

Potřeba energie a bílkovin v silovém sportu

Mgr. Petr Loskot

LF MUNI, Ústav ochrany a podpory zdraví

20.2.2024 a 27.2.2024

Obsah přednášky

- **Energetická potřeba v silovém sportu... jak spočítat?**
- Rekapitulace základů metabolismu bílkovin
- **Souhrnná doporučení pro příjem bílkovin v silových sportech**

1) Celkový denní příjem při vyrovnané/pozitivní energetické bilanci

2) Požadavky na příjem bílkovin při kalorické restrikci

3) Bezpečnost vyššího příjmu bílkovin

4) Ideální dávka na porci pro maximální stimulaci MPS

5) Kolik můžeme maximálně využít bílkovin v porci pro tvorbu svalových bílkovin?

6) Časový rozestup mezi příjmem proteinů

7) Kvalita dietárních zdrojů proteinů a rychlost stravitelnosti

8) Časování příjmu proteinů kolem tréninkové jednotky, párování s dalšími živinami

9) Jak efektivní je příjem pomalého proteinu na noc?

Kdo je to silový sportovec?

RYCHLOSTNĚ- SILOVÉ SPORTY	RYCHLOSTNÍ	ATLETIKA-SPRINTY	100 - 400m
		DRÁHOVÁ CYKLISTIKA	200m - 1km
		PLAVÁNÍ	50m - 100m
		RYCHLOBRUSLENÍ	500m - 1km (1,5km)
		IN-LINE BRUSLENÍ	100m - 1km
		BOBY	
	SILOVÉ	VZPÍRÁNÍ	
		SILOVÝ TROJBOJ	
	RYCHLOSTNĚ-SILOVÉ	ATLETIKA-SKOKY	dálka, trojskok, výška, tyčka
		ATLETIKA-VRHY, HODY	koule, disk, oštěp, kladivo
		ALPSKÉ LYŽOVÁNÍ	
		SKOKY NA LYŽÍCH	
		SNOWBOARDING	

- **Disciplíny kulturistiky a fitness (esteticko koordinační)**
- **Crossfit**

Fyziologie sportovních disciplín,
Bernacikova (2017)

Více a méně společné rysy silových sportovců

Požadavek zvyšování výkonnosti (silové výkon, změny v tělesném složení)

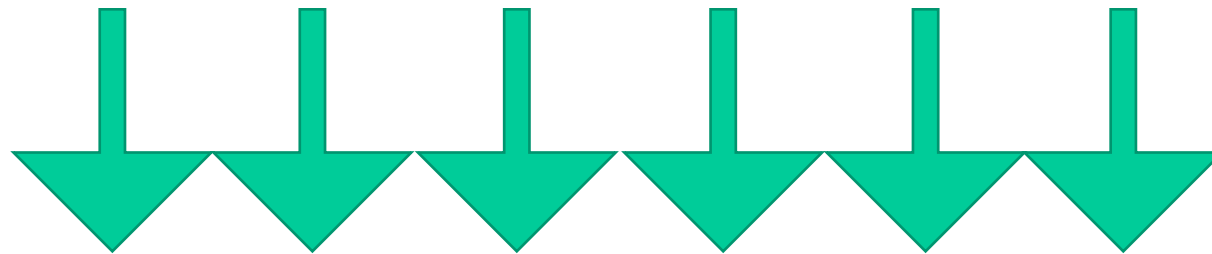
Požadavek maximální výkonnosti (periodizace přípravy a "peak")

Podobná povaha fyzické zátěže (spíše kratší intervaly zatížení)

Podobné energetické krytí výkonu (podobné požadavky na výživu)

Časté změny tělesné hmotnosti (nabírání, hubnutí)

Podobné tělesné složení co do zastoupení kosterního svalstva

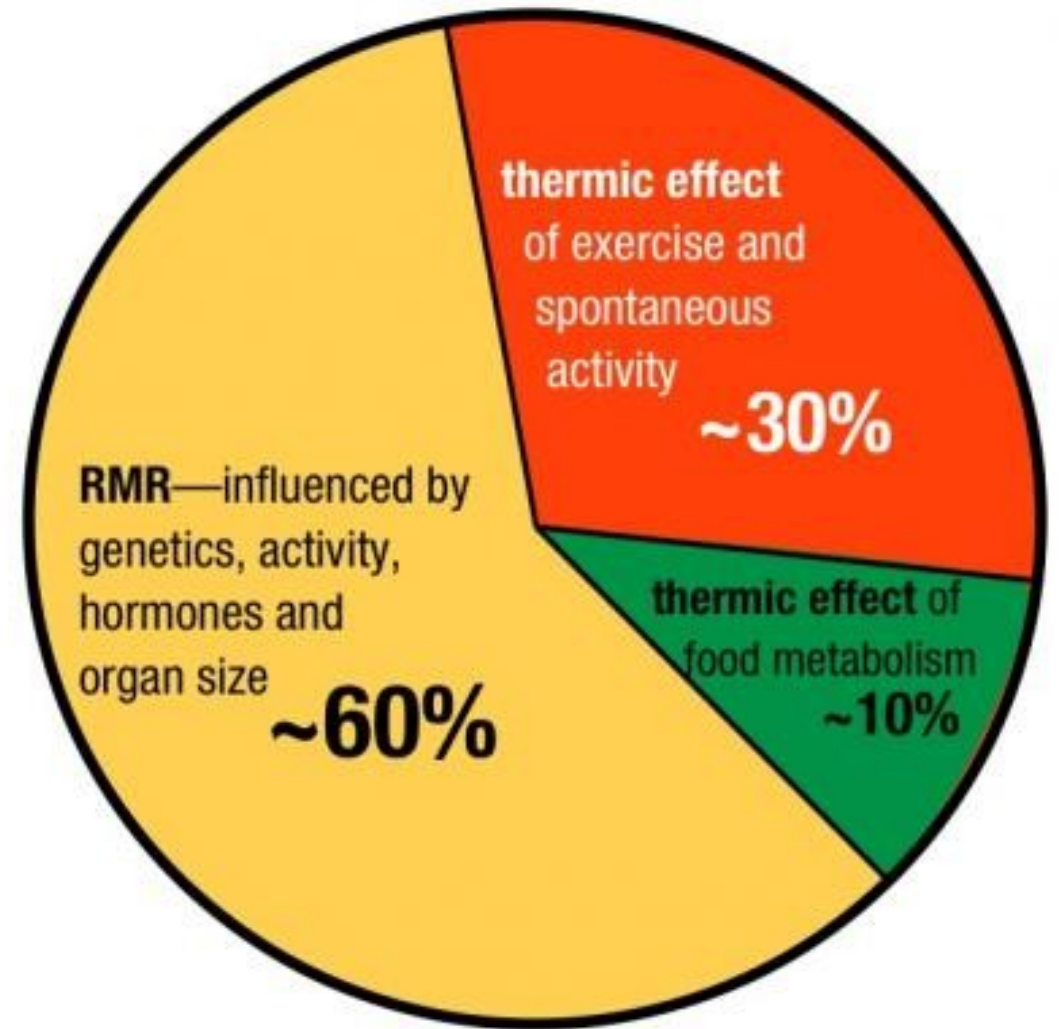
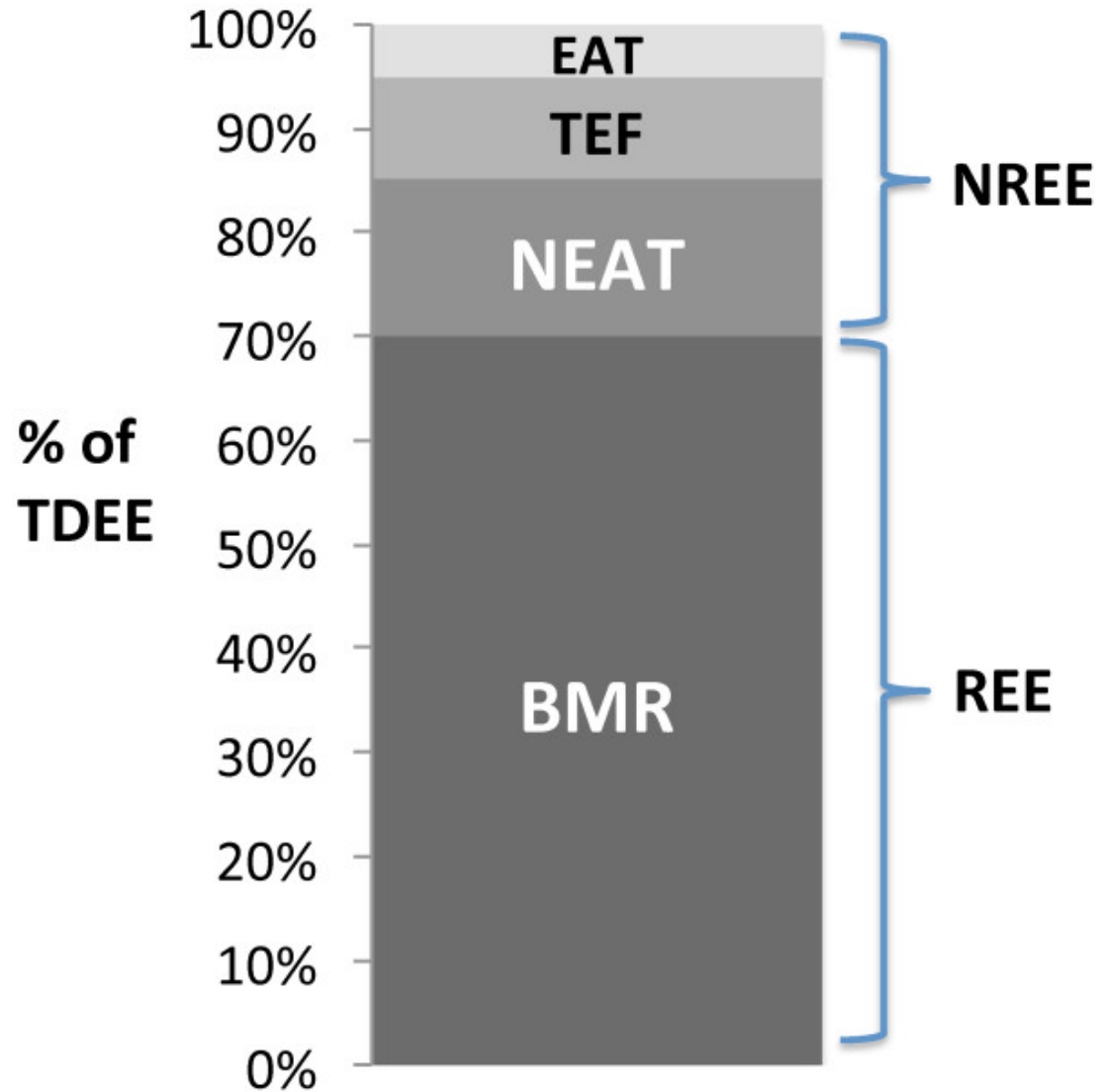


Výživa a příjem bílkovin hraje velkou roli u všech těchto atributů

Na čem ve výživě sportovce skutečně záleží?



Energetická bilance a potřeba



Energetická bilance

- Souhrn veškerých metabolických procesů vyjadřuje celkovou energetickou potřebu organismu (**TDEE, total daily energy expenditure**)

Konvenčně se celková energetická potřeba/výdej dělí na:

- 1) **BMR** (bazální metabolický výdej) - výdej energie v úplném tělesném klidu
- 1) **NEAT, EAT** (energie spotřebovaná na běžné denní aktivity, energie spotřebovaná při cvičení)
- 1) **DIT** (dietou indukovaná termogeneze, jinak také TEF – termický efekt stravy)
- 1) Energie spotřebovaná navíc z dalších důvodů (**stres, choroba, regenerace, aktuální stav výživy**)

1) Určení bazálního výdeje energie (BMR)

Harris-Benedictova rovnice:

muži: $66,47 + (13,75 \times \text{hmotnost}) + (5 \times \text{výška}) - (6,75 \times \text{věk})$

ženy: $665,09 + (9,56 \times \text{hmotnost}) + (1,84 \times \text{výška}) - (4,67 \times \text{věk})$

Mifflin-St. Jeorova rovnice:

muži: $(9,99 \times \text{hmotnost}) + (6,25 \times \text{výška}) - (4,92 \times \text{věk}) + 5$

ženy: $(9,99 \times \text{hmotnost}) + (6,25 \times \text{výška}) - (4,92 \times \text{věk}) - 161$

Katch-McArdle rovnice:

$(21,6 \times \text{beztuková hmotnost těla}) + 370$

Úroveň fyzické aktivity (PAL) (dle WHO, 2004)

Popis fyzické aktivity	Hodnota PAL
Sedavé zaměstnání	1,3–1,5
Středně aktivní životní styl	1,6–2,0
Náročný životní styl	2,0–2,4
Extrémně náročný životní styl	Nad 2,4

- **Většina současné populace spadá do rozmezí PAL 1,3–1,7**
- **U sportovců může být opět tato hodnota značně variabilní (1,5–2,5)**

Jak orientačně určit výdej energie při aktivitách i bez fitness hodinek?



MET jednotky (tzv. metabolic equivalent of task), [Odkaz na webovou stránku](#)

- **1 MET jednotka: zátěž s výdejem energie 1 kcal/kg tělesné hmotnosti za hodinu**
- Pro čistý výdej energie skrze aktivitu nutno odečíst 1 MET jako klidový výdej energie
- MET jednotky lze snadno převést na PAL, které lze připočítat k základnímu výdeji energie, ale lze počítat i s kcal
- Postup pro převod MET na PAL: Počet MET jednotek za danou aktivitu vydělit číslem 22

Příklad MET jednotek:

1993 Compendium		2000 Compendium		2011 Compendium		Running
Codes	METs	Codes	METs	Codes	METs	Description
12010	6.0	12010	6.0	12010	6.0	jog/walk combination (jogging component of less than 10 minutes) (Taylor Code 180)
12020	7.0	12020	7.0	12020	7.0	jogging, general
		12025	8.0	12025	8.0	jogging, in place
		12027	4.5	12027	4.5	jogging, on a mini-tramp
				12029	6.0	running, 4 mph (15 min/mile)
12030	8.0	12030	8.0	12030	8.3	running, 5 mph (12 min/mile)
12040	9.0	12040	9.0	12040	9.0	running, 5.2 mph (11.5 min/mile)
12050	10.0	12050	10.0	12050	9.8	running, 6 mph (10 min/mile)
12060	11.0	12060	11.0	12060	10.5	running, 6.7 mph (9 min/mile)

1 mph = 1,6 kmh

Údaje z Compendium of PAs

Silový trénink nemusí být na výdej energie tak náročný

Záleží na počtu sérií, procvičovaných partiích, intenzitě cvičení

Můžeme také vycházet z fitness hodinek měřící tepovou frekvenci

8.0	circuit training, including kettlebells, some aerobic movement with minimal rest, general, vigorous intensity
3.5	Curves™ exercise routines in women
5.0	Elliptical trainer, moderate effort
6.0	resistance training (weight lifting - free weight, nautilus or universal-type), power lifting or body building, vigorous effort (Taylor Code 210)
5.0	resistance (weight) training, squats , slow or explosive effort
3.5	resistance (weight) training, multiple exercises, 8-15 repetitions at varied resistance

Hodnoty PAL některých sportovních aktivit

Activity	Examples	Per Hour of Activity	Multiplier PAL
Low Intensity Aerobic (130 HR or lower)	Brisk walking, slow cycling (<13 mph)	1.5 cal/lb (3.3 cal/kg) 2 cal/lb (4.4 cal/kg)	0.15 0.2
Medium Intensity Aerobic (130-150 HR)	Swimming, jogging cycling (13-15mph)	2-3 cal/lb (4.4-6.6 cal/kg)	0.2-0.3
High Intensity Aerobic (160-180 HR)	Cycling (17-18mph), running (6' mile)	3-4 cal/lb (6.6-8.8 cal/kg)	0.3-0.4
Highly Trained Athletes	Cycling (18+mph), running (8' mile or faster)	5-8 cal/lb (10.5-17.6 cal/kg)	0.5-0.8
Weight Training	Recreational Physique/PL/OL	1 cal/lb (2.2 cal/kg) 2 cal/lb (4.4 cal/kg)	0.1 0.2-0,35
Team Sports (variable)	Volleyball Basketball Soccer	1-2 cal/lb (2.2-4.4 cal/kg) 3.75 cal/lb (8.25 cal/kg) 6 cal/min (13.2 cal/kg)	0.1-0.2 0.375 0.6

Příklad výpočtu kcal nebo PAL z MET jednotek

Žena: 70 kg, 175 cm, 25 let

Aktivita: 1 hodina, Celková intenzita 8 MET jednotek

Celkový výdej energie za aktivitu: $70 \times 8 \times 1 = 560$ kcal

Čistý výdej pohybem: $70 \times (8-1) \times 1 = 490$ kcal

Aktivita: 1 hodina, Celková intenzita 8 MET jednotek

Celkový počet MET jednotek vykonaných za aktivitu: $8 \times 1 = 8$ MET

Čistý počet MET jednotek vykonaných aktivitou: $(8-1) \times 1 = 7$ MET

Přepočet MET jednotek na PAL: $7 / 22 = 0,32$ PAL

Příklad výpočtu kcal, nebo PAL z MET jednotek

Žena: 70 kg, 175 cm, 25 let

Výpočet BMR (Mifflin-St. Jeor): $9,99 \times 70 + 6,25 \times 175 - 4,92 \times 25 - 161 = 1509$ kcal

Základní PAL životního stylu: 1,3

Energie vydaná sportovní aktivitou: **490 kcal**

Termický efekt stravy: 10 % energie z přijaté stravy

Rovnice výdeje energie: $1509 \times 1,3 + 490 + 272,4 = 2724$ kcal

Celkový výdej energie při vyrovnané energetické bilanci: **2724 kcal** (10 % je TEF)

Výpočet BMR (Mifflin-St. Jeor): $9,99 \times 70 + 6,25 \times 175 - 4,92 \times 25 - 161 = 1509$ kcal

Základní PAL životního stylu: 1,3

Energie vydaná sportovní aktivitou: $7 \text{ MET} / 22 = 0,32 \text{ PAL}$

Termický efekt stravy: 10 % energie z přijaté stravy

Celková výdej energie při vyrovnané bilanci: $1509 \times (1,3 + 0,32) + 271,6 = 2716$ kcal (10 % je TEF)

Rozdíl mezi oběma výpočty je zanedbatelný (2724 kcal vs. 2716 kcal), oba jsou možné.

Výpočet potřeb energie: Každý den zvlášť vs. týden průměr

Den v týdnu	Pohyb	Výdej energie v daný den	Průměrný výdej energie
Pondělí	Trénink 1 (Silový trénink 60 minut)	2700 kcal	2530 kcal
Úterý	Bez aktivity	2200 kcal	2530 kcal
Středa	Trénink 1 (Silový trénink 60 minut)	2700 kcal	2530 kcal
Čtvrtek	Bez aktivity	2200 kcal	2530 kcal
Pátek	Trénink 1 (Silový trénink 60 minut)	2700 kcal	2530 kcal
Sobota	Trénink 2 (Kardio 90 minut)	3000 kcal	2530 kcal
Neděle	Bez aktivity	2200 kcal	2530 kcal

Dietou indukovaná termogeneze

Jedná se o navýšení energetického výdeje z důvodu vynaložení energie na procesy spojené s trávením, absorpcí, metabolizací a uskladněním živin po příjmu potravy.

Živina	Hodnota termického efektu stravy
Tuky	0–3 %
Sacharidy	5–10 %
Bílkoviny	20–30 %
Ethanol	Cca 20 %
Běžná smíšená strava	10 %

Cca 10 % energetického příjmu tak nejsme schopni využít

Další faktory ovlivňující výdej energie

Aspekt ovlivňující metabolismus	Ovlivnění
Tělesná a okolní teplota	↑ i ↓
Přítomnost choroby, zranění	↑ i ↓
Regenerace po fyzické aktivitě, zejména silového charakteru	↑
Těhotenství; laktace (400–500 kcal/d)	↑
Genetické aspekty	↑ i ↓
Hormonální aspekty	↑ i ↓
Stres	↑
Kouření	↑
Růst	↑
Změny hormonů v návaznosti na menstruační cyklus	↑ i ↓

The effect of exercise interventions on resting metabolic rate: A systematic review and meta-analysis

Kristen MacKenzie-Shalders ¹, Jaimon T Kelly ^{1 2}, Daniel So ^{1 3}, Vernon G Coffey ¹, Nuala M Byrne ⁴

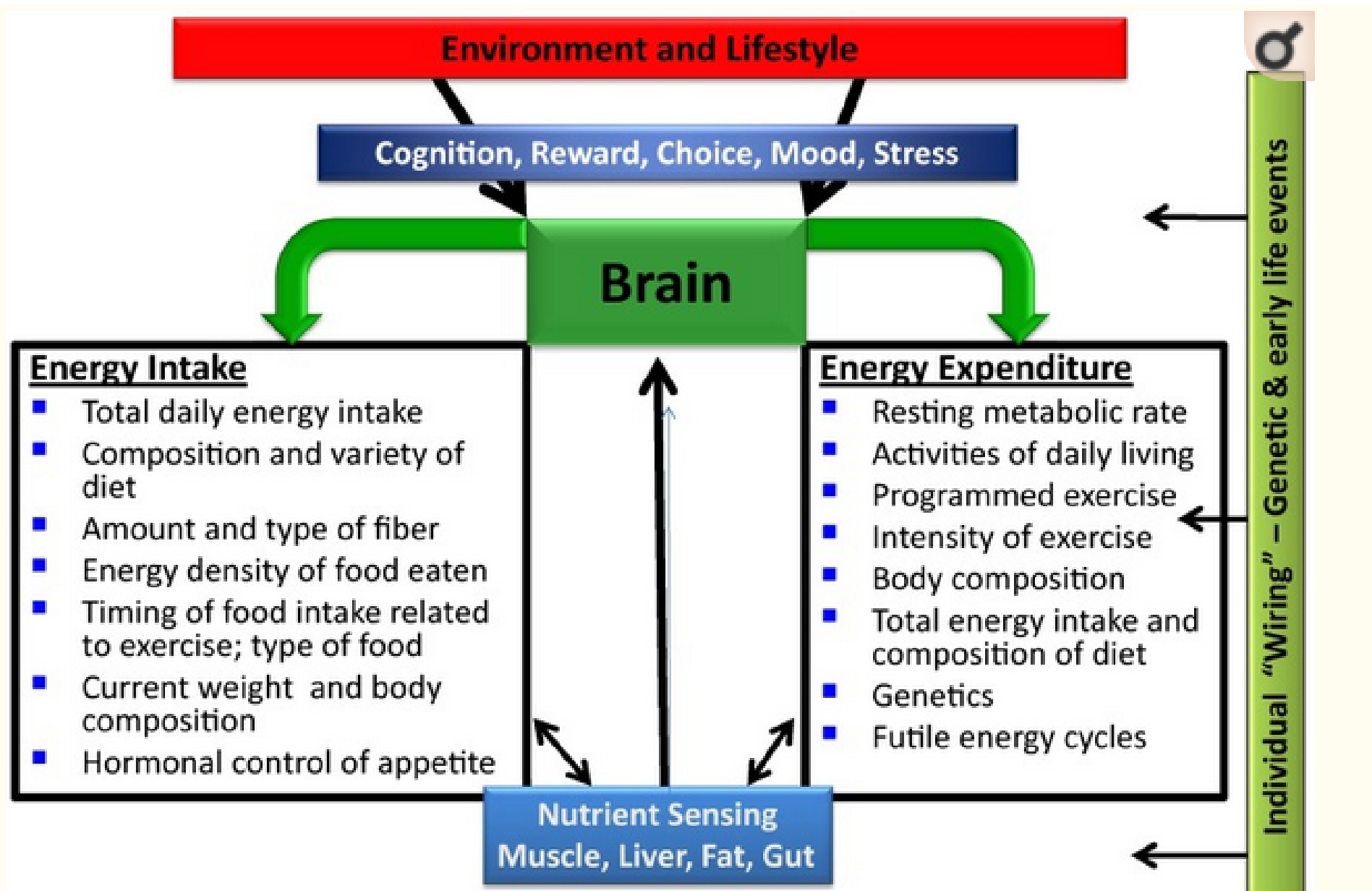
Affiliations + expand

PMID: 32397898 DOI: [10.1080/02640414.2020.1754716](https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1754716)

Abstract

The systematic review and meta-analysis evaluated the effect of aerobic, resistance and combined exercise on RMR ($\text{kCal}\cdot\text{day}^{-1}$) and performed a methodological assessment of indirect calorimetry protocols within the included studies. Subgroup analyses included energy/diet restriction and body composition changes. Randomized control trials (RCTs), quasi - RCTs and cohort trials featuring a physical activity intervention of any form and duration excluding single exercise bouts were included. Participant exclusions included medical conditions impacting upon RMR, the elderly (≥ 65 years of age) or pregnant, lactating or post-menopausal women. The review was registered in the International Prospective Register of Systematic Reviews (CRD 42,017,058,503). 1669 articles were identified; 22 were included in the qualitative analysis and 18 were meta-analysed. Exercise interventions (aerobic and resistance exercise combined) did not increase resting metabolic rate (mean difference (MD): $74.6 \text{ kCal}\cdot\text{day}^{-1}$ [95% CI: -13.01, 161.33], $P = 0.10$). While there was no effect of aerobic exercise on RMR (MD: $81.65 \text{ kCal}\cdot\text{day}^{-1}$ [95% CI: -57.81, 221.10], $P = 0.25$), resistance exercise increased RMR compared to controls (MD: $96.17 \text{ kCal}\cdot\text{day}^{-1}$ [95% CI: 45.17, 147.16], $P = 0.0002$). This systematic review effectively synthesises the effect of exercise interventions on RMR in comparison to controls; despite heterogenous methodologies and high risk of bias within included studies.

