

FYZIOLOGIE PRO TĚLOVÝCHOVNÉ OBORY

(vybrané kapitoly, část II.)

Filip Neuls
Michal Botek
Michal Valenta
Iva Klimešová
Barbora Sládečková
Martin Sigmund
Jakub Krejčí



Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

Fyziologie pro tělovýchovné obory **(vybrané kapitoly, část II.)**

Filip Neuls
Michal Botek
Michal Valenta
Iva Klimešová
Barbora Sládečková
Martin Sigmund
Jakub Krejčí

Olomouc 2024

Recenzenti:

doc. MUDr. Dalibor Pastucha, Ph.D., MBA

Mgr. Karel Hůlka, Ph.D.

Autoři:

Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

doc. PhDr. Michal Boteck, Ph.D.

Mgr. Michal Valenta

PhDr. Iva Klimešová, Ph.D.

Mgr. Barbora Sládečková

PhDr. Dr. Martin Sigmund, Ph.D., DBA

RNDr. Jakub Krejčí, Ph.D.

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popř. trestněprávní odpovědnost.

1. vydání

© Filip Neuls, Michal Boteck, Michal Valenta, Iva Klimešová, Barbora Sládečková,
Martin Sigmund, Jakub Krejčí, 2024

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2024

ISBN 978-80-244-6417-6 (print)

ISBN 978-80-244-6418-3 (online: iPDF)

VUP 2024/0002 (print)

VUP 2024/0003 (online: iPDF)

Obsah

Seznam nejužívanějších zkratk	8
Úvod	9
1 Fyziologické aspekty fotbalu	10
1.1 Stručná charakteristika zatížení ve fotbalu	10
1.2 Somatická charakteristika hráčů fotbalu	10
1.3 Fyziologická charakteristika výkonu ve fotbalu	11
2 Fyziologické aspekty ledního hokeje	13
2.1 Stručná charakteristika zatížení v ledním hokeji	13
2.2 Somatická charakteristika hráčů ledního hokeje	13
2.3 Fyziologická charakteristika výkonu v ledním hokeji	15
3 Fyziologické aspekty běhů na krátké tratě	16
3.1 Somatická a fyziologická charakteristika sprinterů	16
3.2 Metabolická charakteristika sprinterských disciplín	18
3.3 Adaptace organismu na sprinterský trénink	19
3.4 Zranění u sprinterů	20
4 Fyziologické aspekty běhů na střední a dlouhé tratě	21
4.1 Somatická charakteristika běžců na střední a dlouhé tratě	21
4.2 Fyziologické determinanty výkonu v bězích na střední a dlouhé tratě	24
4.3 Trénink u vytrvalostních běžců	27
4.4 Zranění u běžců na střední a dlouhé tratě	28
5 Fyziologické aspekty silniční cyklistiky	29
5.1 Stručná charakteristika zatížení v silniční cyklistice	29
5.2 Somatické předpoklady a fyziologická charakteristika výkonu v silniční cyklistice	30
6 Fyziologické aspekty plavání	33
6.1 Vliv vodního prostředí a plavání na lidský organismus	34
6.2 Somatická a fyziologická charakteristika plavců	34
6.3 Charakteristika plaveckého výkonu a plaveckého tréninku	36
6.4 Zdravotní rizika plavání	38
7 Fyziologické aspekty potápění	40
7.1 Šnorchlování	41
7.2 Potápění na nádech	41
7.3 Přístrojové potápění	42

8	Fyziologické aspekty a specifika pohybového zatížení u dětí a mládeže.....	46
8.1	Aerobní kapacita.....	48
8.2	Anaerobní kapacita.....	49
8.3	Kardiovaskulární systém.....	49
8.4	Dýchací systém.....	50
8.5	Termoregulace.....	50
9	Fyziologie biorytmů	52
9.1	Biorytmy a hormonální systém.....	53
9.2	Biorytmy a sport.....	54
10	Imunitní systém a zátěž	57
10.1	Nespecifická imunita.....	57
10.2	Specifická imunita.....	58
10.3	Vliv pohybové zátěže na imunitní systém.....	59
11	Fyziologické základy vyladění před výkonem.....	64
12	Zdravotní aspekty pohybové aktivity	67
12.1	Pohybová aktivita a inaktivita ve vztahu k vybraným onemocněním	68
12.2	Zdravotní doporučení k pohybové aktivitě.....	72
12.3	Adherence k pohybové aktivitě	75
13	Možnosti kvantifikace odezvy organismu sportovce na zatížení.....	76
13.1	Subjektivní metody.....	76
13.2	Monitoring srdeční frekvence.....	78
13.3	Biomarkery	81
13.4	GPS technologie.....	82
13.5	Hodnocení hydratace.....	83
14	Výživa jako podpora tréninkového procesu: nutriční trénink	85
14.1	Tréninkový stimul, reakce a adaptace.....	86
14.2	Nutriční podpora při vytrvalostním zatížení.....	86
14.2.1	Denní příjem sacharidů.....	87
14.2.2	Příjem sacharidů před vytrvalostním zatížením	87
14.2.3	Příjem sacharidů během zatížení, nutriční trénink	88
14.2.4	Role tuků a bílkovin během vytrvalostního zatížení.....	90
14.2.5	Příjem sacharidů po zatížení	90
14.2.6	Zajištění optimální hydratace.....	91
14.3	Nutriční podpora při silovém zatížení	92
14.3.1	Denní příjem bílkovin.....	93
14.3.2	Příjem bílkovin po silovém zatížení.....	93
14.3.3	Příjem bílkovin před spánkem	94
14.3.4	Příjem sacharidů při silovém zatížení	94
14.3.5	Příjem tuků při silovém zatížení.....	94
14.4	Nejčastěji využívané doplňky stravy	95
14.5	Nutriční podpora zotavení po vytrvalostním i silovém zatížení	96

