

MASTNÉ  
KYSELINY A TUKY  
VE ZDRAVÍ  
A NEMOCI

Miroslav Zeman  
Jaroslav Macášek  
Marek Vecka  
a kolektiv





# MASTNÉ KYSELINY A TUKY VE ZDRAVÍ A NEMOCI

Miroslav Zeman  
Jaroslav Macášek  
Marek Vecka  
a kolektiv

**Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy**

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno. Automatizovaná analýza textů nebo dat ve smyslu čl. 4 směrnice 2019/790/EU a použití této knihy k trénování AI jsou bez souhlasu nositele práv zakázány.

**Miroslav Zeman, Jaroslav Macášek, Marek Vecka a kolektiv**

## **Mastné kyseliny a tuky ve zdraví a nemoci**

**Hlavní autor:**

Doc. MUDr. Miroslav Zeman, CSc.,

IV. interní klinika – klinika gastroenterologie a hepatologie 1. LF UK a VFN Praha

**Autoři:**

MUDr. Jaroslav Macášek, Ph.D.,

IV. interní klinika – klinika gastroenterologie a hepatologie 1. LF UK a VFN Praha

RNDr. Marek Vecka, Ph.D.,

IV. interní klinika – klinika gastroenterologie a hepatologie 1. LF UK a VFN Praha

Prof. MUDr. Radan Brůha, CSc.,

IV. interní klinika – klinika gastroenterologie a hepatologie 1. LF UK a VFN Praha

Prof. MUDr. Aleš Žák, DrSc.,

IV. interní klinika – klinika gastroenterologie a hepatologie 1. LF UK a VFN Praha

Doc. Ing. Jiří Brát, CSc.,

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav mléka, tuků a kosmetiky

RNDr. Eva Tvrzická, CSc.,

IV. interní klinika – klinika gastroenterologie a hepatologie 1. LF UK a VFN Praha

Doc. Dr. Ing. Marek Doležal,

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta potravinářské a biochemické technologie,

Ústav analýzy potravin a výživy (spolupráce na kapitole 17)

**Recenzentka:** Ing. Ludmila Kazdová, CSc.

Vydání odborné knihy schválila Vědecká redakce nakladatelství Grada Publishing, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2024

Cover Design © Grada Publishing, a.s., 2024

Autorem obrázků v knize je RNDr. Marek Vecka, Ph.D., není-li uvedeno jinak.

Obrázky 16.1–16.5 překreslil podle podkladů od autorů Jaroslav Kolman.

Vydala Grada Publishing, a.s.  
U Průhonu 22, Praha 7  
jako svou 9285. publikaci  
Odpovědná redaktorka Mgr. Viola Těšínská  
Sazba a zlom Jaroslav Kolman  
Počet stran 304  
1. vydání, Praha 2024  
Vytiskla tiskárna TNM PRINT s.r.o., Nové Město

Tato publikace vznikla za podpory MZ ČR-RVO-VFN64165, NU23-01-00288, Cooperatio/Gastroenterologie a hepatologie 1. LF UK. Kapitola 17 vznikla za finanční podpory z prostředků Ministerstva zemědělství v rámci projektu Naučte se používat jedlé tuky a oleje. Za podporu děkujeme také firmám ADM Olomouc s.r.o., AstraZeneca Czech Republic s.r.o., FABIO PRODUKT spol. s r.o. a Zentiva, k.s.

*Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.*

*Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.*

ISBN 978-80-271-7334-1 (pdf)  
ISBN 978-80-271-5161-5 (print)



# ROZETIN<sup>®</sup>

rosuvastatin/ezetimib

## SRDEČNÍ ZÁLEŽITOST

Primární hypercholesterolemie/  
homozygotní familiární  
hypercholesterolemie (HoFH)<sup>1</sup>

Fixní kombinace pro  
pacienty, kteří jsou adekvátně  
kontrolováni volnou kombinací  
rosuvastatinu a ezetimibu<sup>1</sup>

