviny jsou biopolymery, skládají se z řetězců delších než 50 aminokyselin, které spojuje peptidová vazba (Master et al. 2021). Molekula bílkoviny obsahuje uhlík, vodík, kyslík a dusík (Woodruff 2016). Bílkoviny dělíme na jednoduché a složené. Každá bílkovina je tvořená specifickou sadou aminokyselin a podle toho plní buď funkci ochrannou, regulační, strukturální, nebo transportní. Bílkoviny jsou tvořeny 20 základními druhy aminokyselin (Master et al. 2021).

Nejdůležitější skupinou bílkovin pro lidské tělo jsou strukturální bílkoviny. Ty tvoří až 90 % všech bílkovin v těle. Další skupinou jsou plazmatické a tkáňové bílkoviny, které tvoří méně než 10 %. Mezi ně se řadí například imunoglobuliny, albumin, hemoglobin a fibrinogen. Poslední skupinou bílkovin jsou enzymy, hormony, cytokiny a geny. Slouží jako modulátory metabolismu v těle a jejich množství je méně než 1 % (Soeters et al. 2015).

#### 3.1.1 Struktura a dělení bílkovin

Strukturu bílkovin rozdělujeme do 4 různých úrovní. Primární struktura uvádí sekvenci aminokyselinových zbytků. Sekundární struktura uspořádává jednotlivé úseky peptidového řetězce do segmentů. Terciální struktura popisuje orientaci bílkoviny do trojrozměrného útvaru. Kvarterní struktura zase udává, jakým způsobem je několik molekul bílkovin spojeno do velkých agregátů (prostorové uspořádání polypeptidových podjednotek). Polypeptidové agregáty jsou stabilizovány vodíkovými můstky a elektrostatickými vazbami mezi aminokyselinami (Wu 2021).

Ve výživě člověka rozdělujeme bílkoviny podle tvaru molekuly na fibrilární a globulární. Mezi fibrilární řadíme například kolagen, keratin, elastin, fibrinogen a myosin. Mají polypeptidové řetězce poskládané vedle sebe do dlouhých pevných vláken, která jsou ve vodě nerozpustná. Fibrinogen je důležitý pro proces srážení krve. Kolagen, keratin, elastin a myosin většinou tvoří šlachy, kůži, cévy, rohy nebo svaly. Myosin je zvláštní typ bílkoviny, která je jak vláknitá, tak globulární. Globulární bílkoviny mají kulovitý tvar podobný klubíčku vláken, jsou rozpustné ve vodě a pohybují se uvnitř buněk. Řadíme mezi ně většinu enzymů, hemoglobin a imunoglobuliny (Wu 2021).

Dále se bílkoviny dělí podle jejich funkce (ochrana a konjugace) a rozpustnosti ve vodě na hydrofilní (rozpustné) a hydrofobní (nerozpustné). Bílkoviny jsou podle náboje kyselé či zásadité (Wu 2021).

Podle složitosti bílkoviny dělíme do dvou kategorií. Mezi jednoduché bílkoviny patří albuminy, které jsou často v mléce a vejcích ( $\alpha$ -lactalbumin, sérový albumin, ovalbumin), fibrilární proteiny (keratin, kolagen, myosin), globuliny (sérový globulin,  $\beta$ -lactoglobulin, imunoglobuliny), živočišné histony, prolaminy obsažené v obilovinách (gliadiny, hordein, zein) a obilné gluteliny (glutenin, oryzenin). Do složitých bílkovin řadíme nukleové bílkoviny, fosfoproteiny (kasein), glykoproteiny (ovomucin, seromucin), lipoproteiny, metalloproteiny, chromoproteiny a flavoproteiny (Wu 2021).

### 3.1.2 Funkce bílkovin

Bílkoviny slouží jako strukturální složka v kontraktilních bílkovinách, kostech, pojivových tkáních a kolagenu. Zároveň jsou schopny v těle transportovat živiny a další látky jako například albumin a lipoproteiny. Bílkoviny fungují jako extracelulární i intracelulární pufr. U sportovců jsou důležité pro udržení rovnováhy tekutin a regeneraci poškozených svalových i jiných tkání. Bílkoviny jsou hlavní stavební složkou svalů, proto jsou důležité při budování svalové hmoty. V případech, kdy tělo nemá možnost využít sacharidy nebo tuky, mohou bílkoviny sloužit jako zdroj energie (Woodruff 2016).

Bílkoviny přijímané ze stravy slouží tělu jako bohatý zdroj dusíku a esenciálních aminokyselin. Díky nim může tělo růst a udržovat zdravé tkáně. Bílkoviny v těle slouží především jako stavební látka. Dusík dodaný tělu v podobě bílkovin je důležitý pro tvorbu peptidů, k syntéze vlastních bílkovin a tvorbě dalších dusíkatých látek, jako jsou například nukleové kyseliny nebo kreatin (Agostoni et al. 2012).

Bílkoviny fungují také jako důležité složky v imunitních reakcích a zajišťují koordinaci mezi orgány (Teplan 2016).

### 3.1.3 Aminokyseliny

Aminokyseliny (AMK) jsou organické látky skládající se z amino skupiny ( $\text{NH}_2$ ) a kyseliny, která může být buď karboxylová (alanin), sulfonová (taurin), fosforečná nebo fosfonová. Atomy uhlíku AMK mohou obsahovat značení písmen řecké abecedy podle toho, kde se aminoskupina váže na daný uhlík ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -). AMK se značí L- nebo D- izomerem podle optického uspořádání. Rozlišujeme, zda se amino skupina nachází na pravé (D-) nebo levé (L-) straně struktury AMK. Jedná se o směr, ve kterém otáčejí rovinu polarizovaného světla ve vodném roztoku. U AMK můžeme rozlišovat i izomery cis nebo trans. Ty vznikají, pokud má organická sloučenina dvojnou vazbu, která se nemůže otáčet, nebo má kruhovou strukturu (Wu 2021).

AMK jsou součástí struktury bílkovin. Bílkoviny se skládají z 20 základních aminokyselin. Lidské tělo si 12 z nich dokáže v těle vytvořit samo, takovým aminokyselinám se říká neesenciální. Zbytek aminokyselin musí člověk přijímat potravou, proto je nazýváme esenciální (Master et al. 2021). V tabulce č.1 se nachází přehled jednotlivých AMK.

Všechny živé organismy potřebují aminokyseliny. Většina těchto AMK v lidském těle se nachází ve svalech a kolagenu, kde fungují jako stavební látka. Některé specifické aminokyseliny mohou být důležitými prekurzory nebílkovinných látek a hrát tak svou roli v lidském metabolismu (Soeters et al. 2015). Mimo regulaci některých biologických drah také ovlivňují energetický metabolismus, tím způsobují změny v tělesné hmotnosti a tukové tkáni (Xiao et al. 2021).

#### Esenciální aminokyseliny

Tyto AMK si člověk nedokáže vytvářet sám, proto je musí přijímat společně s potravou. Mezi esenciální aminokyseliny se řadí leucin, izoleucin, valin, fenylalanin, threonin, tryptofan, methionin, lysin a histidin. Dlouho se spekovalo o tom, jestli je histidin esenciální nebo

semiesenciální. V poslední době převládá názor, že je histidin důležitý jak pro děti, tak i pro dospělé, tudíž se řadí spíše mezi esenciální AMK (Bruice 2015).

### **Neesenciální aminokyseliny**

Neesenciální AMK jsou v těle syntetizovány v dostatečném množství pomocí transaminace nejčastěji z glutamátu (Shine 2021). Mezi neesenciální AMK se řadí glycin, alanin, serin, cystein, kyselina asparagová, kyselina glutamová, glutamin, asparagin, tyrosin a prolin. Tyrosin si člověk dokáže syntetizovat z fenylalaninu, proto i on spadá mezi neesenciální AMK (Bruice 2015).

### **Semiesenciální aminokyseliny**

Jedná se o aminokyseliny, které jsou esenciální pouze za určitých podmínek. Například při některých závažných onemocněních, kdy je jich v těle nedostatek. Řadí se sem arginin. Arginin si sice člověk dokáže syntetizovat sám, ale v době růstu je jeho tvorba nedostatečná, proto je esenciální především pro děti (Bruice 2015).

**Tabulka č. 1:** Rozdělení aminokyselin (Bruice 2015)

<b>Zařazení</b>	<b>Název aminokyseliny</b>
<b>Esenciální aminokyseliny</b>	Valin
	Leucin
	Izoleucin
	Threonin
	Methionin
	Lysin
	Fenylalanin
	Tryptofan
<b>Semiesenciální aminokyseliny</b>	Arginin
	Histidin
<b>Neesenciální aminokyseliny</b>	Glycin
	Alanin
	Serin
	Cystein
	Kyselina asparagová
	Kyselina glutamová
	Glutamin
	Asparagin
	Tyrosin
	Prolin

### 3.1.4 Peptidy

Za peptidy se považují řetězce kratší než 50 aminokyselin. Ve většině případech je délka řetězce mezi 2 – 20 AMK. Peptidy vznikají ze dvou a více aminokyselinových zbytků spojených s karboxylovou skupinou pomocí peptidových vazeb (Wu 2021). Od bílkovin se peptidy liší nižší molekulovou hmotností. Peptidy jsou zakódovány v prekurzorovém proteinu, ze kterého musí být uvolněny, aby se staly aktivními. Můžeme je tedy přijímat společně s bílkoviny potravou (Sánchez, Vázquez 2017).

Bioaktivní peptidy jsou peptidy, které mají příznivý účinek na lidské tělo. Podle účinků rozlišujeme peptidy protizánětlivé, antimikrobiální, antioxidační, antitrombotické, antihypertenzní, opioidní nebo imunomodulační. Peptidy ve formě enzymů slouží jako katalyzátory a v podobě imunoglobulinů podporují imunitní systém. Ve formě hormonů působí jako chemičtí přenašeči v různých reakcích. Hrají významnou roli v metabolických funkcích. Největším zdrojem bioaktivních peptidů jsou maso, mléko a sýry. Dále potom ve vejcích, pšenici, kukuřici, rýži nebo rybách. Některé peptidy vznikají činností bakterií mléčného kvašení, tudíž je hojně najdeme ve fermentovaných mléčných výrobcích. Uvolňování peptidů z bílkovin probíhá za přítomnosti trávicích enzymů v gastrointestinálním traktu. Peptidy odvozené z mléčných bílkovin prokázaly antioxidační aktivitu, která zabraňuje peroxidaci esenciálních mastných kyselin. I kvůli rozmanitým schopnostem peptidů je velice důležitý samotný příjem bílkovin (Sánchez, Vázquez 2017).

## 3.2 Bílkoviny v lidské výživě

Podle mnoha studií zdravý dospělý člověk potřebuje 0,8 g bílkovin na kg hmotnosti. Toto doporučení však vycházelo ze starších studií, které se zaměřovaly na dosažení dusíkaté bilance a zamezení nedostatku bílkovin. Dnes už je zřejmé, že je tento příjem individuální a měl by být vyšší především u lidí, kteří se snaží podíl svalové hmoty navýšit (Joanisse et al. 2021). Evropský úřad pro bezpečnost potravin uvádí, že průměrná potřeba vstřebaných bílkovin, nezávisle na pohlaví, je 0,66 g/kg hmotnosti/den. Aby bylo dosaženo tohoto množství, musíme přijmout zhruba 0,83 g/ kg hmotnosti/den bílkovin stravou. Naše tělo totiž část bílkovin, které stravou přijmeme, nevyužije. Tyto hodnoty vnikly na základě údajů o dusíkaté bilanci. Bezpečný příjem bílkovin je stanoven až do dvojnásobku doporučené denní dávky. Požadavky na potřebu bílkovin zahrnují jak celkový dusík, tak i množství jednotlivých aminokyselin (Agostoni et al. 2012).

Z hlediska správného fungování těla je pro nás důležité určit, do jaké míry je dusík v našem těle uchováván. Zajímá nás tedy takzvaná dusíkatá bilance, kdy sledujeme přijatý a vyloučený dusík. Zpětné vstřebávání dusíku je u zdravých jedinců na smíšené stravě zhruba 47 % (Agostoni et al. 2012).

Více než 95 % AMK je přítomno v bílkovinách (uvnitř buněk) a pouhá malá část jsou volné aminokyseliny. Koncentrace volných aminokyselin je závislá na funkčnosti transportu sodíku v těle, obsahu enzymů a také na zdravotním stavu jedince. Zásoba bílkovin v těle je využívána během stavu na lačno, nejčastěji v noci, kdy nejsou přijímány bílkoviny potravou (Soeters et al. 2015). Až 80 % všech volných aminokyselin se nachází ve svalové tkáni. Zde tyto AMK podléhají oxidaci za vzniku ATP (adenosintrifosfát), který pokrývá energetickou potřebu (Andari et al. 2021). Velmi malá část volných AMK se nachází v krevní plazmě, kde jsou její hladiny většinou stabilní (Hromádka a kol. 2016).

Při příjmu bílkovin potravou nás bude zajímat jejich kvalita. Ta se odvíjí například od zastoupení aminokyselin. Důležité je, aby každá aminokyselina byla v těle zastoupená v dostatečném množství. V opačném případě může docházet ke katabolismu aminokyselin, které jsou v těle ve větším množství vzhledem k chybějící aminokyselině. Katabolismus nadbytečných aminokyselin vede k negativní dusíkaté bilanci (Matthews 2020).

Bílkoviny bychom měli přijímat z různých zdrojů a nekonzumovat pouze jeden druh bílkoviny, aby byla strava rozmanitá a předcházeli jsme deficitu některé aminokyseliny. Tabulka č.2 poukazuje na využití některých AMK v syntéze metabolitů a mediátorů. Pro naše tělo jsou důležité i ostatní látky přijímané společně s bílkovinami, které jsou v jednotlivých zdrojích obsažené a mohou mít vliv na vstřebatelnost nebo využitelnost bílkovin.

**Tabulka č. 2:** Využití aminokyselin pro syntézu neproteinových metabolitů a mediátorů (Hromádka a kol. 2016).

Aminokyselina	Metabolit
Arginin	kreatin, oxid dusnatý
Aspartát	puriny
Cystein	glutathion, taurin
Glutamát	neurotransmitter (GABA)
Glutamin	puriny, pyrimidiny
Glycin	puriny, pyrimidiny, kreatin
Lyzin	karnitin
Metionin	metylační reakce, kreatin, cholin
Tyrosin	neurotransmitery
Tryptofan	neurotransmitery

### 3.2.1 Metabolismus bílkovin

Bílkoviny nemohou být tělem využity, pokud neprojdou hydrolýzou v trávicím traktu a nerozštěpí se na malé peptidy a volné AMK. Toto štěpení zajišťují trávicí enzymy (peptidázy, proteázy, pepsin) a částečně kyselina chlorovodíková (Wu 2021).

Trávení bílkovin probíhá v žaludku, kde pomocí kyseliny chlorovodíkové a pepsinu bílkoviny denaturují a mění svou strukturu. Trávení pokračuje v tenkém střevě, především v duodenu. Zde se uplatňují pankreatické šťávy a bílkoviny jsou štěpeny vlivem obsažených enzymů (Stokes et al. 2018). Střevo aktivně reguluje rychlost trávení bílkovin a jejich uvolňování do tělního oběhu. Tím umožňuje anabolické reakce proteinů a řídí jejich délku trvání (Soeters et al. 2015).

Pro stanovování stravitelnosti bílkovin je důležité rozlišovat mezi ileální (tenkého střeva) a fekální (tlustého střeva) stravitelností (Agostoni et al. 2012). Část bílkovin, která není vstřebána v tenkém střevě se dostává z tenkého střeva do tlustého, kde dochází k rozkladu bílkovin pomocí bakteriálních proteáz (fermentaci) a vylučování stolící v podobě mikrobiálních bílkovin. Fermentaci zajišťují mikroorganismy obsažené v tlustém střevě, především anaerobní bakterie. Dokáží využít AMK pro svoji potřebu, ale vstřebatelnost takto rozložených bílkovin je zanedbatelná (Wu 2021).