Určit výdej/potřebu energie **skutečně přesně** je téměř nemožné



Teoretické výpočty jsou jedna věc,
ještě důležitější je však nastavení příjmu energie
podle aktuálních požadavků klienta,
což se může od výpočtů značně lišit

**Důležitost správně odebraných informací
o výživě od klienta – ideální je požádat ho
o 3 –7denní záznam stravy pro určení aktuálního
průměrného příjmu energie – porovnat výpočet s
odebranými daty**

Celková potřeba energie

- **Zahrnuje v sobě všechny složky energetického výdeje**
 - 1) BMR – bazální výdej energie
 - 2) PAL – pohybová aktivita (NEAT + EAT)
 - 3) DIT – termický efekt stravy – 10 % z přijaté energie
(při vyrovnané energetické bilanci 10 % z celkového energetického výdeje)
 - 4) **Další faktory měnící výdej energie, je obtížné je přesně určit**

BMR x PAL + DIT + (další faktory)

Celý proces výpočtu potřeb energie jsem popsal v tomto článku:

<https://aktin.cz/chcete-hubnout-nabirat-svaly-nebo-jen-zdraveji-jist-spocitejte-si-makra-vzhledem-k-vasemu-cili>

Nutrition guidelines for strength sports: Sprinting, weightlifting, throwing events, and bodybuilding. (Phillips, 2011)

Table I. Reported dietary intake of energy and macronutrients among adult male strength and power athletes during training (unless otherwise stated)

Sport	Population	Body mass (kg)	Energy		Carbohydrate		Protein		Fat		Survey method
			MJ	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	g	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	g	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	g	% E	
Throwing	Elite ($n=6$)	109	22.4 ± 2.9	205 ± 25	450 ± 52	4.1 ± 0.5	265 ± 44	2.4 ± 0.4	277 ± 97	47 ± 16	3–5 day weighed diary
	National level ($n=20$)	96	14.6 ± 3.3	152 ± 36	375	3.9	160	1.7 ± 0.9	158	41 ± 5	7 day diary
	National team ($n=2$)	104	15.0 ± 2.8	145 ± 20	429 ± 81	4.1 ± 0.6	134 ± 2	1.3 ± 0.1	119 ± 8	30 ± 4	3 day diary
Sprinting	National level ($n=10$)	67	11.1 ± 1.5	167 ± 33	340 ± 57	5.1 ± 1.0	102 ± 20	1.5 ± 0.4	90 ± 16	30 ± 3	3 day diary
Weightlifting	Elite ($n=10$)	80	19.2 ± 2.5	238 ± 25	431 ± 96	5.4 ± 1.2	257 ± 47	3.2 ± 0.6	205 ± 33	40 ± 7	3–5 day weighed diary
	International ($n=7$)	76	12.8	167	320	4.2	97	1.3	134	39	4–7 day diary
	National and collegiate ($n=28$)		15.2 ± 3.9		392		161		160	39 ± 6	3 day diary
	National team ($n=15$)	95	31.4	330	764	8	295	3.1	380	45	3 day semi-weighed diary
Bodybuilding	National level ($n=19$)	84	15.2 ± 5.0	181 ± 50	399 ± 143	4.8	156 ± 42	1.9 ± 0.6	155 ± 62	39 ± 4	7 day diary
	Competitive ($n=76$)	82	15.0 ± 4.2	183	320 ± 132	3.9	200 ± 79	2.4	157 ± 50	39	7 day diary
	Elite ($n=6$)	80	20.1 ± 0.2	251	592	7.4 ± 0.3	224	2.7 ± 0.1	174	32	7 day diary
	International ($n=8$)	87	13.7	157	424	4.9	201	2.5	118	32	4–7 day diary
	Competitive ($n=7$)										
	Training	91	15.0 ± 4.9	165	457 ± 148	5	215 ± 59	2.4	110 ± 71	26 ± 12	3 day diary
	Competition	86	9.8 ± 1.1	113	365 ± 76	4.2	163 ± 59	1.9	32 ± 18	13 ± 8	
	Competitive ($n=20$)	77	15.4 ± 4.4	200	532	6.9	165	2.1	120	29 ± 7	4 day diary
International ($n=7$)	85	12.4 ± 1.5	145	369 ± 70	4.3	144 ± 41	1.7	95 ± 12	28	4 day diary	

Teoretické výpočty jsou jedna věc,
ještě důležitější je však nastavení příjmu energie
podle aktuálních požadavků pacienta/klienta,
což se může od výpočtů značně lišit

Důležitost správně odebraných informací o výživě a pohybu od klienta
– ideální je požádat ho o 3–7denní záznam stravy pomocí vážení
pro určení aktuálního průměrného příjmu a výdeje energie
– porovnat výpočet s odebranými daty

Pozor na underreporting stravy
Pozor na nadhodnocování míry pohybu

Funkce bílkovin v organismu

- Strukturní proteiny – kolagen, keratin
- Zajišťující pohyb – aktin, myosin
- Imunitní funkce – imunoglobuliny, bílkoviny akutní fáze
- Metabolické proteiny – enzymy
- Transportní proteiny – lipoproteiny, SHBG, albumin
- Bílkoviny krevní plazmy – onkotický tlak, specifické funkce
- Signální proteiny – hormony, receptory, signální molekuly

Rekapitulace trávení bílkovin

- Trávení bílkovin začíná v žaludku pomocí pepsinu a HCl (HCl aktivuje pepsinogen)
- Pokračuje enzymy obsaženými v pankreatické šťávě (trypsin, chymotrypsin, elastáza)
- Trávení se dokončuje pomocí enzymů kartáčového lemu (aminopeptidázy, dipeptidázy)
- Buňky střeva vstřebávají buď jednotlivé aminokyseliny, nebo krátké peptidy (di-, tri-)
- Děje se tak prostřednictvím specifických transportérů:
 - 1) Jednotlivé aminokyseliny symportem s Na^+
 - 2) Krátké peptidy pomocí PEPT1 transportérů symportem s H^+

Trávení bílkovin

Trávení bílkovin začíná v žaludku pomocí **pepsinu a HCl** (HCl aktivuje pepsinogen)

Pokračuje enzymy obsaženými v **pankreatické šťávě** (trypsin, chymotrypsin, elastáza)

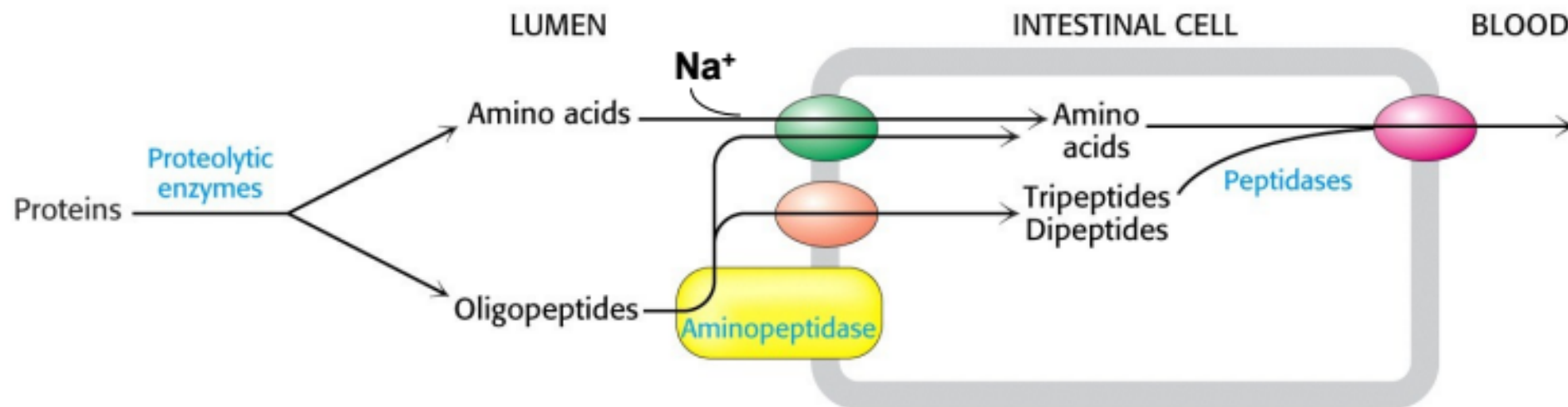
Trávení se dokončuje pomocí **enzymů kartáčového lemu** (aminopeptidázy, dipeptidázy)

Buňky střeva vstřebávají buď jednotlivé aminokyseliny, nebo krátké peptidy (di-, tri-)

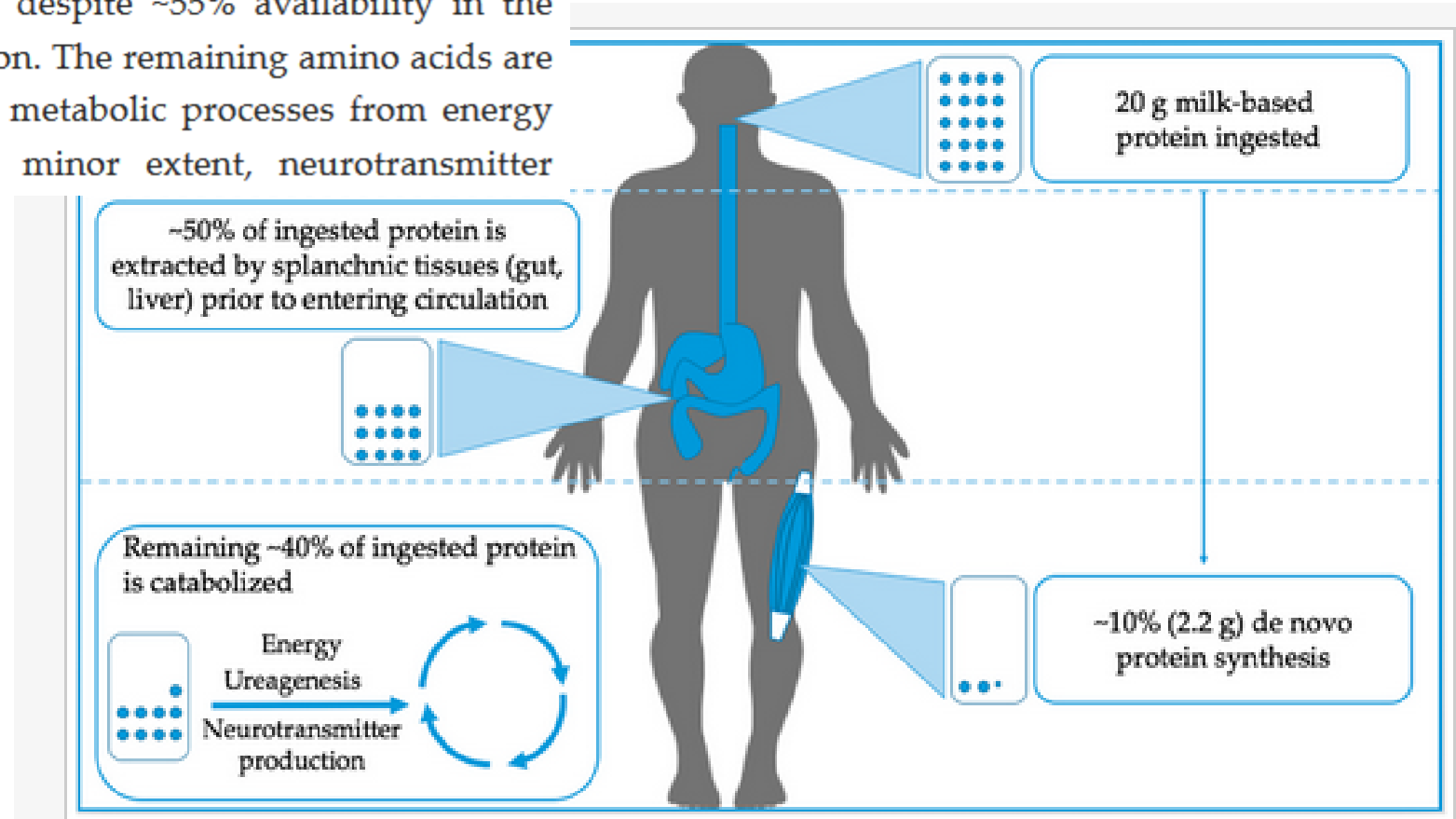
Děje se tak prostřednictvím specifických transportérů:

1) Jednotlivé aminokyseliny symportem s Na^+

2) Krátké peptidy pomocí PEPT1 transportérů symportem s H^+



Overall, ~50% of the amino acids in a protein-containing meal are extracted by the splanchnic tissues whereas the rest are released into the plasma circulation for extra-splanchnic utilization [15]. Although skeletal muscle is a large depot for the retention of amino acids, not all the amino acids released into plasma are destined to become incorporated into new skeletal muscle tissue. In a recent study employing an intrinsically-labeled tracer approach, Groen and colleagues [15] demonstrated that only ~2.2 g or 11% of the amino acids provided to young men in a 20 g bolus of casein protein were used for de novo protein synthesis despite ~55% availability in the peripheral circulation following splanchnic extraction. The remaining amino acids are catabolized and serve as substrates for a range of metabolic processes from energy production and urea synthesis and, to a very minor extent, neurotransmitter



Putování živin ze střeva

Portální žilou do
jater a dále do
krevního oběhu

**Aminokyseliny,
sacharidy,
SCFA, MCFA**

**Rychlejší
transport do krve**

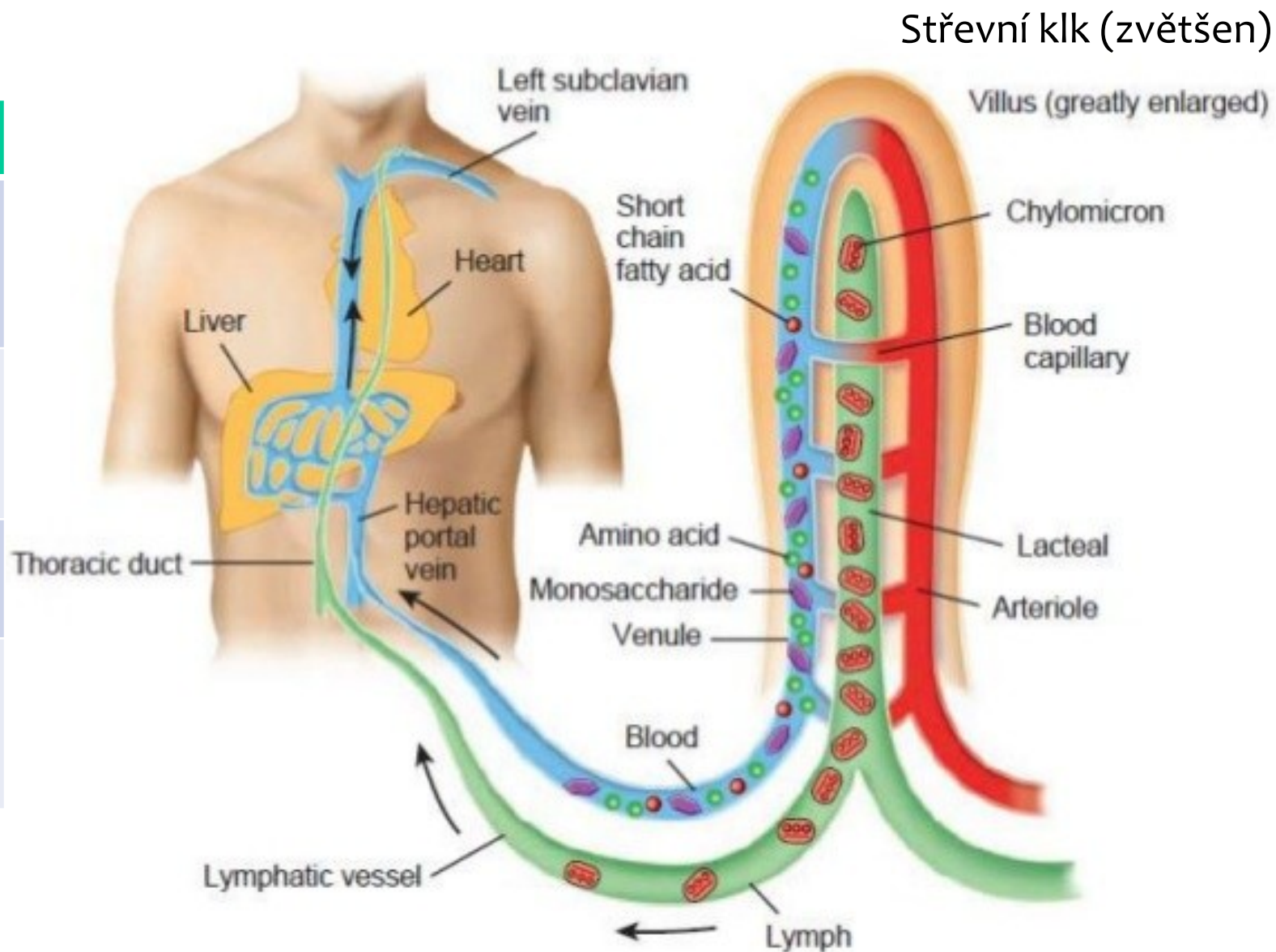
Rychleji
k dispozici jako
zdroj energie

Lymfatickým
systémem do
krevního oběhu

**Dlouhé mastné
kyseliny (LCFA)**

Pomalejší transport
do krve

Pomaleji k dispozici
jako zdroj energie



Takže jak to je s tou využitelností bílkovin???

Využitelnost na úrovni	Komentář
1) Stravitelnost v trávicím traktu (na konci tenkého střeva)	Stravitelnost v GIT zejména u živočišných bílkovin obecně velmi vysoká, „není problém“
2) Využitelnost bílkovin na jednu porci pro maximální stimulaci MPS a tvorbu svalových nebo jiných tělesných bílkovin	<u>Nalezení ideálního množství mezi:</u> A) Nedostatečnou dávkou bílkovin pro maximální stimulaci MPS B) Zbytečně vysokou dávkou, která vede k vyššímu využívání bílkovin jako zdroje energie a tvorby močoviny („plýtvání/neefektivní využití bílkovin“)

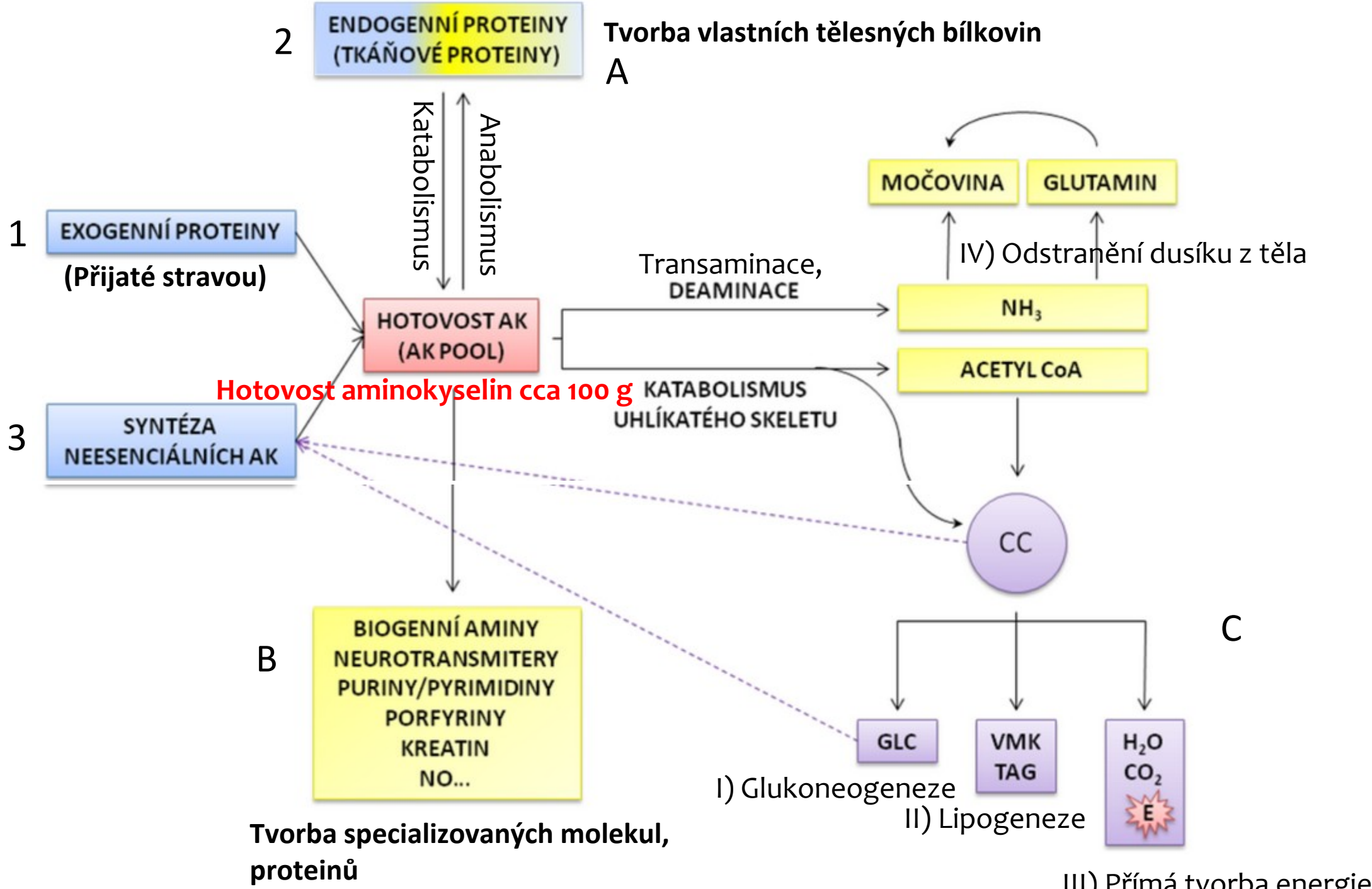
Stravitelnost
Živočišné proteiny nad 90 % (izolované formy až 95 % a více)
Rostlinné proteiny nejčastěji mezi 45–85 %
Izolované rostlinné proteiny (sójový, hrachový, pšeničný) nad 90 %

Osudy bílkovin v organismu

V organismu je udržována pohotovostní zásoba aminokyselin, které mohou být ihned použity pro potřeby organismu, **tzv. pool aminokyselin (hotovost), cca 100 g aminokyselin v krevním oběhu**

Zdrojem této hotovosti jsou:

- 1) AMK přijaté potravou**
- 2) AMK endogenního původu (z našich tkání – přirozená neustálá degradace a znovuvytvoření)**
- 3) AMK, které si umíme sami syntetizovat (neesenciální aminokyseliny)**



Osudy bílkovin v organismu

Tato pohotovostní zásoba může být použita na:

A) Tvorba vlastních proteinů: (svalové bílkoviny, bílkoviny orgánů, dalších tkání nebo proteinů krevní plazmy)

B) Tvorba specializovaných molekul: (hormony, signální proteiny, proteiny imunitního systému, atd.)

C) Katabolismus bílkovin: využití bílkovin jinak než jako „stavebních kamenů“:

I) Tvorba glukózy v procesu glukoneogeneze (z tzv. glukogenních AMK)

II) Tvorba mastných kyselin a tělesného tuku - lipogeneze (v extrémním případě)

III) Přímá tvorba energie přes Acetyl-CoA (např. oxidace aminokyselin během zátěže)

IV) *Ve všech případech nutné odstranění dusíku (detoxikace) pryč z organismu*

A) Tvorba vlastních proteinů

- Proteiny jsou základní stavební komponenty živých organismů
- Většina proteinů podléhá neustálé degradaci a opětovnému vytvoření
- **Organismus si tvoří základní 2 druhy proteinů:**
- **1) Tkáňové: proteiny svalové**, proteiny orgánů, enzymy, proteiny buněčných struktur. „Jsou někde vázané.“
- **2) Plazmatické:** v každém litru krevní plazmy je rozpuštěno 65–85 g různých proteinů, které plní různé funkce (transportní, imunitní). „Volně se pohybují v krvi.“

B) Tvorba specializovaných látek

Hormony

Signální molekuly

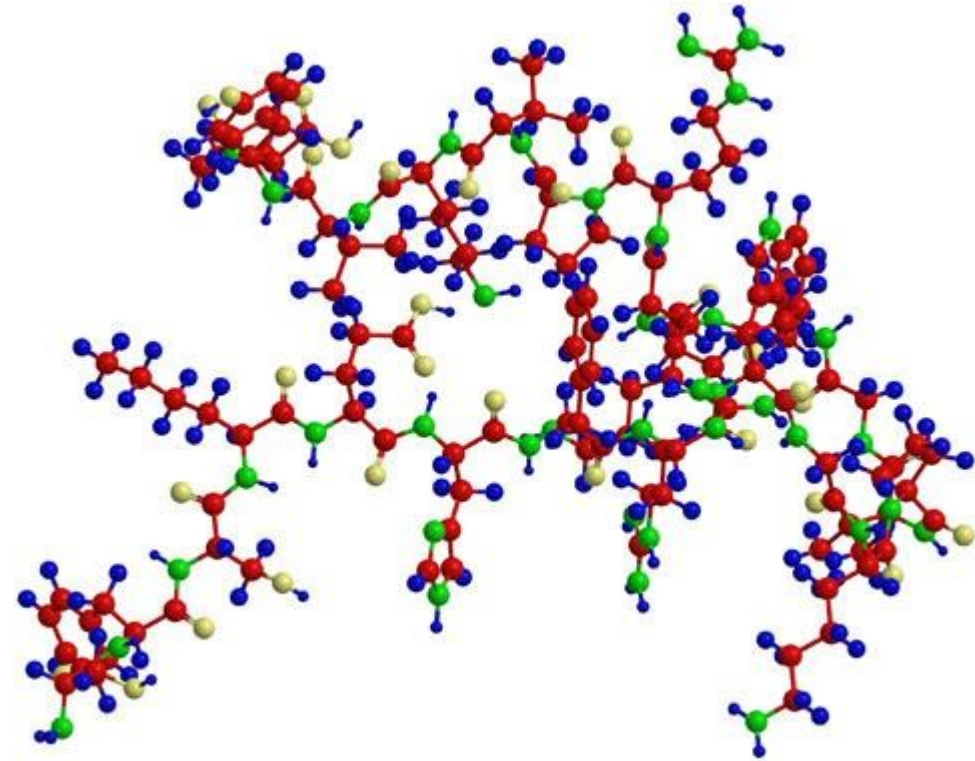
Kreatin, beta-alanin

Růstové faktory

Látky potřebné pro syntézu DNA

Proteiny mateřského mléka

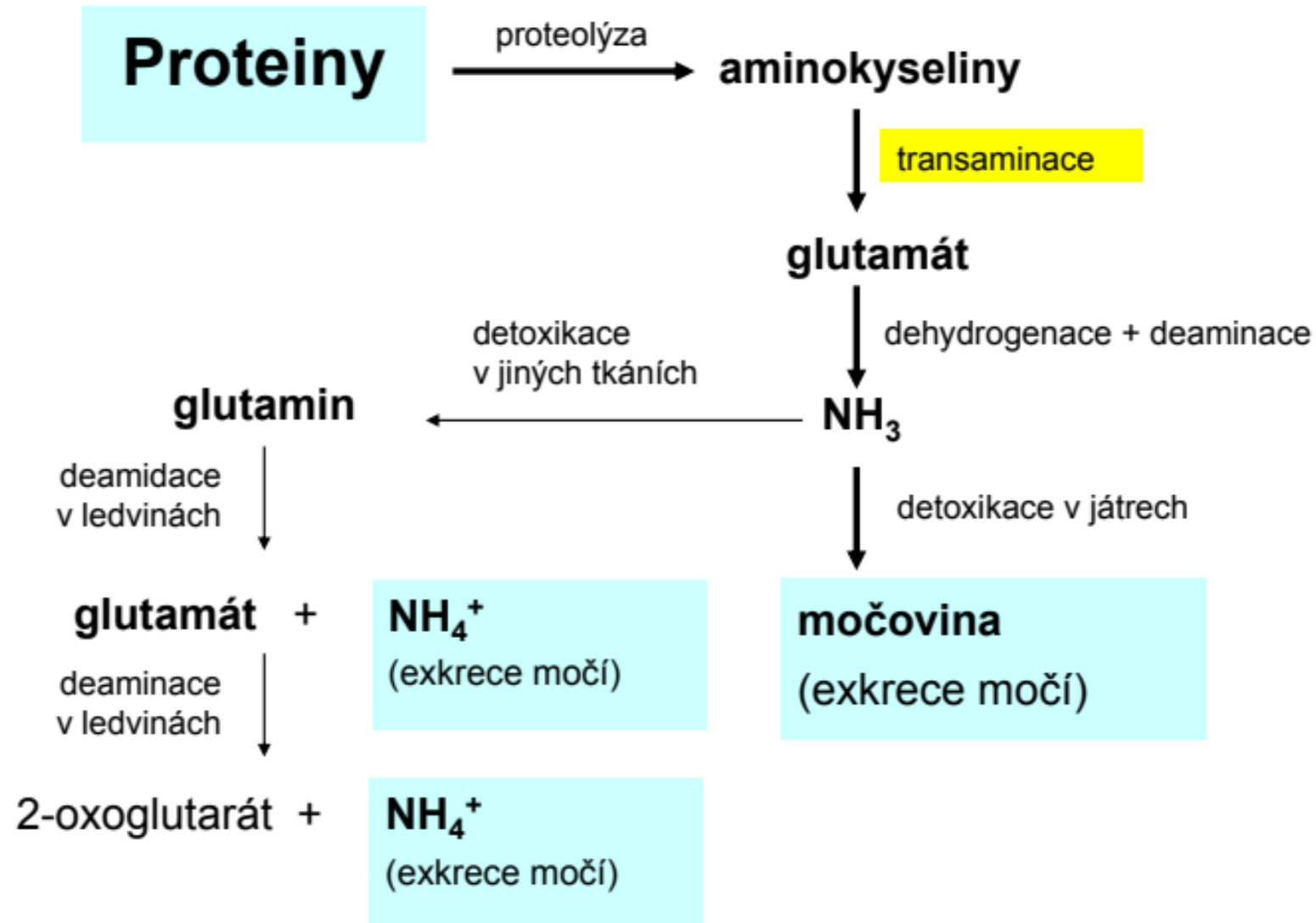
a další



C) Katabolismus bílkovin („využití jinak než jako stavební kameny“)