### Fixní kombinace rosuvastatinu a ezetimibu<sup>1</sup>

#### Zkrácená informace o přípravku ROZETIN

**LÉČIVÁ LÁTKA:** 1 potahovaná tableta obsahuje rosuvastatinum calcium (odpovídající rosuvastatinum 10mg/20mg/40mg) a ezetimibum 10 mg. **INDIKACE:** primární hypercholesterolemie (heterozygotní familiární a nefamiliární) / homozygotní familiární hypercholesterolemie (HoFH). **DÁVKOVÁNÍ:** pacient má být na vhodné hypolipidemické dietě a v průběhu léčby přípravkem Rozetin musí v dietě pokračovat. Přípravek Rozetin není vhodný pro počáteční léčbu. Pacienti mají užívat sílu odpovídající jejich předchozí léčbě jednosložkovými přípravky. Doporučená dávka: 1 tableta denně, ve stejnou dobu, s/bez jídla, tablety polykat celé a zapíjet se vodou. Bezpečnost a účinnost kombinace ezetimib + rosuvastatin u dětí do 18 let nebyla dosud stanovena. U pacientů s mírnou poruchou funkce jater nebo ledvin není nutná úprava dávkování. U pacientů se středně těžkou poruchou funkce ledvin, u pacientů s asijským původem a u starších pacientů je doporučena úvodní dávka 5 mg rosuvastatinu. **KONTRAINDIKACE:** hypersenzitivita na léčivé látky nebo na kteroukoli pomocnou látku. Po dobu těhotenství a kojení a u žen ve fertilním věku bez přiměřených kontracepčních opatření. Aktivní onemocnění jater nebo přetrvávající nevyšvětlené zvýšení koncentrace sérových transamináz a při zvýšení transamináz nad 3násobek horní hranice normálu (ULN). Při těžké poruše funkce ledvin (clearance kreatininu < 30 ml/min). Při myopatii. Při současném užívání kombinace sofosbuvir/velpatasvir/voxilaprevir nebo cyklosporinu. Dávka 40 mg/10 mg je kontraindikována u pacientů s predispozicí k myopatii/rhabdomyolýze: středně těžká porucha funkce ledvin (clearance kreatininu < 60 ml/min), hypotyreóza, osobní/rodinná anamnéza dědičných muskulárních poruch, předchozí anamnéza muskulární toxicity po podání jiných inhibitorů HMG-CoA reduktázy nebo fibrátů, nadměrné požívání alkoholu, stavy, při kterých může dojít ke zvýšení plazmatických hladin rosuvastatinu, asijský původ, současné užívání fibrátů. **ZVLÁŠTNÍ UPOZORNĚNÍ:** u pacientů léčených rosuvastatinem ve všech dávkách, zvláště pak v dávkách >20 mg, byly hlášeny účinky na kosterní svalstvo, např. myalgie, myopatie a vzácné rhabdomyolýza. Pokud jsou hladiny kreatinínázy (CK) před zahájením léčby významně zvýšené (> 5x ULN), je třeba kontrolu opakovat v průběhu 5–7 dní, jestliže opakovaná kontrola CK > 5x ULN, léčba se nemá zahajovat. S opatrností u pacientů s predispozičními faktory k myopatii/rhabdomyolýze. Pacienty je třeba požádat, aby okamžitě hlásili nevyšvětlitelné bolesti svalů, svalovou slabost nebo křeče, zvláště pokud jsou spojeny s malátností nebo horečkou, jestliže dojde ke výraznému vzestupu hladiny CK (> 5x ULN) nebo jsou svalové příznaky závažné a působí problémy během dne (i když jsou hodnoty CK ≤ 5x ULN), je třeba léčbu přerušit. Před začátkem a 3 měsíce po zahájení léčby se doporučuje provést jaterní testy. Léčba rosuvastatinem se má přerušit nebo dávkování snížit, pokud je hladina sérových transamináz vyšší než 3násobek ULN. Při léčbě dávkou 40 mg zvážit sledování funkce ledvin během rutinních kontrol. Pokud u pacienta existuje podezření na rozvoj intersticiálního plicního onemocnění, je třeba léčbu statiny ukončit. Byly hlášeny závažné kožní nežádoucí účinky včetně Stevensova-Johnsonova syndromu (SJS) a lékové reakce s eozinofilií a systémovými příznaky (DRESS), které mohou být život ohrožující nebo fatální. Přípravek Rozetin obsahuje monohydrát laktosy, Pacienti se vzácnými dědičnými problémy s intolerancí galaktosy, úplným nedostatkem laktázy nebo s malabsorpcí glukosy a galaktosy nemají tento přípravek užívat. **INTERAKCE:** kontraindikované kombinace: cyklosporin, gemfibrozil. Nedoporučované kombinace: fibráty a další přípravky snižující hladinu lipidů, inhibitory proteáz, inhibitory transportních proteinů, kyselina fusidová a 7 dnů po poslední dávce kyseliny fusidové. **Ostatní interakce:** rosuvastatin není ani inhibitorem, ani induktorem isoenzymů cytochromu P450, ezetimib neindukuje enzymy cytochromu P450, současné podávání antacid snižilo rychlost absorpce ezetimibu, ale na biologickou dostupnost ezetimibu nemělo žádný vliv, bylo pozorováno snížení AUC ezetimibu při použití s kolestyraminem; při použití s erytromycinem bylo pozorováno zmenšení AUC rosuvastatinu. Pokud je Rozetin přidán k warfarinu, jiným kumarinovým antikoagulantům nebo fludionu, musí být patřičně sledován INR. Přerušeni léčby přípravkem nebo snížení dávky může vést ke snížení INR. Současné podávání rosuvastatinu a perorálních kontraceptiv vedlo ke zvětšení AUC etinylestradiolu o 26 % a norgestrelu o 34 %. Toto zvýšení hladin v plazmě brát v úvahu při určení dávek perorálního kontraceptiva. Interakce vyžadující úpravu dávkování rosuvastatinu najdete podrobně v úplném znění SPC. **FERTILITA, TĚHOTENSTVÍ A KOJENÍ:** kontraindikován v průběhu těhotenství a kojení. Ženy ve fertilním věku mají během léčby používat vhodné antikoncepční metody. **ÚČINKY NA SCHOPNOST ŘÍDIT A OBSLUHOVAT STROJE:** studie nebyly provedeny. Je však třeba brát v úvahu, že byla hlášena závrať. **NEŽÁDOUCÍ ÚČINKY:** byly vytkle mírné a přechodné. **Nejčastější nežádoucí účinky,** souvisejícími s léčbou kombinací ezetimib + rosuvastatin: zvýšené jaterní transaminázy, gastrointestinální obtíže a bolest svalů. Dále časté: diabetes mellitus, bolest hlavy, závrať, zácpa, nauzea, bolest břicha, průjem, flatulence, astenie, únava. **UCHOVÁVÁNÍ:** v původním obalu (ochrana před světlem a vlhkostí). **VELIKOST BALENÍ:** 30 nebo 100 potahovaných tablet. **DRŽITEL ROZHODNUTÍ O REGISTRACI:** Zentiva k. s., U Kabelovny 130, 102 37 Praha 10, Česká republika. **DATUM REVIZE TEXTU:** 9. 4. 2022. **VÝDEJ** je vázán na lékařský předpis. Přípravek je plně hrazen z prostředků veřejného zdravotního pojištění. Před předepsáním nebo výdejem přípravku se seznámte s úplnou informací o přípravku, které obdržíte na adrese: Zentiva, k. s., U Kabelovny 130, 102 37 Praha 10, Česká republika.