15 Účinky molekulárního vodíku na lidský organismus během tělesné práce a zotavení.....	98
16 Současný pohled na zdroje acidózy vznikající během svalové práce	101
16.1 ATP-CP systém	101
16.2 Anaerobní glyko(geno)lýza	102
16.3 Aerobní metabolismus.....	104
P1 Somatodiagnostika a sport.....	106
P1.1 Konstituční typologie – somatotyp (pohled z historie do současnosti).....	106
P1.1.1 Morfofenotyp a dědičnost	107
P1.1.2 Somatotyp a sport	108
P1.2 Somatické a morfologické dispozice ve sportu	108
Použitá a doporučená literatura	114

Seznam nejužívanějších zkratk

ADP – adenosindifosfát
ANP – anaerobní práh
ANS – autonomní nervový systém
AP – aerobní práh
ATP – adenosintrifosfát
BMI – body mass index (kg/m^2)
CNS – centrální nervový systém
CoA – koenzym A
CP – kreatinfosfát
EKG – elektrokardiogram
EPO – erytropoetin
FAD – flavinadenindinukleotid
FITT – frekvence, intenzita, trvání a typ pohybové aktivity
G6P – glukóza-6-fosfát
HRW – hydrogen rich water (hydrogenovaná voda)
MAS – maximal aerobic speed (maximální aerobní rychlost)
MCT1 – monokarboxylátový transportér 1
METs – metabolický ekvivalent
MTR – maximální tepová rezerva (rozdíl SFmax a SFklid)
NAD – nikotinamadenindinukleotid
OBLA – onset of blood lactate accumulation (začátek kumulace krevního laktátu)
OSB – odbourávání svalových bílkovin
 P_i – anorganický fosfát
 P_{max} – maximální výkon (W/kg)
RE – running economy (ekonomika běhu)
RQ – respirační kvocient
RSA – repeated sprint ability (schopnost opakovaných sprintů)
SF – srdeční frekvence (tepy/min)
SFklid – klidová srdeční frekvence (tepy/min)
SFmax – maximální srdeční frekvence (tepy/min)
SSB – syntéza svalových bílkovin
VAS – visual analogue scale (vizuální analogová škála)
 $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ – ventilační ekvivalent pro kyslík
 $\dot{V}O_2$ – spotřeba kyslíku (ml/kg/min)
 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ – maximální spotřeba kyslíku (ml/kg/min)

Úvod

Vážené studentky, vážení studenti,

v učebních textech s názvem Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část I.; Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnaněk, 2017) bylo prezentováno celkem 34 kapitol představujících určité penzum základních a rozšiřujících poznatků, které jsou využitelné v řadě bakalářských i magisterských předmětů přednášených a studovaných na FTK UP v Olomouci, jejichž obsah je orientován výhradně nebo částečně na zátěžovou fyziologii a spřízněné obory. Tato navazující druhá část „vybraných kapitol“ zpracovává v podobném duchu další témata, u nichž bychom stejně jako v případě prvního dílu byli rádi, aby z vašeho pohledu sloužila nejen jako zdroj informací nezbytných pro splnění příslušných zápočtů a zkoušek, ale byla též uplatnitelná v tělovýchovné a sportovní praxi. Nezbytnou součástí našich skript je i množství zajímavostí, které, jak doufáme, přispějí k vyšší čtivosti textu.

Těžiště tohoto druhého dílu představují fyziologické aspekty vybraných sportovních odvětví (fotbal a lední hokej jako zástupci sportovních her, atletické běhy, silniční cyklistika a plavání). Dále následují kapitoly věnované potápění, specifickým dětského věku a dospívání, biorytmům, imunitnímu systému, vyladění před výkonem nebo zdravotním aspektům pohybové aktivity. Řadu praktických rad obsahují témata zaměřená na možnosti kvantifikace odezvy organismu na zatížení a také na současné poznatky ve sportovní výživě. Velmi aktuálně je zařazena kapitola pojednávající o účincích molekulárního vodíku, a protože se výzkum fyziologických a biochemických pochodů neustále vyvíjí, reagujeme i aktualizací poznatků o zdrojích acidózy při svalové práci, čímž jsou do velké míry nahrazeny či upřesněny odpovídající kapitoly v první části skript. Vzhledem k tomu, že se ve fyziologických aspektech vybraných sportů detailněji věnujeme i somatické charakteristice sportovců, jako „bonus“ na závěr přikládáme též doplňující informace o somatodiagnostice ve sportu.

Nechť jsou vám oba díly „vybraných kapitol“ spolu s našimi přednáškami a prezentacemi užitečným průvodcem při studiu na naší alma mater.

Hodně štěstí při studiu přejí autoři!