### 3.2.2 Metabolismus aminokyselin

Zdravý člověk nemá absorpci a transport aminokyselin omezený množstvím trávicích enzymů. Při stanovování stravitelnosti aminokyselin se musí brát v potaz skutečná stravitelnost aminokyselin a dusíku (Agostoni et al. 2012). V tenkém střevě se dokáže vstřebat 40 – 50 % AMK přijmutých potravou. AMK se vstřebávají přes stěnu střev pomocí přenašečů (Shine 2021). Vstřebané AMK jdou do krevní plazmy a jejich velkou zásobárnou jsou kosterní svaly. Zbytek AMK jde portální žilou do jater, kde je játra využijí pro syntézu jaterních krevních bílkovin (Stokes et al. 2018). V játrech a ledvinách bývají uhlíkové skelety aminokyseliny využity pro tvorbu glukózy, která slouží jako stavební látka pro buňky. AMK mají své specifické místo, kde jsou odbourávány. U aminokyselin s rozvětveným řetězcem probíhá odbourání ve svalech a tukové tkáni. Zatímco aromatické aminokyseliny, jako je tyrosin, fenylalanin a tryptofan, bývají degradovány v játrech. Degradované AMK s rozvětveným řetězcem leucin a izoleucin mohou být znovu částečně využity v syntéze triglyceridů v tukové tkáni (Soeters et al. 2015).

Volné AMK slouží pro syntézu bílkovin, oxidují se na močovinu nebo se přeměňují na jiné sloučeniny. Dospělý člověk denně syntetizuje okolo 300 – 400 g bílkovin. V těle dochází k neustálému obratu svalových bílkovin. Bílkoviny jsou neustále odbourávány a nahrazovány novými. AMK dokáží svými oxidačními procesy vyprodukovat 10 – 15 % využívané energie (Shine 2021).

V některých případech může docházet k poruše metabolismu AMK. Například při těžkém selhání jater nedokáží játra rozkládat určité AMK, což vede k jejich zdánlivému nedostatku. U lidí na parenterální výživě se zase snižuje objem střevní hmoty a mohou mít problém s trávením potravy. Problémy s metabolismem AMK nastávají i při chronickém selhání ledvin (Soeters et al. 2015).

### 3.2.3 Nedostatek bílkovin

Nedostatek bílkovin nejčastěji vzniká sníženým příjmem potravou nebo obecně během hladovění. Existuje i řada onemocnění, kdy v těle vzniká relativní nedostatek bílkovin, i když je jich ve stravě konzumováno dostatečné množství.

Během hladovění dochází k odbourávání aminokyselin ze svalů a plic, které se vrací ke zpracování do jater. Více než polovina odbouraných AMK ze svalů tvoří alanin a glutamin. Alanin se po deaminaci přeměňuje na pyruvát, který slouží jako zdroj glukózy v glukoneogenezi. Glutamin se dostává do střev, kde slouží jako zdroj energie. Oxidace AMK může vyústit až v tvorbu ketolátek (Teplan 2016).

Vyvážený poměr aminokyselin je rozhodující pro syntézu bílkovin. Pokud nějaká aminokyselina chybí, peptidový řetězec se v závažných případech (například akutní krvácení střev) může přestat prodlužovat. Tato situace může vést ke zvýšené syntéze močoviny a amoniaku. Vlivem jedné chybějící aminokyseliny se omezuje využití ostatních AMK. Tělo vyvažuje chybějící AMK rozpadem vlastních bílkovin. Takto vzniklé AMK ale nemohou být plně využity pro syntézu nových bílkovin a část z nich se nadále vylučuje ledvinami v podobě amoniaku (Soeters et al. 2015). Ztráta více než 25 – 30 % tělesných bílkovin způsobuje poruchy funkce procesů, které jsou na obsahu bílkovin závislé. Tyto poruchy mohou vést až ke smrti

(Hromádka a kol. 2016). Množství dusíku v gramech vynásobené faktorem 25 nám dokáže ukázat ztráty svalových bílkovin (Soeters et al. 2015).

Nedostatek bílkovin a AMK způsobuje nechut' k jídlu, zvracení, zhoršené vstřebávání živin, emoční poruchy, nespavost, podrážděnost, anémii, zhoršenou imunitu, odvápnování kostí, vypadávání vlasů a zubů, bolest hlavy a snížený transport kyslíku. Dále se vlivem poruchy endokrinních funkcí snižuje koncentrace některých hormonů (inzulin, růstový hormon, hormony štítné žlázy). Snižuje se energetický výdej těla a zpomaluje růst, aby tělo šetřilo energii. Samozřejmě dochází i k úbytku svalové hmoty a nedostatku některých mikronutrientů, především železa. Nedostatek bílkovin má i vliv na funkci pohlavních orgánů. V závažných případech může nastat smrt (Hou, Wu 2018).

### 3.2.4 Nadměrná konzumace bílkovin

Vzhledem k nedostatku provedených průzkumů na téma nadměrné konzumace bílkovin nebyla stanovena horní hranice příjmu. U zdravých dospělých byl i dvojnásobek doporučené denní dávky bílkovin prohlášen za bezpečný (Agostoni et al. 2012).

Podle mnoha studií existují důkazy, že nadměrná konzumace bílkovin (cca 3 g/kg/den) po dobu 2-4 měsíců u zdravých jedinců nemá negativní vliv na funkci ledvin nebo jater (Valenzuela et al. 2019).

Při nadměrném příjmu živin mohou být i aminokyseliny z příjmu bílkovin přeměněny na tuk a ukládány (Soeters et al. 2015). Nadměrná konzumace bílkovin může způsobit vstup peptidů do tlustého střeva, kde mohou negativně ovlivnit mikrobiom (Kårlund et al. 2019).

### 3.2.5 Kvalita bílkovin

Množství, využitelnost a skladba aminokyselin je hlavní ukazatel kvality bílkovin. Jelikož se většinou aminokyseliny přijímají společně s bílkovinami, je důležité, z jakého zdroje bílkoviny pochází a jaké obsahují spektrum AMK (Agostoni et al. 2012).

Hodnotíme především obsah a zastoupení jednotlivých esenciálních aminokyselin v dané potravíně a určíme takzvané aminokyselinové skóre (AAS) (Burd et al. 2019). Například pšeničný nebo jiný rostlinný protein nemá takovou kvalitu bílkovin, jelikož mají nízký obsah esenciálních aminokyselin či dokonce nějaká esenciální AMK není zastoupena vůbec. Z toho důvodu tyto bílkoviny nedokáží dostatečně stimulovat maximální syntézu svalových bílkovin (Stokes et al. 2018).

Biologická hodnota bílkovin udává stravitelnost bílkovin a využití dusíku naším tělem. Zajímá nás, jaká část přijaté bílkoviny se dostane do tělního oběhu a je využita. Biologická dostupnost bílkovin zahrnuje trávení, absorpci, metabolismus, tkáňovou distribuci a biologickou aktivitu. Stravitelnost se odvíjí od struktury bílkovin. Hustá proteinová struktura znemožňuje enzymům průnik k peptidovým vazbám a rozštěpit je (Tahergorabi et al. 2017).

Pro stanovení AAS a kvality bílkovin jako takové se používají různé metody. Nejčastěji používá metoda DIAAS neboli skóre skutečné ileální stravitelnosti esenciálních aminokyselin (Burd et al. 2019). Metoda se zaměřuje na trávení a vstřebání esenciálních AMK v tenkém střevě (Wan et al. 2021).

DIAAS % = 100 x [(mg stravitelné esenciální aminokyseliny v 1 g dietní bílkoviny) / (mg stejné esenciální aminokyseliny v 1 g referenční bílkoviny)] (Wan et al. 2021).

Další metodou hodnocení doporučenou FAO je PDCAAS (protein digestibility-corrected amino acid score) neboli stravitelnost bílkovin s ohledem na spektrum aminokyselin. Kombinuje chemický profil AMK se skutečnou fekální (ze stolice) stravitelností bílkovin. Vyhodnocuje se za pomoci hodnot limitujícího skóre aminokyselin a stravitelnosti bílkovin. Skutečná fekální stravitelnost se stanovuje z množství dusíku ve výkalech. Limitující skóre AMK je poměr první AMK, která je v 1 g hodnocené potraviny zastoupena v nejnižším množství (tudíž limitující), a referenční bílkoviny (Wan et al. 2021).

PDCAAS % = limitující skóre aminokyselin x stravitelnost bílkovin (Wan et al. 2021).

Stravitelnost bílkovin je ukazatelem biologické dostupnosti bílkovin. Jedná se o náchylnost bílkoviny k proteolýze. Živočišné bílkoviny jsou obecně stravitelnější než ty rostlinné. Ukazatelem stravitelnosti je skutečná stravitelnost v tenkém střevě. Zjistíme tak rozdíl mezi množstvím přijatých AMK a AMK vstřebaných v tenkém střevě. Krom míry stravitelnosti nás bude zajímat i rychlost trávení (Kaur et al. 2022). Hodnoty PDCAAS a DIAAS pro jednotlivé potraviny nalezneme v tabulce č.3.

Vhodnými zdroji bílkovin se zastoupením všech esenciálních AMK v potřebném množství jsou vejce, mléko, maso, ryby a sója (Woodruff 2016). Kvalita bílkovin pro sportovní výživu se hodnotí především podle obsahu leucinu, který má největší vliv na svalovou syntézu (Joy et al. 2013).

**Tabulka č. 3:** Hodnoty aminokyselinového skóre DIAAS a PDCAAS u základních druhů potravin (Burd et al. 2019).

Druh potraviny	DIAAS	PDCAAS
Kravné mléko	1,16	1,10
Vařené vejce	1,13	1,05
Kuřecí prsa	1,08	1,01
Vepřové maso	1,14	1,00
Hovězí maso	1,12	1,14
Pšenice	0,45	0,50
Žito	0,48	0,59
Vařené ovesné vločky	0,54	0,67
Vařená rýže	0,60	0,62
Vařené fazole	0,59	0,65
Vařený hrách	0,58	0,60

### 3.3 Bílkoviny ve sportovní výživě

Sportovci mají větší nároky na příjem bílkovin a úpravu stravy podle intenzity a druhu prováděného sportu. Bílkoviny ve stravě jsou důležité pro syntézu kontraktálních a metabolických bílkovin. Hrají důležitou roli při průběhu strukturálních změn v nesvalových tkáních jako jsou šlachy a kosti. Studie dokázaly, že už po jediném odporovém tréninku se zvyšuje syntéza svalových bílkovin po dobu až 24 hodin. V toto období má na syntézu svalů výrazný vliv příjem bílkovin. Vlivem opakovaného příjmu bílkovin po cvičení během celého dne dochází k přírůstku kosterní svalové hmoty. Tento efekt se objevuje i u dalších druhů sportů (například rychlostních), kde jsou ale rozdíly v typech syntetizovaných bílkovin (Thomas et al. 2016).

Je prokázáno, že syntéza svalových bílkovin se spouští i při samotném požití bílkovin bez fyzické aktivity. Kosterní svalstvo se nasatí aminokyselinami a spouští se syntéza svalových bílkovin. Tento děj ovšem trvá jen po dobu 2 – 3 hodin. Poté se hodnoty aminokyselin ve svalech vrací k normálu. Proto je důležitá kombinace cvičení, při které dochází ke kontrakci svalů a následného příjmu bílkovin potravou (Moore et al. 2014).

Z hlediska dostupných zdrojů se dá říci, že nejlepší je kombinovat jak rostlinné, tak i živočišné bílkoviny. Příjem z větší části především živočišných bílkovin zvyšuje celkový příjem nasycených mastných kyselin, které pro nás nejsou tolik vhodné. Proto je dobré živočišné bílkoviny doplňovat rostlinnými, které obsahují nenasycené mastné kyseliny. Na druhou stranu, konzumaci pouze rostlinných bílkovin můžeme přicházet o některé důležité esenciální AMK, které jsou pro člověka se zátěží o to více potřebné. Navíc vzhledem k obsahu některých antinutričních látek v rostlinách mohou být bílkoviny hůře využitelné.

#### 3.3.1 Timing bílkovin

Načasování příjmu bílkovin je důležitější, než by se mohlo zdát. Podle dostupných zdrojů je pro maximální syntézu svalových bílkovin výhodnější přijímat bílkoviny po cvičení, než před a během tréninku. Pro maximální svalovou syntézu je efektivní přijmout biologicky hodnotné bílkoviny obsahující 10 g esenciálních aminokyselin do 2 hodin po cvičení. Syntéza bílkovin může poté trvat až 24 hodin za předpokladu rovnoměrného přijímání bílkovin během následujících hodin po cvičení. Načasování příjmu bílkovin po cvičení ovlivňuje zároveň rychlost syntézy svalových bílkovin. Během dne se doporučuje se přijímat bílkoviny ve stravě každých 3 – 5 hodin od provedení tréninku (Thomas et al. 2016).

Nárůst maximální syntézy svalů bez cvičení trvá pouze 2-3 hodiny po požití bílkovin. Poté se vrací do bazálních hodnot. Prováděla se totiž studie, při které se v prvním případě každé tři hodiny podával mladým mužům nápoj s obsahem 20 g bílkovin, ve druhém případě se každých 1,5 hodiny podávalo (celkem 8krát) 10 g bílkovin a v posledním případě se každých 6 hodin podávalo 40 g bílkovin (2 x za den). Měření probíhalo 12 hodin a v první verzi pokusu došlo k největší syntéze myofibrilárních bílkovin. Je tedy žádoucí denní dávku bílkovin rozložit rovnoměrně do celého dne, aby se maximalizovala syntéza svalů a zároveň minimalizoval anabolismus. Ideálně by se mělo v jednom jídle přijmout zhruba 20 g bílkovin (Joanisse et al. 2021).

Větší část západní společnosti konzumuje bílkoviny nerovnoměrně. 40 – 50 % denního příjmu bílkovin konzumují až během večeře nebo později odpoledne. Bylo tedy zjištěno, že méně než 50 % mladých dospělých a zhruba 7, 5 % starších dospělých konzumuje bílkoviny rovnoměrně rozložené do snídaně, oběda a večeře. Pro podporu anabolického prostředí ve svalích by bylo lepší snížit množství bílkovin přijímaných na večer a rozdělit je do snídaně a oběda bez změny v celkovém množství bílkovin. Dokonce při rovnoměrném rozložení bílkovin během dne u lidí ve středním věku se zvýšila syntéza svalových bílkovin o 25 % oproti přijímání stejného množství bílkovin nerovnoměrně. Konzumace proteinu na snídani zvýšila nárůst svalové hmoty oproti konzumaci tohoto doplňku na večer. U starších dospělých se při suplementaci 0,4 g/kg mléčných bílkovin během snídaně a oběda zvýšil nárůst tukuprosté hmoty během 24denního testování oproti jedincům, kterým byl podáván jen maltodextrin (Joanisse et al. 2021).

### 3.3.2 Bílkoviny a růst svalové hmoty

U zdravých mladých jedinců tvoří svalová hmota 40 % hmotnosti těla. Slouží pro příjem, využití a uskladnění bílkovin z potravy (Joanisse et al. 2021). Tělo své svalové tkáně neustále remodeluje. Nahrazuje staré či poškozené svalové bílkoviny za nové. Rozdíl mezi syntézou a rozpadem svalových bílkovin určuje čistou bílkovinou bilanci svalové tkáně (Moore DR 2019). Pravidelný příjem vysoce kvalitních bílkovin udržuje rovnováhu mezi odbouráváním a syntézou svalových bílkovin. (Master et al. 2021)

Maximální navýšení syntézy svalových bílkovin po cvičení, společně s odporovým tréninkem, je důležité především pro snadnější budování svalové hmoty (Moore 2019). Ačkoli odporový trénink podporuje anabolismus svalů, může působit i opačným efektem, a to především při cvičení na lačno (Valenzuela et al. 2019). Maximalizace syntézy bílkovin po cvičení je primárně založená na rovnováze v příjmu aminokyselin potravou. Aminokyseliny slouží jako stavební látka, která je nejdůležitější pro urychlování syntézy svalových bílkovin. (Moore 2019). Pro stimulaci syntézy svalových bílkovin je nutné docílit hyperaminoacidémie (zvýšeného množství AMK v tělním oběhu) v kombinaci s odporovým cvičením (Woodruff 2016). Příjem bílkovin bezprostředně po cvičení a během fáze zotavování urychluje syntézu svalových bílkovin, usnadňuje jejich remodelaci a regeneraci (Burd et al. 2019). Studie dokazují, že maximální syntéza bílkovin probíhá při příjmu 0,24 – 0,4 g bílkovin na kg hmotnosti v jednom jídle. Nárůst maximální syntézy svalů bez cvičení trvá pouze 2-3 hodiny po požití bílkovin. Poté se vrací do bazálních hodnot (Joanisse et al. 2021).