**Reference:** 1. SPC přípravku Rozetin<sup>®</sup>, datum revize textu 9. 4. 2022.

Určeno pro odbornou veřejnost

Zentiva, k. s., marketingové oddělení, U Kabelovny 130, 102 37 Praha 10, Česká republika, www.zentiva.cz

**ZENTIVA**

# Obsah

<b>1</b>	<b>Klasifikace a vlastnosti mastných kyselin</b> .....	<b>1</b>
	M. Vecka	
1.1	Nomenklatura mastných kyselin .....	1
1.2	Vlastnosti mastných kyselin .....	4
<b>2</b>	<b>Analýza mastných kyselin</b> .....	<b>9</b>
	E. Tvrzická	
2.1	Historie .....	10
2.2	Vývoj aparatury .....	10
2.2.1	Injekční techniky .....	10
2.2.2	Kolony .....	10
2.2.3	Detekce .....	11
2.3	Kvalitativní analýza .....	11
2.4	Kvantitativní analýza .....	12
2.5	Příprava vzorku .....	12
2.5.1	Izolace celkového lipidu .....	12
2.5.2	Separace lipidových tříd .....	14
<b>3</b>	<b>Základní metabolismus mastných kyselin</b> .....	<b>21</b>
	M. Vecka	
3.1	Přehled biosyntézy mastných kyselin .....	21
3.1.1	De novo biosyntéza (velmi) dlouhých mastných kyselin .....	21
3.1.2	Přeměny esenciálních mastných kyselin .....	21
3.2	Základní přeměny řetězců mastných kyselin .....	23
3.2.1	Desaturace mastných kyselin .....	23
3.2.2	Elongace mastných kyselin .....	24
3.2.3	Oxidace mastných kyselin .....	25
3.3	Přeměny zvláštních typů mastných kyselin .....	27
3.3.1	Biosyntéza netradičních typů mastných kyselin .....	27
3.3.2	Biosyntéza 2-hydroxymastných kyselin .....	27
<b>4</b>	<b>Třídy mastných kyselin</b> .....	<b>31</b>
	M. Vecka	
4.1	Nasycené mastné kyseliny .....	31
4.1.1	Mastné kyseliny s krátkým řetězcem .....	31
4.1.2	Mastné kyseliny se středně dlouhým řetězcem .....	31
4.1.3	Mastné kyseliny s dlouhým řetězcem .....	32
4.2	Mononenasycené mastné kyseliny .....	33
4.2.1	Mononenasycené mastné kyseliny třídy n-7 .....	33
4.2.2	Mononenasycené mastné kyseliny třídy n-9 .....	34
4.2.3	Mononenasycené mastné kyseliny ostatních tříd .....	34
4.3	Polynenasycené mastné kyseliny .....	35
4.3.1	Polynenasycené mastné kyseliny třídy n-3 .....	35
4.3.2	Polynenasycené mastné kyseliny třídy n-6 .....	35
4.3.3	Polynenasycené mastné kyseliny ostatních tříd .....	36



4.4	Transmastné kyseliny .....	36
4.5	Konjugované mastné kyseliny .....	37
4.6	Neobvyklé mastné kyseliny .....	38
4.6.1	Mastné kyseliny s rozvětveným řetězcem .....	38
4.6.2	Mastné kyseliny s lichým počtem uhlíků .....	39
4.6.3	Mastné kyseliny s velmi dlouhým řetězcem .....	39
<b>5</b>	<b>Biologicky aktivní deriváty mastných kyselin .....</b>	<b>45</b>
	M. Vecka	
5.1	Oxylipiny .....	45
5.1.1	Eikosanoidy .....	45
5.1.2	Dokosanoidy .....	48
5.1.3	Oktadekanoidy .....	48
5.1.4	Jiné oxylipiny .....	50
5.1.5	Tvorba oxylipinů přímo ve fosfolipidech .....	50
5.1.6	Neenzymová tvorba oxylipinů .....	51
5.2	Konjugáty mastných kyselin .....	52
5.2.1	Amidy mastných kyselin .....	52
5.2.2	Estery mastných kyselin .....	53
5.3	Jiné deriváty mastných kyselin .....	55
<b>6</b>	<b>Mastné kyseliny a arteriální trombóza .....</b>	<b>59</b>
	A. Žák	
6.1	Arteriální trombóza .....	59
6.1.1	Význam arteriální trombózy .....	60
6.1.2	Arteriální trombóza a akutní koronární syndromy .....	60
6.1.3	Patogenetické faktory arteriální trombózy .....	61
6.1.4	Rizikové faktory arteriální trombózy .....	62
6.2	Polynenasycené mastné kyseliny a funkce krevních destiček .....	62
6.2.1	Eikosanoidy a trombogeneze .....	64
6.2.2	Polynenasycené mastné kyseliny třídy n-6 a funkce destiček .....	65
6.2.3	Polynenasycené mastné kyseliny třídy n-3 a funkce destiček .....	65
<b>7</b>	<b>Mastné kyseliny a zánět .....</b>	<b>67</b>
	A. Žák	
7.1	Úvod .....	67
7.2	Definice .....	67
7.3	Příčiny zánětu a protagonisté zánětlivé reakce .....	68
7.3.1	Příčiny zánětu .....	68
7.3.2	Protagonisté zánětlivé reakce .....	68
7.4	Stadia zánětlivé reakce .....	69
7.4.1	Aktivace endotelu .....	69
7.4.2	Interakce molekulárních struktur patogenů (PAMP) a struktur poškozených tkání (DAMP) se složkami vrozené imunity .....	70
7.4.3	Receptory rozeznávající typické vzory (PRR) .....	70
7.4.4	Agonisté PRR skupiny PAMP .....	71
7.4.5	Agonisté PRR skupiny DAMP .....	71
7.4.6	Aktivace signálních dějů .....	71
7.4.7	Význam cytokinů v zánětlivých dějích .....	71
7.4.8	Ukončení a rezoluce zánětu .....	73