- Při nadměrném příjmu bílkovin ze stravy (nebo při katabolismu – např. hladověcí) může být aminokyselinám z molekuly odstraněn dusík v procesu transaminace (budeme si dále ukazovat)
- Takto vznikne uhlíková struktura, která může poskytnout:
 - I) Syntéza glukózy (glukoneogeneze)
 - II) Syntéza MK a TAG (lipogeneze, tvorba tuku)
 - III) Přímá tvorba energie v buňce v podobě Acetyl-CoA
- **Odstraněný dusík z aminokyselin musí být následně odstraněn z těla**

IV) Odstranění dusíku z těla (detoxikace)

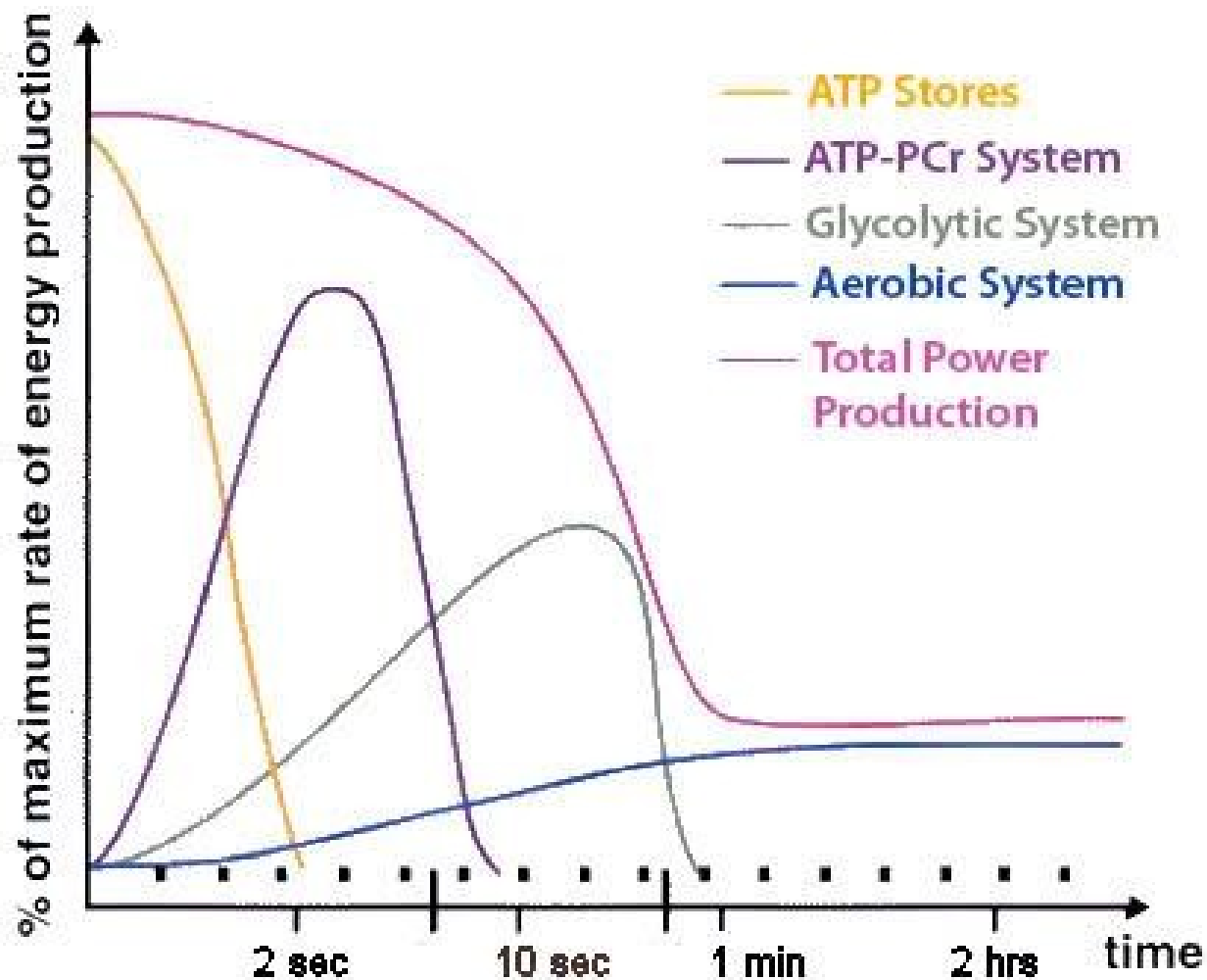


Hormony zapojené do metabolismu bílkovin

Hormon	Primární funkce	Konkrétní funkce
Testosteron	Anabolismus	Zvyšování MPS
Estrogen	Anabolismus	Zvyšování MPS
Růstový hormon	Anabolismus	Zvyšování MPS
Hormony štítné žlázy (T_3 , T_4)		Normální hladiny \square normální metabolismus bílkovin, zvýšené hladiny \square katabolismus
Inzulin	Antikatabolismus	Stimulace MPS, podpora vstupu AMK do svalů
Glukagon	Katabolismus	Zapojen do glukoneogeneze
Kortizol	Katabolismus	Glukoneogeneze, snížení MPS
IGF-1	Anabolismus	Anabolismus

Energetické substráty při silovém výkonu

- Zásoby ATP (cca 2 sekundy)
- Kreatinfosfát (cca 10 sekund)
- (An)aerobní glykolýza (svalový glykogen)
- Beta-oxidace MK (minoritní)
- Aminokyseliny (cca 5–10 % energie)



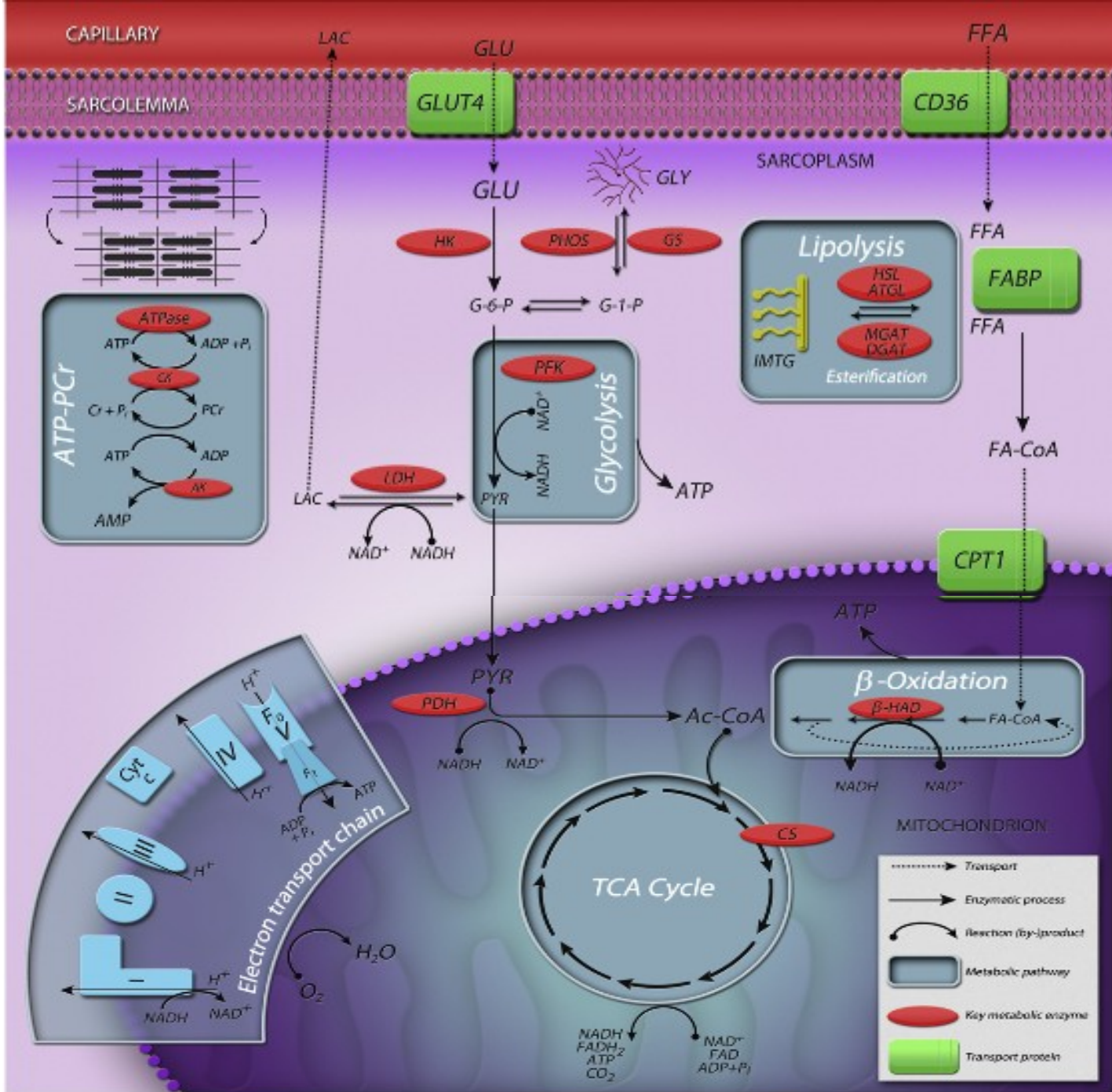


Table 2. Adaptations and Health Benefits of Aerobic Compared to Resistance Exercise

	Aerobic (Endurance)	Resistance (Strength)
Skeletal Muscle Morphology and Exercise Performance		
Muscle hypertrophy	↔	↑ ↑ ↑
Muscle strength and power	↔ ↓	↑ ↑ ↑
Muscle fiber size	↔ ↑	↑ ↑ ↑
Neural adaptations	↔ ↑	↑ ↑ ↑
Anaerobic capacity	↑	↑ ↑
Myofibrillar protein synthesis	↔ ↑	↑ ↑ ↑
Mitochondrial protein synthesis	↑ ↑	↔ ↑
Lactate tolerance	↑ ↑	↔ ↑
Capillarisation	↑ ↑	↔
Mitochondrial density and oxidative function	↑ ↑ ↑	↔ ↑
Endurance capacity	↑ ↑ ↑	↔ ↑

Aerobic exercise training generally encompasses exercise durations of several minutes up to several hours at various exercise intensities, incorporating repetitive, low-resistance exercise such as cycling, running, and swimming. Resistance training generally encompasses short-duration activity at high or maximal exercise intensities, and increases the capacity to perform high-intensity, high-resistance exercise of a single or relatively few repetitions such as Olympic weightlifting, bodybuilding, and throwing events. ↑, values increase; ↓, values decrease; ↔, values remain unchanged; ↑ or ↓, small effect; ↑ ↑ or ↓ ↓, medium effect; ↑ ↑ ↑ or ↓ ↓ ↓, large effect; ↔ ↑ or ↔ ↓, no change or slight change.

Whole-Body and Metabolic Health		
Bone mineral density	↑ ↑	↑ ↑
Body composition		
Percent body fat	↓ ↓	↓
Lean body mass	↔	↑ ↑
Glucose metabolism		
Resting insulin levels	↓	↓
Insulin response to glucose challenge	↓ ↓	↓ ↓
Insulin sensitivity	↑ ↑	↑ ↑
Inflammatory markers	↓ ↓	↓
Resting heart rate	↓ ↓	↔
Stroke volume, resting and maximal	↑ ↑	↔
Blood pressure at rest		
Systolic	↔ ↓	↔
Diastolic	↔ ↓	↔ ↓
Cardiovascular risk profile	↓ ↓ ↓	↓
Basal metabolic rate	↑	↑ ↑
Flexibility	↑	↑
Posture	↔	↑
Ability in activities of daily living	↔ ↑	↑ ↑

Kosterní svalstvo – Hlavní rezervoár tělesných bílkovin

- U běžného muže představuje cca 40 % tělesné hmotnosti (u žen cca 30 %)
- Muži mají o 50 % kosterního svalstva více než ženy
- Největší rezervoár bílkovin v organismu
- 1 gram glykogenu váže 3 gramy vody, obsah glykogenu v 1 kg 9–15 g)

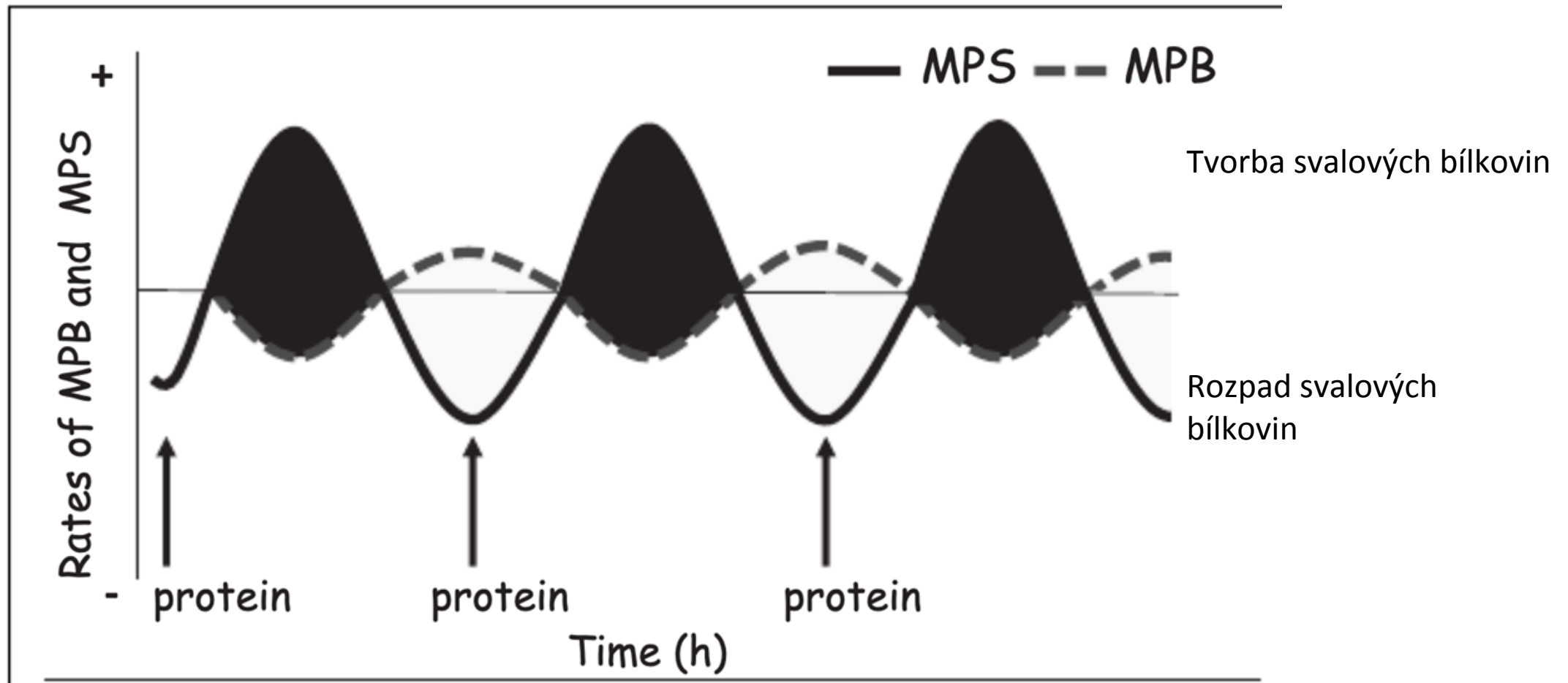
Složka	Procentuální zastoupení
Voda	73 %
Proteiny	20 %
Glykogen	1–2 %
Intramuskulární tuk	0,01–1 %, zdroje se velmi různí
Anorganické a další organické látky	<5

**Bilance svalových bílkovin (NPB, Net Protein Balance) =
Anabolismus (MPS, proteosyntéza) – Katabolismus (MPB, rozpad)**

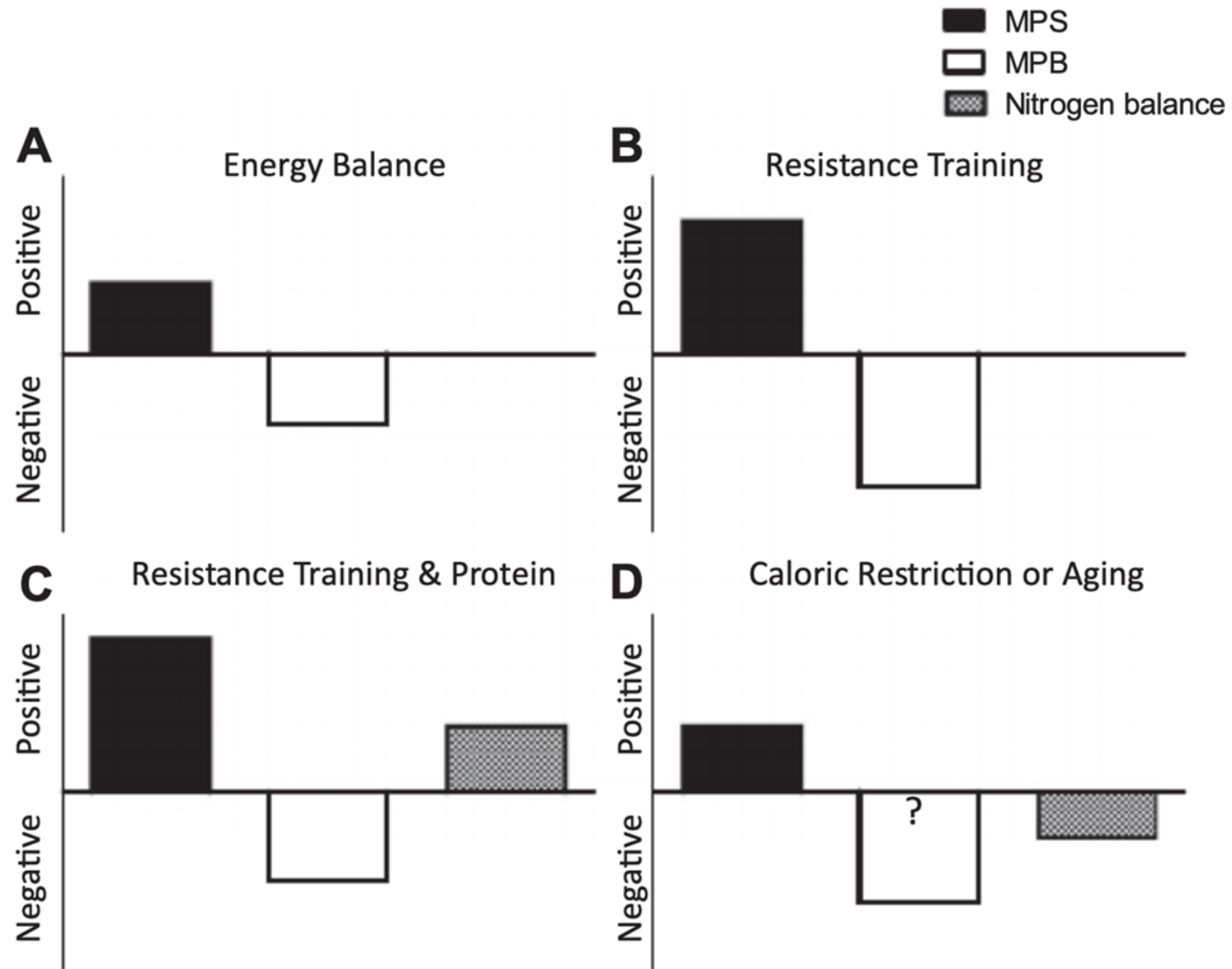
Pro zvýšenou MPS a růst svalové hmoty a silového výkonu je třeba:

- 1) Odporový trénink**
(mechanická tenze, svalové poškození, metabolický stres, periodizace, progresivní přetížení)
- 2) Substráty pro MPS (příjem bílkoviny - aminokyseliny, energetické substráty)**
- 3) Vhodné hormonální prostředí**
- 4) Regenerace** (odpočinek mezi tréninky, spánek, aktivní regenerace)

Základ na úvod, aneb vztah MPS a MPB



MPS a MPB za různých podmínek
**Supplemental protein in support
of muscle mass and health:
advantage whey (2015)**



Faktory ovlivňující potřebu bílkovin

Věk

Hmotnost, tělesné složení jedince

Zdravotní stav

Druh tréninku (odporový vs. vytrvalostní)

Parametry tréninku (objem tréninku, intenzita, frekvence)

Energetický příjem (nabírání/udržování/dieta ? odlišný osud bílkovin v organismu)

Aktuální cíle sportovce (nabírání, udržování, hubnutí)

Kvalita přijímaných bílkovin (obsah EAA+leucinu, stravitelnost, biologická hodnota)

Proč siloví sportovci potřebují zvýšený příjem bílkovin?

**Zvýšená proteosyntéza v buňkách kosterního svalstva
remodelace svalových bílkovin**

Podpora nárůstu svalového růstu a silového výkonu

Regenerační procesy

Celkově zvýšený obrat bílkovin silovým tréninkem

Část aminokyselin je oxidována během výkonu jako zdroj energie

Oprava a zesílení pojivových tkání (šlachy, vazy)

Zachování správné funkce imunity po náročných tréninkách

Podpora hojení a regenerace při případném zranění

Co vše by mělo (silové) sportovce ve vztahu k příjmu proteinů zajímat?

1) Celkový denní příjem při vyrovnané/pozitivní energetické bilanci

2) Požadavky na příjem bílkovin při kalorické restrikci

3) Bezpečnost vyššího příjmu bílkovin

4) Ideální dávka na porci pro maximální stimulaci MPS

5) Kolik můžeme maximálně využít bílkovin v porci pro tvorbu svalových bílkovin?

6) Časový rozestup mezi příjmem proteinů

7) Kvalita dietárních zdrojů proteinů a rychlost stravitelnosti

8) Časování příjmu proteinů kolem tréninkové jednotky, párování s dalšími živinami

9) Jak efektivní je příjem pomalého proteinu na noc?

Vývoj pohledu na potřebu bílkovin v silovém sportu

Doporučovaný příjem pro běžného dospělého člověka	0,8 g/kg TH (DACH, 2017) 0,83 g/kg TH (WHO, 2007)
Protein and amino acid needs of the strength athlete, Lemon, (1991)	1,5–2,0 g/kg, tj. 12–15 g % CEP
Evaluation of protein requirements for trained strength athletes, Tarnopolsky (1992)	1,76 g/kg
Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance (2000)	1,6–1,7 g/kg
Protein requirements and supplementation in strength sports, Phillips (2004)	1,33 g/kg, tj. 12–15 g % CEP
International Society of Sports Nutrition position stand: protein and exercise (2007)	1,4–2,0 g/kg

Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance (2009)	1,2–1,7 g/kg
Nutrition guidelines for strength sports: Sprinting, weightlifting, throwing events, and bodybuilding, Slater (2011)	1,6–1,7 g/kg
Indicator Amino Acid-Derived Estimate of Dietary Protein Requirement for Male Bodybuilders on a Non-training Day Is Several-Fold Greater than the Current Recommended Dietary Allowance, Bandegan (2017)	1,7–2,2 g/kg
International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise, Jäger (2017)	1,4–2,0 g/kg
A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults, Morton (2018)	1,6–2,2 g/kg
Nutrition Recommendations for Bodybuilders in the Off-Season: A Narrative Review, Iraki (2019)	1,6–2,2 g/kg

1) Podle aktuálního poznání je při vyrovnané energetické bilanci ideální denní příjem pro silové sportovce v rozmezí 1,6–2,2 g/kg TH

2) Jak na příjem bílkovin u silových sportovců při kalorické restrikci?

A systematic review of dietary protein during caloric restriction in resistance trained lean athletes: A case for higher intakes, Helms (2014)

**Při kalorické restrikci příjem 1,8–2,7 g/kg TH
tj. 2,3–3,1 g/kg FFM**

Týká se spíše estetických disciplín s maximální redukcí tělesného tuku (kulturistika, fitness)

Dietary Protein for Training Adaptation and Body Composition Manipulation in Track and Field Athletes, Witard (2019)

Při kalorické restrikci příjem 1,6–2,4 g/kg TH

Může se týkat atletických disciplín se silovými prvky nebo rekreačních silových sportovců

<p>Acute energy deprivation affects skeletal muscle protein synthesis and associated intracellular signaling proteins in physically active adults, Pasiakos (2010)</p>	<p>Energetický deficit -20 % Snížení MPS o 19 %</p>
<p>Reduced resting skeletal muscle protein synthesis is rescued by resistance exercise and protein ingestion following short-term energy deficit, Areta (2014)</p>	<p>V klidu snížení MPS o 27 % Spojení proteinu + cvičení → zvýšení MPS</p>
<p>Effects of short-term energy deficit on muscle protein breakdown and intramuscular proteolysis in normal-weight young adults, Carbone (2014)</p>	<p>Zvýšení MPB až o 60 %</p>
<p>Pronounced energy restriction with elevated protein intake results in no change in proteolysis and reductions in skeletal muscle protein synthesis that are mitigated by resistance exercise, Hector (2018)</p>	<p>Bez vlivu na MPB</p>
<p>Recent Advances in the Characterization of Skeletal Muscle and Whole-Body Protein Responses to Dietary Protein and Exercise during Negative Energy Balance, Carbone (2019) REVIEW</p>	<p>Ztráta svalů během ED je dána hlavně snížením MPS než zvýšením MPB</p>

Důvody, proč se může hodit vyšší příjem bílkovin v dietě

„Drahý“ zdroj energie (bílkoviny nejvyšší termický efekt ze všech živin, takže z 1 gramu se dostane nejméně energie)

Substrát pro glukoneogenezi (tělo si vyrábí glukózu z AMK) – ochrana vlastních svalových bílkovin

Podpora sytosti a lepší adherence k redukční dietě

Pozitivní vliv na udržení svalové hmoty (zřejmě pouze do 40% energetického deficitu)

Pro stimulaci MPS do podobné výše jako za vyrovnané energ. bilance je třeba na porci zřejmě vyšší příjem bílkovin (0,4 g B/kg TH)

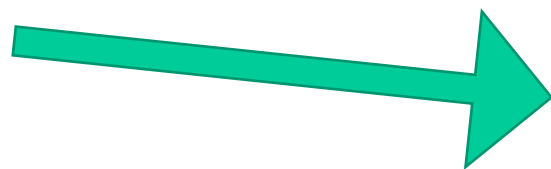
Za nějakých okolností mohou budovat svaly v dietě i naturálové

Chemicky podpoření jedinci díky lepšímu anabolickému prostředí mohou budovat svaly i v dietě

Můžeme vyšší příjem bílkovin ve sportu považovat bezpečný, když odborné organizace (WHO, DACH) doporučují pro běžného člověka příjem „pouze“ 0,8–1,0 g/kg TH?