Ve studii zaměřené na množství bílkovin maximalizující rychlost syntézy myofibrilárního proteinu, byla u průměrného 80 kg muže zjištěná ideální dávka po cvičení 20 g kvalitních, rychle stravitelných bílkovin. Kvalitními bílkovinami se rozumí bílkoviny, které mají svým složením vhodný poměr aminokyselin a dobrou využitelnost. Nelze však říct, že tato dávka bude pro všechny jedince stejná, jelikož je toto velice individuální. Obecně se doporučuje v jednom jídle u mladých dospělých, kteří mají průměrné složení těla a zaměřují se na maximalizaci syntézy svalových bílkovin po tréninku, přijmout zhruba 0,31 g kvalitních, rychle stravitelných bílkovin na 1 kg hmotnosti. Zároveň se při této dávce zabraňuje i nežádoucímu aminokyselinovému oxidačnímu katabolismu, který při nadměrném příjmu bílkovin může

nastat. Tato hodnota příjmu bílkovin je výrazně nižší než ta, která se uvádí pro maximální svalový anabolismus, což je kolem 0,5 g bílkovin na kg hmotnosti v jednom jídle (Moore 2019).

Dostupná literatura uvádí, že pohlaví, současný příjem sacharidů a množství svalové hmoty nemá vliv na stanovení doporučeného příjmu bílkovin. Naopak výzkumy prokázaly, že ideální dávky bílkovin se mohou odvíjet od druhu bílkoviny (složení aminokyselin), její využitelnosti nebo celkové rychlosti trávení (Moore 2019). Syntéza svalových bílkovin nemůže probíhat, pokud některá z AMK není zastoupená v potřebném množství. Z tohoto důvodu dosti záleží na složení AMK přijímaného zdroje bílkovin potravou (Matthews 2020). Sestavení určité dávky bílkovin dále bývá ovlivněno vytrvalostním cvičením, obezitou, stárnutím nebo negativní energetickou rovnováhou (Moore 2019).

Rovnoměrná distribuce bílkovin během celého dne může značně navýšit anabolismus. Frekvence maximální syntézy bílkovin se navyšuje příjmem 20 – 25 g kvalitní bílkoviny v jednom jídle. Obvyklá doporučená denní dávka bílkovin u vrcholových sportovců se pohybuje okolo 1,2 g/kg hmotnosti, ale většina sportovců ve své stravě přijímá mnohem větší množství, a to až okolo 2 g/kg/den. U starších jedinců je doporučený příjem bílkovin kontroverzní, jelikož tyto dávky bílkovin se u nich tolik neosvědčily. To může být způsobeno větší potřebou bílkovin ve starším věku (Valenzuela et al. 2019).

Při příjmu bílkovin po cvičení pro stimulaci syntézy svalových bílkovin nás také bude zajímat jejich zdroj. Nejvíce kvalitní a rychle stravitelné bílkoviny pochází ze syrovátkových nebo vaječných proteinů obohacených o esenciální aminokyseliny. Rostlinné nebo micelární proteiny mají horší využitelnost a složení aminokyselin. To se dá ale kompenzovat jejich vyšším příjmem než u syrovátkových bílkovin. Doporučená dávka těchto bílkovin v jednom jídle je 0,39 g/kg hmotnosti, což je stále bezpečné dávkování (Moore 2019).

Důležité je zmínit, že nejde pouze o příjem bílkovin jako takový. Pro syntézu svalových bílkovin je sice stanovená určitá doporučená denní dávka bílkovin, ale není tolik výhodné toto množství bílkovin přijímat pouze z izolovaných zdrojů. Důležitou roli hrají také ostatní látky, které přijímáme společně s potravinou obsahující bílkoviny. Dokáží zvýšit využití aminokyselin syntéze svalových bílkovin po cvičení. Proto je vhodné bílkoviny přijímat z větší části jako součást plnohodnotné, rozmanité stravy (Burd et al. 2019).

### **3.3.3 Zdroje bílkovin**

#### **3.3.3.1 Živočišné bílkoviny**

Bílkoviny živočišného původu jsou oproti rostlinným bílkovinám lépe stravitelné a jejich využitelnost a složení aminokyselin je výrazně lepší. Mají vyšší biologickou dostupnost a aminokyselinové skóre. Na rozdíl od rostlinných zdrojů obsahují živočišné produkty více plnohodnotných bílkovin. Z tohoto pohledu jsou tedy živočišné bílkoviny kvalitnější. Průměrný obsah bílkovin v jednotlivých potravinách je uveden v tabulce č.4. Jestli jsou bílkoviny plnohodnotné se odvíjí od obsahu esenciálních aminokyselin. Pro potřeby sportovců má největší vliv na svalovou hmotu leucin (Agostoni et al. 2012).



## **Mléko a mléčné výrobky**

Mléko obsahuje 2 základní druhy bílkovin: syrovátkové bílkoviny a kaseinové bílkoviny. Syrovátkové bílkoviny se skládají hlavně z  $\beta$ -laktoglobulinu a  $\alpha$ -laktalbuminu. Kasein dělíme na  $\alpha$ -s1,  $\alpha$ -s2 kasein,  $\beta$ -kasein a  $\kappa$ -kaseinu. Syrovátkové bílkoviny jsou obecně lépe stravitelné (Master et al. 2021).

Mléčné bílkoviny obsahují celé spektrum esenciálních aminokyselin, které jsou schopny zabránit poškození svalu, podpořit růst svalové hmoty, svalové síly a redukovat svalovou únavu. Na druhou stranu je mléko chudé na glycin a arginin (Hou, Wu 2018). Snížením svalové únavy konzumací mléčné bílkoviny po silovém cvičení se zvyšuje pufrací kapacita svalů. BCAA obsažené v mléčných bílkovinách mají antioxidační schopnost. Sirné AMK jako je cystein a taurin mohou zabraňovat zvyšování koncentrace glutationu po cvičení (Setiavan et al. 2020). Podávání mléka po cvičení urychluje regeneraci svalů, zvyšuje doplňování glykogenu a zlepšuje rovnováhu bílkovin pro podporu svalové syntézy.  $\alpha$ -laktalbumin posiluje odpovědi imunitního systému, zlepšuje kvalitu spánku a urychluje hojení ran. Mléko navíc obsahuje laktoferin, který má antibakteriální, antivirové a antioxidační účinky (Jäger et al. 2017).

Mléčná bílkovina má nejlepší aminokyselinové skóre podle hodnocení PDCAAS a obsahuje nejvyšší zastoupení leucinu (Jäger et al. 2017). Podle všeho mléčné bílkoviny vycházejí ze všech ostatních druhů bílkovin jako nejvhodnější z hlediska obsahu leucinu a dobré vstřebatelnosti. Působí na zvýšení svalové síly a přispívají ke změnám ve složení těla (Thomas et al. 2016).

Z mléčných výrobků mají vysoký obsah bílkovin zrající sýry jako například olomoucké tvarůžky, parmezán nebo eidam. Také tvaroh je dobrým zdrojem bílkovin. Oproti sýrům má tvaroh nízký obsah tuku, takže je vhodný do redukční diety (výjimkou jsou olomoucké tvarůžky, které jsou téměř bez tuku).

## **Maso**

Maso se považuje za velmi kvalitní zdroj bílkovin. Mezi maso patří kosterní svalovina s příslušnými tkáněmi (šlachy, vazy, kůže, kosti, tuk) a takzvanými droby (vnitřnostmi) (Bohrer 2017). Maso obsahuje téměř všechny esenciální AMK a je tak plnohodnotnou a velmi kvalitní bílkovinou (Kaur et al. 2022). Z ostatních AMK obsahuje velmi malé množství argininu a glycinu (Hou, Wu 2018). Kromě esenciálních AMK obsahuje maso velké množství vitamínu B12, fosforu, zinku a železa (Bohrer 2017). Maso obsahuje velké množství karnitinu, který přenáší mastné kyseliny s delším řetězcem do mitochondrií a šetří svalový glykogen. Konzumace stravy zahrnující maso vykazuje u jedinců vyšší beztukovou hmotu a lepší růst svalové hmoty než u stravy neobsahující maso (Jäger et al. 2017).

Hovězí maso má nejrychlejší stravitelnost ze všech ostatních zdrojů. Pro co nejlepší stravitelnost se doporučuje tepelná úprava v rozmezí 70 – 75 °C (Kaur et al. 2022). V porci 113,4 g hovězího masa se nachází 30 g AMK, z čehož 10 g je esenciálních (Jäger et al. 2017).

Ryby jsou taktéž velmi dobrým zdrojem kvalitních bílkovin. Oproti jinému masu neobsahuje rybí maso tolik nasycených mastných kyselin a má na lidský organismus ze zdravotního hlediska příznivější dopad. Rybí maso má vyvážený poměr omega 3 a omega 6 mastných kyselin a také značné množství jódu. Většina ryb obsahuje méně tuku než některé

další druhy masa, takže se dá skvěle zařadit do jídelníčku sportovce v kalorickém deficitu (Bohrer 2017).

## **Vejsce**

Vejsce byly pro svůj aminokyselinový profil používány jako standart pro srovnávání kvality bílkovin. Mají velice dobrou stravitelnost a zastoupení AMK, především leucinu, tudíž jsou výborným zdrojem bílkovin pro sportovce (Jäger et al. 2017). Ve vaječné bílkovině se nachází ovoalbumin, ovotransferin, lysozym, avidin a ovomukoid. Ovoalbumin je hlavní bílkovina ve vaječném bílku tvořící až 50 % jeho hmotnosti. Ovotransferin slouží k přenosu rozpustné formy železa do buňky a v těle vykazuje bakteriocidní aktivitu. Lysozym je enzym, který svou antimikrobiální aktivitou vytváří obranný mechanismus pro lidské tělo (Trziszka et al. 2013). Vaječná bílkovina je v syrovém stavu odolná vůči peptidickému trávení. Ovšem v uvařeném stavu je její stravitelnost velice dobrá a rychlá (Kaur et al. 2022). Jedno velké vejce má cca 75 kcal, 6 g bílkovin a 1,5 g nasycených mastných kyselin. Vaječný bílek obsahuje zanedbatelné množství tuku, proto je vhodný pro sportovce v kalorickém deficitu. Celé vejce, především tedy žloutek, obsahuje poměrně velké množství cholesterolu (Jäger et al. 2017).

Konzumace 20 g vaječné bílkoviny po zátěži významně navyšuje syntézu svalových bílkovin i bílkovin v plazmě (Jäger et al. 2017). Pro potřeby navyšování syntézy svalových bílkovin po cvičení se ukázalo výhodnější konzumovat celá vejce než pouze bílky. Studie ale není jednoznačná a mohlo jí ovlivnit mnoho faktorů (Cintineo et al. 2018). Během hodnocení příjmu celého vejce nebo čisté vaječné bílkoviny se došlo k závěru, že přestup leucinu do krevní plazmy byl rychlejší u vaječného bílku. Na druhou stranu, konzumace celých vajec bezprostředně po cvičení vedla k výraznější syntéze svalových bílkovin než u vaječného bílku. Zároveň lze říci, že pro svalovou syntézu jsou důležité i další látky přijímané společně s bílkovinami v potravě (Vliet et al. 2017).

Vejsce jsou z hlediska nutričního složení a multifunkčnosti použití při přípravě jídel skvělá potravina do jídelníčku sportovce. Vejsce jsou velice doporučovaná potravina, která by se ve vyváženém jídelníčku měla pravidelně objevovat i vzhledem k dalším nutričně důležitým látkám jako je riboflavin, selen a vitamín K (Jäger et al. 2017).

## **Hmyz**

Hmyz by mohl být v budoucnu potencionálním zdrojem kvalitních bílkovin. Biologická dostupnost a stravitelnost těchto bílkovin je dokonce vyšší než u hovězího masa. Na druhou stranu hmyzí bílkoviny postrádají lysin a tryptofan. Bohužel se hmyz uvádí jako jeden z významných alergenů. Odvětví konzumace hmyzu jako zdroje bílkovin ještě nebylo zcela probádáno (Kaur et al. 2022).



**Tabulka č. 4:** Obsah bílkovin v potravinách živočišného původu (Burd et al. 2019, Li et al. 2019, Bohrer 2017)

<b>Zkoumané potraviny</b>	<b>Průměrný obsah bílkovin (%)</b>
Syrovátkové bílkoviny	35
Hovězí maso (vařené)	30
Odstředěné mléko	30
Parmezán	39
Olomoucké tvarůžky	28
Tuňák z konzervy	28
Čedar	26
Kuřecí prso čerstvé	23
Vepřové maso čerstvé	20
Losos čerstvý	20
Kasein	20
Vaječný bílek	18
Celé vejce	18
Treska	17
Skыр	12

### 3.3.3.2 Rostlinné bílkoviny

Rostlinné bílkoviny jsou z hlediska ceny a ekologie výhodnější. Ale kvůli obsahu látek exhibitující proteázy (například fytátů a taninů) se snižuje využitelnost a vstřebatelnost bílkovin z rostlinných zdrojů. Tyto látky mohou tvořit i nerozpustné komplexy s bílkoviny a také snižovat jejich stravitelnost. Z tohoto důvodu člověk ve skutečnosti přijímá méně bílkovin než z živočišných zdrojů, i když by se mělo jednat o stejný obsah bílkovin. Proto je důležité při rostlinné stravě přijímat více bílkovin, jelikož se část z nich nedokáže využít tak dobře jako u živočišných bílkovin. Problémem rostlinných bílkovin jsou i časté alergie, které u některých jedinců mohou způsobovat. Nejčastějšími alergeny jsou sója, pšenice, skořápkové plody, arašídý a lupina. Většina rostlinných bílkovin navíc obsahuje mnoho glutaminu a asparaginu, který způsobuje jejich špatnou rozpustnost ve vodě (Day 2013).

Rostlinné zdroje bílkovin zároveň neobsahují celé spektrum esenciálních aminokyselin, hlavně sirných AMK methioninu, cysteinu, lysinu, treoninu a tryptofanu (Bohrer 2017, Hou, Wu 2018). Zároveň obsahují i menší množství leucinu, který je spojený se svalovou syntézou a je tedy pro sportovce velice důležitý. Rostlinné bílkoviny obsahují v průměru 6 – 8 % leucinu a při nízkých dávkách rostlinného proteinu je účinek na zvyšování svalové syntézy téměř zanedbatelný. Přidání samotného leucinu k rostlinným bílkovinám má srovnatelný efekt na syntézu svalových bílkovin jako živočišné bílkoviny. Dalším řešením může být i celkově větší dávky rostlinných bílkovin, které by měly splnit potřebný příjem leucinu (Joy et al. 2013). Z tohoto hlediska jsou tedy rostlinné bílkoviny oproti živočišným bílkovinám neplnohodnotné. Aby bylo docíleno kvalitního příjmu bílkovin i z rostlinných zdrojů, je potřeba rostlinné bílkoviny navzájem kombinovat. V jednom jídle je vhodné použít více rostlinných zdrojů bílkovin pro co nejširší spektrum aminokyselin. Tabulka č.5 uvádí průměrný obsah bílkovin u jednotlivých potravin rostlinného původu. Musíme brát v potaz i potencionální narušení

vlastností a nutriční hodnoty rostlinných bílkovin vařením a jinou tepelnou úpravou, kdy dochází k inaktivaci některých důležitých složek (Bohrer 2017).

Aby člověk konzumující pouze rostlinné bílkoviny dosáhl na doporučenou denní dávku bílkovin, musí přijímat v průměru o 10 g bílkovin navíc. U sportovců veganů by se pak jednalo o navýšení o zhruba 22 g bílkovin pro dosažení hodnoty příjmu 1,4 g/bílkovin/kg hmotnosti za den a srovnatelného efektu na svalovou hmotu jako u bílkoviny z živočišných zdrojů (Ciuris et al. 2020).