1 Fyziologické aspekty fotbalu

1.1 Stručná charakteristika zatížení ve fotbalu

Fotbal se řadí mezi kolektivní sportovní hry. Z pohledu průběhu zatížení během 2×45 min utkání je fotbal příkladem *intermitentního* zatížení, při kterém se střídají vysoce intenzivní pasáže a momenty nízkého zatížení, které lze označit za *aktivní zotavení* (výklus, chůze apod.). Mezi kondičně nejexponovanější herní posty se ve fotbale řadí kraj obrany a zálohy a útok. Pro fotbalové zatížení je charakteristický vysoký počet (až 1500) krátkodobých aktivit (souboje, sprinty, změny směru, akcelerace, decelerace apod.), které se opakují přibližně každých 6 s. Hráč absolvuje za utkání 10 až 20 sprintů s průměrnou délkou 15–20 m, přičemž nejdelší sprinty jsou do 40–50 m. Profesionální fotbaloví hráči překonají za 90 min hry vzdálenost v rozmezí od 10 do 12 km, z toho na chůzi připadají přibližně 3 km, v poklusu stráví hráči 4 km, v běhu 3 km a v intenzivním běhu a sprintech přibližně od 300 do 1000 m.

1.2 Somatická charakteristika hráčů fotbalu

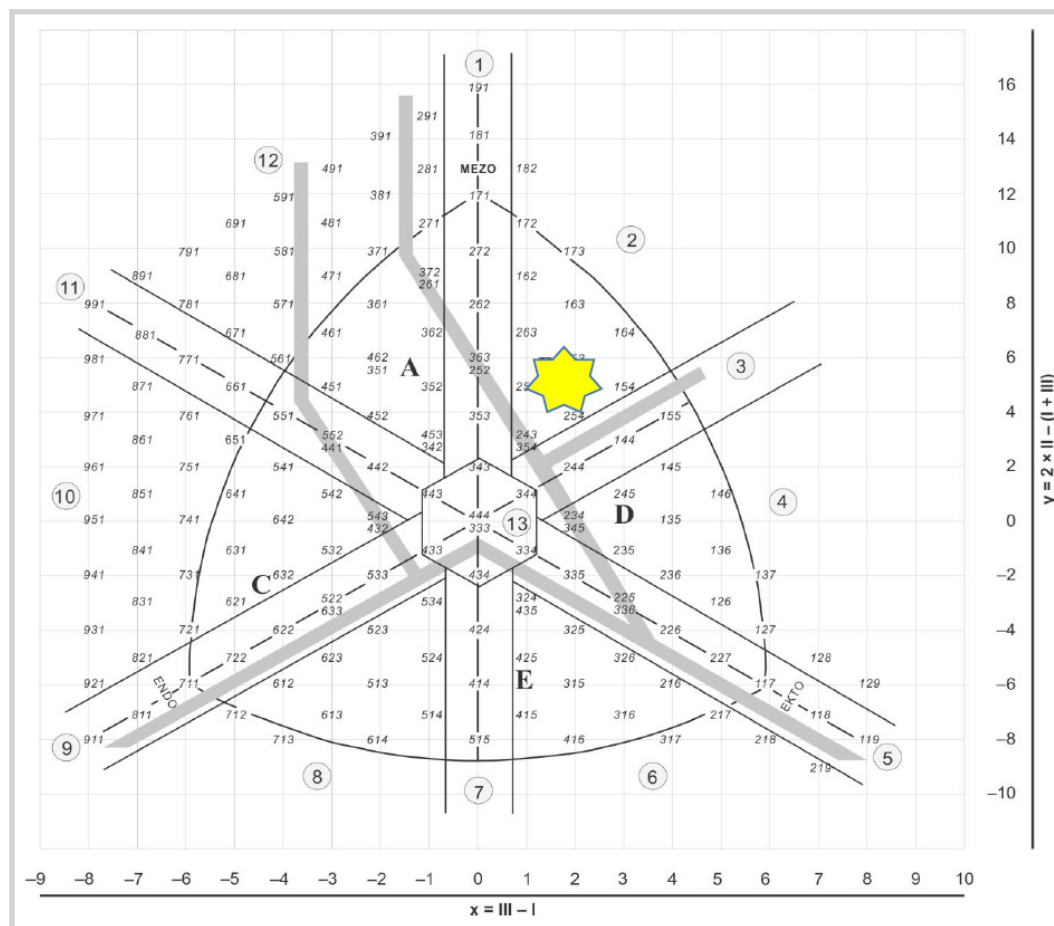
Somatické předpoklady vrcholových fotbalistů vykazují určitou variabilitu, která zohledňuje především herní postavení hráče. Rozsáhlá antropometrická měření ukázala, že nelze stanovit ideální tělesnou výšku ani hmotnost. V současném fotbalu se prosazují hráči jak s menší tělesnou výškou na úrovni hodnot 165–170 cm, tak i hráči poměrně vysocí. Mezi hráče s preferovanými požadavky na vyšší tělesnou výšku patří především brankáři, případně obránci a hrotoví útočníci. U brankářů se optimální tělesná výška pohybuje v intervalu 190–200 cm, obdobné dispoziční charakteristiky u tělesné výšky pak lze očekávat u středních obránců či hrotových útočníků. Hráči s průměrnou tělesnou výškou na úrovni hodnot 178–185 cm pak nacházejí uplatnění na pozicích ve středu pole nebo jako útočníci. Dosažená úroveň tělesné výšky hráče ovlivňuje i jeho herní styl, práci s míčem, schopnost prosadit se v hlavičkových soubojích apod.