7.5	Postavení lipidových sloučenin v zánětlivých procesech .....	75
7.5.1	Prozánětlivé lipidové mediátory .....	75
7.5.2	Protizánětlivé lipidové mediátory .....	76
7.5.3	Specializované prorezoluční lipidové mediátory .....	77
<b>8</b>	<b>Mastné kyseliny a obezita .....</b>	<b>83</b>
	J. Macášek	
8.1	Úvod .....	83
8.2	Patofyziologie obezity .....	83
8.3	Příjem mastných kyselin a obezita .....	84
8.4	Volné mastné kyseliny .....	84
8.5	Nasyčené mastné kyseliny .....	85
8.6	Mononenasyčené mastné kyseliny .....	85
8.7	Polynenasycené mastné kyseliny .....	87
8.8	Kanabinoidy a obezita .....	89
<b>9</b>	<b>Mastné kyseliny a diabetes mellitus .....</b>	<b>95</b>
	M. Zeman	
9.1	Úvod .....	95
9.2	Mastné kyseliny a inzulinová rezistence .....	95
9.3	Mastné kyseliny a $\beta$ -buňky Langerhansových ostrůvků .....	97
9.4	Význam jednotlivých mastných kyselin, epidemiologické údaje, sledování biomarkerů .....	98
9.4.1	Nasyčené mastné kyseliny a mastné kyseliny de novo lipogeneze .....	100
9.4.2	Kyselina linolová .....	101
9.4.3	Kyselina dihomogamma-linolenová .....	101
9.4.4	Kyselina palmitolejová .....	102
9.4.5	PUFAn-3 .....	102
9.4.6	Další mastné kyseliny .....	103
<b>10</b>	<b>Mastné kyseliny a kardiovaskulární onemocnění .....</b>	<b>109</b>
	M. Zeman	
10.1	Úvod .....	109
10.2	Nasyčené mastné kyseliny .....	109
10.3	Transmastné kyseliny .....	110
10.4	Mononenasyčené mastné kyseliny .....	111
10.5	Takzvaná středomořská dieta .....	111
10.6	Polynenasycené mastné kyseliny, PUFAn-6, PUFAn-3 .....	111
10.6.1	PUFAn-6 .....	111
10.6.2	PUFAn-3 .....	113
<b>11</b>	<b>Mastné kyseliny a játra .....</b>	<b>127</b>
	R. Brůha	
11.1	Úvod .....	127
11.2	Nealkoholová tuková choroba jater .....	127
11.2.1	Přísun mastných kyselin do jater a jejich distribuce v hepatocytech .....	129
11.2.2	De novo lipogeneze v játrech .....	130
11.2.3	Odsun mastných kyselin z hepatocytů .....	130
11.2.4	Genetická dispozice ke zvýšené akumulaci tuků v játrech .....	131
11.2.5	Složení mastných kyselin v játrech u MASLD .....	131
11.2.6	MASLD a střevní mikrobiota .....	132
11.2.7	Léčba .....	133

<b>12</b>	<b>Mastné kyseliny a GIT</b> .....	<b>137</b>
	M. Vecka	
12.1	Absorpce mastných kyselin .....	137
12.2	Metabolismus mastných kyselin ve střevě .....	138
12.3	Vliv různých onemocnění na střevní absorpci a metabolismus mastných kyselin .....	139
12.3.1	Chronická pankreatitida .....	140
12.3.2	Crohnova choroba .....	141
12.3.3	Cystická fibróza .....	141
12.3.4	Potravinové intolerance .....	142
<b>13</b>	<b>Mastné kyseliny, mozek a neuropsychiatrická onemocnění</b> .....	<b>145</b>
	M. Zeman	
13.1	Úvod .....	145
13.2	Polynenasycené mastné kyseliny v mozku plodu a novorozence .....	146
13.3	Funkce DHA a AA v CNS .....	149
13.4	Mastné kyseliny u patologických stavů v neuropsychiatrii .....	152
13.4.1	Alzheimerova demence .....	152
13.4.2	Depresivní poruchy .....	155
13.4.3	Bipolární afektivní porucha .....	156
13.4.4	Schizofrenie .....	158
13.4.5	Neurodegenerativní onemocnění .....	159
<b>14</b>	<b>Mastné kyseliny a nádory</b> .....	<b>169</b>
	J. Macášek	
14.1	Obecný přehled .....	169
14.2	Odchyly metabolismu mastných kyselin u nádorů a vztah ke kancerogenezi .....	170
14.3	Mastné kyseliny u nádorové kachexie, úloha PUFA .....	172
14.4	Mastné kyseliny u vybraných maligních chorob .....	172
14.4.1	Karcinom pankreatu .....	172
14.4.2	Kolorektální karcinom .....	173
14.4.3	Karcinom prostaty .....	173
14.4.4	Karcinom prsu .....	175
14.5	Mastné kyseliny a terapie nádorů .....	179
<b>15</b>	<b>Efekty léčby na metabolismus mastných kyselin</b> .....	<b>185</b>
	M. Zeman, M. Vecka	
15.1	Hypolipidemika .....	185
15.1.1	Inhibitory biosyntézy cholesterolu .....	185
15.1.2	Fibráty .....	187
15.1.3	Látky interferující se střevní absorpcí cholesterolu .....	188
15.1.4	Kyselina nikotinová .....	189
15.2	Antidiabetika .....	189
15.2.1	Inzulinové senzitivátory .....	189
15.2.2	Inkretiny .....	194
15.2.3	Glifloziny (inhibitory SGLT2) .....	195
15.2.4	Inhibitory $\alpha$ -glukosidasy .....	195
15.2.5	Inzulinová sekretagoga (deriváty sulfonylurey, glinidy) .....	195
15.3	Vybrané psychotropní látky a mastné kyseliny .....	196
15.3.1	Antipsychotika .....	196
15.3.2	Antidepresiva .....	199