Při správném použití mohou i rostlinné bílkoviny dodat tělu dostatečné množství EAA. Pokud budeme rostlinné zdroje bílkovin střídat a kombinovat, můžeme docílit správného aminokyselinového profilu. Bílkoviny se nacházejí nejčastěji v semenech rostlin. Nejdůležitějšími zdroji jsou obilná semena, luštěniny i různá olejnatá semena. Oproti živočišným bílkovinám jsou ty rostlinné méně kvalitní. Mají nižší nutriční hodnoty, nižší využitelnost, vstřebatelnost a velkou molekulovou hmotnost. V poslední době se vývoj rostlinných produktů s obsahem bílkovin značně posunul. Vývoj a technologie výroby dokázali zlepšit nutriční i funkční vlastnosti těchto potravin. Skvělým příkladem jsou sójové produkty nebo sójový či jiný rostlinný protein (Day 2013).

## **Obiloviny**

Obiloviny v našem jídelníčku hrají důležitou roli, jelikož tvoří značnou část naší potravy. Jsou zdrojem složitých sacharidů (především škrobů) a bílkovin. Skladba AMK není tak kvalitní jako u ostatních zdrojů bílkovin. V obilných bílkovinách je limitující AMK lysin (Kaur et al. 2022). Obilné bílkoviny se skládají z prolaminů rozpustných v alkoholu (pšenice gliadiny, žito secalin, ječmen hordein, kukuřice zein, oves avenin), glutelinů rozpustných v kyselinách a zásadách (glutenin pšenice, oryzenin rýže), albuminů rozpustných ve vodě a globulinů rozpustných ve slané vodě (Day 2013, Rasane et al. 2013).

Pšenice patří mezi nejvíce konzumovanou plodinu u nás. Ve výživě člověka hraje důležitou roli. Zásobními bílkovinami u pšenice jsou lepkové bílkoviny a jejich obsah závisí na odrůdě zrna. Izolovaná lepková bílkovina se často prodává pod názvem seitan a vyrábí se vypíráním pšeničné mouky proudem vody. Takto upravená pšeničná mouka obsahuje 70 až 80 % bílkovin (Day 2013).

Oves obsahuje 11 – 15 % bílkovin ve svém zrnu a má vysokou biologickou hodnotu. Největší podíl ovesných bílkovin tvoří globuliny. Díky vyššímu obsahu albuminů je oves oproti ostatním obilovinám bohatý na lysin. Oves neobsahuje lepek a vzhledem k možným alergickým reakcím obsahuje příznivější frakce bílkovin, na které nemusí mít lidé trpící celiakií žádnou alergickou reakci. (Rasane et al. 2013).

Rýže obsahuje nejméně bílkovin ze všech zmíněných zdrojů. I tak se z ní vyrábí rýžové proteiny vhodné například pro lidi s alergií na pšenici nebo sóju (Day 2013).

## **Luštěniny**

Luštěniny jsou známé svým hodnotným obsahem bílkovin a také nerozpustné vlákniny. Ve výživě mají luštěniny velký význam vzhledem ke své sytící vlastnosti a nízké kalorické hodnotě. Proto mohou být skvělou potravinou ve výživě sportovců. Luštěninové bílkoviny se skládají z albuminu a globulinu. Globuliny představují až 70 % hmotnosti semen. Luštěniny

obsahují antinutriční látky jako je kyselina fytová, lektiny, saponiny a taniny, které inhibují proteolytické enzymy a snižují stravitelnost bílkovin z luštěnin. Mohou také způsobit komplikace při trávení a nadýmání. Tyto látky můžeme odstranit buď namáčením luštěnin ve vodě a řádným povařením nebo naklíčením. (Klupšaitė, Juodeikienė 2015).

Fazole jsou nejvíce pěstovanou luštěninou ve světě. Obsahují vyvážené množství AMK, ale zároveň nízké množství sirných AMK methioninu a tryptofanu. Zásobními bílkovinami jsou legumin a vicilin (Klupšaitė, Juodeikienė 2015).

Hrách obsahuje v průměru 25 % bílkovin, ale obsah je ovlivněn odrůdou (Kaur et al. 2022). Hlavními bílkovinami hrachu jsou albumin, legumin a vicilin (Klupšaitė, Juodeikienė 2015). Díky tomu, že se hrách dobře pěstuje a lehce se u něho odstraňuje slupka, je velice dostupnou plodinou ve světě. Podobné hodnoty obsahu bílkovin má i cizrna (Kaur et al. 2022).

Další významnou luštěninou s velkým obsahem bílkovin je lupina. Kvůli obsahu velkého množství alkaloidů se většinou nepoužívá k přímé spotřebě. Je možné z ní extrahovat proteinový izolát, který už nemá velké množství těchto alkaloidů a je tedy možné ho takto konzumovat (Day 2013). Hlavní bílkoviny v lupině jsou globuliny. Z hlediska AMK obsahuje významné množství sirných AMK a argininu (Klupšaitė, Juodeikienė 2015).

Sója se řadí mezi plodiny (luštěniny) obsahující nejvíce bílkovin ve svých semenech. Existuje odrůda potravinářská a olejnatá. Odtučněný sójový šrot po výrobě oleje se používá na výrobu různých proteinových nápojů a jiných produktů bohatých na bílkoviny. Potravinářská odrůda se dá po uvaření konzumovat celá nebo se z ní vyrábějí různé produkty. Nejčastějšími sójovými výrobky obsahující více bílkovin je sójová mouka, tofu, tempeh, sójový proteinový koncentrát, sójový proteinový izolát nebo hydrolyzovaný sójový protein (Day 2013). Vzhledem k dobrému složení aminokyselin se může sója stát vhodnou alternativou k živočišným bílkovinám. Limitujícími AMK jsou methionin a cystein, ale má významné množství lysinu. Sójová bílkovina se skládá z několika frakcí. Některé z nich v sobě mají glycin, globulin, některé enzymy a inhibitory trypsinu (Klupšaitė, Juodeikienė 2015).

### **Skořápkové plody a arašídý**

Ořechy jsou dobrým zdrojem nenasycených mastných kyselin, bílkovin, vitamínů skupiny B, vitamínu E, fosforu, draslíku a vápníku. V mandlích je hlavní bílkovinou amadin, který tvoří 65 – 70 % celkových rozpustných bílkovin. Ve vlašských ořechách se nachází bílkoviny gluteliny, prolaminy, globuliny a albuminy (Qamar et al. 2019).

Vzhledem k nutričnímu složení jsou ořechy vhodnou potravinou pro sportovce i ostatní jedince. Sportovci by si měli dávat pozor na vysoký obsah tuků ve skořápkových plodech, pokud se nachází v kalorickém deficitu. Ořechy mají velmi vysokou energetickou hodnotu, která může dobře posloužit například u sportovců, kteří mají nastavený vysoký kalorický příjem.

**Tabulka č. 5:** Obsah bílkovin v potravinách rostlinného původu (Day 2013, Li et al. 2019, Bohrer 2017, Klupšaitė, Juodeikienė 2015)

Zkoumané potraviny v syrovém stavu	Průměrný obsah bílkovin (%)
Sójové boby	35 - 40
Lupina	35 - 40
Arašídý	26
Hrách	20 - 30
Cizrna	20 - 25
Fazole	17 - 23
Mandle	21
Kešu ořechy	18
Semena řepky	17 - 26
Čirok	9 - 17
Kukuřice	9 - 12
Tofu	9
Loupaný ječmen	8 - 15
Pšeničná mouka	8 - 15
Rýže	7 - 9

### 3.3.4 Suplementace bílkovin

Velké množství sportovců se do svého jídelníčku snaží zařadit více bílkovin právě pomocí různých suplementů, které jim příjem této makroživiny usnadňují. Nejběžnější formou bílkovinného suplementu jsou různé živočišné nebo rostlinné proteiny v práškové podobě. Nejvíce využívaným proteinem je syrovátkový protein, který má dobrou kvalitu i stravitelnost. Sportovec díky těmto přípravkům do těla dostane poměrně snadno větší množství bílkovin, a přitom tolik nenavýší množství kalorií, což se může být ideální pro sportovce v kalorickém deficitu. Navíc je samotné použití suplementu velice jednoduché a mnohdy i levnější oproti běžnějším zdrojům. Výhoda je i v delší trvanlivosti nebo v možnosti si snadno vzít svojí porci bílkovin někam na cesty (Master et al. 2021). Navíc tekutá forma bílkovin je rychleji a lépe stravitelná než příjem pevné bílkoviny (Moore et al. 2014).

Suplementy v podobě práškových proteinů se prodávají buď přírodní nebo ochucené. Často se do nich přidávají i další látky jako jsou například trávicí enzymy, sacharidy, tuky, aminokyseliny nebo kolagen podle cílové skupiny spotřebitelů. (Li et al. 2019).

Doplňování bílkovin po odporovém tréninku podporuje hubnutí u mladých a starších dospělých. Dirks et al. (2017) prováděl výzkum, kdy podával subjektům, provozujícím odporový trénink, dvakrát denně buď 15 g mléčného proteinu nebo placebo. Zjistilo se, že suplementace bílkovin přispívá k navyšování hypertrofie svalových vláken se současným prováděním delšího odporového cvičení (Master et al. 2021).

#### Syrovátkový protein

Syrovátkový protein je vedlejší produkt vyráběný ze syrovátky získané v laboratoři nebo v sýrařském průmyslu. Syrovátkové bílkoviny se řadí mezi polymorfní a heterogenní bílkoviny. Mají snadnou stravitelnost, vysokou vstřebatelnost a vhodnou skladbu esenciálních

aminokyselin. Jejich biologická hodnota je velmi vysoká. Kromě významného množstvím leucinu se tyto bílkoviny skládají především z  $\beta$ -laktoglobulinu,  $\alpha$ -laktalbuminu, glykomakropeptidu a sérového hovězího albuminu. Syrovátkový protein se prodává v několika variantách. První z nich je syrovátkový proteinový koncentrát s koncentrací bílkovin okolo 25 – 89 %. Často se u tohoto proteinu částečně odstraňuje laktóza a tuk. Dalším typem je syrovátkový proteinový izolát obsahující dokonce 90 – 95 % bílkovin. Většinou neobsahuje žádný tuk ani laktózu nebo pouze v minimálním množství. Posledním typem je syrovátkový proteinový hydrolyzát, který je tvořen z 98 % dipeptidy a tripeptidy. Je složen z izolovaných, velmi koncentrovaných frakcí. Vyznačuje se vyšší stravitelností a má nižší proalergenní vliv (Master et al. 2021).

Syrovátkové proteiny jsou oproti kaseinovým proteinům rychleji stravitelné. Požití syrovátkového izolátu vede k nejrychlejšímu navýšení esenciálních AMK v plazmě oproti dalším proteinům (Kaur et al. 2022). Syrovátkový protein má oproti dalším proteinům nejvyšší zastoupení AMK leucinu, která je nezbytná pro stimulaci maximální syntézy svalových bílkovin. Až 50 % hmotnosti syrovátkového proteinu tvoří EAA. Příjem syrovátkového proteinu u vytrvalostních i silových sportovců usnadňuje regeneraci svalů a zabraňuje případnému snížení síly po náročném tréninku. (Cintineo et al. 2018). Přidání syrovátkového nebo obecně mléčného proteinu do jídla zvyšuje regeneraci svalů po náročném tréninku a doplňování zásob glykogenu (Jäger et al. 2017).

### **Kaseinový protein**

Kasein tvoří největší část mléčných bílkovin. Skládá se z  $\alpha$ -s1,  $\alpha$ -s2 kaseinu,  $\beta$ -kasein a  $\kappa$ -kaseinu. Ve 100 g kaseinu obsahuje až 8,77 g leucinu, což představuje 80 % všech bílkovin v mléce. V žaludku se díky kyselému prostředí vysráží a tráví se pomaleji než syrovátkový protein. Díky peptidům v kaseinu se snižuje rychlost vyprázdnění žaludku a udržuje zásoby aminokyselin v krvi po jeho požití (Master et al. 2021).

Kaseinový protein se uvádí na trh nejčastěji ve třech podobách. Nejrychleji se tráví kaseinát sodný. Mezi další druhy kaseinového proteinu patří micelární kasein a kaseinát vápenatý (Kaur et al. 2022).

### **Hovězí protein**

Studie ukazují, že po příjmu 30 g hovězího proteinu se zvýšila syntéza svalových bílkovin o 50 % oproti stavu na lačno. Pokud přidáme k příjmu hovězího proteinu i cvičení, syntéza svalových bílkovin se zvýší ještě výrazněji. Oproti syrovátkovému proteinu má hovězí protein o něco nižší stravitelnost a větší zastoupení esenciálních AMK, zejména lysinu, methioninu a leucinu. Hovězí protein vykazoval nižší stimulaci syntézy svalových bílkovin v rané fázi po cvičení než syrovátkový protein. I přesto může být hovězí protein skvělým pomocníkem k navýšení celkového příjmu bílkovin a svalové syntézy, jelikož v porovnání se syrovátkovým proteinem se výsledky nelišily až tak výrazně (Valenzuela et al. 2019).

### **Vaječný protein**

Protein z vaječných bílků má nejvyšší aminokyselinové skóre. Obsahuje všechny důležité aminokyseliny, proto je tato bílkovina velice kvalitní a plnohodnotná. Po požití 20 g

vaječného proteinu došlo k maximální stimulaci syntézy svalových bílkovin. Podle jedné studie má vaječný protein podobné účinky na svalovou hmotu a regeneraci svalů po cvičení jako sójový protein (Hasegawa et al. 2014).

### **Rostlinné proteiny**

Rostlinné proteiny bývají v posledních letech dost oblíbené. Mnoho jedinců se snaží nahrazovat živočišné bílkoviny těmi rostlinnými. U rostlinných proteinů je často problém jejich pachů a špatná rozpustnost. Nejvyšší obsah bílkovin mají proteinové izoláty, které se dokonce vyznačují sníženým obsahem fytátů a taninů, tudíž jsou bílkoviny lépe využitelné (Kaur et al. 2022).

Co se týká sójového proteinu, jeho stravitelnost je kvalitou někde mezi micelárním kaseinovým proteinem a syrovátkovým proteinem. Ostatní zdroje rostlinných bílkovin už tak dobrou stravitelnost nemají. Mluví se ještě o dobré stravitelnosti bramborového proteinu. (Kaur et al. 2022). Sójový proteinový koncentrát obsahuje až 65 % bílkovin a sójový proteinový izolát dokonce 90 % bílkovin (Day 2013). Sójový protein se svou kvalitou dá srovnávat s živočišnými proteiny, ačkoli obsahuje méně leucinu. Ve studiích měl téměř srovnatelné účinky na růst svalové hmoty a svalovou sílu (Messina et al. 2018).

Rýžový proteinový koncentrát obsahuje okolo 80 % bílkovin (Day 2013). Vysoké dávky rýžového proteinu (48 g) po cvičení jsou schopné zajistit stejné účinky na svalovou hmotu a obsah leucinu jako například syrovátkový protein (Joy et al. 2013).

Z hrachu i cizrny se může vyrábět mouka, proteinový koncentrát a proteinový izolát, který obsahuje 85 – 95 % bílkovin (Day 2013).

### **3.3.5 Suplementace aminokyselin**

Jako doplněk k tréninku a vyvážené stravě často sportovci volí přípravky s obsahem různých aminokyselin. Nejznámějšími z nich jsou BCAA, EAA, glutamin, arginin nebo kreatin. Existuje poměrně málo prověřených doplňků stravy, které mají skutečně průkazné výsledky a jejich účinky nejsou kontroverzní. Mnoho sportovců některé z těchto přípravků užívá v domněnku, že mají skutečné takové účinky, jaké slibují na obale výrobci. Nemusí tomu vždy tak být. Některé z nich totiž tyto účinky nemají vědecky prokázané nebo je jejich účinek minimální. I přes to velká část neznalých sportovců těmto přípravkům věří a prodejci na nich vydělávají. Na druhou stranu má řada přípravků na bázi aminokyselin ve sportovní výživě své místo a dají se dobře využít pro zlepšení výkonu.