Tělesná hmotnost fotbalistů vykazuje rovněž určitý rozptyl, taktéž s ohledem na tělesnou výšku. Tělesná hmotnost hráče by se měla pohybovat v optimálním poměru k tělesné výšce, což lze vyjádřit např. pomocí BMI na úrovni hodnot 21–23 kg/m². Současně je důležité zohlednit i složení těla, zejména pak procentuální zastoupení celkového tělesného tuku. Pro vrcholové hráče fotbalu se doporučuje zastoupení celkového tělesného tuku na úrovni 8–10 %, eventuálně s dlouhodobou udržitelností pod hranicí 12 %.

Z hlediska tělesné konstituce vyjádřené somatotypem a ve vztahu k herní pozici hráče se jako somatické optimum jeví oblast ektomorfní mezomorfie (2–5–4), vyrovnané mezomorfie (2–5–2), mezomorfie-ektomorfie (2–4–4) a oblast mezomorfní ektomorfie (1–3–5; 2–3–6), (obrázek 1).

Obrázek 1

Oblast optimální lokalizace výskytu somatotypu – fotbal (muži)



1.3 Fyziologická charakteristika výkonu ve fotbale

Průměrná intenzita zatížení za celé utkání se pohybuje mezi 80 a 90 % SFmax, což přibližně odpovídá úrovni ANP (75–85 % $\dot{V}O_2\text{max}$). Z výše uvedeného vyplývá, že moderní fotbal klade vysoké nároky na kondiční připravenost hráčů, především na maximální rychlost, rychlostní vytrvalost, obecnou vytrvalost, explozivní sílu dolních končetin a v neposlední řadě také na *agilitu* (herní, resp. kombinovaná lokomoce). Jedním z nejčastěji skloňovaných termínů u kondiční připravenosti hráče fotbalu je schopnost provádět opakované sprinty neboli RSA – *repeated sprint ability* (≤ 10 s) s minimální dobou zotavení (≤ 60 s). Mezi významné fyziologické determinanty RSA se počítá rychlost resyntézy ATP pomocí kreatinfosfátu, pufrační kapacita periferie a její rezistence vůči vzniklé acidóze (pokles pH, tj. nárůst koncentrace H^+). Důležité je zmínit, že i přes skutečnost, že hráči s vyšší aerobní kapacitou během utkání překonají vyšší vzdálenost a absolvují více sprintů, vztah mezi hodnotou $VO_2\text{max}$ a RSA není v zásadě nijak těsný ($r = .62-.68$). Proto je možné za určitých okolností dospělým hráčům fotbalu doporučit pro zvýšení RSA suplementaci kreatinfosfátem nebo užívání *karnosinu* jakožto intramuskulárního pufra.

Z analýzy herního výkonu u sportovních her vyplývá, že na kondiční připravenost hráčů ve fotbale připadá asi jen 25 až 30 %, zatímco dominantní role jako základ úspěšného výsledku spočívá ve vysoké úrovni specifických herních dovedností a technicko-taktické vyspělosti hráčů. Z metabolického pohledu lze fotbal označit za aerobní pohybovou aktivitu, ve které se

často objevují pasáže vyžadující anaerobní příspěvek hrazení energie (resyntézy ATP), tudíž při nich dochází k vytvoření kyslíkového dluhu a zakyselení. Hladina laktátu jakožto nepřímého indikátoru zakyselení organismu, potažmo aktivace anaerobního metabolismu, je u hráčů vysoce individuálně variabilní a po utkání se pohybuje v rozmezí od 3 do 12 mmol/l. Pozátěžovou koncentraci krevního laktátu bude determinovat herní post a především aerobní kapacita hráčů, přičemž nižších hodnot pozátěžového laktátu zpravidla dosahují hráči s vyšší hodnotou $\dot{V}O_2\text{max}$, a naopak.

Profesionální hráči fotbalu (vyjma brankářů) vykazují hodnoty $\dot{V}O_2\text{max}$ okolo 57–65 ml/kg/min. Jen velmi zřídka nacházíme hodnoty přesahující 65 ml/kg/min. Energetická náročnost fotbalu se pohybuje v rozmezí 5–12 MET, což odpovídá hodnotě $\dot{V}O_2$ 17,5–42 ml/kg/min. Uvádí se, že doba zotavení po utkání by měla být delší než 72 h (optimálně až 96 h), především z důvodu odeznění opožděné svalové únavy, návratu mentální a fyzické výkonnosti a regenerace neuromuskulárního systému.

V průběhu náročného utkání dochází ke ztrátám 1–2 l vody (a iontů) v podobě potu. Fotbalisté během utkání vydají energii odpovídající přibližně 1500–1700 kcal, která dominantně pochází ze sacharidových (glykogenových) rezerv.

Hráči fotbalu v laboratoři standardně podstupují hodnocení stavu hydratace, tělesného složení, měření aktivity autonomního nervového systému jako prevenci přetížení a přetrénování, vertikální skok a maximální zátěžový test na běhátku s cílem zjistit úroveň AP a ANP a dále maximální hodnoty vybraných kondičně relevantních ukazatelů jako např. $\dot{V}O_2\text{max}$ nebo běžeckého výkonu (P_{max}).