Vybrané studie u sportovců s delší dobrou trvání a vyšším příjmem B	Příjem bílkovin (g/kg)	Dopad na zdraví
High protein consumption in trained women: bad to the bone? (2018)	1,5 vs. 2,8 g/kg TH 6 měsíců	Bez vlivu na kostní denzitu
A High Protein Diet Has No Harmful Effects: A One-Year Crossover Study in Resistance-Trained Males (2016)	2,5–3,3 g/kg TH 1 rok	Bez vlivu na krevní lipidy, funkce ledvin a jater
Review studií ve sportu: High-protein diets in trained individuals (2019)	11 studií s příjmem bílkovin v rozmezí 0,7–4,4 g/kg TH.	

A Systematic Review of Renal Health in Healthy Individuals Associated with Protein Intake above the US Recommended Daily Allowance in Randomized Controlled Trials and Observational Studies, Van Elswyk (2018)



Based on the evidence reviewed herein, higher protein intake, at least within the short term, and within the range of DRIs, is consistent with normal kidney function in healthy individuals.

3) Neexistuje důkaz, který by nasvědčoval tomu, že by běžně dodržovaný příjem bílkovin u zdravých silových sportovců (cca 2,0 g/kg TH) měl vést k poškození funkce ledvin, jater nebo postižení kostní tkáně

I tak je třeba zachovat určitou opatrnost...

4) Jaká je ideální dávka kvalitního zdroje bílkovin pro maximální stimulaci MPS na jednu porci?

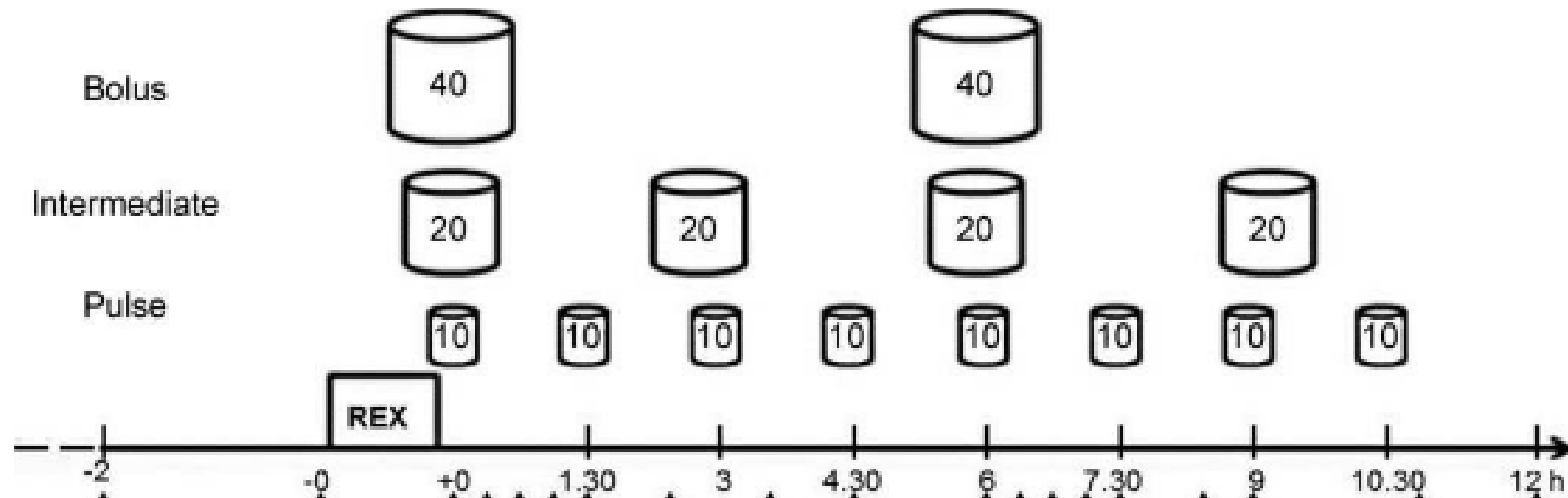
Míra syntézy svalových (myofibrilárních) bílkovin je nejčastěji vyjadřována veličinou **FSR (Fractional Synthesis Rate)** za určité časové období (cca 1–5 hod)

Měřeno za různých podmínek:

- 1) Klidový stav nalačno
- 2) Klidový stav + příjem proteinů
- 3) Po tréninku
- 4) Po tréninku + příjem proteinů

Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis, Areta (2013)

We compared three different patterns of ingestion of 80 g of protein during 12 h recovery after resistance exercise and the associated anabolic response in human skeletal muscle. Protein was ingested in 10, 20 or 40 g feedings using a pulsed, intermediate or bolus ingestion regimen, respectively.



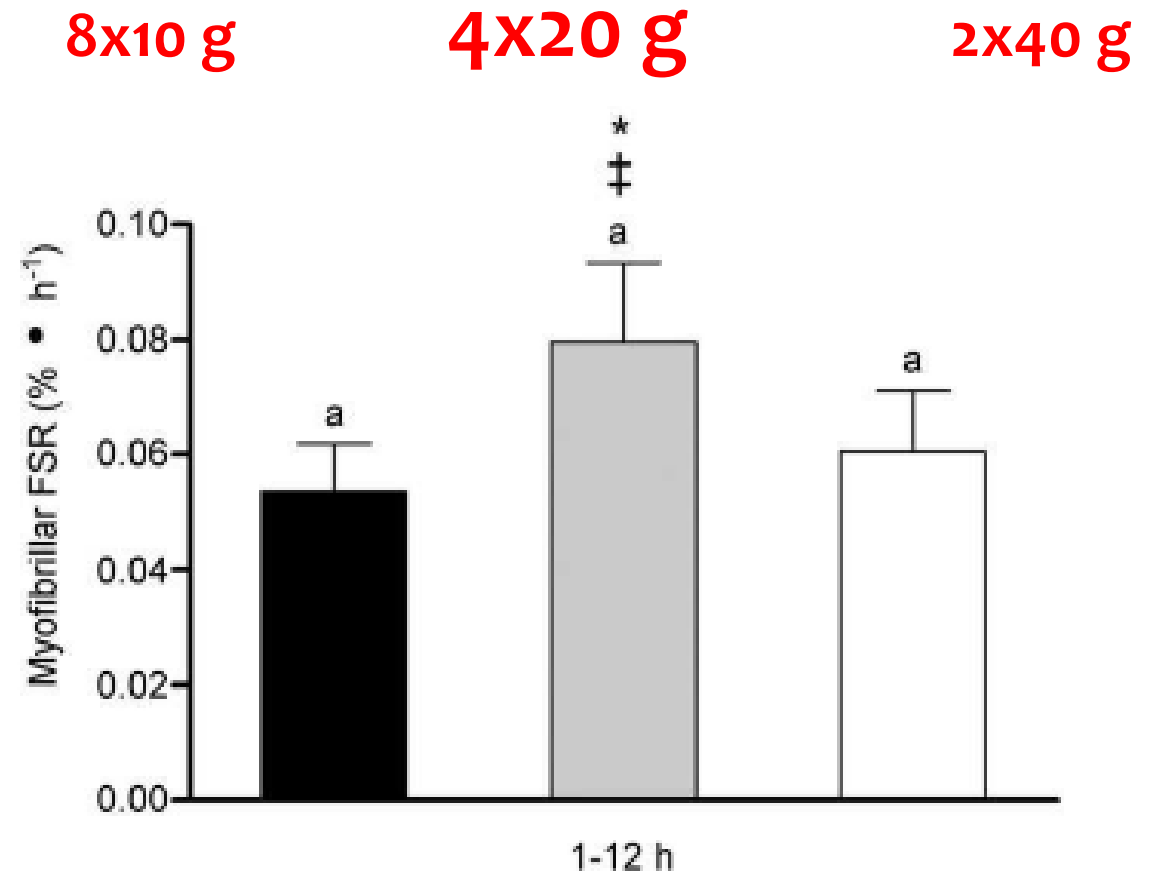
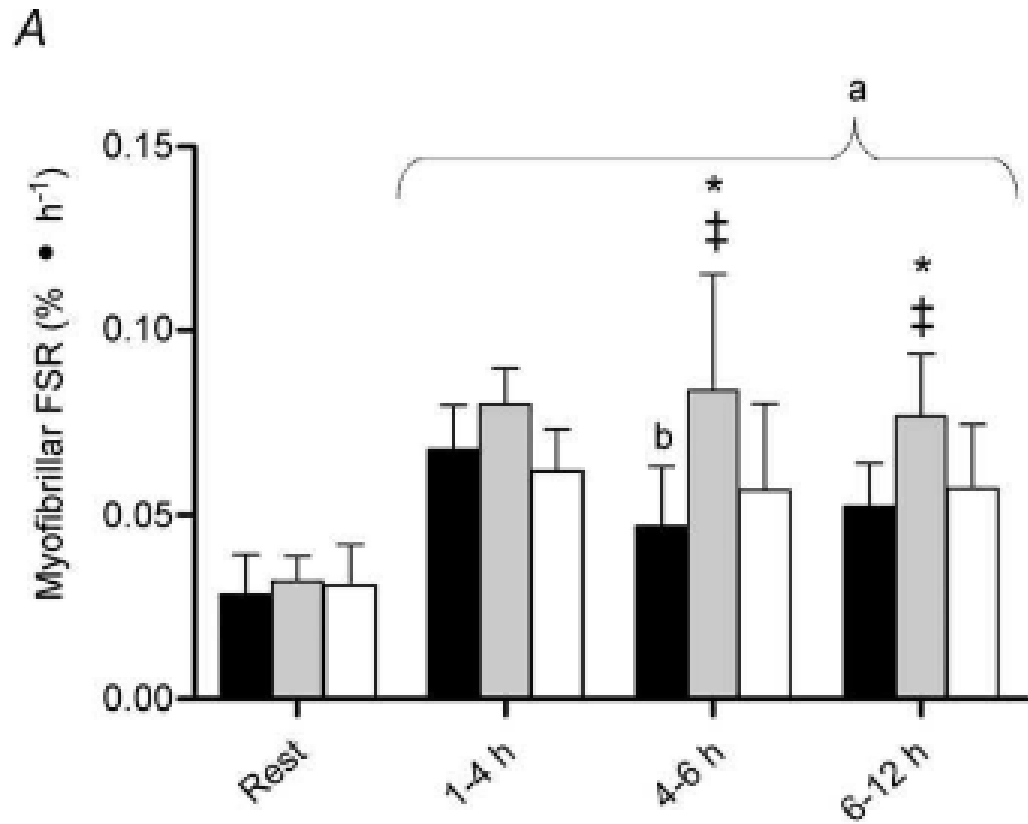
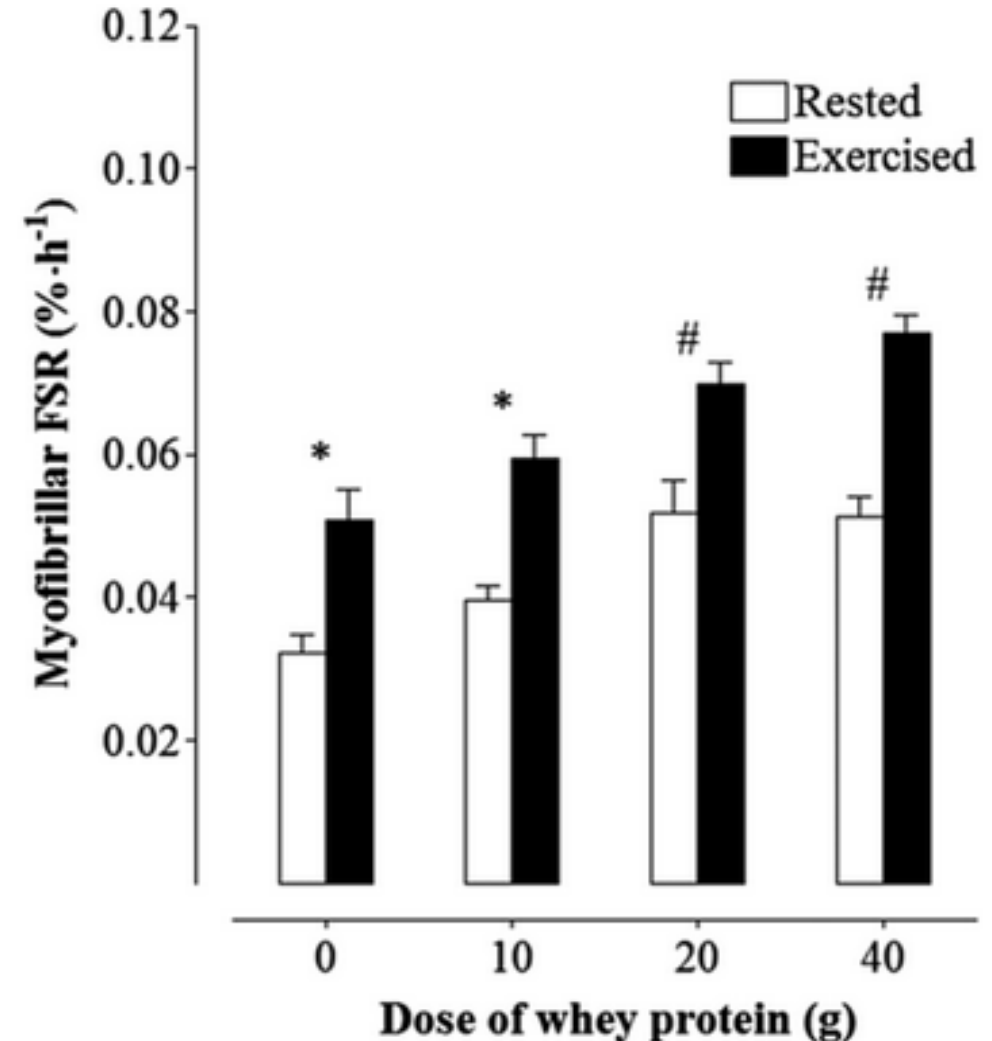


Figure 4
 Myofibrillar fractional synthetic rate (FSR) between time points (A) and mean FSR throughout 1–12 h (B) following a bout of leg extension resistance exercise and post-exercise BOLUS, INT or PULSE ingestion protocol during a 12 h recovery period, as described in Fig. 2. Data were analysed using a 2-way ANOVA with Student–Newman–Keuls *post hoc* analysis. Values are mean \pm SD expressed as $\% \cdot h^{-1}$. Different vs. a, Rest; b, 1–4 h; ‡, Bolus and *, Pulse at equivalent time point ($P < 0.05$).

Myofibrillar muscle protein synthesis rates subsequent to a meal in response to increasing doses of whey protein at rest and after resistance exercise, Witard (2014)

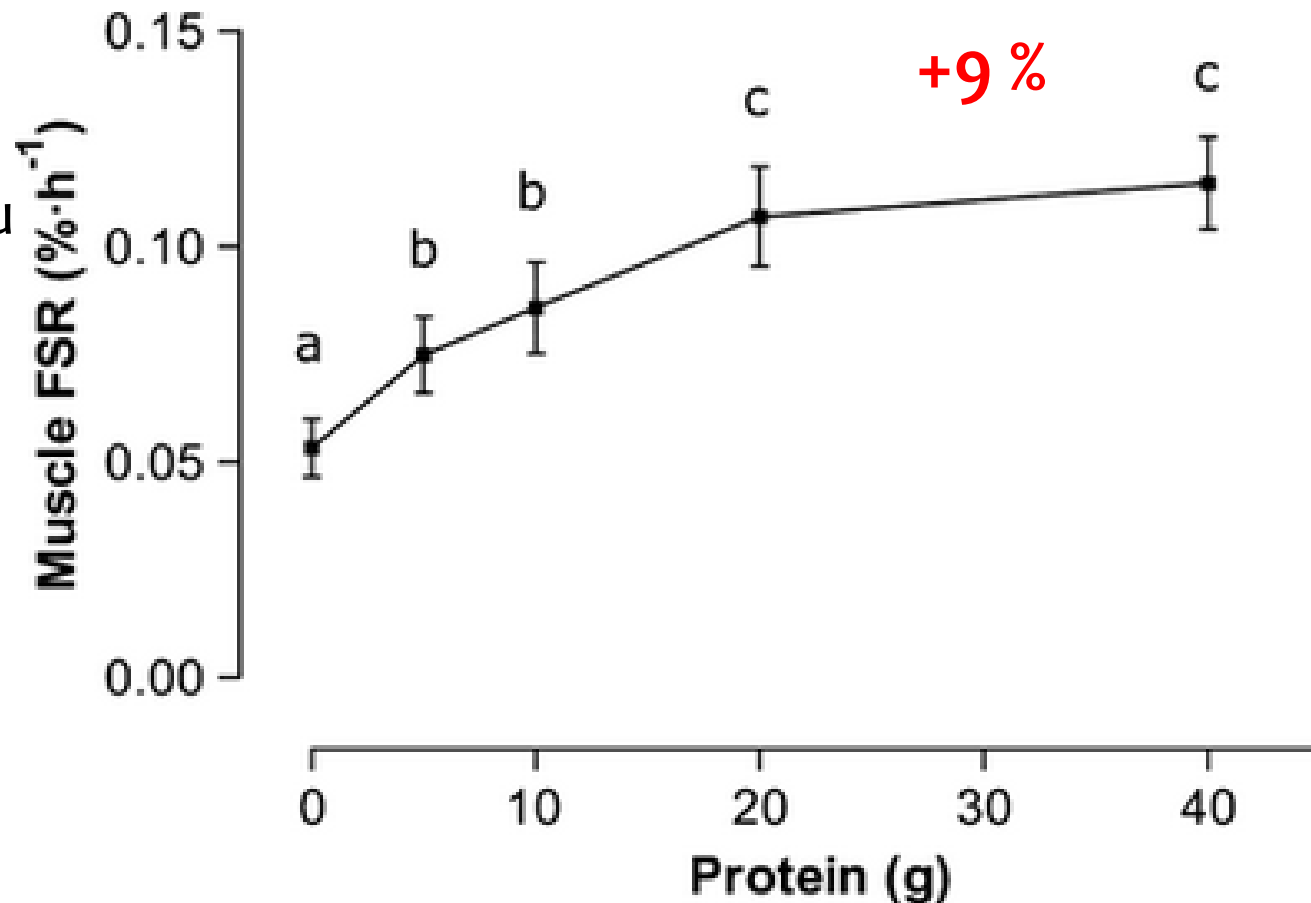
- Cvičenci s 80–85 kg a 15 % tělesného tuku
- Trénink spodní části těla (4x10 LP a LE)

• Rozdíl ve FSR po tréninku (0–4 hod) mezi 20 g a 40 g bez statistické významnosti, nicméně byl o 10–14 % vyšší



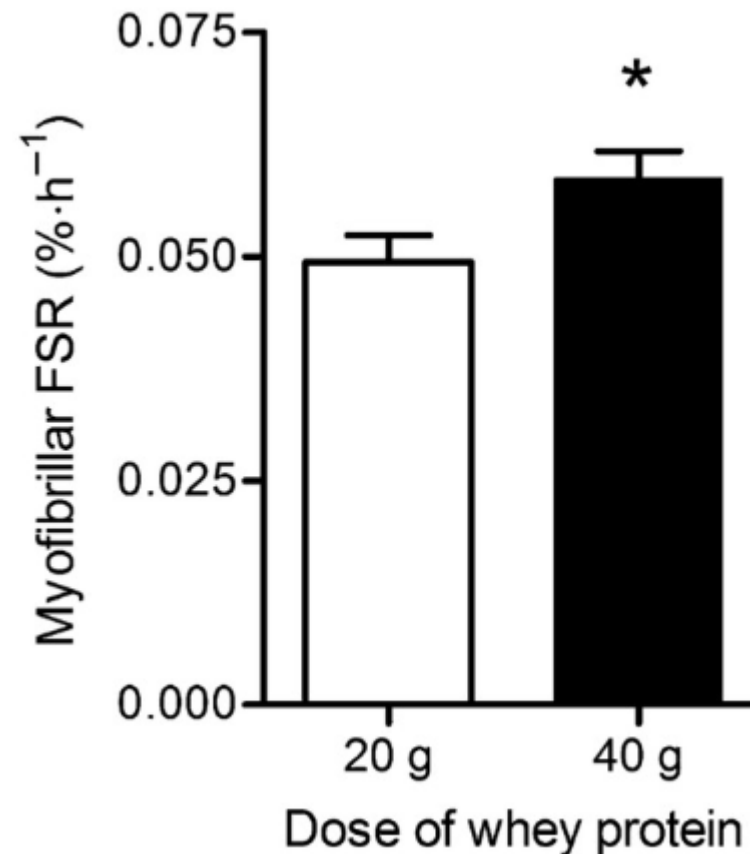
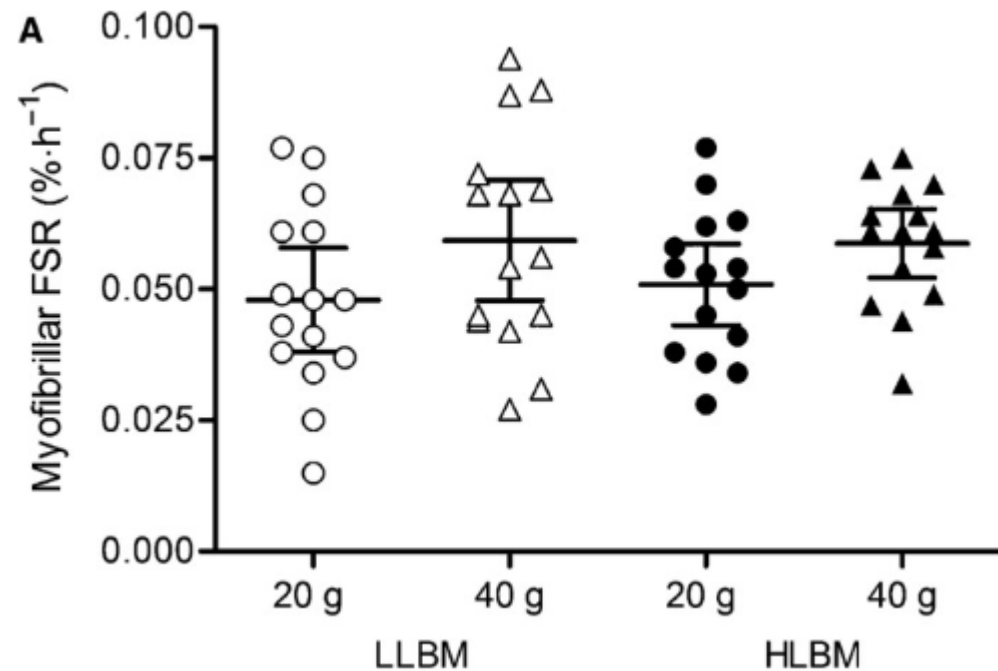
Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men, Moore (2009)

- Trénink spodní části těla (4x10 LP a LE)
- Mladí muži s cca 80 kg a 15 % BF
- FSR měřeno v období 4 hodin po tréninku



Časování příjmu a množství bílkovin (protein timing)

- McNaughton, 2016 (The response of muscle protein synthesis following whole-body resistance exercise is greater following 40 g than 20 g of ingested whey protein)
- Trénink *celého těla*, skupiny s vyšším a nižším zastoupením LBM (pod 65 kg a nad 70 kg)



Časování příjmu a množství bílkovin (protein timing)

- **McNaughton, 2016 (The response of muscle protein synthesis following whole-body resistance exercise is greater following 40 g than 20 g of ingested whey protein)**
- **Trénink celého těla, skupiny s vyšším a nižším zastoupením aktivní tělesné hmotnosti (LBM) (pod 65 kg a nad 70 kg)**

	LBM pod 65 kg	LBM nad 70 kg
Energetický příjem	2498 kcal	2851 kcal
Příjem sacharidů	3,5 ± 1,5	3,2 ± 1,2
Příjem tuků	1,0 ± 0,3	0,9 ± 0,2
Příjem bílkovin	2,0 ± 0,5	1,9 ± 0,6

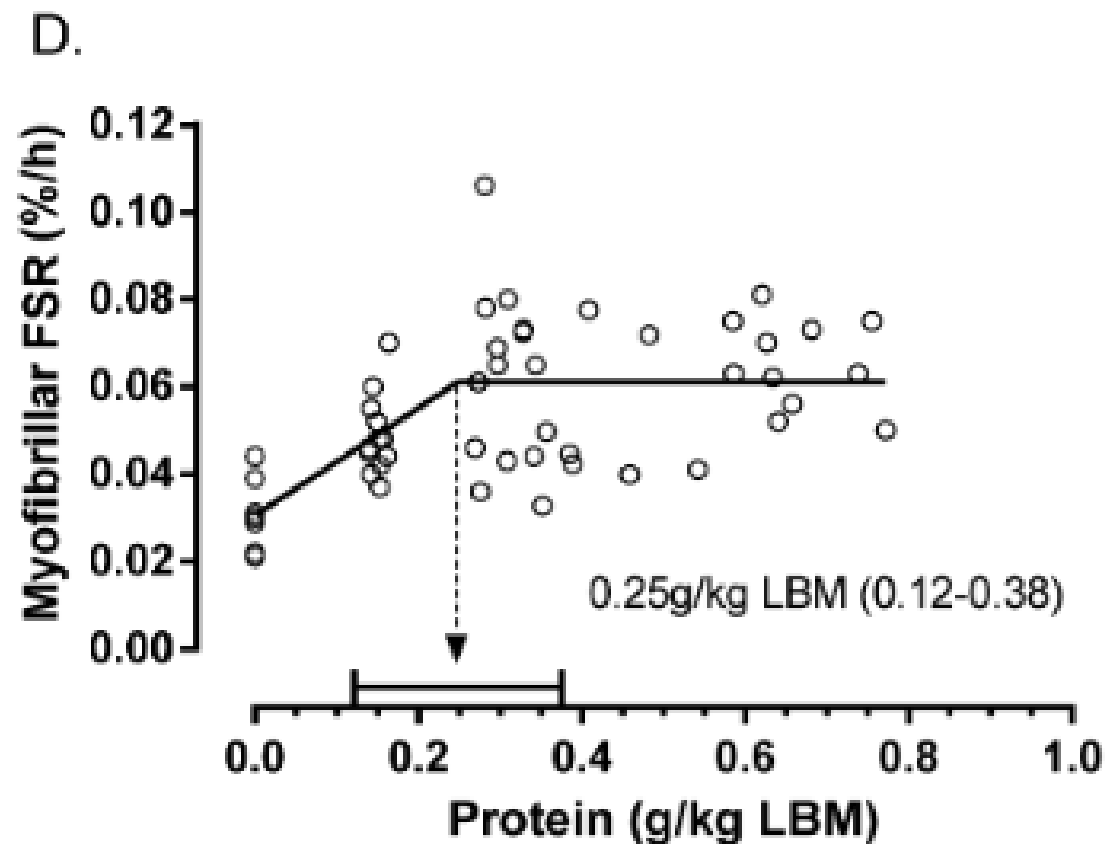
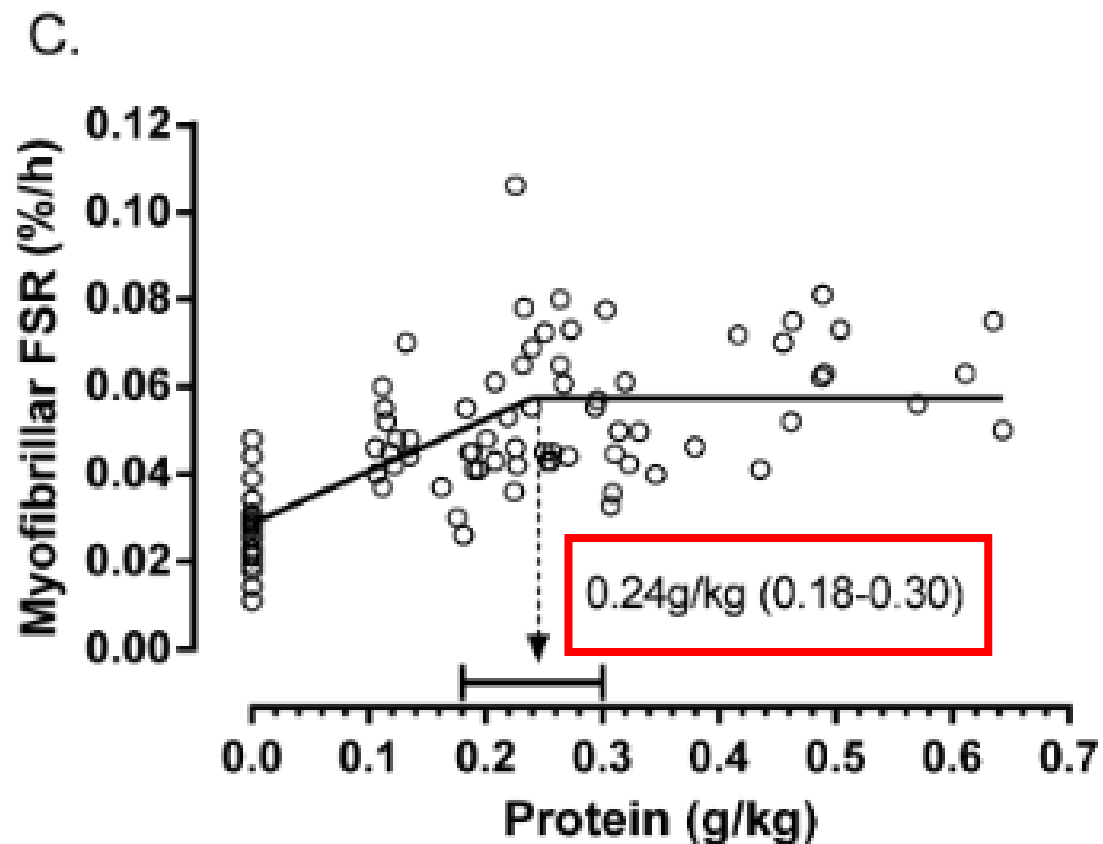
Table 1

Overview of studies investigating the post-exercise stimulation of myofibrillar protein synthesis with bolus whey protein ingestion.