#### **3.3.5.1 EAA**

Označení EAA se používá pro esenciální aminokyseliny, které si lidské tělo nedokáže samo vytvořit, tudíž je musíme přijímat potravou. Mezi esenciální aminokyseliny se řadí leucin, izoleucin, valin, fenylalanin, threonin, tryptofan, methionin, lysin a histidin (Xiao et al. 2021). EAA se přirozeně vyskytují v běžných potravinách jako jsou ryby, ořechy, vejce, maso, rýže nebo luštěniny.

Nedávné studie prokázaly výrazný příznivý vliv esenciálních aminokyselin na maximalizaci syntézy svalových bílkovin u mladých i starších lidí. Dokáží tak zpomalit ztrátu svalové hmoty vlivem stáří a malé aktivity svalů (Valenzuela et al. 2019). Stimulace maximální syntézy svalových bílkovin je ovlivněna esenciálními AMK ve stravě, především limitující AMK leucinem. S rostoucí fyzickou aktivitou roste i kapacita využití AMK pro svalovou syntézu a tím i potřeba bílkovin ve stravě (Stokes et al. 2018). Tabulka č. 6 obsahuje minimální hodnoty jednotlivých EAA potřebné pro denní příjem.

### **Histidin**

Jedná se o bazickou heterocyklickou aminokyselinu s imidazolovým postranním řetězcem, který histidinu dává vlastnost katalyzovat serinové proteázy. Jedná se o jednu z nejméně zastoupených aminokyselin v těle. Histidin může být částečně syntetizován z karnitinu. Doporučená denní dávka podle WHO a FAO je 10 mg/kg/osobu. Je potřebný pro některé enzymy, jako je například trypsin. Dále má své využití v kůži, kde při působení UV záření má ochrannou funkci. Histidin se ukázal i jako důležitý prekurzor karnitinu ve svalech a mozku. Zároveň se uplatňuje při oxysličování organismu a syntéze bílkovin. Při přebytku může být přeměněn na karnosin (Brosnan 2020).

### **Lysin**

Lysin je důležitý pro vytvoření pozitivní dusíkaté bilance. Doporučený denní příjem lysinu se pohybuje v rozmezí 4 – 5 g. Při určení přesné dávky lysinu záleží na celkovém kalorickém příjmu a bílkovin. Lysin se dá použít jako doplněk k bílkovinám (zejména rostlinným), aby se zlepšila jejich kvalita. Významné množství lysinu obsahují například fazole, vejce. Ve významných potravinách, jako jsou například obiloviny, je lysin limitující AMK (Matthews 2020).

### **Methionin**

Hraje zásadní roli v buněčných procesech. Uplatňuje se v přenosu síry a metylových skupin v těle, které se uplatňují v biosyntézách (Hromádka a kol. 2016). Doporučený příjem methioninu je 19 mg/kg za den (Hou, Wu 2018).

Moduluje metabolismus, oxidační stres a zánět. Zlepšuje zdraví kostí, ledvin a jater. Při metabolismu methioninu vzniká odpadní látka homocystein, který může v nadměrném množství způsobovat riziko pro kardiovaskulární onemocnění (Navik et al. 2021).

### **Tryptofan**

Tryptofan je AMK rostlinného původu zúčastňující se biosyntézy bílkovin. Jeho nedostatek je velice nebezpečný, jelikož je prekurzorem pro syntézu důležité kyseliny nikotinové (vitamínu B3), melatoninu, NAD a NADP. Další látkou, pro kterou je tryptofan prekurzorem, je serotonin (Friedman 2018, Hromádka a kol. 2016).

## Fenylalanin

Jedná se o důležitý prekurzor hormonů adrenalin a noradrenalin. (Hromádka a kol. 2016).

**Tabulka č. 6:** Minimální denní příjem EAA u zdravých jedinců (Teplan 2016).

• izoleucin 700 mg/den
• leucin 1 100 mg/den
• valin 800 mg/den
• lysin 800 mg/den
• methionin/cystin 1 100 mg/den
• fenylalanin/tyrozin 1 100 mg/den
• treonin 500 mg/den
• tryptofan 250 mg/den

### 3.3.5.2 BCAA

Zkratka vychází z anglického pojmenování Branched chain amino acids. Jedná se o AMK s rozvětveným řetězcem. Řadíme do nich esenciální aminokyseliny leucin, isoleucin a valin. Tyto aminokyseliny jsou v trávicím traktu dobře vstřebatelné, především v tekuté formě. V těle působí především anabolicky a antikatabolicky. Na rozdíl od jiných AMK nejsou BCAA metabolizovány v játrech, ale jdou přímo do svalů, kde probíhá jejich metabolismus (Vilikus a kol. 2020).

Nejsledovanější aminokyselinou je především leucin pro jeho rychlejší oxidaci. BCAA mají podle studií pozitivní vliv na rychlost syntézy bílkovin, sekreci inzulínu a výkonnost. Dokáží oddálit svalovou únavu a snižovat poškození svalových vláken vlivem cvičení. Podle všeho BCAA snižují vychytávání tryptofanu CNS a ztráty bílkovin. Suplementace BCAA udržuje po cvičení koncentraci glutaminu, který se podílí na zmírnění snižování funkcí imunitního systému (Master et al. 2021). BCAA tvoří až 1/3 složení svalových bílkovin (Joy et al. 2013). Doporučená denní dávka se při dlouhodobém užívání pohybuje kolem 5-15 g (Vilikus a kol. 2020). Často se spekulovalo o příznivých účincích kombinace BCAA se sacharidy a jinými aminokyselinami, ale studie neprokázaly žádné výrazné rozdíly oproti používání samotných BCAA (Master et al. 2021).

Užívání BCAA s sebou nese i možné nežádoucí účinky. Mezi ty nejčastější patří pocit únavy a špatná nálada, která se může vést až k depresivnímu stavu. BCAA totiž blokují přesun



tryptofanu do mozku a uvolňuje se méně serotoninu, který je odpovědný za dobrou náladu (Vilikus a kol. 2020).

Některé studie mohou čelit střetu zájmů s marketingem výrobců a prodejců BCAA. Mnoho z nich totiž uvádějí ergogenní a další účinky BCAA, které se ale v některých studiích neprokázaly. Díky rozdílným výsledkům veškerých studií neexistují průkazné důkazy o využívání BCAA jako účinného prostředku pro zvýšení svalové síly a zmírnění svalových bolestí (Master et al. 2021).

### **Leucin**

Díky svojí schopnosti usnadňovat dostupnost prekurzorů pro syntézu izoprenoidů a cholesterolu se uplatňuje v syntéze buněčných membrán převážně příčně pruhovaného svalstva. Hraje významnou roli v syntéze bílkovin a zabraňuje jejich degradaci. Je tedy důležitý pro udržení svalstva a předcházení sarkopenie (Hromádka a kol. 2016). Leucin dokáže negativní bilanci bílkovin vzniklou po cvičení převést na pozitivní (Joy et al. 2013). Předpokládá se, že minimální hranice příjmu leucinu pro maximální syntézu bílkovin je celková dávka 3 – 4 g/den. Po podání 0,7 g leucinu, těsně po odporovém tréninku, bylo docíleno požadované intenzity syntézy svalových bílkovin. Příjmutí 1,5 g leucinu v jedné porci jídla je schopné zajistit stimulaci maximální syntézy bílkovin bez ohledu na to, jestli následovalo cvičení (Master et al. 2021). Po překročení doporučené dávky leucinu se jeho účinek už dále nenavýšuje, ale začíná stagnovat. Nemá proto smysl přijímat zbytečně moc této aminokyseliny (Joy et al. 2013). Ze všech živin má leucin největší vliv na tvorbu svalové hmoty. Zároveň vytváří vhodné prostředí pro nově vzniklé bílkoviny (Master et al. 2021).

Leucin se nachází například ve vejcích. Po podání 20 g vaječné bílkoviny docílíme příjmu 2 g leucinu (Joy et al. 2013).

### **Izoleucin**

Izoleucin je nezbytný pro zajištění fyziologických funkcí těla jako je růst, imunita, metabolismus bílkovin, metabolismus mastných kyselin a transport glukózy (Gu et al. 2019). Společně s valinem se podílí na glukoneogenezi a působí ketogenně (Hromádka a kol. 2016).

### **3.3.5.3 Arginin**

Arginin je často využívaná aminokyselina v klinické praxi i ve sportovním odvětví. Řadí se mezi semi-esenciální, jelikož při jeho nízkých hladinách se jeho syntéza nenavýšuje. Lze ho endogenně syntetizovat z glutaminu, glutamátu a prolinu. Arginin v těle slouží k přenosu aminodusíku mezi orgány. (Hromádka a kol. 2016).

Podle dostupných zdrojů může vykazovat ergogenní účinek, jelikož navyšuje sekreci růstového hormonu, zapojuje se do syntézy kreatinu a také má co dočinění s navyšováním hladiny oxidu dusnatého v těle. Intravenózní suplementace argininu sice zvyšuje sekreci růstového hormonu v klidu nebo během cvičení, ale jeho ergogenní účinky při perorálním podání 7 g nebyly nijak prokázány (Valenzuela et al. 2019). Jiná studie zase uvádí, že po 8týdenním podávání 3-4 g L-argininu denně se zlepšil silový výkon u maximálního bench-pressu a anaerobní výkon ve Wingate testu na bicyklovém ergometru (Vilikus 2020).

L-arginin tedy podle výzkumů nezlepšuje sportovní ani vytrvalostní výkon u vrcholových sprinterů a nezlepšuje ani účinek cvičení. Některé studie ale zjistili zvýšenou respirační odpověď, svalovou sílu a lepší výkonnost při opakovaném sprintu a podávání 6 g L-argininu. Avšak výsledky těchto studií byly poměrně kontroverzní a v některých výzkumech se nepotvrdily (Sandbakk et al. 2014).

Pro jeho údajnou schopnost zabránění úbytku svalové hmoty se L-arginin suplementuje především při rýsovacím tréninku nebo redukční dietě. Doporučuje se užívat 2-7 g argininu na lačno 2krát denně a zapít dostatečným množstvím vody. Na začátku aplikace argininu nejdříve užíváme čtvrtinovou dávku a postupně navyšujeme podle potřeby. Kvůli zamezení svalové atrofii se dlouhodobě hospitalizovaným pacientům podává 14 g argininu denně (Vilikus 2020).

Vyšší dávky argininu mohou v ledvinách negativně působit na zpětné vychytávání esenciálního lysinu a tím způsobit jeho nedostatek (Hromádka a kol. 2016).

#### **3.3.5.4 Glutamin**

Glutamin je nejhojněji zastoupená aminokyselina v lidském těle. Jelikož může být jeho syntéza při onemocnění nedostatečná, řadí se glutamin do semi-esenciálních aminokyselin. Syntéza glutaminu je ovlivněna aktivitou enzymu glutamin-syntetázy, která se nachází v kosterních svalech, plicích, mozku, játrech nebo tukové tkáni (Master et al. 2021). Vysoký obsah této látky se nachází především v kosterním svalu a plazmě. Jeho hlavní funkcí jsou anabolické reakce a významnou roli hraje také v imunitním systému. V klinické praxi u nemocných pacientů se glutamin uplatňuje proti snížené syntéze svalových bílkovin a pro zlepšení dusíkaté bilance. Důkazy o jeho účincích při perorální suplementaci jsou ale nedostatečné. Při dávce 0,5 g/kg byly u pacientů se svalovou dystrofií pozorovány přínosy, ale u vzpěračů s dávkou 0,3 g/kg nebyly potvrzeny žádné účinky na svalový výkon. Ani při vyšších dávkách nebyl pozorován žádný účinek suplementace na výkon sportovců či imunitní systém (Valenzuela et al. 2019). I mezinárodní olympijský výbor označil studie o suplementaci glutaminu za účelem zvýšení výkonnosti jako neprůkazné (Master et al. 2021).

Při užívání vysokých dávek a v kombinaci s tyrosinem a tryptofanem může mít nežádoucí účinky v podobě psychického útlumu, jelikož brání tvorbě serotoninu v mozku. Sportovci se sníženou glukózovou tolerancí by měli být na pozoru. Glutamin má totiž výrazný diabetogenní efekt, a proto by ho raději neměli užívat (Vilikus 2020). Podle některých zdrojů může být suplementace glutaminu pro tělo toxická, pokud se suplementuje u zdravých jedinců s normální hladinou glutaminu tvořeného tělem. A to především v dávkách vyšších, než je jeho samotná syntéza v těle (Soeters et al. 2015)

I když podle všech výzkumů nemá suplementace glutaminu pro sportovce žádný význam, někteří výrobci sportovní výživy uvádějí na trh přípravky s obsahem této aminokyseliny, které si sportovci často pořizují. Určitě bude ještě potřeba udělat několik studií na téma suplementace glutaminu.

#### **3.3.5.5 Kreatin**

Kreatin je v těle syntetizován z aminokyselin glycinu, argininu a methioninu. Jeho syntéza probíhá především v játrech pomocí enzymů alanin-glycin aminotransferázy

přítomného v ledvinách a guaninacetát methyltransferázy, který se nachází přímo v játrech. Vytvořený kreatin je pomocí kreatinového transportéru přenesen přímo do svalů (Brosnan et al. 2016).

Jeho syntéza začíná v ledvinách za pomoci argininu a glycinu. Poté se proces tvorby přesouvá do jater, kde se přidává methionin a vzniká samotný kreatin. Ten je krví za pomoci transportérů přenášen do svalů. Vlivem enzymu kreatinkinázy dochází v buňkách k fosforylaci kreatinu a vzniká fosfokreatin. Fosfátová skupina je do reakce dodávána z ATP, která se přeměňuje na ADP. Při potřebě ATP v buňce může naopak fosfokreatin přenést fosfátovou skupinu zpět na ADP. Při intenzivní krátkodobé zátěži pokrývá potřebu ATP anaerobní glykolýza a fosfokreatinu. Navýšením zásob fosfokreatinu ve svalech je možné oddálit svalovou únavu a zvýšit výkonnost. Další cestou, jak se zvyšuje svalový výkon pomocí kreatinu je podpora tvorby ATP prostřednictvím glykolýzy pufrováním vodíkových iontů nebo zvýšením aktivity fosfofruktokinázy (Brosnan et al. 2016).

Kreatin se v těle se nachází v podobě volného kreatinu nebo fosfokreatinu v celkovém množství okolo 120 g na 70 g tělesné hmotnosti. Při vyšším exogenním příjmu kreatinu, například přímou suplementací, se snižuje jeho vlastní tvorba v těle. Tento proces je ale vratný, stačí pouze omezit množství suplementovaného kreatinu a jeho endogenní produkce se vrátí do normálu (Hall et al. 2013).

Více než 90 % kreatinu se nachází ve svalech a zbylá % najdeme v mozku. Kreatin se pomocí enzymu kreatinkinázy přeměňuje na fosfokreatin, který je zásobní látkou pro adenosintrifosfát (ATP). ATP díky tomu zajišťuje energii svalovým buňkám. Z těla pomocí moči denně odchází zhruba 1,5-2 % kreatinu ze zásob. Dochází k tomu pomocí spontánní neenzymatické dehydratace kreatinu. Proto by měl být kreatin každý den tělu dodáván buď potravou nebo vlastní syntézou v těle (Brosnan et al. 2016).

Vstřebávání kreatinu nezávisí na tom, z jakého zdroje v potravě ho přijmeme. Jeho množství se ale může snižovat vlivem tepelné úpravy i nízkého pH. Vařením masa se kreatin přeměňuje na kreatinin. Při vaření ve vodě po dobu 20 minut se kreatin zachová z 90 %. Při tepelné úpravě trvajících 60 minut se ztrácí až 30 % kreatinu a část kreatinu odchází i do vody, ve kterém se maso vařilo. Nejlepší způsob, jak uchovat kreatin v potravě je jeho konzumace za syrova (například u ryb) nebo konzervace masa sušením nebo nasolováním (Brosnan et al. 2016).