2 Fyziologické aspekty ledního hokeje

2.1 Stručná charakteristika zatížení v ledním hokeji

Lední hokej řadíme mezi kolektivní sportovní hry. Hokejové utkání trvá 60 min čistého času, který je rozdělen do tří dvacetiminutových period (třetin), eventuálně při nerozhodném výsledku nastává prodloužení. Hokej je aerobním sportem s vysokým příspěvkem anaerobní složky metabolismu, která je výrazná především během doby strávené na ledě, kdy se průměrná intenzita zatížení pohybuje kolem 80–95 % $\dot{V}O_2\text{max}$. Pravidelně vytěžovaní hráči stráví na ledě 15–20 min a nabruslí přibližně 5–5,5 km. Somatická charakteristika hráčů kopíruje kondiční nároky ledního hokeje, neboť se jedná o hru s vysokými nároky na silově-rychlostní schopnosti. Přesto ani vytrvalostní složka výkonu nesmí být trenéry opomenuta.

2.2 Somatická charakteristika hráčů ledního hokeje

Lední hokej je typickým příkladem kontaktního sportu, který klade vysoké nároky na somatickou vybavenost hráčů. Stupeň rozvoje základních somatických a morfologických charakteristik současných seniorských hráčů ledního hokeje je závislý na úrovni soutěže v rámci globálního rankingu, na úrovni národních soutěží, na herním postavení hráče a na herním stylu.

Hokejisté se obecně vyznačují nadprůměrně vysokými postavami od 180 do 190 cm a hmotností 80–95 kg*. V tělesné výšce a hmotnosti nicméně existují rozdíly ve vztahu k mezinárodní úrovni výkonnosti podle rankingu Mezinárodní hokejové federace (IIHF). Současní hráči ledního hokeje z nejvyšší výkonnostní kategorie A dosahují nejvyšších hodnot sledovaných parametrů (tělesná výška 184,3 ± 5,8 cm; tělesná hmotnost 88,1 ± 7,4 kg). Nižší hodnoty byly zjištěny u hráčů druhé výkonnostní kategorie B (183,2 ± 5,3 cm; 86,2 ± 7,0 kg). Nejnižší hodnoty byly sledovány u hráčů nejnižší výkonnostní úrovně C (181,1 ± 5,8 cm; 80,7 ± 8,6 kg). Trend vyšších hodnot je pozorován i ve vztahu k hernímu postavení.

Zaměříme-li se na hráče nejvýznamnější hokejové soutěže světa (kanadsko-americká NHL), pak úroveň sledovaných parametrů reprezentují hodnoty 185,8 ± 5,5 cm a 90,0 ± 6,9 kg. Mezi hráčskými pozicemi jsou zjišťovány významné rozdíly u tělesné výšky i u tělesné hmotnosti. Aktuálně nastolený trend u tělesné výšky znamená, že nejvyššími hráči jsou brankáři, kteří dnes dosahují tělesné výšky 190–200 cm, dále pak obránci a následně útočníci. U tělesné hmotnosti jsou nejtěžšími hráči obránci, dále brankáři (i s ohledem na jejich výšku) a nejnižší průměrnou hmotnost nalézáme u útočníků. Uvedené hodnoty představují současnou úroveň

* Známe mnoho příkladů, kdy se velmi úspěšní hokejisté vymykali svými antropometrickými charakteristikami uváděným hodnotám, jako např. Zdeno Chára (207 cm, 119 kg) nebo naopak Theoren Fleury (168 cm, 82 kg).

rozvoje základních fyzických parametrů u profesionálních hráčů ledního hokeje v NHL a lze je považovat za referenční hodnoty v této specifické populační skupině.

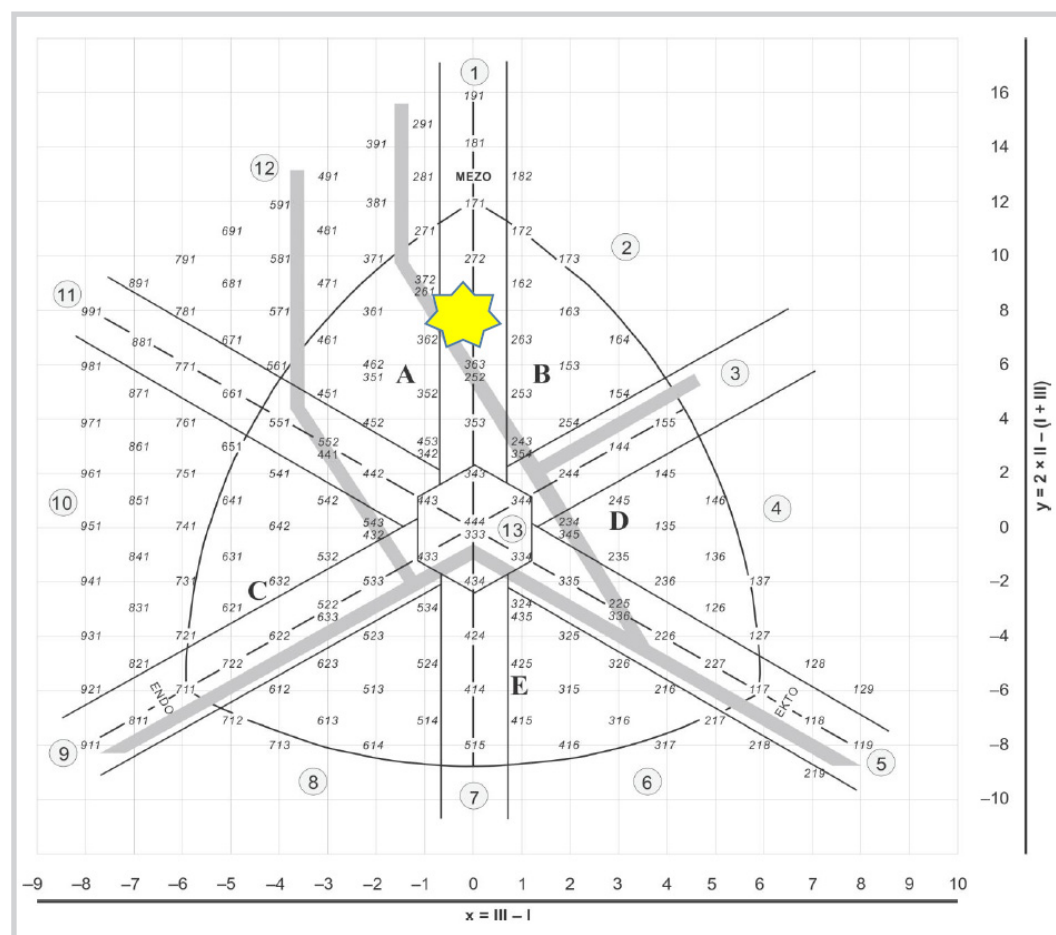
Hráči nejvyšší české hokejové ligy (ELH) mají průměrnou výšku okolo 184 cm a jsou o 4–5 kg lehčí v porovnání s hráči NHL. Hráči ruské KHL pak vykazují podobné hodnoty tělesné výšky jako čeští profesionální hokejisté, zatímco hmotnostně jsou srovnatelní s hráči kanadsko-americké NHL.