<b>16</b>	<b>Tuky a mastné kyseliny z pohledu výživy .....</b>	<b>205</b>
	J. Brát	
16.1	Výživová doporučení .....	205
16.1.1	Výživová doporučení pro tuky .....	206
16.1.2	Výživová doporučení pro mastné kyseliny .....	207
16.1.3	Reálný versus doporučený příjem jednotlivých skupin mastných kyselin .....	210
16.1.4	Zjednodušení výživových doporučení pro spotřebitele .....	219
16.2	Získávání a zpracování olejů a tuků .....	230
16.2.1	Lisování, extrakce .....	230
16.2.2	Rafinace .....	230
16.2.3	Ztužování .....	231
16.2.4	Frakcionace .....	232
16.2.5	Přeesterifikace .....	233
16.3	Funkční vlastnosti tuků a možnosti jejich ovlivnění .....	235
16.3.1	Tuky v teplé kuchyni .....	235
16.3.2	Strukturní tuky .....	235
16.4	Tuky a legislativa .....	236
16.4.1	Výživové údaje na obalech potravin .....	236
16.4.2	Výživová a zdravotní tvrzení pro tuky .....	237
16.4.3	Regulace transmastných kyselin v potravinách .....	237
16.5	Co si odnést z této kapitoly .....	238
<b>17</b>	<b>Charakteristiky nejvýznamnějších tuků a olejů .....</b>	<b>243</b>
	J. Brát, M. Doležal	
17.1	Běžně používané oleje a tuky .....	244
17.1.1	Řepkový olej .....	244
17.1.2	Slunečnicový olej .....	244
17.1.3	Slunečnicový olej s vysokým obsahem kyseliny olejové (FA 18:1n-9) .....	245
17.1.4	Olivový olej .....	245
17.1.5	Mléčný tuk, máslo, ghee .....	246
17.1.6	Vepřové sádlo .....	246
17.1.7	Margarín – roztíratelný tuk s obsahem mléčného tuku do 3 % .....	248
17.1.8	Pokrmový tuk .....	249
17.2	Oleje a tuky používané v domácnostech okrajově .....	249
17.2.1	Kokosový tuk .....	249
17.2.2	Palmový olej a palmojadrový tuk .....	250
17.2.3	Lněný olej .....	251
17.2.4	Sójový olej .....	251
17.2.5	Dýňový olej .....	252
17.2.6	Konopný olej .....	252
17.2.7	Sezamový olej .....	253
17.2.8	Rýžový olej .....	253
17.2.9	Podzemnicový (arašídový) olej .....	253
17.2.10	Kukuřičný (klíčkový) olej .....	254
17.2.11	Olej z vlašských ořechů .....	254
17.2.12	Olej z lískových ořechů .....	254
17.2.13	Avokádový olej .....	255
17.2.14	Mandlový olej .....	255
17.2.15	Makový olej .....	255
17.2.16	Pšeničný (klíčkový) olej .....	256
17.2.17	Kakaové máslo .....	256

17.2.18	Světlicový olej	257
17.2.19	Olej z ostropestřce	257
17.2.20	Brutnákový olej	257
17.2.21	Pupalkový olej	258
17.2.22	Olej z hroznových jader	258
17.2.23	Makadamiový olej	258
17.2.24	Chia olej	259
17.2.25	Rakytníkový olej	259
17.2.26	Bambucké máslo (máslo shea)	260
17.2.27	Pistáciový olej	260
17.2.28	Olej z ořechů para	260
17.2.29	Olej z ořechů kešu	261
17.2.30	Olej z pekanových ořechů	261
17.2.31	Arganový olej	262
17.2.32	Hadincový olej	262
17.2.33	Olejničkový olej	263
17.2.34	Lničkový olej	263
17.2.35	Husí sádlo	263
17.2.36	Kachní sádlo	264
17.2.37	Hovězí lůj	264
17.2.38	Olej z tresčích jater	264
17.2.39	Rybí tuk	265
17.3	Co si odnést z této kapitoly	265
<b>Přílohy</b>		<b>267</b>
M. Vecka		
Příloha 1:	Triviální názvy mastných kyselin	267
Příloha 2:	Ukazatelé metabolismu mastných kyselin	273
P2.1	Analýza exprese genů a obsah mastných kyselin	273
P2.2	Analýza profilu mastných kyselin	273
P2.3	Odvozené parametry metabolismu mastných kyselin	273
P2.4	Klasifikační schémata	276
<b>Nejdůležitější použité zkratky</b>		<b>277</b>
<b>Rejstřík</b>		<b>283</b>
<b>Souhrn</b>		<b>289</b>
<b>Summary</b>		<b>290</b>

## ÚVOD

Mastné kyseliny jsou základním stavebním kamenem lipidových sloučenin. I když byly izolovány již na začátku 19. století, stále ještě nejsou známy všechny funkce, které vykonávají v živých organismech. Kromě toho, že mastné kyseliny jsou významnou zásobní formou energie, hrají také důležité strukturální a funkční role. Ovlivňují fyzikálně-chemické vlastnosti a tím i funkce buněčných membrán. Vazbou na některé proteiny modulují jejich působení, jsou součástí molekul podílejících se na buněčné signalizaci a jsou také prekurzory širokého spektra biologicky aktivních molekul, které ovlivňují životní funkce v průběhu celého života.