Zhruba polovinu doporučené denní dávky si tělo vytváří samo a zbytek přijímá potravou. Jelikož se jedná o takzvaný karninutrient, je součástí pouze živočišné stravy. Nejvíce ho najdeme v kosterních svalech zvířat a méně potom i v mléčných výrobcích. Člověk si při stravě obsahující živočišné výrobky vystačí s množstvím kreatinu z této stravy a z vlastní syntézy v těle. To platí za předpokladu, že nemá vrozený problém s enzymem důležitým pro jeho syntézu nebo s množstvím substrátových aminokyselin (Brosnan et al. 2016).

Kojenci přijímají tuto látku v mateřském mléce nebo kojenecké výživě. U vegetariánů a veganů je hladina svalového a plazmatického kreatinu nižší, jelikož ho stravou nepřijímají. Měli by ho proto suplementovat vhodným doplňkem stravy. Ve studii Solis et al. z roku 2014 bylo poukázáno na to, že ačkoli mají vegetariáni nízkou hladinu plazmatického kreatinu, v mozku se množství kreatinu nezměnilo. Podle této studie tedy strava neovlivňuje hladinu kreatinu v mozku, ale pouze jeho koncentraci ve svalech (Brosnan et al. 2016).

Nejlepší formou pro suplementaci je kreatin monohydrát. Ostatní formy kreatinu nemají takový účinek. Pro sportovce má kreatin význam především u silových tréninků. Má příznivý vliv na zvyšování svalové síly při krátkodobých, vysoce intenzivních výkonech. Mezinárodní společnost pro sportovní výživu uvedla, že u kreatinu při jeho správném použití neexistují důkazy o nežádoucích vedlejších účincích (Hall et al. 2013).

### 3.3.5.6 Karnitin

Karnitin je důležitý pro přenos mastných kyselin s dlouhým řetězcem do mitochondrií v  $\beta$ -oxidaci. Vychytává acylové zbytky po metabolismu aminokyselin a pomáhá s jejich odstraněním. Tyto látky se mohou hromadit v srdci a způsobit jeho poškození. Syntetizuje se v těle a až ze 75 % je přijímán stravou. Nejvýznamnějším zdrojem je maso a mléčné výrobky. Obsah karnitinu ve významných potravinách je uveden v tabulce č.7. Hladina karnitinu v těle je vyrovnávána pomocí aminokyselin lysinu a methioninu (Longo et al. 2016). Nejvíce karnitinu se nachází v buňkách kosterních svalů, srdce, ledvin a jater (Adeva-Andany et al. 2017). Díky vlastní syntéze karnitinu a jeho zpětné resorpci v ledvinách je jeho hladina udržována i u vegetariánů nebo veganů (Longo et al. 2016).

L- karnitin se uplatňuje při genové transkripci a reguluje aktivitu enzymů. Zlepšuje odbourávání glukózy a při dlouhodobém podávání snižuje ukládání tuků z nadměrného příjmu sacharidů (Adeva-Andany et al. 2017). Podle výzkumů je jeho hlavní funkcí zvýšená oxidace tuků, šetření glykogenu pomocí urychlené  $\beta$ -oxidaci a zpomalení nástupu únavy. Je prokázáno, že jedinci s nedostatkem L-karnitinu mají o 75 % pomalejší oxidaci mastných kyselin s dlouhým řetězcem než jedinci s normální hladinou. V jedné studii byly podávány 2 g karnitinu denně po dobu 28 dní. Prokázalo se snížení respiračního kvocientu během stejné intenzity cvičení, což naznačuje zvýšený metabolismus mastných kyselin. Při podávání 2 g karnitinu jednu hodinu před tréninkem při maximálním objemu kyslíku ( $VO_2$  max) se snížila hladina laktátu v krvi díky snížení metabolismu glukózy a glykogenu. Naopak při podávání 5 g karnitinu, při polovičním  $VO_2$  max během maratónu nebo plavání, se neprokázalo žádné zlepšení výkonu. Závisí tedy především na intenzitě cvičení a načasování suplementace kreatinu. Výrazné pozitivní účinky na výkon se objevují při podávání kreatinu během vysoce intenzivních cvičení (Sung et al. 2016).

Doporučená denní dávka karnitinu se pohybuje od 1 do 5 g. Ideální denní dávka a načasování příjmu karnitinu nebylo nijak stanoveno, ale Tchajwanské ministerstvo zdravotnictví doporučuje dávku okolo 2 g. Některé zdroje uvádí mírné vedlejší účinky při podání tohoto množství karnitinu. Jedná se především o nevolnost nebo zvracení. Po rozdělení 2 g karnitinu do tří dávek během dne se tyto vedlejší účinky neukázaly. Pro zlepšení sportovního výkonu, u aktivit s nízkou až střední aktivitou, je vhodná kombinace 2 g karnitinu s 80 g sacharidů. Zároveň se díky současnému podávání karnitinu a sacharidů zvyšuje hladina karnitinu v kosterním svalstvu (Sung et al. 2016). Aby bylo docíleno dostatečné koncentrace karnitinu přímo ve svalech, je nutné ho užívat minimálně po dobu 4-6 týdnů. Při kratším užívání se zvyšuje hladina karnitinu pouze v krevní plazmě. Vlivem nedostatku karnitinu ve stravě může docházet k hromadění mastných kyselin. Pokud mastné kyseliny nejsou využity, začínají se ve zvýšené míře spalovat sacharidy v těle, a to vede až k hypoglykémii. Nejčastěji jsou

nedostatkem karnitinu ohroženi vegetariáni, vegani nebo sportovci s extrémní fyzickou zátěží (Vilikus a kol. 2020).

Závěrem lze říci, že karnitin je skvělou pomůckou pro zmírnění svalových bolestí a křečí. Jeho ergogenní účinek se ale u vytrénovaných jedinců neprokázal. Karnitin dokáže zvýšit sportovní výkon pomocí jeho antioxidační schopnosti. Snižuje totiž oxidační stres, který vzniká při svalové práci (Sung et al. 2016).

**Tabulka č. 7:** Obsah karnitinu v některých potravinách (Vilikus a kol. 2020).

<b>Potravina</b>	<b>Obsah karnitinu v mg/ 100 g</b>
Skopové maso	80
Hovězí maso	60
Vepřové maso	30
Kuřecí maso	4-9
Kravné mléko	1-4 (podle tučnosti)

### 3.3.5.7 $\beta$ -alanin

Tato neesenciální aminokyselina se syntetizuje v játrech. Získáváme jí i potravou nejčastěji z drůbežího masa. Sám o sobě ergogenní účinky nemá, ale podporuje rychlost syntézy karnosinu a zvyšuje jeho hladiny v kosterním svalstvu. Největší účinky má v kombinaci s L-histidinem, kdy tvoří již zmíněný karnosin. K maximalizaci účinků  $\beta$ -alaninu se vyplatí přijímat 4 – 6 g denně v dávkách rozdělených do 2 g po dobu minimálně 2 týdnů. Během této doby dojde k navýšení koncentrace karnosinu ve svalech o 20 – 30 %. Po 4týdenní suplementaci se jeho hladina zvedne dokonce o 40 – 60 %. Vedlejšími účinky příjmu  $\beta$ -alaninu nad 800 mg/den může být parestezie neboli brnění některých částí těla (Trexler et al. 2015).

### 3.4 Potřeba bílkovin v různých sportovních odvětvích

Potřeba živin u sportovců se výrazně liší vzhledem ke druhu provozovaného sportu, intenzitě, času, typu a fázi tréninku. Jiné požadavky na výživu bude mít sportovec v závodním období a v období mimo soutěže. Zatímco vytrvalostní sportovci se zaměří spíše na zvýšený příjem sacharidů, naopak siloví sportovci navýší množství bílkovin a tuků.

#### 3.4.1 Příjem bílkovin u rychlostních a vytrvalostních sportů

Vytrvalostní sporty jsou charakteristické vysokým počtem opakování a malou svalovou zátěží. Při vytrvalostních sportech se tělo adaptuje na trénink zvýšením hustoty mitochondrií, zlepšení oxidační funkce a aerobní kapacity těla (Hartono et al. 2022). Do této skupiny sportů patří například plavání, sprinty, maraton nebo cyklistika.

Vytrvalostní sportovci ve své výživě potřebují velké množství energie. Nejčastěji tuto energii získávají ze sacharidů, případně tuků. Pouze ve velmi závažných případech může tělo využít jako zdroj energie bílkoviny, hlavně pokud jsou ostatní zdroje vyčerpány. Volné AMK mohou poskytnout až 10 % celkové energie potřebné během vytrvalostního tréninku. Oxidace AMK pro tvorbu energie probíhá pomocí rozkladu svalových bílkovin. Metabolismus vytrvalostních sportovců je přizpůsobený vytrvalostní zátěži, tím pádem by nemělo docházet tak jednoduše k oxidaci AMK pro tvorbu energie. Předcházet se tomu dá konzumací sacharidových potravin/nápojů během tréninku (Moore et al. 2014).

Během vytrvalostního tréninku dochází k poruchám v metabolismu kosterních svalů, poškození svalových vláken a vyčerpání endogenních zdrojů živin. Právě proto je suplementace bílkovin potřebná i u vytrvalostních sportovců. Bílkoviny ve stravě vytrvalostních sportovců hrají důležitou roli při regeneraci svalů odbouráváním poškozených či starých svalových bílkovin a stavěním nových. Suplementací bílkovin se může zlepšovat kvalita svalových bílkovin a tím i mitochondriální hustota. Je prokázáno, že příjem bílkovin po vytrvalostním tréninku v období regenerace zvyšuje rychlost svalové syntézy a usnadňuje remodelaci kosterního svalstva, což zvyšuje nárůst svalové hmoty. Dále se zvyšuje syntéza mitochondriálních bílkovin, které jsou pro vytrvalostní sportovce důležité. Pro co nejlepší účinek se uvádí doporučená doba příjmu bílkovin nejdéle do 30 – 60 minut po cvičení. Obecně lze říci, že bílkoviny z potravy přijaté před vytrvalostním tréninkem slouží přednostně pro provádění svalových kontrakcí než pro syntézu svalových bílkovin (Moore et al. 2014).

Konzumace bílkovin těsně před a po cvičení se často prolíná i s příjmem sacharidů, které jsou často obsaženy v doplňcích stravy, nápojích a potravinách společně s bílkovinami. Bylo zjištěno, že společné požívání bílkovin se sacharidy vedlo ke zlepšení čisté rovnováhy bílkovin během procesu zotavování. Po konzumaci bílkovin v období nízkého příjmu sacharidů nebo omezení energetického příjmu se prokázalo zrychlené doplňování glykogenu. U sportovců konzumujících 0,8 g/kg hmotnosti sacharidů společně s 0,4 g bílkovin na kg hmotnosti a sportovců konzumujících pouze 1,2 g sacharidů na kg hmotnosti se prokázaly srovnatelné výsledky v obnově výkonu a rychlosti doplňování glykogenu. Tato skutečnost může podpořit sportovce, kteří mají snížený příjem sacharidů v době závodů a mají například dva závodní dny hned za sebou. Kombinace bílkovin se sacharidy ale nevykazovala žádný vliv na následné zvýšení síly nebo výkonu ve sprintu (Thomas et al. 2016).

U vytrvalostních sportovců bude hrát důležitější roli načasování příjmu bílkovin a typ bílkoviny než jejich samotné množství v potravě. Většina vytrvalostních sportovců plní cíl pro doporučené dávky bílkovin a většinou tyto hodnoty převyšují. Avšak, během vytrvalostních tréninků může docházet k negativní energetické bilanci. Pokud sportovec nedoplní zásoby energie nebo přijímá nedostatek bílkovin ve stravě, může docházet ke svalovému katabolismu a oxidaci některých aminokyselin (především již zmíněného leucinu). To má za následek úbytek svalové hmoty. Proto je vhodné přijímat vyšší dávky bílkovin, než je stanovená doporučená denní dávka 0,8 g bílkovin na kg hmotnosti, ale přesné hodnoty příjmu nebyly stanoveny. Doporučuje se denní dávka zhruba 1,4 – 1,6 g bílkovin na kg hmotnosti (Cintineo et al. 2018). Každý jedinec má příjem bílkovin individuální, především vzhledem k rozdílnému energetickému příjmu během dne. Jako nejlepší vzorec pro příjem bílkovin po cvičení se ukázalo požití 20 g bílkovin každé 3 – 4 hodiny během dne. Regenerace a syntéza svalových bílkovin se za těchto podmínek zlepšila a účinek trval až 12 hodin od cvičení (Moore et al. 2014).

Přesto že příjem bílkovin u vrcholových sportovců pozitivně ovlivňuje regeneraci svalů, účinek na zvýšení sportovního výkonu se neprokázal (Jäger et al. 2017).

#### **3.4.1.1 Doplnky stravy pro vytrvalostní sportovce**

U rychlostních a vytrvalostních sportů se vyplatí doplňovat látky, které zvyšují fyzický výkon a výdrž. Zároveň však potřebují i látky na regeneraci kosterních svalů.

##### **Karnitin**

Hlavní úlohou karnitinu v lidském těle je dodávání energie kosterním svalům. Děje se tak pomocí procesu  $\beta$ -oxidace, při které vzniká 17 molekul ATP, což je energeticky mnohem výhodnější než anaerobní glykolýza, u které je energetická výtěžnost pouze 2 molekuly ATP. Karnitin prokazatelně ovlivňuje i oxidaci mastných kyselin nepřímo i oxidaci glukózy (Vilikus 2020).

R. Foehrenbach prováděl studii u vrcholových sportovců, kdy jim bylo podáváno cca 2 g karnitinu na den. Již po 3 týdnech byl zjištěn výrazný pokles podkožního tuku bez změny tělesné hmotnosti. Zároveň měl karnitin i pozitivní vedlejší účinky jako je například pokles celkového cholesterolu nebo triacylglycerolů. Při velmi intenzivním cvičení má karnitin protektivní účinek na svalové buňky. Při podávání karnitinu vytrvalostním běžcům byl totiž prokázán nárůst aktivity enzymů dýchacího řetězce (Vilikus 2020).

Aby bylo docíleno dostatečné koncentrace karnitinu přímo ve svalech, je nutné ho užívat minimálně po dobu 4-6 týdnů. Při kratším užívání se zvyšuje hladina karnitinu pouze v krevní plazmě. Při nedostatku karnitinu ve stravě může docházet k hromadění mastných kyselin. Pokud mastné kyseliny nejsou využity, začínají se ve zvýšené míře spalovat sacharidy v těle, a to vede až k hypoglykémii. Nejčastěji jsou nedostatkem karnitinu ohroženi vegetariáni, vegani nebo sportovci s extrémní fyzickou zátěží (Vilikus 2020).

## BCAA

Na užívání BCAA se zaměřují především siloví sportovci, ale některé studie uvádí možnost užívat tyto látky jako zdroj energie při vytrvalostních sportech po vyčerpání svalového glykogenu. Monteiro objevil při podávání BCAA gravidním krysám zvýšení laktátového prahu a prodloužení času do vyčerpání. Při další studii, tentokrát na netrénovaných ženách, se po 6týdenním kombinování aerobního a silového tréninku výrazně zlepšily aerobní vytrvalostní schopnosti. Matsumoto po aplikaci BCAA prokázal zvýšení aerobní kardiorespirační zdatnosti a anaerobního prahu, což značí zlepšení vytrvalostních schopností po podání BCAA. Stoppani při testování prokázal protektivní účinek BCAA na svalové buňky. Snižují totiž hladinu nitrosvalových enzymů během vysoké vytrvalostní zátěže (Vilikus 2020).

Leucin, který je součástí BCAA, hraje důležitou roli při metabolismu bílkovin v těle. Vytrvalostní sportovci mohou ztratit až 1,2 g leucinu za 2 hodiny intenzivního nepřetržitého cvičení. Tělo po této vytrvalostní aktivitě snižuje oxidaci leucinu, aby vyrovnalo jeho ztráty. I tak je pro vytrvalostní sportovce důležité tuto aminokyselinu doplňovat, aby nedocházelo ke snižování syntézy svalových bílkovin během regenerace. To platí především u sportovců, kteří trénují na denní bázi nebo se zaměřují na optimální regeneraci s cílem překročit čistou rovnováhu leucinu. (Moore et al. 2014).