	Participants	Body mass (kg)	Absolute protein intake (g)	Relative protein intake (g/kg)	Exercise modality	Active muscle (kg) ^a	Post-exercise MPS ^b	MPS increase ^c (%)
Areta et al. (28)	n = 8 M	81 ± 11	20	~0.25	Bilateral KE	~7.2	1–4 h	~147
Areta et al. (28)	n = 8 M	84 ± 11	40	~0.48	Bilateral KE	~7.4	1–4 h	~134
Burd et al. (29)	n = 8 M	84 ± 9	20	~0.24	Unilateral KE	~3.8	0–5 h	~166
*Churchward-Venne et al. (30)	n = 8 M	77 ± 11	25	~0.32	Unilateral KE	~3.4	0–5 h	~171
†MacNaughton et al. (31)	n = 15 M	77 ± 5	20	~0.26	Bilateral CP, LPD, LP, KE, LC	~28.1	0–5 h	~47
†MacNaughton et al. (31)	n = 15 M	77 ± 5	40	~0.52	Bilateral CP, LPD, LP, KE, LC	~28.1	0–5 h	~84
†MacNaughton et al. (31)	n = 15 M	98 ± 8	20	~0.20	Bilateral CP, LPD, LP, KE, LC	~37.4	0–5 h	~58
†MacNaughton et al. (31)	n = 15 M	98 ± 8	40	~0.41	Bilateral CP, LPD, LP, KE, LC	~37.4	0–5 h	~83
McGlory et al. (32)	n = 10, M	80 ± 8	30	~0.37	Unilateral LP, KE	~10.8	0–3 h	~221
McKendry et al. (33)	n = 8, M	83 ± 11	25	~0.30	Bilateral LP, KE	~22.3	0–4 h	~139
Moore et al. (12)	n = 7 M	85 ± 12	25	~0.29	Unilateral KE, LP	~11.4	0–5 h	~180
Reidy et al. (34)	n = 8, M	76	17.3	~0.23	Bilateral KE	~6.7	3–5 h	~166
†Reitelseder et al. (35)	n = 9 M	79 ± 9	17.5	~0.22	Unilateral KE	~3.5	1–6 h	~103
†Reitelseder et al. (35)	n = 8 M	74 ± 6	0	0	Unilateral KE	~3.3	1–6 h	~81
*West et al. (36)	n = 8 M	84 ± 12	25	~0.30	Unilateral BC	~2.0	0–3 h	~150
*West et al. (36)	n = 8 M	84 ± 12	25	~0.30	Unilateral BC, Bilateral LP, KE, LC	~24.7	0–3 h	~129
West et al. (37)	n = 8 M	80 ± 10	25	~0.31	Bilateral KE	~7.1	1–5 h	~150
West et al. (38)	n = 8 M	77 ± 11	25	~0.32	Bilateral LP, KE, LC	~20.8	1–5 h	~160
West et al. (38)	n = 8 F	67 ± 6	25	~0.37	Bilateral LP, KE, LC	~19.5	1–5 h	~124
Witard et al. (23)	n = 12 M	83 ± 15	0	0	Unilateral KE	~3.7	0–4 h	~59
Witard et al. (23)	n = 12 M	84 ± 6	10	~0.12	Unilateral KE	~3.7	0–4 h	~84
Witard et al. (23)	n = 12 M	83 ± 7	20	~0.24	Unilateral KE	~3.7	0–4 h	~119
Witard et al. (23)	n = 12 M	79 ± 10	40	~0.51	Unilateral KE	~3.5	0–4 h	~141

Protein ingestion to stimulate myofibrillar protein synthesis requires greater relative protein intakes in healthy older versus younger men, Moore (2015)

Výsledky pro mladší muže (cca 22 let):



4) Pro maximalizaci MPS je podle současného poznání ideální přijmout **0,3 g/kg TH**, tj. nejčastěji **20–40 g** rychle stravitelného proteinu

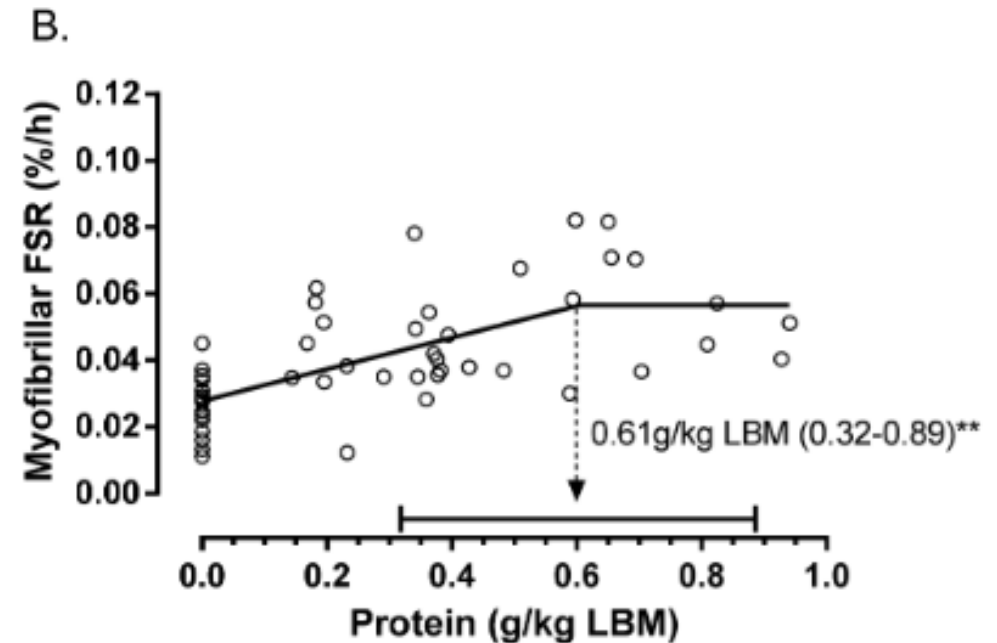
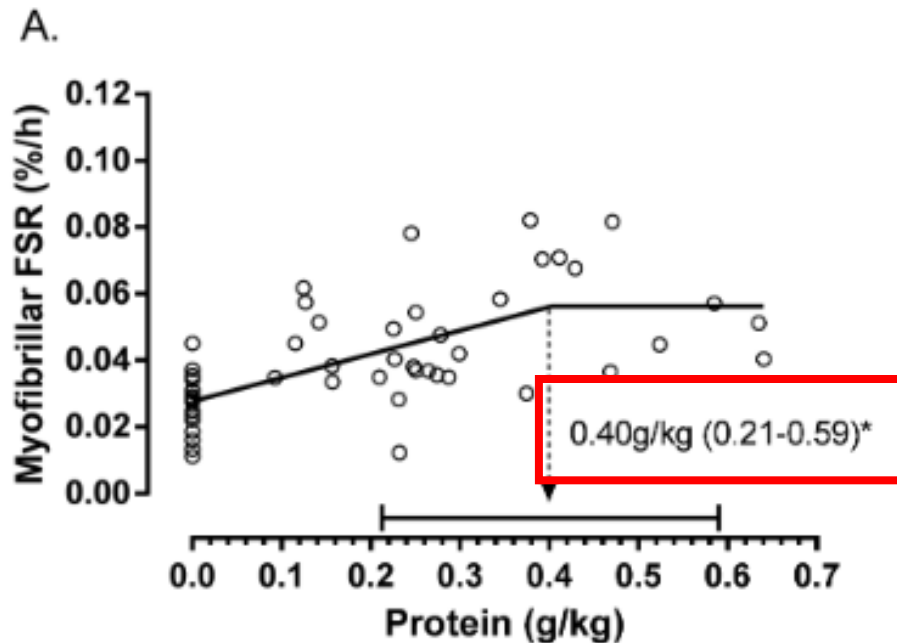
Požítí 40 g proteinu může mít jisté malé výhody pro vyšší stimulaci MPS (10–15 %) oproti 20 g,

Po náročnějším tréninku je však větší dávka **40 g B** prokazatelně efektivnější (**+20 %** vs. 20 g)

**Dojdeme ke stejným výsledkům
i u starších jedinců?**

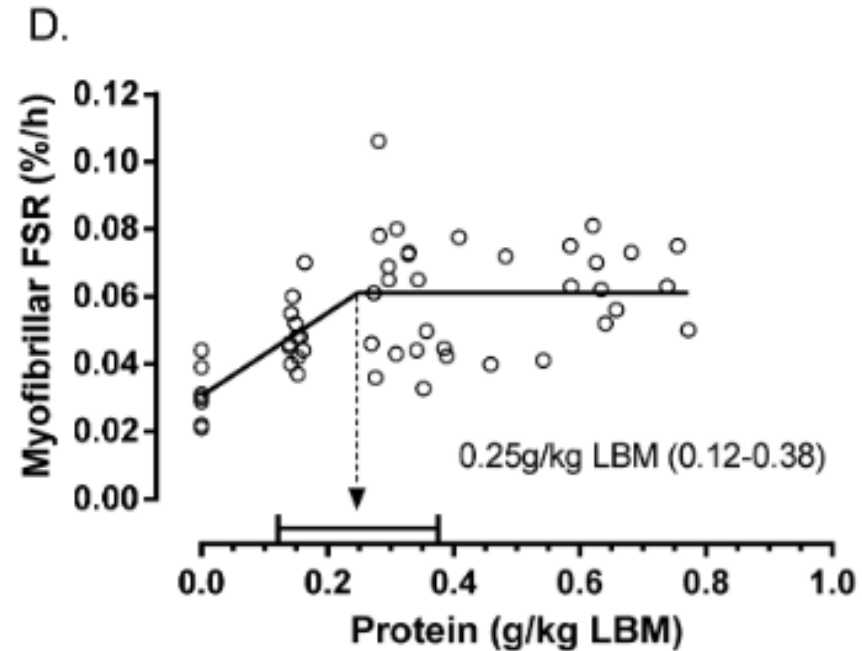
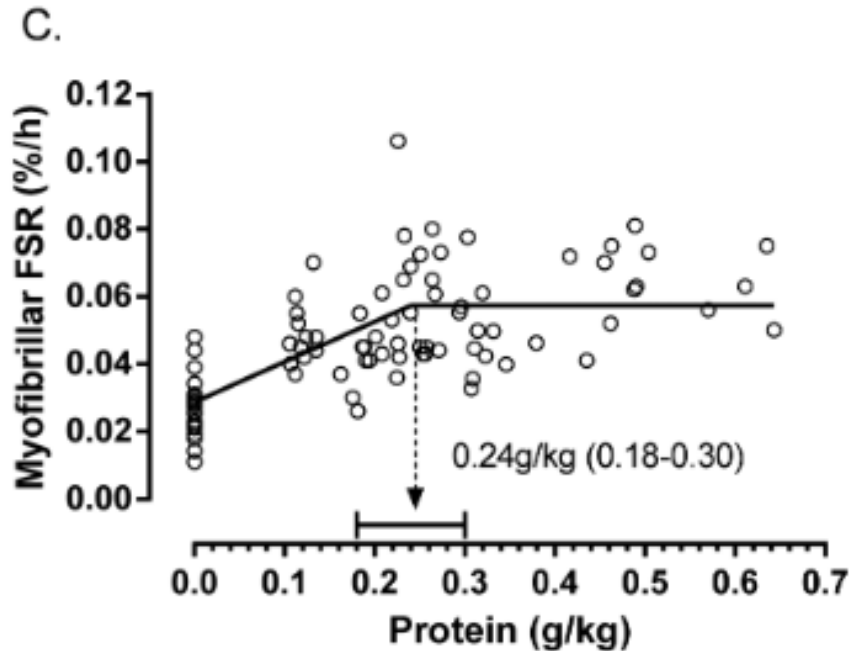
Může být nějaký rozdíl u našich prarodičů, aneb kolik je třeba na 1 porci bílkovin, aby jim rostly svaly (nebo je aspoň udrželi)?

- Moore, (2015) Protein Ingestion to Stimulate Myofibrillar Protein Synthesis Requires Greater Relative Protein Intakes in Healthy Older Versus Younger Men
- **Výsledky pro starší muže (cca 70 let):**



Může být nějaký rozdíl u našich prarodičů, aneb kolik je třeba na 1 porci bílkovin, aby jim rostly svaly (nebo je aspoň udrželi)?

Výsledky pro mladší muže (cca 22 let):



Závěr: Our data suggest that healthy older men are less sensitive to low protein intakes and require a greater relative protein intake, in a single meal, than young men to maximally stimulate postprandial rates of MPS.

These results should be considered when developing nutritional solutions to maximize MPS for the maintenance or enhancement of muscle mass with advancing age.

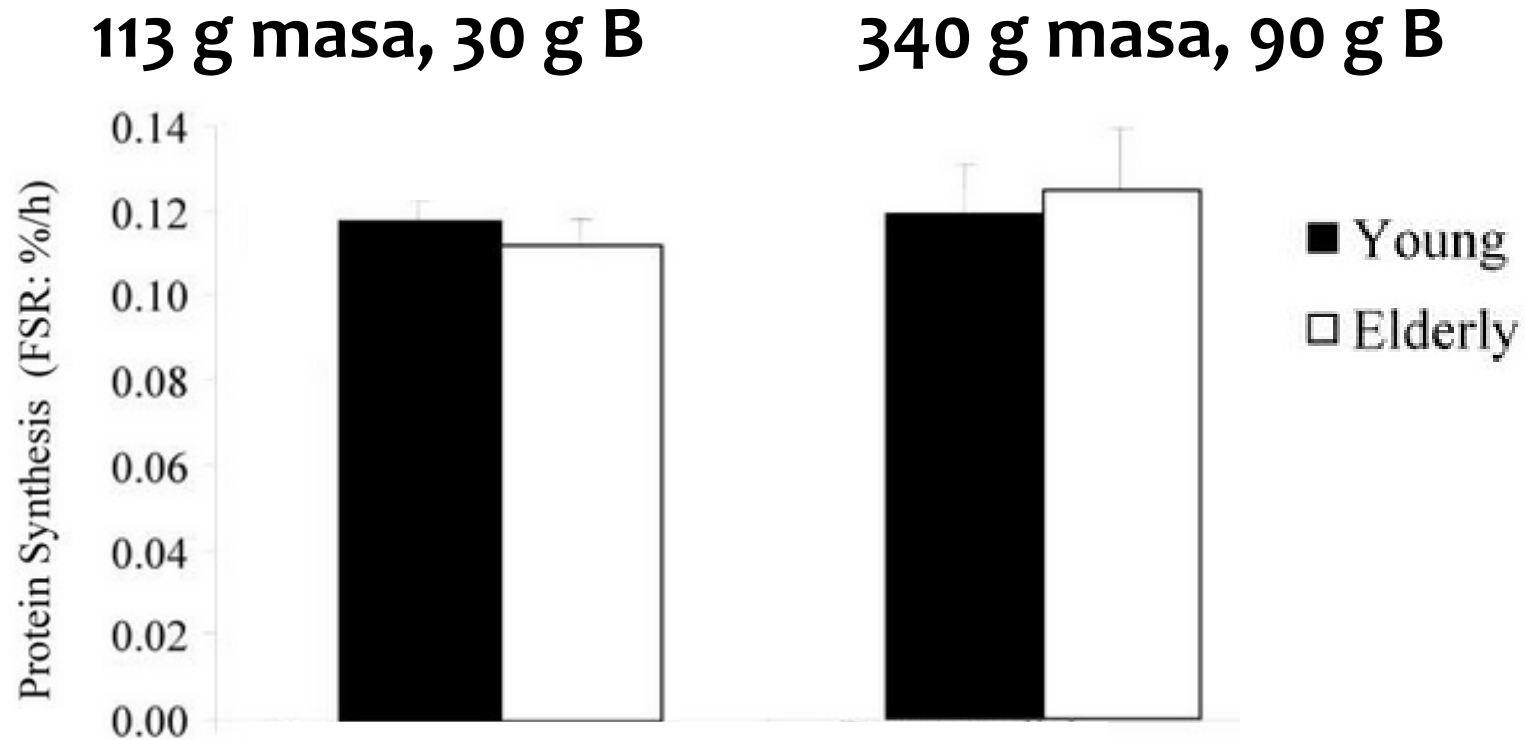
Pro maximalizaci MPS je podle současného poznání u starších sportovců ideální přijmout až **0,4 g/kg TH**

Tato dávka je tak o 25 % vyšší než u mladých jedinců (**0,3 g/kg TH**)

Údaj je vztažený na rychle stravitelný zdroj proteinu – whey protein

**5) Kolik gramů bílkovin můžeme maximálně využít
v jedné porci běžného jídla pro MPS aneb
má smysl dávat si 250g steak? 😊**

Moderating the portion size of a protein-rich meal improves anabolic efficiency in young and elderly, Symons (2009)



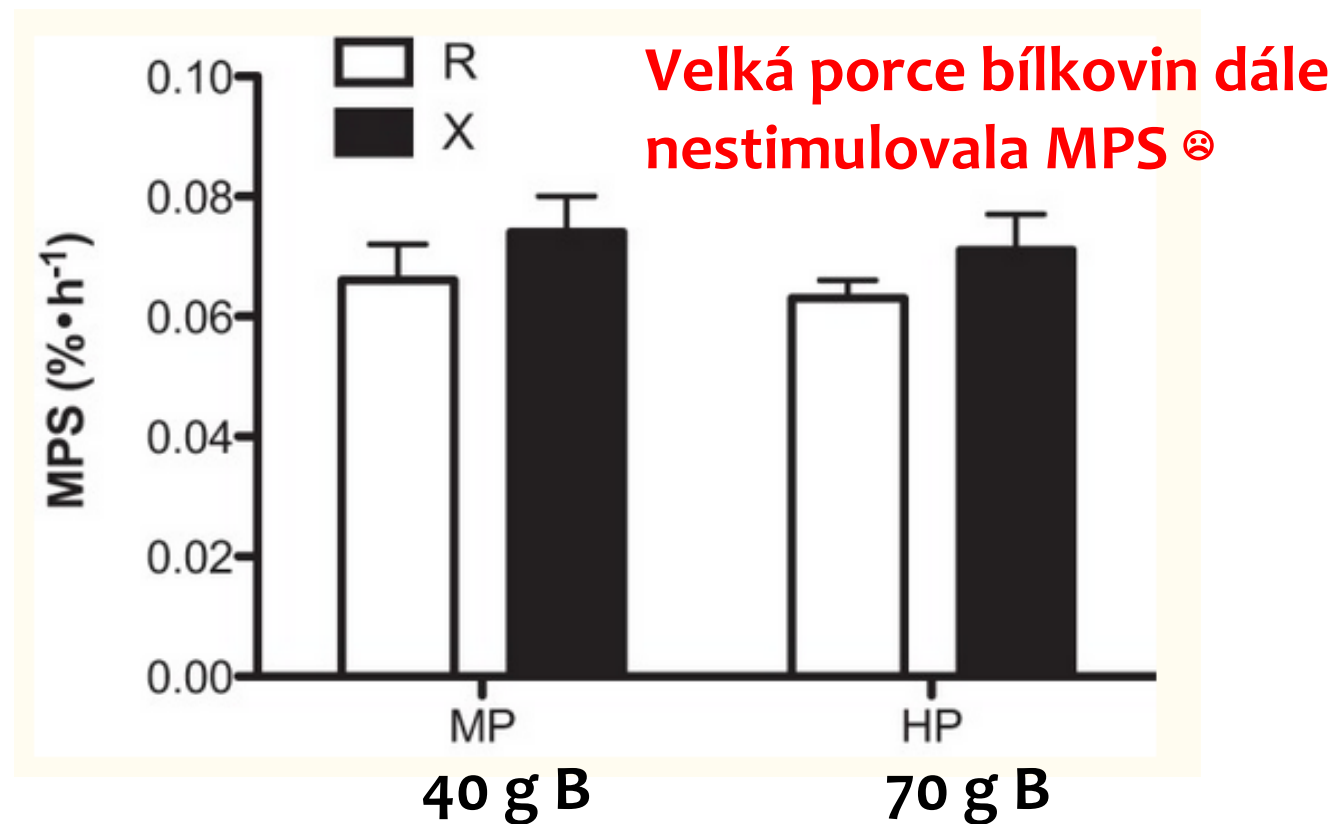
MPS měřena po dobu 5 hodin po požití

Mezi oběma porcemi co do stimulace MPS žádný rozdíl ☹

Velká porce masa neměla na MPS vyšší vliv než menší porce masa

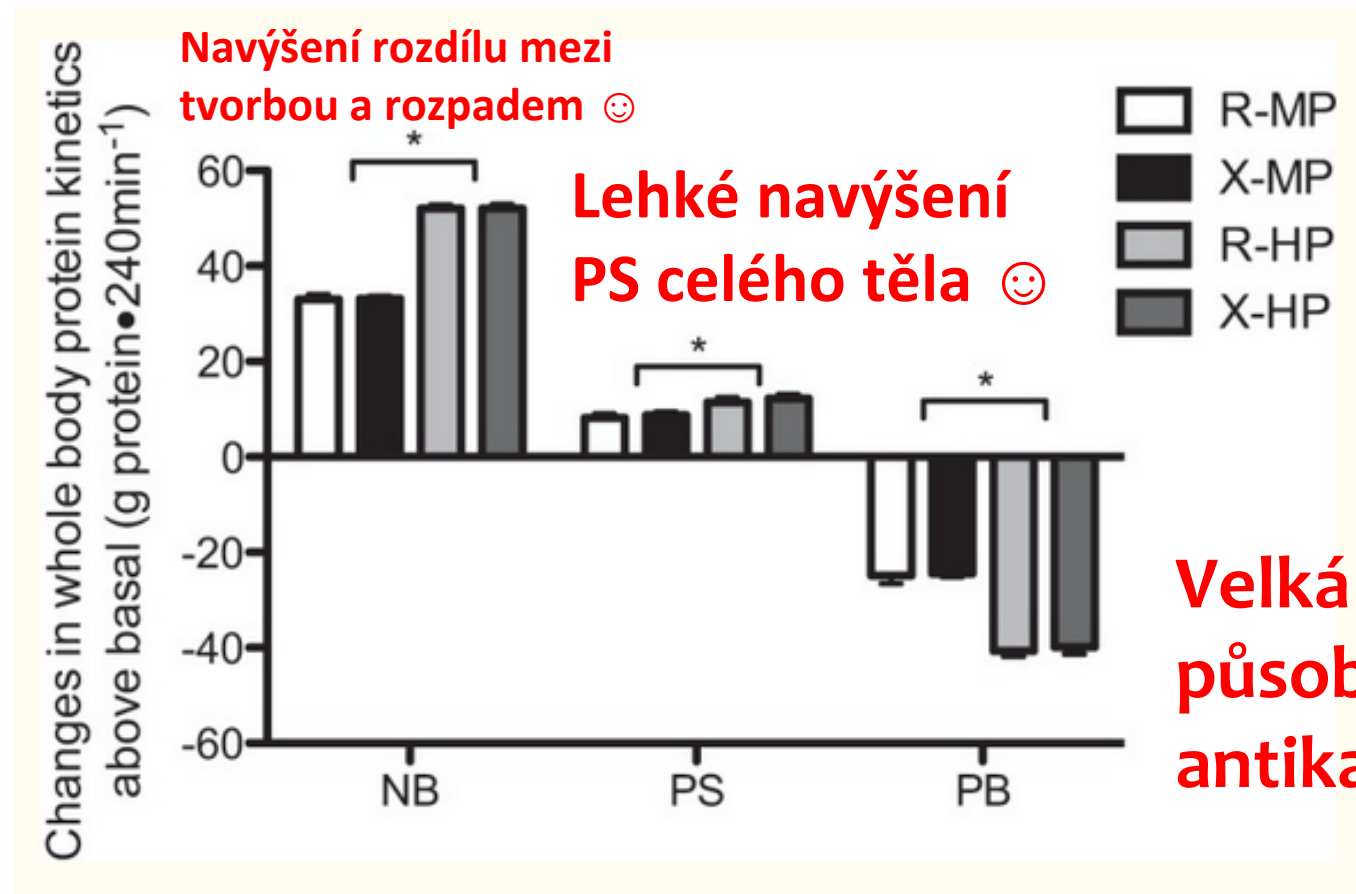
The anabolic response to a meal containing different amounts of protein is not limited by the maximal stimulation of protein synthesis in healthy young adults, Kim (2016)

- Studie zkoumající příjem „velké porce masa“ v klidu nebo po tréninku celého těla nejen na MPS, ale také na důležitou veličinu MPB u mužů s 80–85 kg



Stimulation of gut protein synthesis is potentially beneficial, particularly in a situation where MPS has been already maximized. **Proteins retained in the gut can be released into the circulation as a consequence of gut protein turnover and then be used for MPS.** This mechanism could be particularly important overnight, in which the fasting state is predominated by PB, with resultant negative NB.