Tato kniha jako první v České republice pojednává problematiku mastných kyselin v celé šíři – od teoretických základů struktury a metabolismu až po uplatnění mastných kyselin v patogenezi závažných onemocnění. Čtenář je informován o uplatnění jednotlivých mastných kyselin v mechanismech zánětu, trombózy, oxidačního stresu, inzulinové rezistence i kancerogeneze a o současném stavu zkoumání možností užití někte-

rých mastných kyselin v prevenci a léčbě kardiometabolických, gastroenterologických, neuropsychiatrických i nádorových onemocnění. Významnou součástí knihy je kapitola informující o postavení mastných kyselin ve výživě. V této kapitole jsou obsaženy informace o nutričních vlastnostech hlavních mastných kyselin a o jejich zastoupení v olejích užívaných v potravinářství a průmyslu. Komentovány jsou zde současné názory na význam složení tuků ve stravě z hlediska prevence závažných onemocnění. Velkým přínosem k porozumění často složité problematice, která je v knize probírána, jsou barevné obrázky a tabulky, jež výrazně zlepšují orientaci čtenáře v textu.

Knihou je určena širokému okruhu čtenářů. Cílem autorů je zaujmout nejen biochemiky, ale i kardiology, diabetology, gastroenterology, neurology a psychiatry, praktické lékaře a další zdravotníky všech oborů. Informace o významu kvality a kvantity tuků ve výživě však jistě najdou svůj okruh čtenářů v řadách široké veřejnosti i mimo zdravotnictví.



# 1 Klasifikace a vlastnosti mastných kyselin

M. Vecka

Mastné kyseliny patří mezi důležité strukturní součásti lipidů, které spolu s bílkovinami a sacharidy představují základní stavební kameny živých organismů. Moderní klasifikační systém lipidů definuje lipidy jako hydrofobní nebo amfipatické (či amfifilní) molekuly, vzniklé buď karbaniontovou kondenzací thioesterů (např. mastné kyseliny), nebo karbokationtovou kondenzací isoprenových jednotek (např. steroly) (Fahy et al. 2009, Liebisch et al. 2020). Mastné kyseliny patří podle tohoto systému k prvnímu typu lipidů a v něm do třídy odvozené přímo od acylů mastných kyselin (třída FA, fatty acids). Pro strukturu mastné kyseliny je typická přítomnost polární části, karboxylu, a nepolárního řetězce, kde mohou být přítomny hlavně dvojně vazby. Délka řetězce, počet a konfigurace dvojných vazeb jsou parametry, které významně ovlivňují fyzikálně-chemické vlastnosti molekuly mastné kyseliny, a tato variabilita předurčuje mastné kyseliny k různorodému použití v metabolických dějích a k nezastupitelné roli v živočišném organismu. Mastné kyseliny jsou hlavní zásobní formou energie, nezbytnou strukturální součástí membrán a pomocí kovalentní vazby modifikují a regulují vlastnosti mnohých proteinů. Jako součásti některých lipidových signálních molekul hrají důležitou roli v metabolických regulačních kaskádách (Rangan a Smith 2002).

## 1.1 Nomenklatura mastných kyselin

Pojmenování řetězců mastných kyselin pomocí systematického názvosloví je značně nepřehledné, a tak se v literatuře často dává přednost triviálním názvům (tab. 1.1

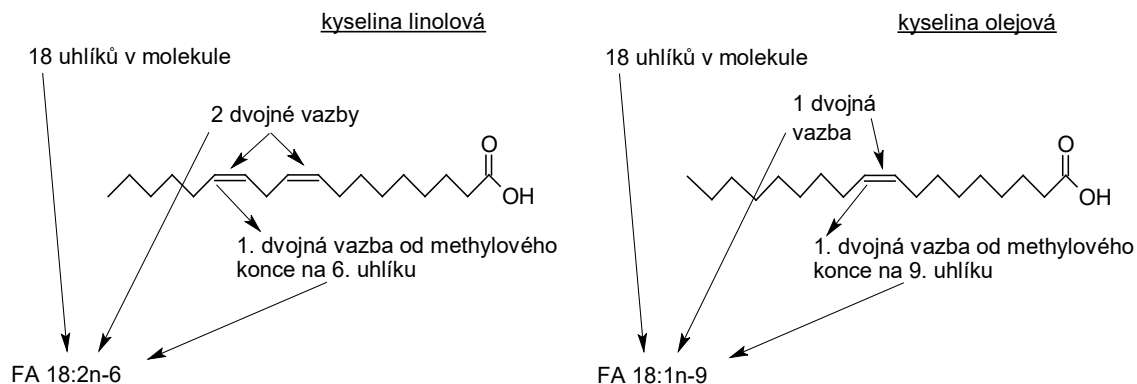
a tab. P1–4 v příloze 1) (Dijkstra 2021), které mají dlouhou historickou tradici. V praxi se také osvědčilo několik zjednodušujících systémů popisujících strukturu mastné kyseliny:

1. Zkrácená notace struktury mastných kyselin ve tvaru C:Nn-x. V tomto systému C představuje počet uhlíků v řetězci, N počet dvojných vazeb, x pozici první dvojně vazby **počítáno od methylového konce**. Tato notace předpokládá, že všechny dvojně vazby mají konfiguraci *cis*- (Z), jsou od sebe odděleny methylenovou skupinou (= mají tzv. pentadienové uspořádání) a na řetězci molekuly nejsou přítomny substituenty (viz obr. 1.1).
2. Zkrácená notace struktury mastných kyselin ve tvaru C:N $\omega$ x. Postup a předpoklady jsou stejné jako u systému 1, pouze se místo n- použije  $\omega$ ; tento postup je historicky starší.

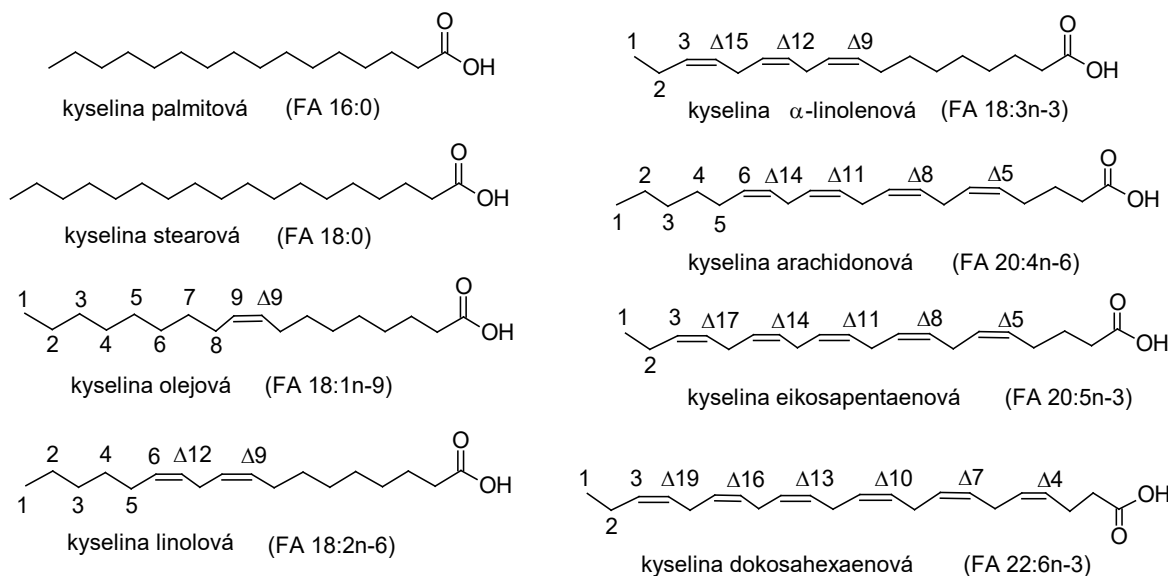
Oba výše zmíněné postupy mají tu výhodu, že usnadňují orientaci v metabolických vztazích mezi mastnými kyselinami (podrobněji viz kapitola 3 **Základní metabolismus mastných kyselin**), protože poloha první dvojně vazby na methylovém konci se u člověka v rámci klasických metabolických drah nemění. Podle toho můžeme u člověka nenasycené řetězce mastných kyselin klasifikovat jako zástupce třídy (rodiny) n-11, n-9, n-7 či n-6. Další příklady mastných kyselin viz obr. 1.2.

Pokud nejsou dvojně vazby v orientaci *cis*- (Z), ale *trans*- (E), přidává se na konec notace ještě t. V případě vyššího počtu dvojných vazeb se takto doplní orientace všech dvojných vazeb od karboxylového konce včetně dvojných vazeb v konfiguraci *cis*- (Z), kterým náleží





**Obr. 1.1** Použití zkrácené notace



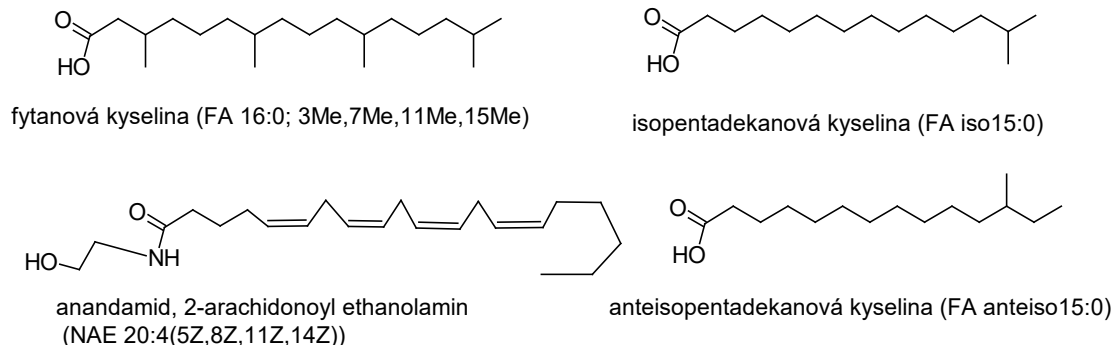
**Obr. 1.2** Strukturální vzorce některých mastných kyselin. Na obrázku je naznačen postup číslování podle zkrácené notace oproti číslování řetězců vycházejícího z IUPAC nomenklatury (čísla po symbolu  $\Delta$ )

zkratka c (např. 18:1n-9t, 18:2n-6cc, 18:2n-6ct, 18:2n-6tc, 18:2n-6tt). Někdy můžeme v literatuře narazit i na zkrácenou notaci začínající na velké C nebo FA, takže kyselina stearová se popíše jako C18:0 nebo FA 18:0 (vedle 18:0). V dalším textu se budeme držet notace začínající identifikátorem FA.