## $\beta$ -alanin

Jedná se o aminokyselinu, která je hlavní složkou cytoplazmatického dipeptidu karnosinu. Aby se zvýšila hladina karnosinu ve svalech, stačí tělu dodat pouze jeho prekursor  $\beta$ -alanin, který je limitujícím faktorem. Podle Stellingweffa je pro zvýšení koncentrace karnosinu ve svalech potřeba 1,6 až 6,4 g/den po dobu 2 až 10 týdnů. Tento nárůst ve svalech je lineární a přímo úměrný dávce. Četné výzkumy potvrdily zlepšení sportovního výkonu u rychlostních sportovců, a to především u výkonů, při kterých dochází k metabolické acidóze.  $\beta$ -alanin zvyšuje pufrovací schopnosti karnosinu, díky kterým je acidóza u sportovců snižována. Vyšší obsah karnosinu ve svalech tak dokáže během výkonu zvýšit pufrovací kapacitu až o 15 % a snížit metabolickou acidózu o 19 % nezávisle na bikarbonátovém systému (Vilikus 2020).

Studie uvádějí, že suplementace  $\beta$ -alaninem má při kratších výkonech vysoké intenzity ergogenní účinek, a dokonce příznivý vliv na trvale vysokou intenzitu cvičení. Tyto účinky například potvrdil Painelli u mladých elitních sprinterských plavců na 100 m a 200 m. Skupina užívající  $\beta$ -alanin byla na 100 m o 1,04 s rychlejší než kontrolní skupina. Suzuki i Van Thienen nezávisle na sobě prováděli experimenty u cyklistů. Po podávání  $\beta$ -alaninu došlo ke zlepšení anaerobního výkonu v druhé polovině jejich sprinterského výkonu a zvýšila se dynamická izokinetická síla. Ve Wingate testu došlo u cyklistů ke zlepšení výkonu v posledních 10 s. Van Thienen zjistil i zlepšení maximálního a průměrného výkonu v simulovaném cyklistickém závodě. U amatérských běžců vyzoroval Ducker zlepšení v běhu na 800 m průměrně o 3,6 s. Bylo jim každý den po dobu 4 týdnů podáváno 80 mg/kg  $\beta$ -alaninu. U veslařů zjistil zlepšení v mezičase na 750 m a 1000 m po 4týdenním podávání 4 g  $\beta$ -alaninu. Baguet i Hobson také zjistili pozitivní vliv  $\beta$ -alaninu na rychlost zvládnutí tratě 2000 m u vrcholových veslařů (Vilikus 2020).



Obečně je výhodné užívat tuto aminokyselinu při cvičeních s vysokou intenzitou trvající od 60 do 240 sekund. Zlepšuje výkon ve chvílích, kdy by normálně docházelo k acidobazickým poruchám s vysokou mírou anaerobní glykolýzy. Zároveň může zlepšit tréninkovou kapacitu (Thomas et al. 2016).

Užívání  $\beta$ -alaninu je limitováno. Po podávání více než 800 mg najednou dochází k výrazné parestézii nebo kožní vyrážce. Parestezie většinou do 1 hodiny odezní a její projevy se mohou zmírnit nebo vůbec neobjevit při současném užívání s nápoji obsahující minerály a sacharidy. Příjem  $\beta$ -alaninu se vzhledem k nežádoucím vedlejším účinkům doporučuje rozdělit na dávky po 0,8 g a aplikovat je každé 3 hodiny do docílení požadované denní dávky. V současné době se používá dávkování sestavené Saundersem, kdy se po dobu 10-12 týdnů každé 3-4 hodiny aplikuje 0,8-1,6 g  $\beta$ -alaninu do dosažení celkového denního množství 65 mg/kg tělesné hmotnosti (Vilikus 2020).

### **L-arginin**

L-arginin u starších cyklistů zvýšil za 1 týden anaerobní práh průměrně o 16,7 %. Po zkombinování glycinu, argininu a  $\alpha$ -keto-izokaproátu při pěti desetisekundových cyklistických sprintech také došlo k výraznému zvýšení anaerobního výkonu. 3 g L-argininu denně po dobu 15 dní dokázal oddálit únavu během izokinetické zátěže a snížil únavový index o 8,5 %. Zároveň při stejné zátěži snížil únavu i hladinu krevního laktátu (Vilikus 2020).

### **3.4.2 Příjem bílkovin u silových sportů**

Silové sporty se vyznačují cvičením s menším množstvím opakování a vysokou svalovou zátěží. Tělo silového sportovce se přizpůsobuje silovému tréninku pomocí svalové hypertrofie a zvýšení svalové síly. U silových sportovců se klade důraz na zlepšení svalové síly, růst svalů a dostatečnou regeneraci svalů po cvičení. Mezi silové sporty se řadí fitness nebo vzpírání.

Je zřejmé, že pravidelné silové tréninky v kombinaci se suplementací bílkovin vedou k opakované stimulaci maximální syntézy svalových bílkovin, což způsobuje nárůst svalové hmoty a zvětšení objemu svalů. Množství bílkovin přijímané v období zotavování a potřebné ke zvýšení syntézy svalových bílkovin nebylo přesně stanoveno. Záleží především na intenzitě cvičení a množství přijímané stravy (Hartono et al. 2022). U silových sportovců se doporučuje denní příjem bílkovin 1,6 – 2,2 g/kg hmotnosti (Cintineo et al. 2018). Bylo vyzkoumáno, že při příjmu 20 g bílkovin v jednom jídle během celého dne, především pak těsně po cvičení, se navyšuje rychlost a intenzita syntézy svalových bílkovin. Syntéza svalových bílkovin probíhá dokonce už při požití pouhých 10 g bílkovin do 30 minut po cvičení. Aminokyseliny přijaté potravou v období bezprostředně po cvičení jsou přednostně využívány na podporu maximální syntézy svalových bílkovin. Pokud dávka bílkovin v jednom jídle překročí 20 g bílkovin může už docházet k oxidaci AMK a nadměrné tvorbě močoviny, jelikož tělo začne tuto dávku vnímat jako nadbytečnou a nedokáže ji využít. Toto tvrzení neplatí u sportovců s negativní energetickou bilancí, kteří musí přijímat větší množství bílkovin. Dále je vhodné tuto dávku 20 g bílkovin přijímat rovnoměrně vícekrát denně (Moore et al. 2014).

Kombinace požití bílkovin a sacharidů během regenerační fáze vede podle výzkumů k rychlejšímu zotavení svalů po intenzivním silovém cvičení a zvýšení svalové syntézy společně se zlepšením dusíkaté bilance (Thomas et al. 2016).

Siloví sportovci nacházející se v kalorickém deficitu by měli přijímat zvýšené množství bílkovin, aby kompenzovali ztrátu tukové hmoty a předešli tak ke ztrátě tukoprosté hmoty (Cintineo et al. 2018).

Po úrazech nebo nemocech, kdy je sportovec najednou donucený snížit fyzickou aktivitu, je důležitá úprava poměru živin. Nedostatek bílkovin v tomto období by mohla vést k úbytku svalové hmoty a zhoršovat rekonvalescenci. Během nemoci se doporučuje příjem 1,6 – 2,5 g/bílkovin/kg hmotnosti/den. Vyšší příjem bílkovin v období rekonvalescence chrání svaly před úbytkem svalové hmoty (Bezděk 2016).

### 3.4.2.1 Doplnky stravy pro silové sportovce

Siloví sportovci se zaměřují na doplňky stravy zvyšující svalovou sílu a nárůst svalové hmoty.

#### **Kreatin**

Intenzivní sportovní aktivity trávající méně než 10 sekund jsou závislé na zásobách ATP a fosfokreatinu ve svalech. Jak prokázalo mnoho studií, při suplementaci kreatin monohydrátem se hladina fosfokreatinu a kreatinu ve svalech zvyšuje o 10 až 40 %. Hladina kreatinu ve svalech má ale svojí horní mez a tou je 160 g. Na jedince mající přirozeně vysokou hladinu kreatinu ve svalech bude mít suplementace kreatinem malý nebo žádný vliv. Proto nejvíce benefitů z perorálního doplňování kreatinu čerpají především jedinci s menším množstvím kreatinu ve svalech. Právě oni budou jeho účinky pociťovat nejvíce (Hall et al. 2013).

Existuje mnoho studií, které potvrzují zlepšení výkonu a svalové síly u krátkých cvičení s vysokou intenzitou, kde se jako zdroj energie pro ATP využívá fosfokreatin (Hall et al. 2013). U silových sportovců byl během odporového tréninku při užívání kreatinu prokázán ergogenní účinek. U jedinců s nízkou hladinou intramuskulárního kreatinu se po jeho podávání zlepšily výsledky (Brosnan et al. 2016). Účinky kreatinu na aerobní výkon se ale zatím nepotvrdily. Existují také důkazy, že krom zlepšení výkonu dochází vlivem kreatinu také k navýšení beztukové hmoty a svalových vláken druhého typu. Tyto výsledky se ale ukázaly pouze u sportů provozovaných například v posilovně, ale u plavání, sprintu nebo agility se účinek neprokázal. Neexistuje ani důkaz o ovlivnění syntézy bílkovin kreatinovou suplementací. Principem zvýšení svalové síly pomocí kreatinu je navýšení množství kreatinu ve svalech pro snadnější produkci fosfokreatinu a ATP a následné oddálení svalové únavy (Hall et al. 2013).

Suplementace kreatinu se dá rozdělit do dvou fází. Nejdříve nastává takzvaná nasyčovací fáze, kdy je denní dávka vyšší a rozdělí se do 4 stejných dávek během dne. Z pravidla to bývá 3-5 g 4x denně. Tato fáze trvá zhruba 5-7 dní. Poté nastává fáze udržovací. V této fázi se suplementuje pouze jednou denně dávka 3-5 g. K největšímu nárůstu kreatinu a fosfokreatinu ve svalech dochází v prvních 2 dnech suplementace. Kreatin monohydrát se přijímá rozpuštěný v tekutině, ke které je možné přidat bílkovinu či sacharid, který zvyšuje schopnost svalu zadržovat kreatin především v prvních dnech suplementace. Bylo prokázáno,

že různé alternativní metody dávkování zvyšují svalovou sílu a zásoby kreatinu. Pokud vynecháme nasycovací fázi a suplementujeme kreatin v dávce 3-6 g denně po dobu alespoň 28 dní, má to výrazný vliv na hladinu kreatinu ve svalech. Touto metodou se ale kreatin ukládá pomaleji, a proto se zvýšení síly projeví až o něco později. Během počáteční fáze suplementace kreatinu může docházet k zadržování vody a tím k nárůstu tělesné hmotnosti. Voda se drží především ve svalech a tím mohou vypadat větší. Toto může být problém například u sportovců, kteří se snaží udržovat určitou hmotnost. Naopak u některých sportovců může být optické zvětšení svalů přínosem. Díky nárůstu buněčné vody mohou být ovlivněny i hladiny svalového glykogenu (Hall et al. 2013).

V poslední době se na trhu objevila nová forma kreatinu, která by prý měla zlepšovat jeho biologickou dostupnost a zvyšovat intramuskulární zásoby kreatinu. Jedná se o takzvaný ethylester kreatinu, který vzniká esterifikací. Nedávné studie ale ukázaly, že ethylester kreatinu se v plazmě nepřeměňuje na kreatin, ale na kreatinin. Je tedy pronutrientem pro kreatinin, a proto jeho suplementace nemá ergogenní účinek. Byly zkoumány také různé látky, které by mohly zlepšovat účinek kreatinu společným podáváním. Nejvíce se osvědčil  $\beta$ -alanin, dextróza a syrovátkové bílkoviny. Je ovšem potřeba udělat ještě několik přezkoumání na toto téma (Hall et al. 2013).

Kreatin je bezpečný přípravek bez výrazných vedlejších účinků. Pouze se může objevit lehký otok svalů způsobený osmotickou hyperhydratací svalových buněk, což může vést k zadržování vody, zvýšení objemu svalů a zvýšení tělesné hmotnosti o 1-2 kg. Kreatin zároveň zatěžuje ledviny, ale bez jejich poškození. Je proto dobré dostatečně dodržovat pitný režim (Vilikus 2020).

## **BCAA**

Stoppani i Kraemer sledovali účinek podávání BCAA sportovcům při silovém tréninku. Zjistili nejen zvýšení svalové hmoty a síly, ale také pokles tělesného tuku a pozitivní vliv na odolnost svalových buněk. Po silovém tréninku se BCAA aplikují s cílem urychlení proteosyntézy. Vhodná je kombinace s gainery a proteinovými preparáty. Zároveň jejich efekt zlepšuje přidání pyridoxinu a karnitinu. Position statement z roku 2007 udává, že za určitých podmínek BCAA zlepšují sportovní výkon a urychlují zotavení po sportovním výkonu. Lze je dokonce použít k léčbě syndromu přetrénování nebo pro zvýšení výkonu v horkém klimatu. Tyto účinky však některé studie nepotvrzují laktátu (Vilikus 2020).

## **$\beta$ -alanin**

U dobře trénovaných mužů se pomocí  $\beta$ -alaninu při intenzivním tréninku s 90sekundovými přestávkami navýšil celkový tréninkový objem o 22 %. Prokázalo se i výrazné zvýšení tréninkového objemu v benchpressu během 4 sérií po 6-8 opakováních (Vilikus 2020).

### 3.4.3 Příjem bílkovin u silově-vytrvalostních sportů

Silově-vytrvalostní sporty se zaměřují na sílu, hbitost, výbušnost a vytrvalost. Dochází ke kombinaci silového a vytrvalostního cvičení v rámci jednoho tréninku nebo střídání vytrvalostního a silového tréninku během několika dní. Patří sem bojové sporty, crossfit, atletika nebo řada kolektivních sportů jako je například volejbal či fotbal. Ve srovnání se samotným silovým tréninkem zde nedochází k tak velkému nárůstu svalové hmoty a síly. Tento jev se označuje jako interferenční efekt. Zdá se, že určité reakce v kosterním svalstvu vyvolané vytrvalostním cvičením mohou inhibovat adaptaci na nárůst svalové hmoty rozpadem svalových bílkovin (Fyfe et al. 2014). Tento problém se pokoušelo vyřešit několik studií. Byly doporučeny větší pauzy mezi jednotlivými tréninky pro prodloužení doby regenerace. Vytrvalostní cvičení bylo doporučeno omezit na maximálně 3 dny v týdnu. Další strategií je navýšení příjmu bílkovin potravou, aby se podpořila svalová syntéza a regenerace svalů po vytrvalostním cvičení, čímž se předejde interferenčnímu efektu. Výzkum prováděný po dobu 12 týdnů se zaměřil podávání 2 g bílkovin na kg hmotnosti na den sportovcům se zavedením souběžného tréninku 3krát týdně. Během 12 týdnů se nezhoršily přírůstky maximální síly ani nedošlo k úbytku svalové hmoty (Shamim et al. 2018).

Americká dietetická asociace uvádí doporučený denní příjem bílkovin pro silově-vytrvalostní sportovce 1,2-1,7g/kg hmotnosti (Kårlund et al. 2019). Bližší zkoumání v oblasti výživy silově-vytrvalostních sportovců nebylo provedeno. Mohou se tak řídit kombinací doporučení pro vytrvalostní a silové sportovce.

## 4 Závěr

Z dostupných informací z literárních zdrojů je zřejmé, že sportovci mají vyšší nároky na potřebu bílkovin, proto je mnohdy potřeba doporučenou denní dávku až zdvojnásobit. U silových sportovců se doporučuje denní příjem až 1,6 – 2,2 g/kg hmotnosti. Bezprostředně po silovém cvičení (do 2 hodin) je výhodné přijmout dávku kvalitních bílkovin pro maximalizaci syntézy svalových bílkovin. V následujících 24 hodinách by měl pravidelný příjem bílkovin pokračovat, aby se prodloužila doba maximální syntézy svalových bílkovin. I po samotném požití bílkovin bez cvičení probíhá svalová syntéza, ale její účinek trvá pouze 2 – 3 hodiny. Doporučená denní dávka bílkovin pro vytrvalostní sportovce se pohybuje okolo 1,4 – 1,6 g/kg hmotnosti. Vytrvalostní sportovci využijí zvýšený příjem bílkovin hlavně v regeneraci svalů po cvičení, ale sportovní výkon si tím nezlepší. Doporučený denní příjem bílkovin pro silově-vytrvalostní sportovce se uvádí 1,2-1,7g/kg hmotnosti. Toto množství bílkovin, společně s dostatečným odpočinkem mezi jednotlivými tréninky a vytrvalostním cvičením maximálně 3krát týdně, by mělo předejít takzvanému interferenčnímu efektu.