Tvorba bílkovin (PS),
svalový rozpad (PB),
celková bilance (NB) na
úrovni celého těla



How much protein can the body use in a single meal for muscle-building? Implications for daily protein distribution, Schoenfeld (2018)

Většina studií sledující akutní stimulaci MPS pracuje s rychle stravitelnými proteiny (whey), které se chovají odlišně než proteiny z běžné smíšené stravy

Na základě těchto poznatků pro příjem proteinů můžeme soudit, že maximální množství bílkovin v jednom **smíšeném jídle využitelných pro MPS může být položeno do rozmezí**

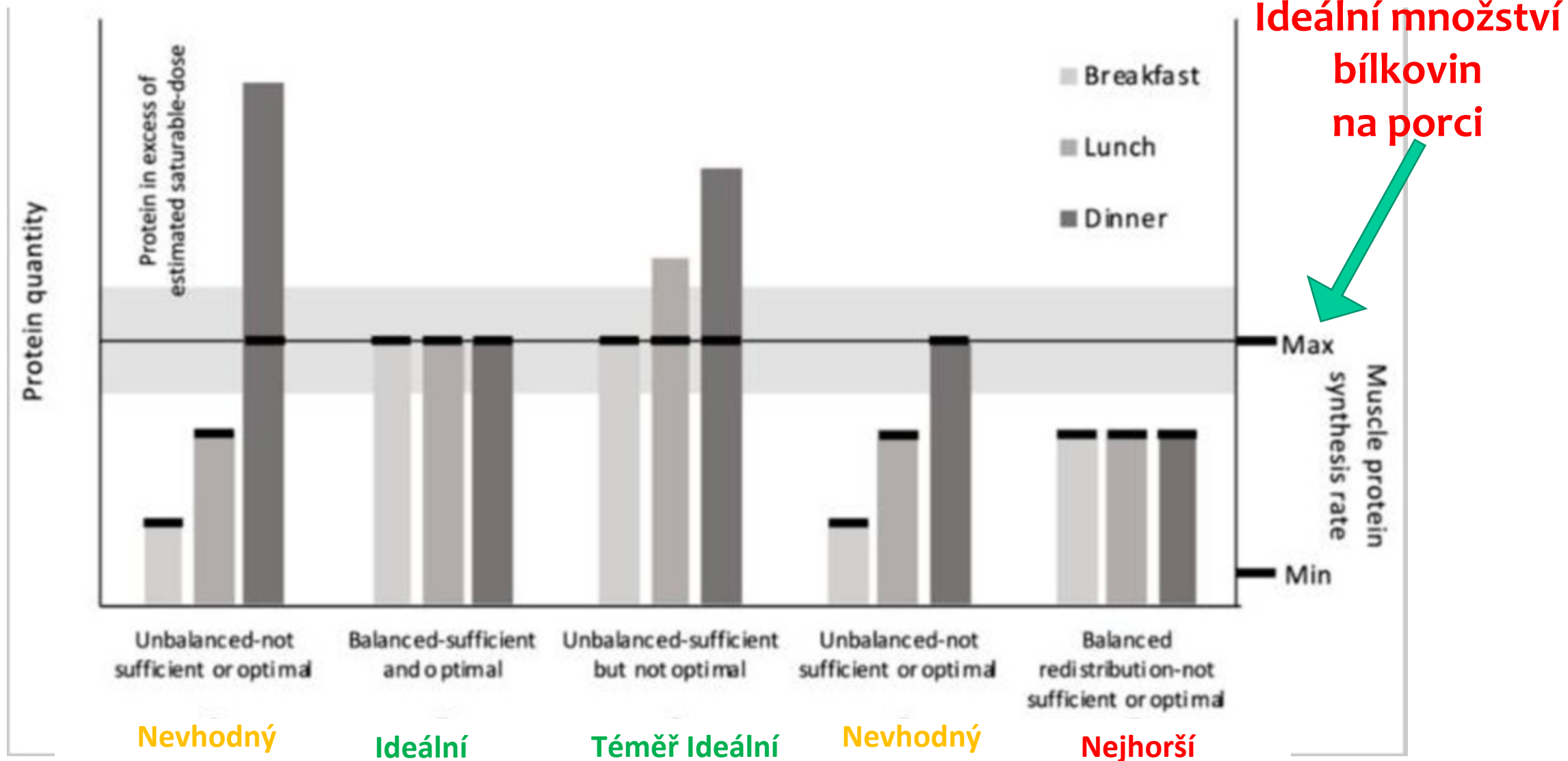
**0,4–0,55 g/kg TH při příjmu 4 jídel za den
k dosáhnutí příjmu 1,6–2,2 g /kg TH**

Vyšší dávky proteinů (70 g a více) nejsou nutné, nicméně mohou pozitivně ovlivňovat celkovou bilanci bílkovin na úrovni celého těla

6) Rozestup mezi příjmem proteinů,
časování během dne

Jak může vypadat příjem bílkovin u naší populace?

Model 3 denních jídel



Krátký pohled do RCT studií

Dietary Protein Distribution Positively Influences 24-h Muscle Protein Synthesis in Healthy Adults (2014)

Skupina mladých (37 let) zdravých jedinců
Hmotnost: 77 kg

2 diety o stejném množství
bílkovin a energie,
každá na 7 dní

31,5–29,9–32,7 g

Odlíšné množství
bílkovin ve 3
hlavních jídlech

10,7–16,0–65

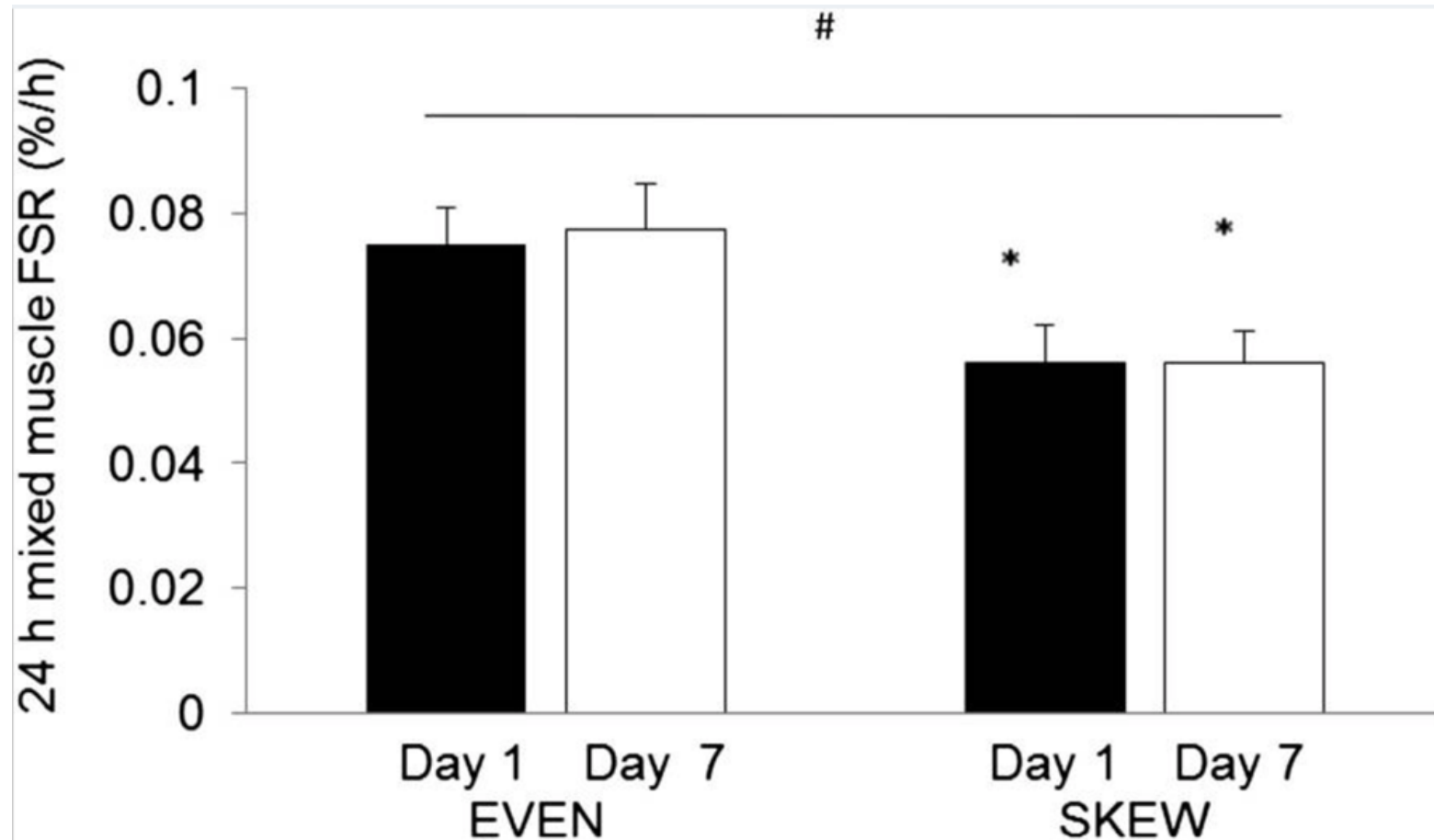
Vyjádřeno jako g/kg TH

Vyjádřeno jako g/kg TH

0,4–0,39–0,42 g/kg TH

0,13–0,21–0,84 g/kg TH

Dietary Protein Distribution Positively Influences 24-h Muscle Protein Synthesis in Healthy Adults (2014)



Vyvážený příjem celý den Nevyvážený příjem s převahou B večeře

Hypoenergetic diet-induced reductions in myofibrillar protein synthesis are restored with resistance training and balanced daily protein ingestion in older men (2015)

Skupina starších (66 let) mužů



25 % – 25 % – 25 % – 25 %

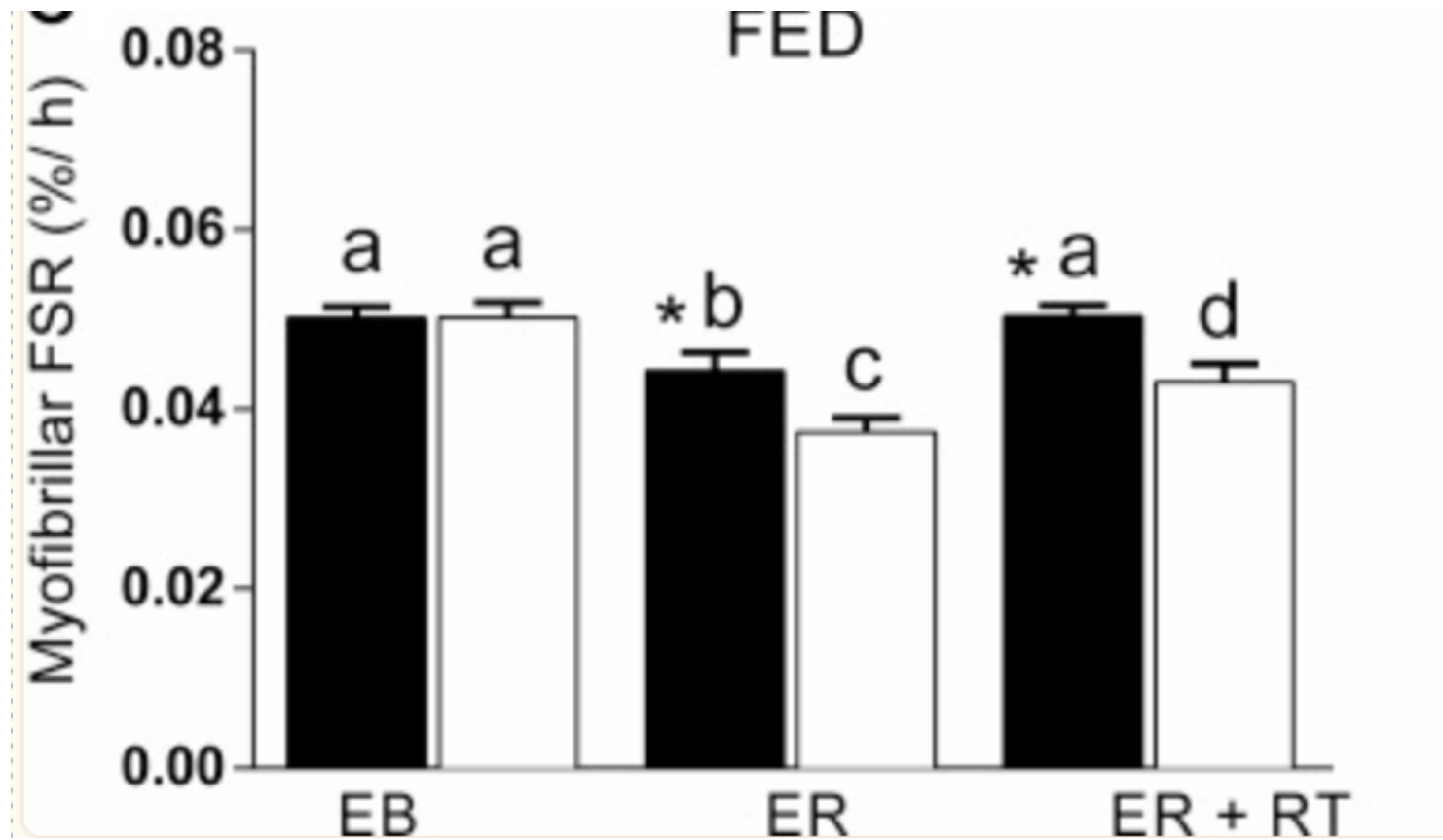
2 diety o stejném množství energie (-300 kcal/d), bílkovin (1,3 g/kg), 3x týdně RT, dieta na 14 dní



7 % – 17 % – 72 % – 4 %

Odlišné množství bílkovin ve 4 denních jídlech (Sn, Ob, Vč, 2.Vč)

Pravidelný příjem bílkovin a silový trénink v dietě vedly k vyšší míře FSR (MPS).



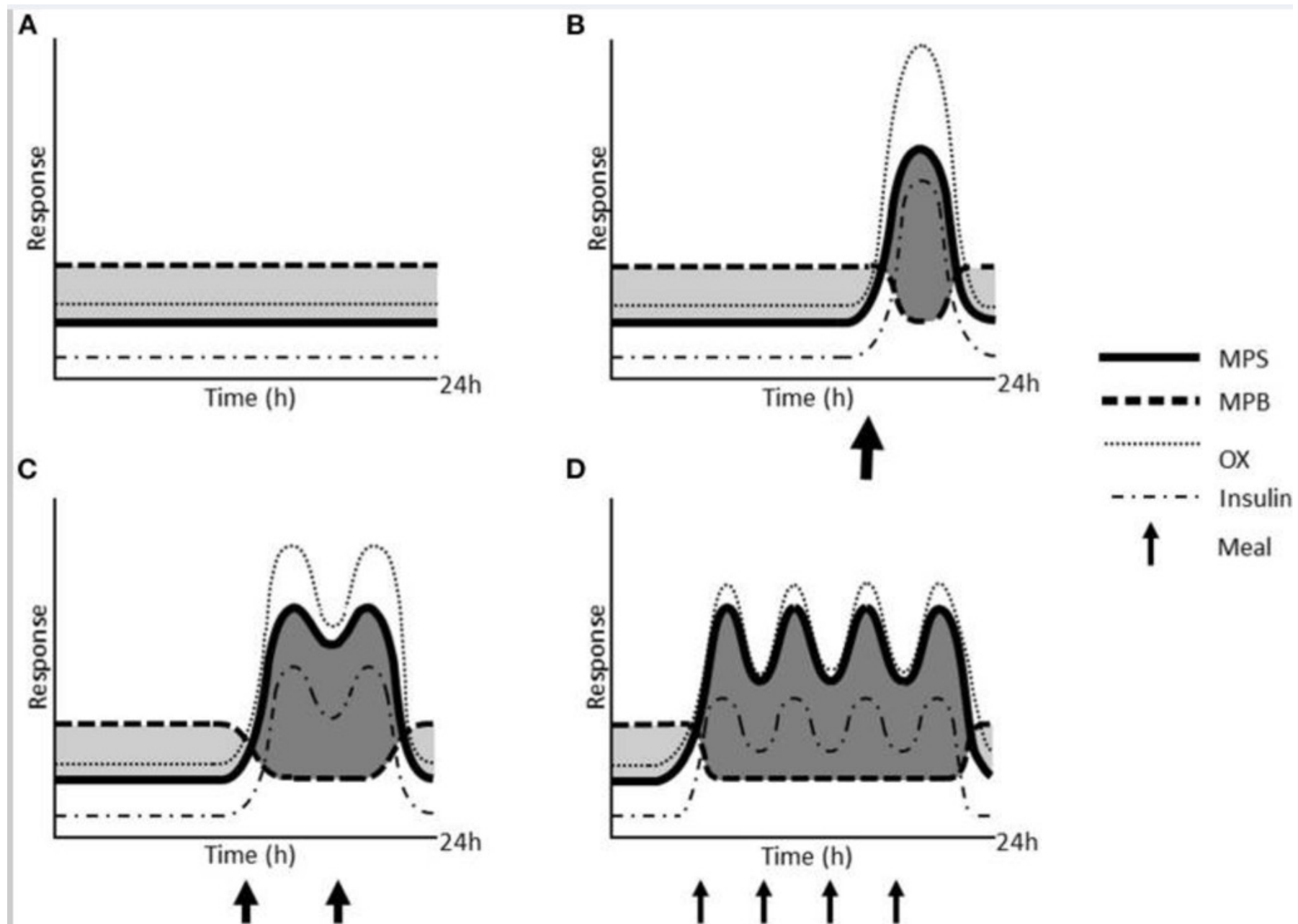
Srovnání FSR při vyrovnaném příjmu a výdeji (EB), redukční dietě (ER) a redukční dietě+ silovém tréninku (ER+RT)

A Muscle-Centric Perspective on Intermittent Fasting: A Suboptimal Dietary Strategy for Supporting Muscle Protein Remodeling and Muscle Mass?

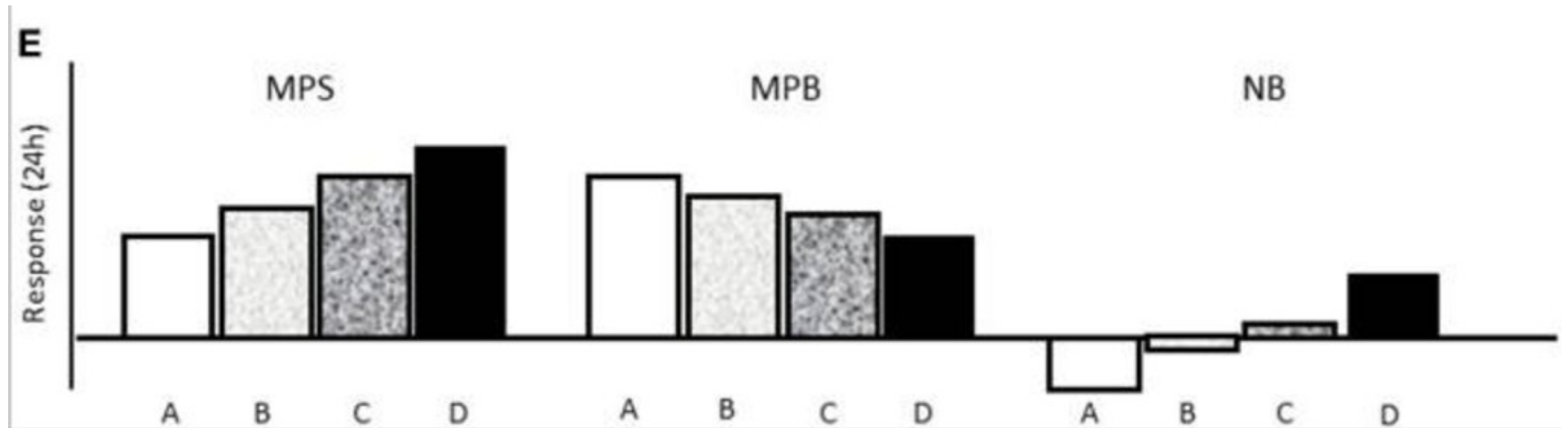
[Eric Williamson](#) and [Daniel R. Moore](#)*

Muscle protein is constantly “turning over” through the breakdown of old/damaged proteins and the resynthesis of new functional proteins, the algebraic difference determining net muscle gain, maintenance, or loss. This turnover, which is sensitive to the nutritional environment, ultimately determines the mass, quality, and health of skeletal muscle over time. Intermittent fasting has become a topic of interest in the health community as an avenue to improve health and body composition primarily via caloric deficiency as well as enhanced lipolysis and fat oxidation secondary to attenuated daily insulin response. However, this approach belies the established anti-catabolic effect of insulin on skeletal muscle. More importantly, muscle protein synthesis, which is the primary regulated turnover variable in healthy humans, is stimulated by the consumption of dietary amino acids, a process that is saturated at a moderate protein intake. While limited research has explored the effect of intermittent fasting on muscle-related outcomes, we propose that infrequent meal feeding and periods of prolonged fasting characteristic of models of intermittent fasting may be counter-productive to optimizing muscle protein turnover and net muscle protein balance. The present commentary will discuss the regulation of muscle protein turnover across fasted and fed cycles and contrast it with studies exploring how dietary manipulation alters the partitioning of fat and lean body

mass. It is our position that intermittent fasting likely represents a suboptimal dietary approach to remodel skeletal muscle, which could impact the ability to maintain or enhance muscle mass and quality, especially during periods of reduced energy availability.



Pohled na vztahy mezi MPS, MPB a NB (celková bilance bílkovin) při půstu 24 hodin (A), OMAM (B), 2 jídlech (C) a 4 jídlech za den (D).



6) Mezi příjmem bílkovin časové rozestupy 3–5 hodin, příjem rozprostřít během celého dne od rána do večera

Možné příklady rozdělení příjmu bílkovin v praxi, člověk 80 kg:

Celkový příjem B	Příjem 1,0 g/kg TH	Příjem 1,4 g/kg TH	Příjem 1,6 g/kg TH	Příjem 2,0 g/kg TH	Příjem 2,2 g/kg TH
Snídaně	0,25 g/kg (20 g)	0,3 g/kg (25 g)	0,35 g/kg (28 g)	0,4 g/kg (32 g)	0,4 g/kg (32 g)
Svačina	X	0,25 g/kg (20 g)	0,25 g/kg (20 g)	0,4 g/kg (32 g)	0,4 g/kg (32 g)
Oběd	0,25 g/kg (20 g)	0,3 g/kg (25 g)	0,4 g/kg (32 g)	0,4 g/kg (32 g)	0,5 g/kg (40 g)
Svačina	0,25 g/kg (20 g)	0,25 g/kg (20 g)	0,25 g/kg (20 g)	0,4 g/kg (32 g)	0,4 g/kg (32 g)
Večeře	0,25 g/kg (20 g)	0,3 g/kg (25 g)	0,35 g/kg (28 g)	0,4 g/kg (32 g)	0,5 g/kg (40 g)

7) Dietární zdroje proteinů a jejich kvalita

**Co pro maximalizaci MPS a svalové síly
preferovat?**

Obecné metody pro posuzování kvality proteinů

Metoda	Princip metody
Biologická hodnota (BV)	Dusík z bílkovin zabudovaný to tkání/ Dusík přijatý z proteinového zdroje; referenční protein vejce
Aminokyselinové skóre (AAS)	Porovnání obsahu jednotlivých EAA na 100 g ve srovnání s referenčním proteinem (vaječný). AAS aminokyseliny s nejnižším skóre je AAS celého proteinu (zákon limitní aminokyseliny)
PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score)	AAS upravené o vstřebatelnost proteinů na konci tlustého střeva; maximální hodnota PDCAAS je 1,00.
DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score)	AAS upravené o vstřebatelnost proteinů na konci tenkého střeva (ileum), což je „přesnější a přísnější“ než u PDCAAS. Hodnota DIAAS může být vyšší než 1,00.