Zastoupení celkového tělesného tuku se u současných vrcholových hráčů ledního hokeje doporučuje v intervalu 8–12 % (u hráčů české ELH se nejčastěji uvádějí hodnoty 12–14 %). Vyšší hmotnost při stejném procentu tělesného tuku znamená výhodu v podobě rozvinutější svalové komponenty, což lze např. považovat za signifikantní ukazatel vysoké výkonnosti hráčů NHL, a tedy jako faktor podmiňující vstup a následný úspěch v této elitní hokejové soutěži.

Tělesná konstituce vyjádřená somatotypem a oblastí optimální lokalizace je kategorie vyrovnaných mezomorfů (2–6–2), endomorfních mezomorfů (3–6–2) a ektomorfních mezomorfů (2–6–3; 2–6–4), (obrázek 2).

Obrázek 2

Oblast optimální lokalizace výskytu somatotypu – lední hokej (muži)



2.3 Fyziologická charakteristika výkonu v ledním hokeji

Lední hokej je typickým příkladem sportu s *intervalovým typem zatížení*, při kterém hráči na ledě během jednoho střídání stráví přibližně od 30 do 90 s, přičemž za optimální „ice time“ se v současné době považuje 45 s. Po něm následuje dle počtu hráčů (resp. útočných a obranných formací) v týmu pasivní zotavení na střídačce v rozmezí 120–240 s. Pečlivé střežení času jednoho střídání na ledě má svůj fyziologický význam, protože hráči jsou během relativně krátké doby vystaveni vysoké intenzitě zatížení, což vede k silné stimulaci anaerobního metabolismu a produkci laktátu, resp. k acidóze způsobené nárůstem koncentrace H^+ , která vyvolává akutní svalovou únavu a vede k poklesu výkonu. Hladina krevního laktátu jakožto nepřímého ukazatele zakyselení organismu se u hráčů pohybuje okolo 15 mmol/l, což dokumentuje i relativně vysokou anaerobní kapacitu hráčů. Jedním z důležitých adaptačních mechanismů, které umožňují hráčům rychle se vyrovnat s výrazným narušením acidobazické rovnováhy během střídání, je zvýšená pufrací kapacita krve neboli účinnější pufrací systém, který dokáže rychleji neutralizovat kationty vodíku a tím připravit vnitřní prostředí organismu na další maximální výkon. K rychlejšímu zotavení hráčů přispívá také vyšší hodnota $\dot{V}O_{2max}$, která se u hráčů pohybuje v rozmezí 53–58 ml/kg/min, ačkoliv je třeba podotknout, že i mezi hokejisty jsou hráči disponující hodnotou $\dot{V}O_{2max}$ okolo 65 ml/kg/min.

Z povahy zatížení plyne, že hokejisté budou čerpat energii pro resyntézu ATP především ze sacharidových zdrojů, přesto vyšší aerobní kapacita hráčům umožňuje v zotavení během pozdějších fází utkání v omezené míře využít i energii pocházející z tukových zásob. Experimentálně bylo prokázáno, že silově-rychlostní parametry hokejového výkonu lze zvýšit suplementací kreatinfosfátu jakožto nejrychlejšího energetického zdroje pro resyntézu svalového ATP.

Hráči hokeje během sezóny procházejí tradičním laboratorním testováním kondičních schopností. K nejtypičtějším testům patří test anaerobní kapacity – *30s Wingate test*. Jde o test prováděný na speciálně upraveném bicyklovém ergometru umožňujícím dosahovat krátkodobého (5s) maximálního výkonu, který se pohybuje okolo 1300–1600 W (12–16 W/kg). Explosivní síla dolních končetin se testuje i pomocí různých druhů provedení vertikálních skoků, kdy silově vyspělí hráči dosahují výšky výskoku 45–55 cm. Výška vertikálního skoku mimo jiné také nepřímo naznačuje distribuci svalových vláken, přičemž vyšších hodnot dosahují zpravidla hráči s vyšším zastoupením rychlých glykolytických vláken (explosivní typy hráčů), která mají na rozdíl od pomalých červených vláken také vyšší tendenci ke svalové hypertrofii. Z dřívějších výzkumů je známo, že hokejisté se vyznačují vyrovnanou distribucí rychlých a pomalých vláken.