Při konzumaci bílkovin u sportovců je důležité i jejich načasování příjmu. Jako nejlepší vzorec se ukázal příjem 20 g kvalitních bílkovin v jedné dávce jídla 3 – 5krát denně. Celkový příjem bílkovin by se měl rovnoměrně rozložit do celého dne. Výhodnější je přijímat bílkoviny převážně z živočišných zdrojů, které mají správné zastoupení AMK a výrazně lepší využitelnost i vstřebatelnost. Rostlinné bílkoviny bychom ale ve stravě rozhodně neměli opomíjet. Pokud chceme konzumovat bílkoviny pouze z rostlinných zdrojů, je vhodné zvýšit celkový příjem bílkovin a zaměřit se na kombinaci různých druhů rostlinných bílkovin pro zajištění příjmu všech potřebných AMK. Další možností je obohacení stravy některými limitujícími AMK v podobě doplňků stravy. Pro nabírání, regeneraci a udržení svalové hmoty je důležitý především lysin, který bývá limitující kyselinou například v obilovinách a také leucin.

Celkový nedostatek bílkovin, ať už vlivem hladovění nebo onemocnění znemožňující vstřebávání bílkovin, způsobuje poruchy fungování všech orgánových soustav. Především se zastaví růst svalové hmoty a energii tělo začne čerpat z rozkladu vlastních bílkovin. Stačí pokud v potravě chybí 1 AMK a dojde k omezení využití ostatních AMK. Co se týká nadměrného příjmu bílkovin, podle nejnovějších studií nemá ani několikanásobně vyšší příjem (3 g/kg/den) doporučené denní dávky bílkovin negativní vliv na ledviny, játra nebo jiné orgány. Maximálně se může nadbytečná energie z příjmu bílkovin přeměnit na zásobní tuk.

Z bílkovinných suplementů se pro dobrou stravitelnost, vysokou biologickou hodnotu a zastoupení AMK jeví nejvýhodnější syrovátkový protein, který obsahuje až 50 % EAA a nejvyšší množství leucinu. Z rostlinných suplementů na bázi bílkovin nejlépe vychází sójový protein. Siloví sportovci mohou podpořit svalovou syntézu a silový výkon pomocí kreatinu, BCAA nebo  $\beta$ -alaninu. U vytrvalostních sportovců se jako dobré prostředky pro zlepšení výkonu a regenerace nejlépe osvědčily L-arginin,  $\beta$ -alanin, BCAA a karnitin.

Pro dosažení nejlepších výsledků ve sportu je podstatná vyvážená strava s dostatečným množstvím bílkovin, celkový energetický příjem a pravidelné cvičení s následným odpočinkem.

## 5 Literatura

- 1) Adeva-Andany M, Calvo-Castro I, Fernández-Fernández C, Donapetry-García C, Pedre-Piñeiro AM. 2017. Significance of L-Carnitine for Human Health. *International Union of Biochemistry and Molecular Biology* 69:578–594. Available at <https://doi.org/10.1002/iub.1646>
- 2) Agostoni C et al. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for protein. *EFSA Journal*. 2012, 1-66. Available at [www.efsa.europa.eu/efsajournal](http://www.efsa.europa.eu/efsajournal).
- 3) Andari NNI, Dieny FF, Tsani AFA, Fitrianti DY, Widyastuti N. 2021. Diet Quality, Nutritional Status, and Haemoglobin Level of Female Adolescent Athletes in Endurance and Non Endurance Sports. *Amerta Nutrition* 5:140–148. Available at <https://doi.org/10.20473/amnt.v5i2.2021.140-148>.
- 4) Bezděk K. 2016. Nutriční podpora výkonnostních sportovců při snížení pohybové aktivity. *Nutrition news* 4:34-38.
- 5) Bohrer BM. 2017. Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends in Food Science & Technology* 65:103 - 112. Available at <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.016>.
- 6) Burd NA, Beals JW, Martinez IG, Salvador AF, Skinner SK. 2019. Food-First Approach to Enhance the Regulation of Post-exercise Skeletal Muscle Protein Synthesis and Remodeling. *Sports Medicine* 49:59-68. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s40279-018-1009-y>.
- 7) Brosnan ME, Brosnan JT. 2016. The role of dietary creatine 48:1785-1791. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00726-016-2188-1>.
- 8) Brosnan ME, Brosnan JT. 2020. Histidine Metabolism and Function. *The Journal of Nutrition* 150:2570S–2575S. Available at <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa079>.
- 9) Bruice PY. 2015. *Organic chemistry*. 8th ed. Pearson Education, Santa Barbara.
- 10) Cintineo HP, Arent MA, Antonio J, Arent SM. 2018. Effects of Protein Supplementation on Performance and Recovery in Resistance and Endurance Training. *Frontiers in Nutrition*. Available at <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00083>.
- 11) Ciuris C, Lynch HM, Wharton C, Johnston CS. 2019. A Comparison of Dietary Protein Digestibility, Based on DIAAS Scoring, in Vegetarian and Non-Vegetarian Athletes. *Nutrients*. Available at <https://doi.org/10.3390/nu11123016>.

- 12) Day L. 2013. Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science & Technology* 32:25-42. Available at <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.005>.
- 13) Friedman M. 2018. Analysis, Nutrition, and Health Benefits of Tryptophan. *International Journal of Tryptophan Research* 11:1-12. Available at <https://doi.org/10.1177/1178646918802282>.
- 14) Fyfe JJ, Bishop DJ, Stepto NK. 2014. Interference between Concurrent Resistance and Endurance Exercise: Molecular Bases and the Role of Individual Training Variables. *Sports Medicine* 44:743–762. Available at <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-014-0162-1>.
- 15) Gu C, Mao X, Chen D, Yu B, Yang Q. 2019. Isoleucine Plays an Important Role for Maintaining Immune Function. *Current Protein and Peptide Science* 20:644-651. Available at <https://doi.org/10.2174/1389203720666190305163135>.
- 16) Hall M, H. Trojian T. 2013. Creatine Supplementation. *American College of Sports Medicine* 12:240-244. Doi: 10.1249/JSR.0b013e31829cdf2
- 17) Hartono FA, Martin-Arrowsmith PW, Peeters WM, Churchward-Venne TA. 2022. The Effects of Dietary Protein Supplementation on Acute Changes in Muscle Protein Synthesis and Longer-Term Changes in Muscle Mass, Strength, and Aerobic Capacity in Response to Concurrent Resistance and Endurance Exercise in Healthy Adults: A Systematic Review. *Sports Medicine*. Available at <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01620-9>.
- 18) Hasegawa Y, Mekata Y, Sunami A, Yokoyama Y, Yoshizaki T, Hagiwara M, Yanagisawa K, Usuda M, Masuda Y, Kawano Y. 2014. Effect of Egg White Protein Supplementation Prior to Acute Resistance Training on Muscle Damage Indices in Untrained Japanese Men. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*. Available at <https://mjssm.me/?sekcija=article&artid=101>.
- 19) Hou Y, Wu G. 2018. Nutritionally Essential Amino Acids. *Advances in Nutrition* 9:849–851. Available at <https://doi.org/10.1093/advances/nmy054>.
- 20) Hromádka R, Hyšpler R, Tichá A, Zadák Z. 2016. Proteiny a aminokyseliny - zdroje energie a funkční mediátory. *Nutrition news* 4:6-11.
- 21) Jäger R et al. 2017. International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. Available at <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12970-017-0177-8#Sec17>.

- 22) Joannis S, McKendry J, Lim C, Nunes EA, Stokes T, Mcleod JC, Phillips SM. 2021. Understanding the effects of nutrition and post-exercise nutrition on skeletal muscle protein turnover: Insights from stable isotope studies. *Clinical Nutrition Open Science* 36:56-77. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2667268521000127>.
- 23) Joy JM, Lowery RP, Wilson JM, Purpura M, De Souza EO, Wilson SMC, Kalman DS, Dudeck JE, Jäger R. 2013. The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. *Nutrition Journal*. Available at <http://www.nutritionj.com/content/12/1/86>.
- 24) Kårlund, A., Gómez-Gallego, C., Turpeinen, A.M., Palo-Oja, O.-M., El-Nezami, H., Kolehmainen, M., 2019. Protein Supplements and Their Relation with Nutrition, Microbiota Composition and Health: Is More Protein Always Better for Sportspeople?. *Nutrients* 11:829. Available at <https://doi.org/10.3390/nu11040829>.
- 25) Kaur L et al. 2022. Alternative proteins vs animal proteins: The influence of structure and processing on their gastro-small intestinal digestion. *Trends in Food Science & Technology* 122:275-286. Available at <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.021>.
- 26) Klupšaitė D, Juodeikienė G. 2015. Legume: composition, protein extraction and functional properties. A review. *Cheminė technologija*. Available at <https://doi.org/10.5755/j01.ct.66.1.12355>.
- 27) Li X, Chen W, Jiang J, Feng Y, Yin Y, Liu Y. 2019. Functionality of dairy proteins and vegetable proteins in nutritional supplement powders: a review. *International Food Research Journal* 26:1651-1664.
- 28) Longo N, Frigeni M, Pasquali M. 2016. Carnitine transport and fatty acid oxidation. *Biochimica et Biophysica Acta* 10:2422-2435. Available at <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2016.01.023>.
- 29) Master PBZ, Macedo RCO. 2021. Effects of dietary supplementation in sport and exercise: a review of evidence on milk proteins and amino acids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 61:1225-1239. Available at <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2020.1756216>.
- 30) Matthews DE. 2020. Review of Lysine Metabolism with a Focus on Humans. *The Journal of Nutrition* 150:2548S–2555S. Available at <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa224>.
- 31) Messina M, Lynch H, Dickinson JM, Reed KE. 2018. No Difference Between the Effects of Supplementing With Soy Protein Versus Animal Protein on Gains in Muscle Mass and Strength in Response to Resistance Exercise. *International Journal of Sport*



Nutrition and Exercise Metabolism 28:674–685. Available at <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0071>.

- 32) Moore DR, Camera D, Areta JL, Hawley JA. 2014. Beyond muscle hypertrophy: Why dietary protein is important for endurance athletes. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism* 39:1-11. Available at <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0591>.
- 33) Moore DR. 2019. Maximizing Post-exercise Anabolism: The Case for Relative Protein Intakes. *Frontiers in Nutrition* 6:1-13. Available at <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnut.2019.00147/full>.
- 34) Navik U, Sheth VG, Khurana A, Jawalekar SS, Allawadhi P, Gaddam RR. 2021. Methionine as a double-edged sword in health and disease: Current perspective and future challenges. *Ageing Research Reviews*. Available at <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101500>.
- 35) Rasane P, Jha A, Sabikhi L, Kumar A, Unnikrishnan VS. 2013. Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods - a review. *Journal of Food Science and Technology* 52:662–675. DOI 10.1007/s13197-013-1072-1
- 36) Sandbakk SB, Sandbakk Ø, Peacock O, James P, Welde B, Stokes K, Böhlke N, Tjønnaa AE. 2014. Effects of acute supplementation of L-arginine and nitrate on endurance and sprint performance in elite athletes. *Nitric Oxide* 48:10-15. Doi: 10.1016/j.niox.2014.10.006.
- 37) Sánchez A, Vázquez A. 2017. Bioactive peptides: A review. *Food Quality and Safety* 1:29–46. Available at <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx006>.
- 38) Setiawan MI, Susanto H, Kartasurya MI. 2020. Milk protein consumption improves muscle performance and total antioxidant status in young soccer athletes: a randomized controlled trial. *Medical journal of Indonesia* 29:164–71. Available at <https://doi.org/10.13181/mji.oa.202872>.
- 39) Shamim B, Devlin BL, Timmins RG, Tofari P, Dow CL, Coffey VG, Hawley JA, Camera DM. 2018. Adaptations to Concurrent Training in Combination with High Protein Availability: A Comparative Trial in Healthy, Recreationally Active Men. *Sports Medicine* 48:2869–2883. Available at <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0999-9>.
- 40) Shine B, Rostom H. 2021. Basic metabolism: proteins. *Surgery (Oxford)* 39:1-6. Available at <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2020.11.003>.
- 41) Soeters PB, Poll MCG van de. 2015. Amino Acids, Protein and the Gut. 260 – 285. *Home parenteral nutrition*. 2nd edition. CABI, Boston, MA.

- 42) Stokes T, Hector AJ, Morton RW, McGlory C, Phillips SM. 2018. Recent Perspectives Regarding the Role of Dietary Protein for the Promotion of Muscle Hypertrophy with Resistance Exercise Training. *Nutrients*. Available at <https://doi.org/10.3390/nu10020180>.
- 43) Sung DJ, Kim S, Kim J, An HS, So WY. 2016. Role of l-carnitine in sports performance: Focus on ergogenic aid and antioxidant. 2016. *Science & Sports* 31:177-188. Doi 10.1016/j.scispo.2016.02.005.
- 44) Tahergorabi R, Hosseini SV. 2017. Proteins, Peptides, and Amino Acids. 15-38 in *Nutraceutical and Functional Food Components: Effects of Innovative Processing Techniques*. 2nd ed. Academic Press, Cambridge (Massachusetts).
- 45) Teplan V. 2016. Aminokyseliny a orgánové funkce. *Nutrition news* 4:12-17.
- 46) Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. 2016. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 116:501-528. Available at <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006>.
- 47) Trexler ET et al. 2015. International society of sports nutrition position stand: Beta-Alanine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 12:1-14. Available at <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1186/s12970-015-0090-y>.
- 48) Trziszka T, Róžański H, Polanowski A. 2013. Eggs as a Very Promising Source of Biomedical and Nutraceutical Preparations: A Review. *Journal of Life Sciences* 7:862-877.
- 49) Valenzuela PL, Mata F, Morales JS, Castillo-García A, Lucia A. 2019. Does Beef Protein Supplementation Improve Body Composition and Exercise Performance? A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*. Available at <https://doi.org/10.3390/nu11061429>.
- 50) Valenzuela PL, Morales JS, Emanuele E, Pareja-Galeano H, Lucia A. 2019. Supplements with purported effects on muscle mass and strength: a review of evidence on milk proteins and amino acids. *European Journal of Nutrition* 58:2983-3008. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00394-018-1882-z.x>.
- 51) Vilikus Z a kolektiv. 2020. *Výživa sportovců a sportovní výkon*. Třetí, přepracované vydání. Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, Praha.
- 52) Vliet S van et al. 2017. Consumption of whole eggs promotes greater stimulation of postexercise muscle protein synthesis than consumption of isonitrogenous amounts of

egg whites in young men. *The American Journal of Clinical Nutrition* 106:1401–1412. Available at <https://doi.org/10.3945/ajcn.117.159855>.

53) Wan ACA, Tai BCU, Du C. 2021. Food security and nutrition- a systematic approach. *Trends in Food Science & Technology* 109:738-745. Available at <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.024>.

54) Woodruff K. 2016. *Sports Nutrition*. Momentum Press, New York.

55) Wu G. 2021. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*. 2nd ed. Taylor & Francis, Texas.

56) Xiao F, Guo F. 2021. Impacts of essential amino acids on energy balance. *Molecular Metabolism* 57. Available at <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2021.101393>.

## **6 Seznam použitých zkratek**

AAS – amino acids score (aminokyselinové skóre)

ADP – adenosindifosfát

AMK – aminokyselina

ATP – adenosintrifosfát

BCAA – aminokyseliny s rozvětveným řetězcem

DIAAS – digestible indispensable amino acid score

EAA – essential amino acids (esenciální aminokyseliny)

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

NAD – nikotinamidadeninukleotid

NADP – nikotinamidadeninukleotidfosfát

PDCAAS – protein digestibility-corrected amino acid score