Zdroj	PDCAAS
Mléko kravské	1,0
Syrovátkový protein	1,0
Vaječný protein	1,0
Izolát sójové bílkoviny	1,0
Kasein	1,0
Hovězí maso	0,92
Sója	0,91
Hrách	0,67
Oves	0,57
Pšenice	0,45

Ani novější metody jako PDCAAS a DIAAS však neposuzují skutečný anabolický potenciál bílkoviny pro akutní stimulaci MPS

Posuzování kvality proteinů z hlediska silového tréninku a stimulace MPS

Stravitelnost

Obsah esenciálních aminokyselin

Přítomnost limitní aminokyseliny (lysin, methionin)

Obsah leucinu

Obsah inhibitorů proteáz

Obsah dalších živin a potenciální synergický vliv na MPS

Stravitelnost

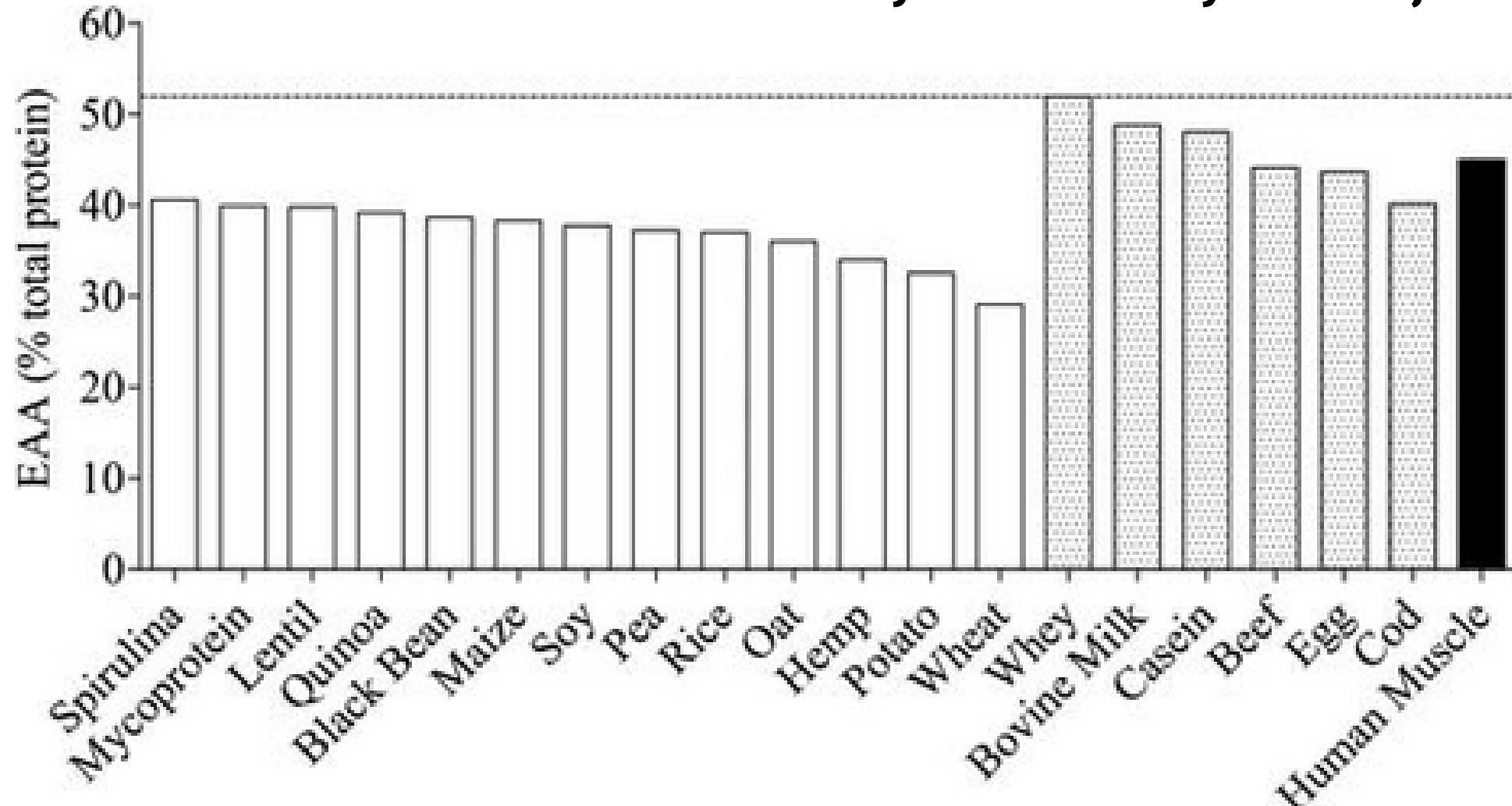
Živočišné proteiny nad 90 % (izolované formy až 95 % a více)

Rostlinné proteiny nejčastěji mezi 45–80 %

Izolované rostlinné proteiny (sójový, hrachový, pšeničný) nad 90 %

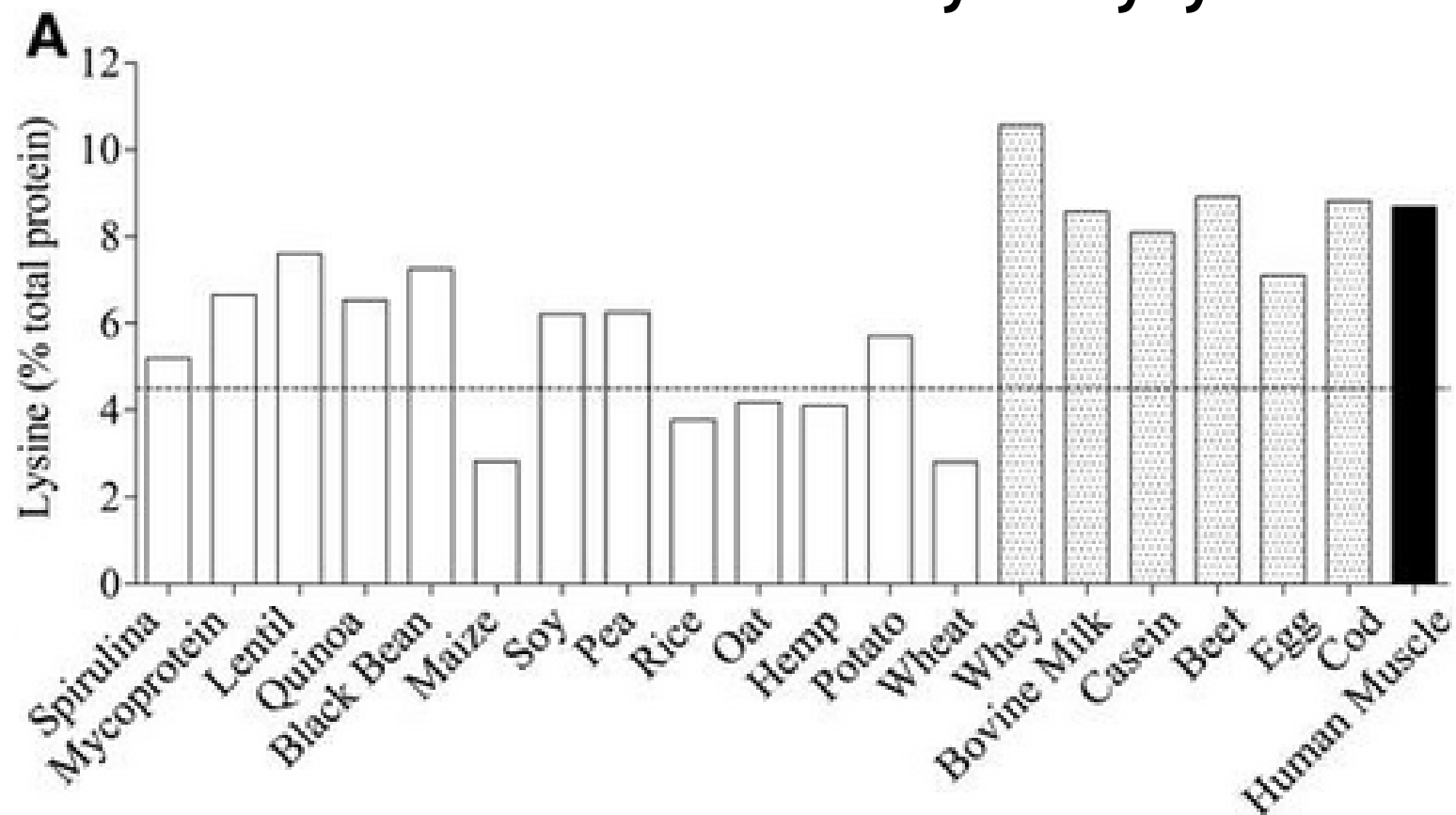
The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption, van Vliet (2015)

Obsah esenciálních aminokyselin v různých zdrojích

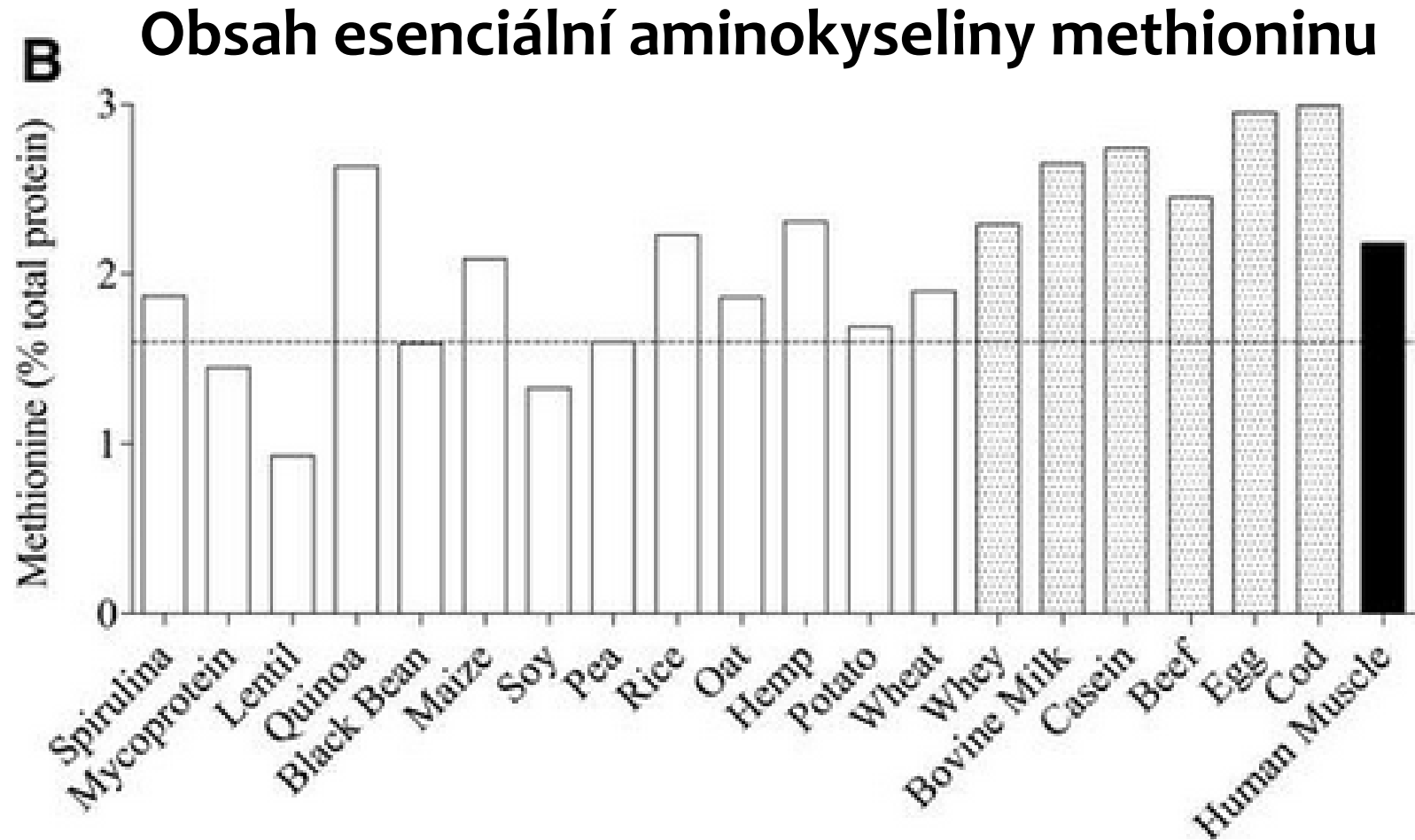


The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption, van Vliet (2015)

Obsah esenciální aminokyseliny lysinu



The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption, van Vliet (2015)



Leucin... nejdůležitější aminokyselina pro svalový růst? van Vliet (2015)

Zdroj	% zastoupení Leucin	Množství proteinu k příjmu 3 g leucinu	Množství jídla pro příjem 3 g leucinu
Ječmen	12,3	25	264
Spirulina	8,5	36	63
Černé fazole	8,4	36	167
Rýže	8,2	37	500
Sója	8,0	38	104
Čočka	7,9	39	150
Hrách	7,8	39	180
Oves	7,7	35	236
Quinoa	7,2	43	302
Konopí	6,9	45	121

Leucin... nejdůležitější aminokyselina pro svalový růst? van Vliet (2015)

Zdroj	% zastoupení Leucin	Množství proteinu k příjmu 3 g leucinu	Množství jídla pro příjem 3 g leucinu
Whey protein (85 %)	13,6	23	27
Milk protein	10,9	28	876
Kasein	10,2	30	35
Hovězí	8,8	35	164
Vaječný protein	8,5	36	5 vajec
Treska	8,1	38	211
Pšenice	6,8	45	299
Mykoprotein	6,2	49	447
Brambory	5,2	58	2891

Látky studované ve vztahu k současnému podání bílkovin

Sacharidy	Carbohydrate does not augment exercise-induced protein accretion versus protein alone. Staples, (2011)
Omega-3 mastné kyseliny	Dietary omega-3 fatty acid supplementation increases the rate of muscle protein synthesis in older adults: a randomized controlled trial, Smith (2011)
Vitamin D	An Update on Protein, Leucine, Omega-3 Fatty Acids, and Vitamin D in the Prevention and Treatment of Sarcopenia and Functional Decline, Tessier (2018)
Kreatin	
Proteiny součástí pevného jídla (maso, mléčné výrobky, vejce) a možný pozitivní vliv současného příjmu bílkovin+ vitaminů, minerálů atd.	Food-First Approach to Enhance the Regulation of Post-exercise Skeletal Muscle Protein Synthesis and Remodeling, Burd (2019)

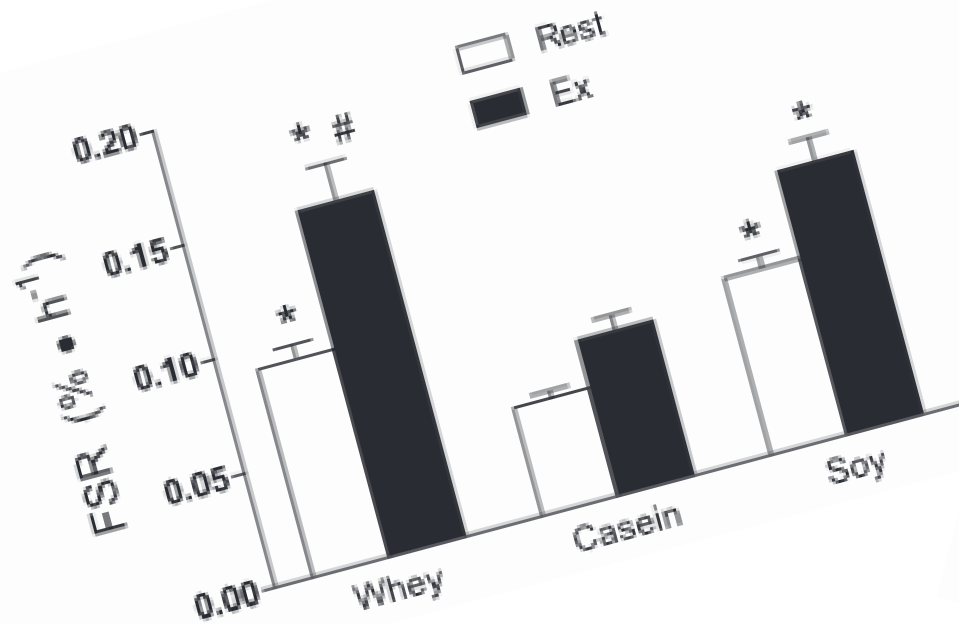
**8) Časování příjmu proteinů a dalších živin
kolem tréninkové jednotky?**

A Review of Issues of Dietary Protein Intake in Humans, Bilsborough (2006)

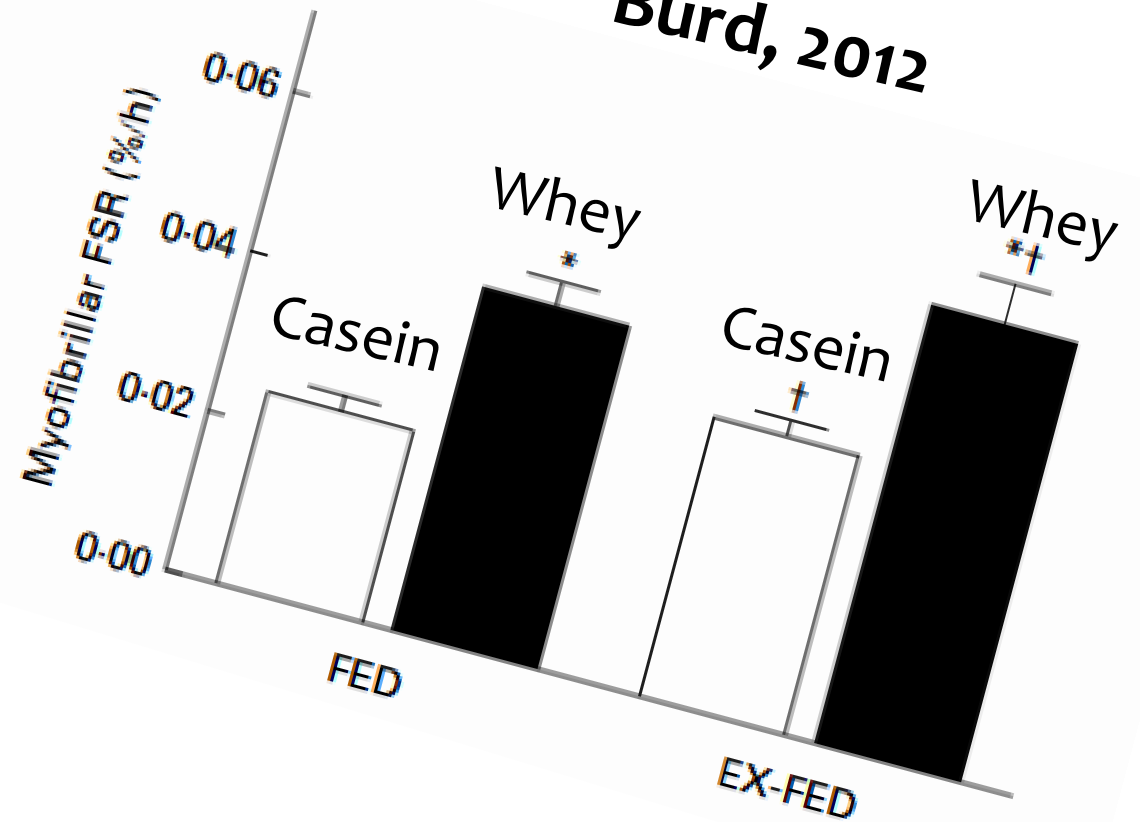
Rychlost vstřebávání různých zdrojů bílkovin

Zdroj proteinů	Rychlost vstřebávání (g/h)
Syrovátkový koncentrát/izolát	8–10
Micelární kasein	6
Mléčný protein	3,5
Izolát sójové bílkoviny	3,9
Protein vařeného vejce	2,9
Protein syrového vejce	1,3
Hrachový protein	2,4–3,5
Smíšené jídlo s obsahem proteinů z masa	3–5 g/h

Tang, 2009

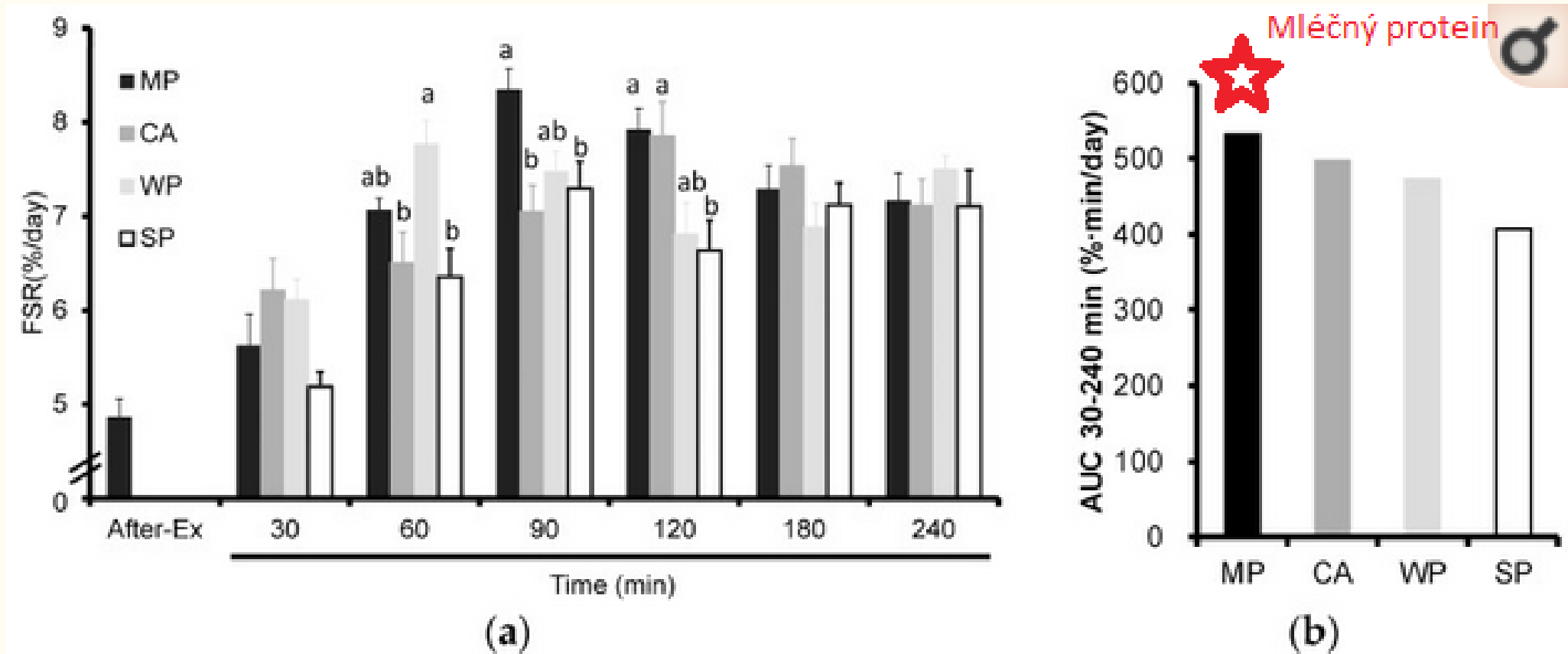


Burd, 2012

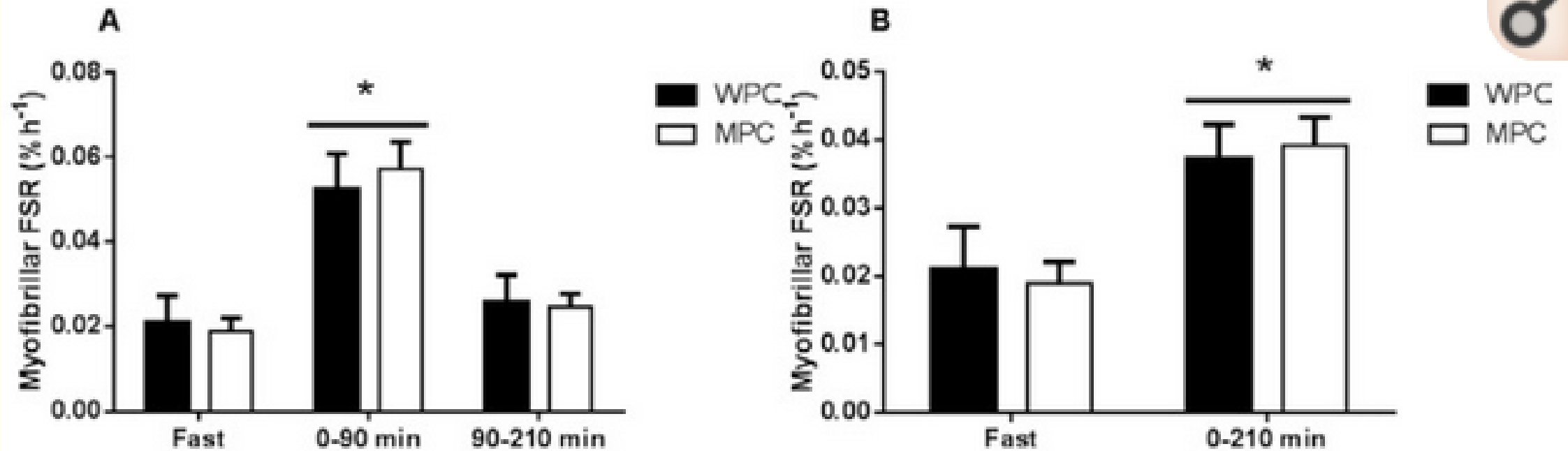


Díky rychlé stravitelnosti a hyperaminoacidemii vykazují syrovátkové proteiny oproti kaseinu lepší efekt na FSR zejména v prvních 2–3 hodinách po požití 😊

Effects of Whey, Caseinate, or Milk Protein Ingestion on Muscle Protein Synthesis after Exercise, Kanda (2016)



Consumption of Milk Protein or Whey Protein Results in a Similar Increase in Muscle Protein Synthesis in Middle Aged Men, Mitchell (2015)



Při delším časovém sledování FSR (3 hodiny a více) však syrovátkové proteiny ztrácí výhodu a vychází stejně jako kasein nebo mléčný protein

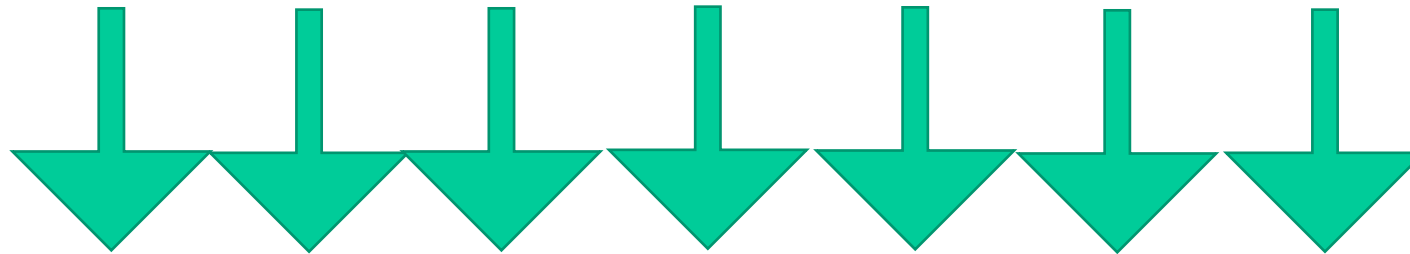
Meta-analysis

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, Messina (2018)

Effects of Hydrolyzed Whey versus Other Whey Protein Supplements on the Physiological Response to 8 Weeks of Resistance Exercise in College-Aged Males, Lockwood (2017)

No Difference

Akutní mechanistické studie zkoumající míru stimulace MPS nemusí nutně znamenat lepší vliv na růst svalové hmoty a síly v reálné praxi



V reálné praxi je zásadní po tréninku přijmout kvalitní zdroj proteinu. Jestli se bude jednat o **syrovátkový koncentrát, **hydrolyzát**, **směs syrovátkového proteinu a micelárního kaseinu**, nebo **dokonce smíšeného jídla** je prakticky jedno a v kontextu celkové výživy je nemožné rozhodnout, zda je mezi nimi hmatatelný rozdíl.**

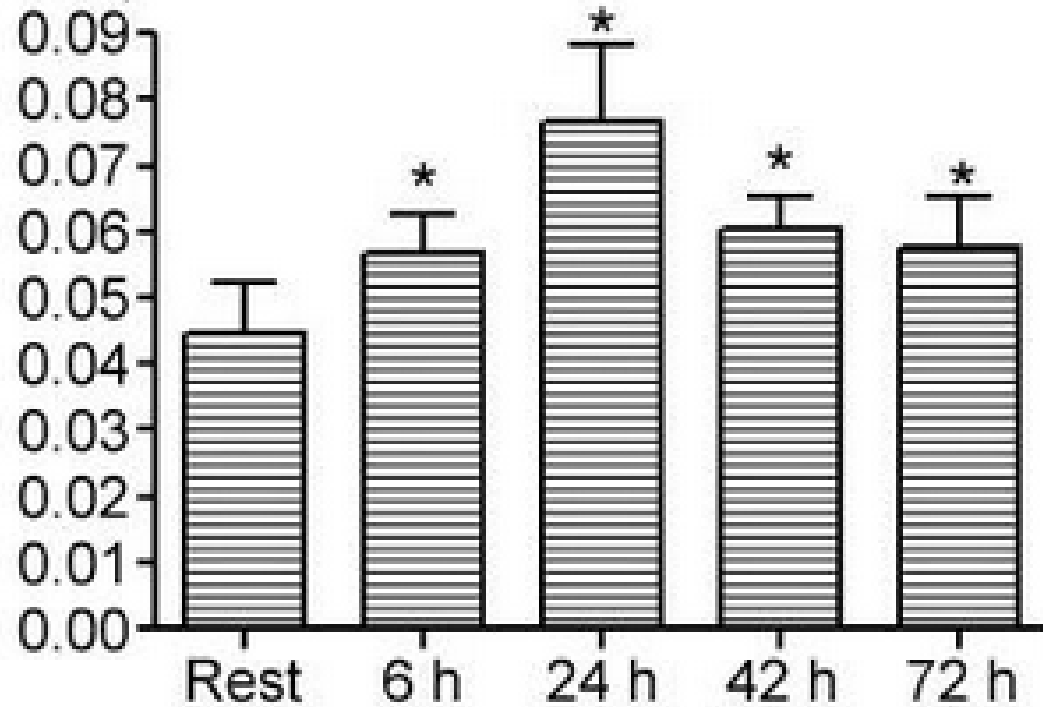
Enhanced Amino Acid Sensitivity of Myofibrillar Protein Synthesis Persists for up to 24 h after Resistance Exercise in Young Men (2011)