Vytrvalostní složka výkonu se u hráčů testuje během maximálního zátěžového testu, který je v České republice historicky prováděn na bicyklovém ergometru. Nicméně postupně se mění tréninkové metody a formy zatěžování vyvolávají diskuzi o vhodnosti přechodu na běhací pás. Hodnoty P_{max} se pohybují kolem 4,5–5,5 W/kg. Hokejisté se řadí mezi sportovce s vysokou silou svalů ruky a předloktí (odpovídající 55–65 kg), která se testuje pomocí *hand-grip testu*.

3 Fyziologické aspekty běhů na krátké tratě

Běhy na krátké tratě (sprinty) patří mezi nejpobulárnější atletické disciplíny. Mezinárodní atletická federace (World Athletics, dříve IAAF) definuje sprinty jako běhy do 400 m s olympijskými disciplínami 100, 200 a 400 m. Program halových soutěží obsahuje také běhy na 60 m.

Obecně lze říci, že hlavními determinantami sprinterského výkonu jsou vysoce rozvinuté rychlostní a silové schopnosti. Výsledný čas je dán dobou startovní reakce, akcelerací a maximální běžeckou rychlostí, u sprintů na 200 a 400 m také rychlostní vytrvalostí. Nejvyšších maximálních rychlostí dosahují běžci na 100 m*. Ženy dosahují ve všech sprinterských disciplínách horších výkonů než muži, což je patrné z tabulky 1, která uvádí hodnoty světových a českých rekordů mužů a žen ve sprinterských disciplínách.

Tabulka 1

Světové a české rekordy v bězích na krátké tratě (k roku 2023; časy uvedeny v sekundách; zdroj dat: World Athletics a Český atletický svaz)

Disciplína	Světové rekordy		České rekordy	
	muži	ženy	muži	ženy
60 m (hala)	6,34	6,92	6,58	7,23
100 m	9,58	10,49	10,16	11,09
200 m	19,19	21,34	20,46	21,97
400 m	43,03	47,60	44,49	47,99

3.1 Somatická a fyziologická charakteristika sprinterů

Somatické charakteristiky základních parametrů u současných sprinterů představují hodnoty tělesné výšky okolo 180–185 cm (muži) a 170–175 cm (ženy), avšak tyto parametry do značné míry souvisejí se specializací na konkrétní sprinterskou disciplínu. Obecně lze říci, že specialisté na 60 m dosahují nižšího tělesného vzrůstu (okolo 170–180 cm). Vyznačují se relativně krátkými a silově velmi dobře vybavenými dolními končetinami, které díky výhodnějším pákovým poměrům umožňují efektivnější akceleraci po startu. Samozřejmě i v této oblasti nacházíme jedince s nadprůměrnou výškou, která se pak může promítnout do samotného výkonu ve smyslu možného výhodnějšího zapojení tělesných segmentů v rámci biomechaniky pohybu realizovaného v krátkém časovém úseku. S rostoucí délkou trati roste význam maximální běžecké rychlosti, která je úzce spjata s délkou běžeckého kroku, a tedy i s těles-

* Současný světový rekordman Usain Bolt (Jamajka) dokázal překonat trať na 100 m v čase 9,58 s, přičemž běžel maximální rychlostí 44,72 km/h.

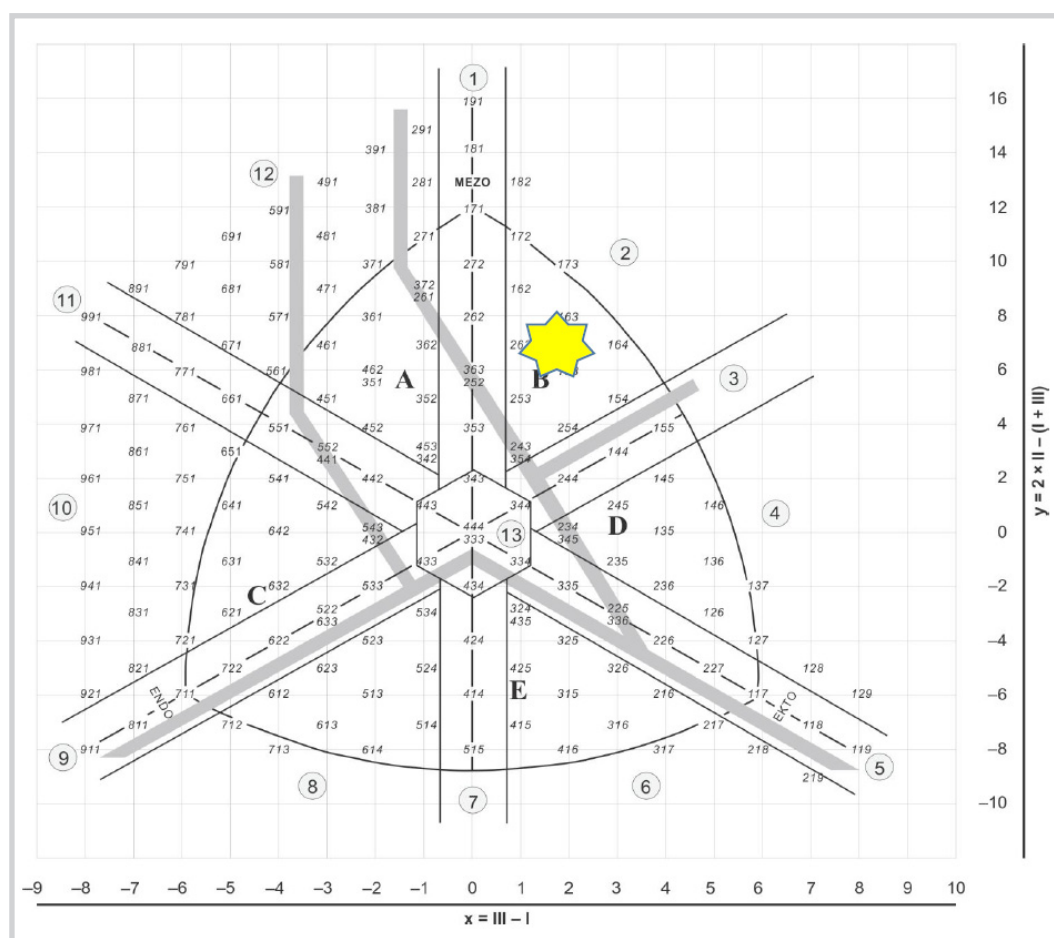
nou výškou. Nejvyšších postav dosahují běžci na 400 m, kdy většina špičkových běžců spadá do rozmezí 180–200 cm.