3. Jestliže na popis struktury mastné kyseliny nestačí výše zmíněné přístupy, můžeme narazit i na další systémy (které však nejsou v literatuře příliš konzistentní). V klinické praxi se s takovými strukturami mastných kyselin setkáváme vzácně; pro představu uvádíme jen nejběžnější systémy, jež využívají výhod zkrácené notace (ad body 1. a 2.) a používají se pro popis struktur pomocí hmotnostní spektrometrie

(Liebisch et al. 2020) nebo i jiných analytických metod (Dijkstra 2021).

- a) V případě, že je porušen předpoklad oddělení dvojných vazeb methylenovou skupinou, musí se pozice všech dvojných vazeb naznačit číselnými lokanty. Ty respektují názvoslovný systém IUPAC, tedy počítají uhlíky **od karboxylového konce**, např. FA 18:3 9c11t13c nebo FA 18:3 D9c11t13c, případně FA 18:3D<sup>9c11t13c</sup> nebo FA 18:3 (9Z,11E,13Z).
- b) Pokud jsou přítomny další substituenty na řetězci mastné kyseliny, naznačuje se struktura připojované struktury zkratkami. Existují ustálené zkratky pro jednoduché řetězce, často se vychází z názvosloví organické chemie. Použí-



Obr. 1.3 Netradiční mastné kyseliny

Tab. 1.1 Nejběžnější mastné kyseliny s dlouhým řetězcem

Označení	Systematický název podle IUPAC	Triviální název**	Zkratka
FA 14:0	tetradekanová kyselina	kyselina myristová	
FA 16:0	hexadekanová kyselina	kyselina palmitová	
FA 16:1n-7	(9Z)-hexadec-9-enová kyselina	kyselina palmitolejová	POA
FA 18:0	oktadekanová kyselina	kyselina stearová	SA
FA 18:1n-9t	(9E)-oktadec-9-enová kyselina	kyselina elaidová	
FA 18:1n-7t	(11E)-oktadec-11-enová kyselina	kyselina vakcenová	(VA)
FA 18:1n-9	(9Z)-oktadec-9-enová kyselina	kyselina olejová	OA
FA 18:1n-7	(11Z)-oktadec-11-enová kyselina	kyselina <i>cis</i> -vakcenová	cVA
FA 18:2n-6	(9Z,12Z)-oktadeca-9,12-dienová kyselina	kyselina linolová	LA
FA 18:3n-6	(6Z,9Z,12Z)-oktadeca-6,9,12-trienová kyselina	kyselina $\gamma$ -linolenová	GLA
FA 18:3n-3	(9Z,12Z,15Z)-oktadeca-9,12,15-trienová kyselina	kyselina $\alpha$ -linolenová	ALA
FA 18:4n-3	(6Z,9Z,12Z,15Z)-oktadeca-6,9,12,15-tetraenová kyselina	kyselina stearidonová	(STA)
FA 20:0	ikosanová kyselina*	kyselina arachidová	(ARA)
FA 20:3n-9	(5Z,8Z,11Z)-ikosa-5,8,11-trienová kyselina	kyselina Meadova	(MEA)
FA 20:3n-6	(8Z,11Z,14Z)-ikosa-8,11,14-trienová kyselina	kyselina dihomo- $\gamma$ -linolenová	DHGLA
FA 20:4n-6	(5Z,8Z,11Z,14Z)-ikosa-5,8,11,14-tetraenová kyselina	kyselina arachidonová	AA
FA 20:5n-3	(5Z,8Z,11Z,14Z,17Z)-ikosa-5,8,11,14,17-pentaenová kyselina	kyselina eikosapentaenová/timnodonová	EPA
FA 22:0	dokosanová kyselina	kyselina behenová	
FA 22:1n-9	(13Z)-dokosa-13-enová kyselina	kyselina eruková	(EA)
FA 22:4n-6	(7Z,10Z,13Z,16Z)-dokosa-7,10,13,16-tetraenová kyselina	kyselina adrenová	(ADA)
FA 22:5n-3	(7Z,10Z,13Z,16Z,19Z)-dokosa-7,10,13,16,19-pentaenová kyselina	kyselina klupanodonová***	DPA-3
FA 22:5n-6	(4Z,7Z,10Z,13Z,16Z)-dokosa-4,7,10,13,16-pentaenová kyselina	kyselina Osbondova	DPA-6
FA 22:6n-3	(4Z,7Z,10Z,13Z,16Z,19Z)-dokosa-4,7,10,13,16,19-hexaenová kyselina	kyselina cervonová	DHA
FA 24:1n-9	(15Z)-tetrakosa-15-enová kyselina	kyselina nervonová	(NA)

\* Správná předpona pro dvacetihlíkový skelet je ikosa-. Tvar eikosa- přetrvává z historických důvodů v termínech např. pro eikosanoidy nebo eikosapentaenovou kyselinu (viz dále a kapitola 3 Základní metabolismus mastných kyselin). V dalším textu se budeme držet těchto zavedených termínů.

\*\* Úplnější přehled triviálních názvů mastných kyselin viz příloha 1.

\*\*\* Někdy se užívá název klupadonová.