*„Our results suggest that resistance exercise performed until failure confers a sensitizing effect on human skeletal muscle for **at least 24 h** that is specific to the myofibrillar protein fraction.“*

Coordinated collagen and muscle protein synthesis in human patella tendon and quadriceps muscle after exercise (2005)

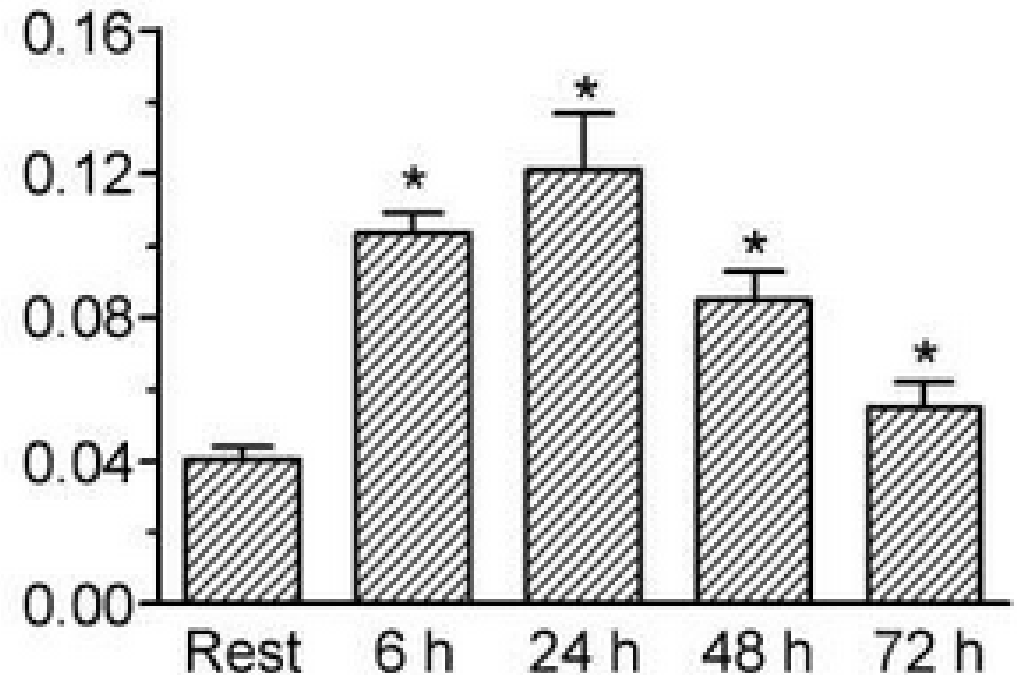
Tendon Collagen FSR

(% h⁻¹)



Myofibrillar protein FSR

(% h⁻¹)



**Zvýšení MPS může trvat až po dobu 72 hodin od tréninku (viz obrázek).
V literatuře se však objevuje, že MPS je zvýšená 24–48 h po tréninku.**

Nutrient timing revisited: is there a post-exercise anabolic window? Aragon (2013)

The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: a meta-analysis. Schoenfeld (2013)

Pro zajištění maximální podpory růstu svalové hmoty je vhodné tréninkovou jednotku „orámovat“ 2 dávkami kvalitního zdroje bílkovin

Poslední jídlo s obsahem proteinů
v dávce cca 0,3–0,4 g/kg TH cca 90–120 minut před FA

Předtréninkový a potréningový příjem proteinů
by od sebe nemělo dělit více než 3–4 hodin

Pokud je předtréninkový příjem proteinů součástí většího jídla s obsahem dalších živin, může se tento interval prodloužit na 4–5 hodin

Podobně důležité jsou však další porce bílkovin v období svalového růstu, tj. dalších 24–48 hodin.

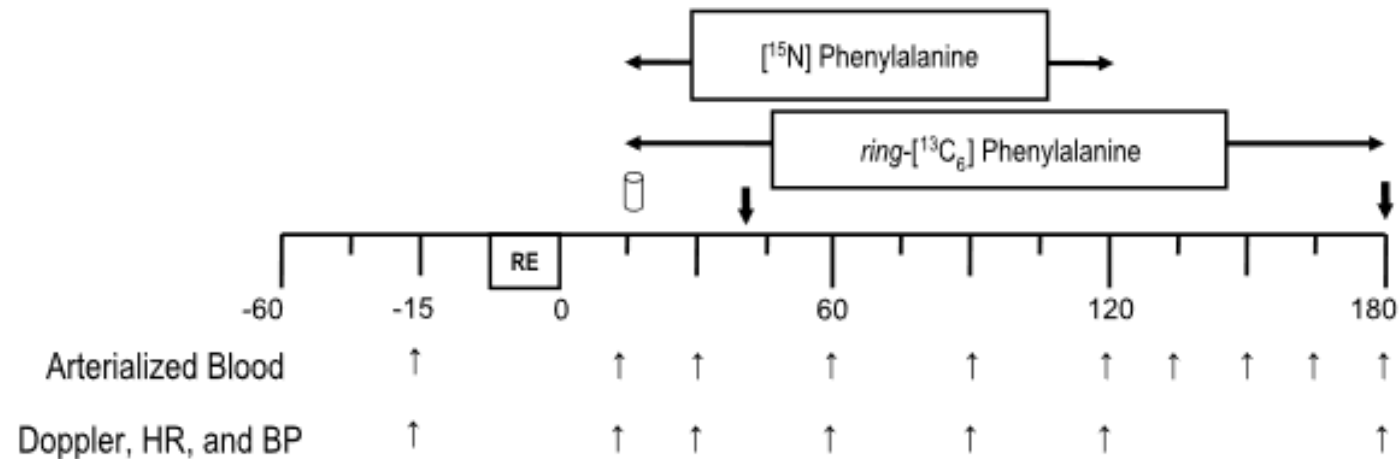
Jsou sacharidy bezprostředně po tréninku společně s proteinem nutností?

- Staples, 2011 (Carbohydrate does not augment exercise-induced protein accretion versus protein alone.)
- „Lehčí trénink“ dolních končetin

📄 25 g Whey Protein (PRO) or 25 g Whey Protein + 50 g Maltodextrin (PRO+CHO)

↓ Muscle Biopsy (Both Legs)

↑ Blood Sample, Blood Flow Measure (Both Legs)



Jsou sacharidy bezprostředně po tréninku společně s proteinem nutností?

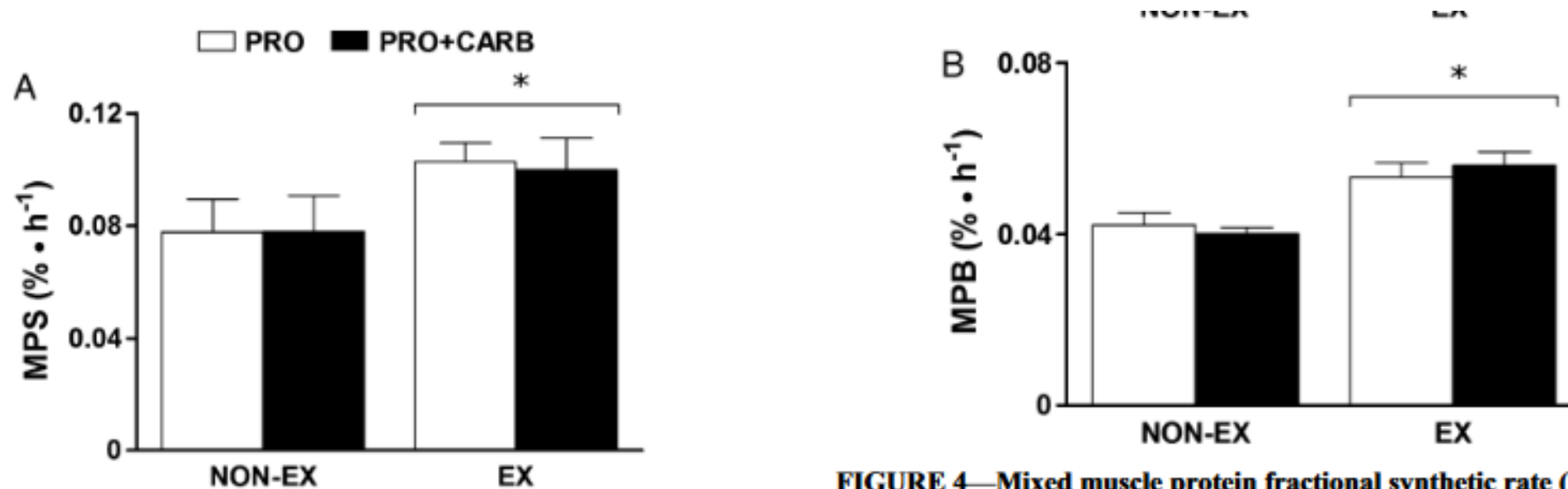


FIGURE 4—Mixed muscle protein fractional synthetic rate (MPS) and breakdown rate (MPB). *Significant main effect of exercised (EX) versus nonexercised (NON-EX; $P < 0.05$). The dashed line on the upper graph indicates a mean resting and fasted rate of MPS obtained from previous studies (6,24,30,31) of $0.041\% \cdot h^{-1} \pm 0.006\% \cdot h^{-1}$ to illustrate differences from the rested fasted state. Values are means \pm SEM.

Jsou sacharidy bezprostředně po tréninku společně s proteinem nutností?

- **Současný příjem proteinů a sacharidů po tréninku ve srovnání se samotným proteinem dále nezvyšuje MPS po silovém tréninku... Žádný benefit???**
- Nutnost příjmu sacharidů po silovém tréninku se odvíjí od několika faktorů:
 - 1) Nastavení celkového příjmu energie a sacharidů
 - 2) Konkrétní cíl (nabírání vs. redukce hmotnosti)
 - 3) Nutnost co nejrychleji začít s resyntézou svalového glykogenu (frekvence tréninků a další aktivity)
- **ZÁVĚR: Příjem sacharidů bezprostředně po silovém tréninku je v naší režii a odvíjí se od našich cílů**

Praktická specifikace příjmu proteinů v okolí silového tréninku

- Ideální scénář (závodníci, fitness nadšenci):
- **1) Poslední jídlo** před silovým tréninkem dle preferencí a zkušeností cvičence **zhruba 90–120 minut před tréninkem (Obsah B+S)**
- **Obsah dobře stravitelných bílkovin** (v doporučovaném množství dle přednášky) + **sacharidů** (dle celkového denního příjmu, vhodnější spíše komplexní sacharidy → udržení glykemie)
- **2) Po silovém tréninku ideálně příjem bílkovin v množství 0,3 g/kg TH, nebo 20–40 g v absolutním množství rychle stravitelného proteinu (syrovátkový koncentrát), dle nastavení jídelníčku zvážit příjem sacharidů (v poměru zhruba 2–3 : 1 ve prospěch S)**
- **3) Za dalších 90–120 minut pevné potréninkové jídlo** (názory vyhybat se vláknině a většímu množství tuků, naopak jejich zahrnutí může být žádoucí
□ prodloužení doby vstřebávání a menší oxidace aminokyselin)
- Celkově za den dosáhnout příjmu nastavených živin, dbát na kvalitu a pestrost jídelníčku

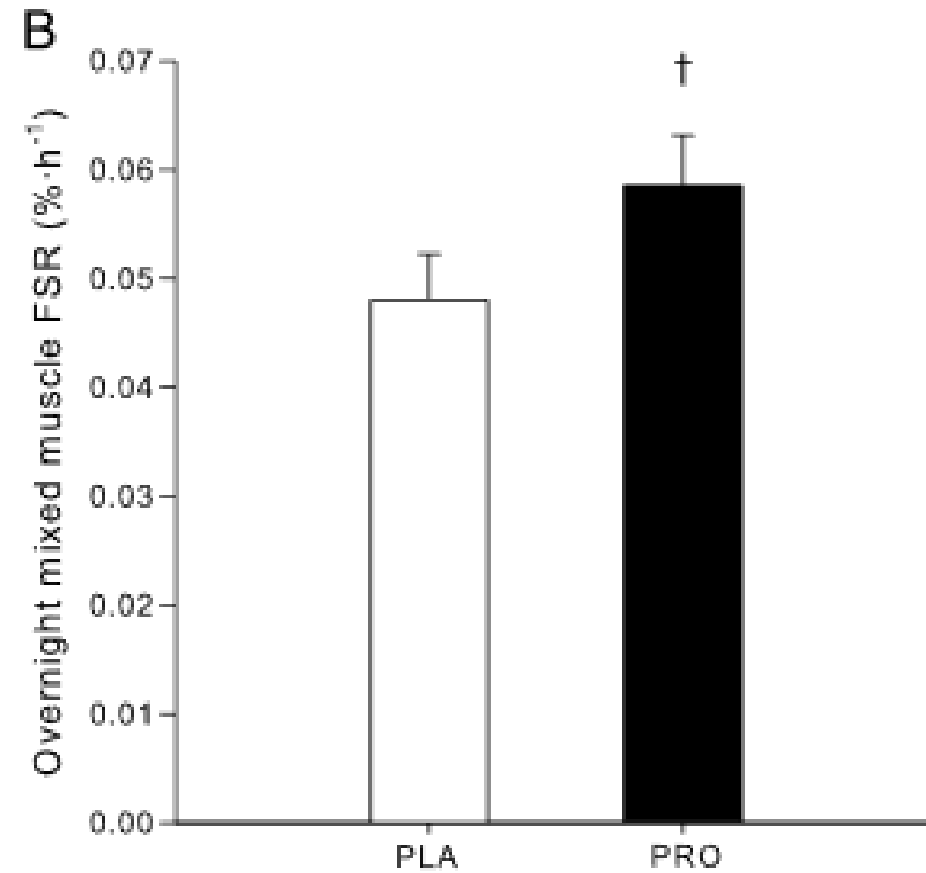
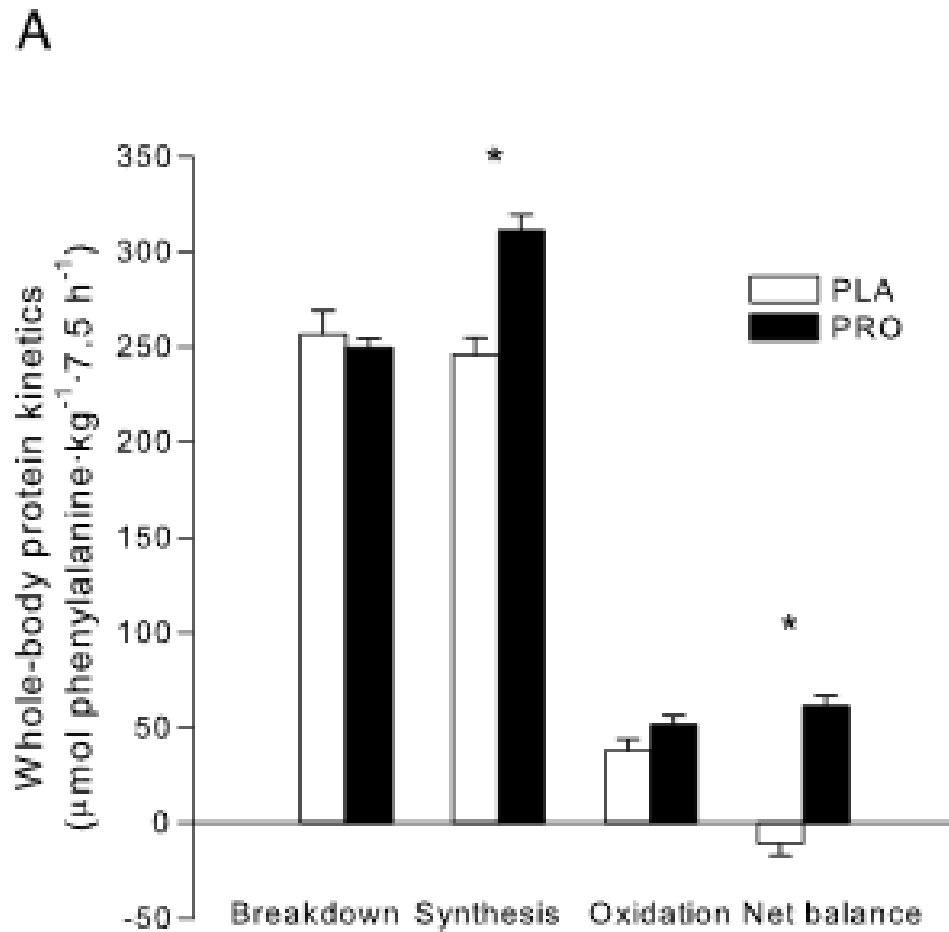
Praktická specifikace příjmu proteinů v okolí silového tréninku

- Alternativní scénář (rekreační sportovci):
- **1)** 45–120 minut před tréninkem „alespoň nějakého jídla“ (nejít cvičit hladový), antikatabolické působení, udržení glykémie
- **2)** Po silovém tréninku např. banán
- **3)** Za dalších 30–60 minut pevné kvalitní potréninkové jídlo, důraz na příjem kvalitní bílkoviny v doporučeném rozmezí a příjem sacharidů/tuků (S : B, 2–3 : 1)
- Celkově během dne přijmout alespoň 3 větší jídla bohatá na bílkoviny, klást důraz na jejich kvalitu a celkovou kvalitu a pestrost jídelníčku

9) Protein na noc aneb je kasein nějaký zázrak?

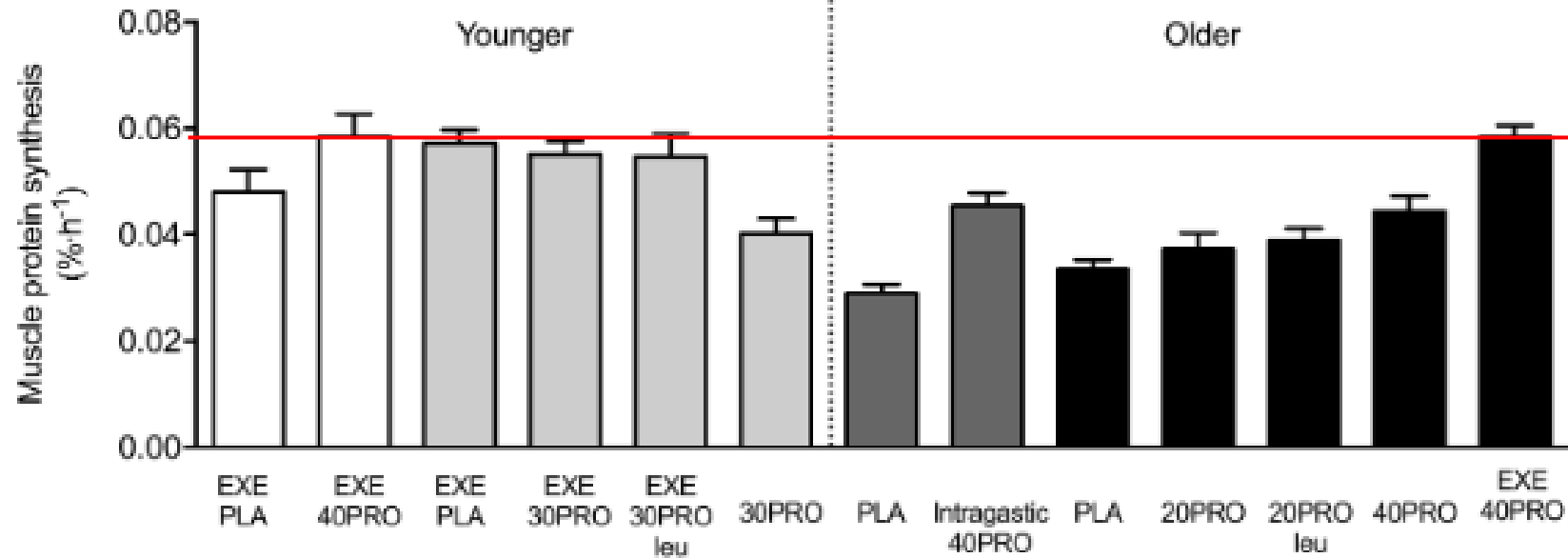
Příjem kaseinu (tvarohu) před spaním? 😊

- I během spánku může probíhat MPS a MPB. Mnozí sportovci umisťují poslední příjem proteinů před spaním? **Co na to věda?**
- **Res, 2012 (Protein Ingestion before Sleep Improves Post-exercise Overnight Recovery)**
- **Methods:** „All subjects were provided with appropriate recovery nutrition (20 g of protein, 60 g of CHO) immediately after exercise (21:00 h). Thereafter, 30 min before sleep (23:30 h), subjects ingested a beverage with **PRO 40 g** or **PLACEBO**.“



„Pre-sleep casein protein intake (30–40 g) provides increases in overnight MPS and metabolic rate without influencing lipolysis.“

The Impact of Pre-sleep Protein Ingestion on the Skeletal Muscle Adaptive Response to Exercise in Humans: An Update (2019)



Pro ideální stimulaci MPS během noci je třeba přijmout před spaním 30–40 g kaseinu nebo jiného pomalého proteinu. Stejného efektu lze dosáhnout i jiným zdrojem bílkovin.

Efekt je dán:

- A) Celkově vyšším příjmem bílkovin během dne přidáním další porce před spaním.**
- B) Zvýšením MPS během noci a tím dosažením pozitivní NPB (Net protein balance) přes noc.**

1) Kvalita bílkovin	Vysoce stravitelné zdroje s vysokým zastoupením EAA (10–12 g) a leucinu (cca 3 g) v jedné porci
2) Trávení a vstřebávání bílkovin, osudy bílkovin v organismu	Trávení probíhá v tenkém střevě, vysoká kapacita vstřebávání
3) Celkový denní příjem při vyrovnané energetické bilanci	1,6–2,2 g/kg TH
4) Požadavky na příjem bílkovin v dietě	„Estetika“: 1,8–2,7 g/kg TH, tj. 2,3–3,1 g/kg FFM „Atletičtí“: 1,6–2,4 g/kg
5) Bezpečnostní aspekty vyššího příjmu bílkovin	I vyšší příjem bílkovin bezpečný
6) Ideální dávka na porci pro maximální stimulaci MPS	20–40 g na porci - 0,3 g/kg; u starších až 0,4 g/kg TH
7) Kolik můžeme maximálně využít bílkovin v porci pro tvorbu svalových bílkovin?	0,4–0,55 g/kg TH. Vyšší dávky (70 g a více) s možným efektem na pozitivnější proteinovou bilanci celého těla
8) Časový rozestup mezi příjmem porcí proteinů během dne	3–5 hodin, rozprostřen od rána do večera, pravidelnost v příjmu
9) Časování příjmu proteinů kolem tréninkové jednotky	Silový trénink „orámuj“ 2 porcemi kvalitního zdroje proteinů v klasické porci
10) Příjem bílkovin na noc pro podporu MPS během noci	30–40 g, nemusí být pouze kasein
11) Možný vliv dalších živin na zesílení účinků na MPS	Omega-3 MK, vitamin D, mikronutrienty z jídla

Doporučená studijní literatura

(Hlavní doporučení pochází z těchto publikací):

- Jäger, R., Kerksick, C.M., Campbell, B.I., Cribb, P.J., et al. (2017) **International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition***. [Online] 14, 20. Available from: doi:10.1186/s12970-017-0177-8 [Accessed: 25 July 2017].
- Kerksick, C.M., Arent, S., Schoenfeld, B.J., Stout, J.R., et al. (2017) **International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *Journal of the International Society of Sports Nutrition***. [Online] 14, 33. Available from: doi:10.1186/s12970-017-0189-4 [Accessed: 7 April 2018].
- Slater, G., & Phillips, S. M. (2011). **Nutrition guidelines for strength sports: Sprinting, weightlifting, throwing events, and bodybuilding. *Journal of Sports Sciences***, 29(sup1), S67–S77. doi:10.1080/02640414.2011.574722
- Stokes T, Hector AJ, Morton RW, McGlory C, Phillips SM. **Recent Perspectives Regarding the Role of Dietary Protein for the Promotion of Muscle Hypertrophy with Resistance Exercise Training. *Nutrients***. 2018;10(2):180. Published 2018 Feb 7. doi:10.3390/nu10020180
- **Bude též vloženo do studijních materiálů**

Další citované studie v prezentaci

- Areta, J.L., Burke, L.M., Ross, M.L., Camera, D.M., et al. (2013) Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *The Journal of Physiology*. [Online] 591 (9), 2319–2331. Available from: doi:10.1113/jphysiol.2012.244897.
- Brett A. Dolezal, J.A.P. (2000) Muscle damage and resting metabolic rate after acute resistance exercise with an eccentric overload. *Medicine and science in sports and exercise*. [Online] 32 (7), 1202–1207. Available from: doi:10.1097/00005768-199905001-01542.
- Helms, E.R., Zinn, C., Rowlands, D.S. & Brown, S.R. (2014) A systematic review of dietary protein during caloric restriction in resistance trained lean athletes: a case for higher intakes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. [Online] 24 (2), 127–138. Available from: doi:10.1123/ijsnem.2013-0054.
- Macnaughton, L.S., Wardle, S.L., Witard, O.C., McGlory, C., et al. (2016) The response of muscle protein synthesis following whole-body resistance exercise is greater following 40 g than 20 g of ingested whey protein. *Physiological Reports*. [Online] 4 (15). Available from: doi:10.14814/phy2.12893.
- Moore, D.R., Churchward-Venne, T.A., Witard, O., Breen, L., et al. (2015) Protein ingestion to stimulate myofibrillar protein synthesis requires greater relative protein intakes in healthy older versus younger men. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*. [Online] 70 (1), 57–62. Available from: doi:10.1093/gerona/glu103.

Další citované studie v prezentaci

- Morton, R.W., Murphy, K.T., McKellar, S.R., Schoenfeld, B.J., et al. (2018) A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *British Journal of Sports Medicine*. [Online] 52 (6), 376–384. Available from: doi:10.1136/bjsports-2017-097608.
- Res, P.T., Groen, B., Pennings, B., Beelen, M., et al. (2012) Protein ingestion before sleep improves postexercise overnight recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. [Online] 44 (8), 1560–1569. Available from: doi:10.1249/MSS.ob013e31824cc363.
- Schoenfeld, B.J. & Aragon, A.A. (2018) How much protein can the body use in a single meal for muscle-building? Implications for daily protein distribution. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. [Online] 15, 10. Available from: doi:10.1186/s12970-018-0215-1 [Accessed: 7 April 2018].
- Staples, A.W., Burd, N.A., West, D.W.D., Currie, K.D., et al. (2011) Carbohydrate does not augment exercise-induced protein accretion versus protein alone. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. [Online] 43 (7), 1154–1161. Available from: doi:10.1249/MSS.ob013e31820751cb.
- Atherton (2010) Muscle full effect after oral protein: time-dependent concordance and discordance between human muscle protein synthesis and mTORC1 signaling
- Bohé (2001) Latency and duration of stimulation of human muscle protein synthesis during continuous infusion of amino acids