Hodnoty tělesné hmotnosti se u mužů sprinterů pohybují v intervalu optima 75–82 kg a u žen sprinterek 55–62 kg. Důležitým ukazatelem je pak i zastoupení celkového tělesného tuku. U mužů lze považovat za určité optimum 6–8 %, u žen pak 13–16 %.

Ze somatotypického hlediska řadíme sprintery mezi nejmuskulaturnější běžce. Optimální somatotyp u mužů sprinterů se primárně vyskytuje v oblastech vyrovnaných mezomorfů (1,5–6–2) a ektomorních mezomorfů (1,5–6–3; 2–6–4), (obrázek 3). Lehké odchylky od těchto hodnot zaznamenáváme u běžců na 400 m, kteří vykazují nižší hodnoty mezomorfie a nárůst hodnoty ektomorní komponenty (1,5–4,6–3,4). U žen sprinterek pak hovoříme především o oblasti vyrovnaných mezomorfů (2,5–4,5–2,5) nebo výskytu v oblasti tzv. centrálních typů (3–4–3).

Obrázek 3

Oblast optimální lokalizace výskytu somatotypu – atletika, krátké běhy (muži)



Sprinteré jsou charakterističtí vysokým poměrem zastoupení rychlých svalových vláken. Nejvyšší podíl rychlých svalových vláken (více než 70 %) zaznamenáváme u specialistů na krátké sprinty (60 a 100 m). Podíl rychlých svalových vláken u čtvrtkařů (běžců na 400 m) je nižší, v průměru okolo 60 %. Naopak hodnoty $\dot{V}O_2\text{max}$ jsou u čtvrtkařů v porovnání se specialisty na krátké sprinty nejvyšší. Průměrné hodnoty $\dot{V}O_2\text{max}$ u čtvrtkařů činí 60 ml/kg/min, u běžců na 200 m 55 ml/kg/min. Nejnižších hodnot $\dot{V}O_2\text{max}$ dosahují běžci na 60 a 100 m (50 ml/kg/min).

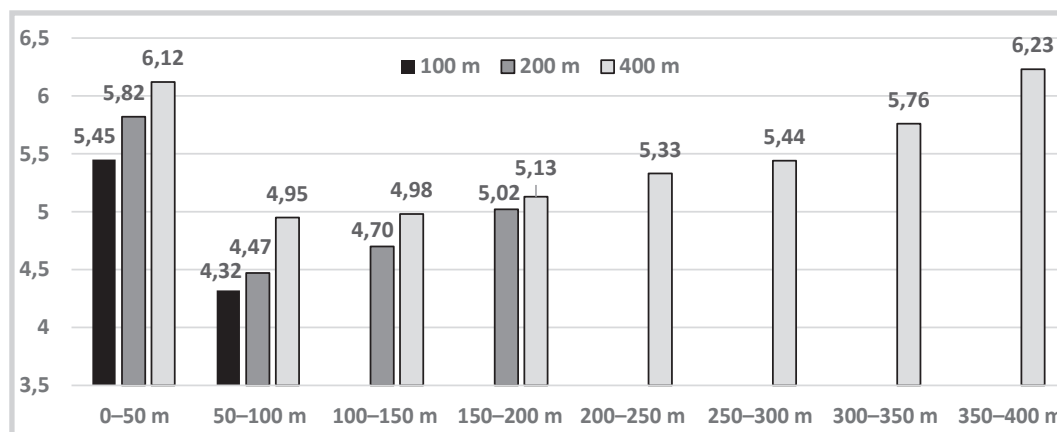
3.2 Metabolická charakteristika sprinterských disciplín

Kvalitní sprinterské výkony jsou podmíněny rychlým uvolňováním energie ve svalech, jejichž činnost je nezbytná pro pohyb atleta vpřed. Na uspokojování těchto energetických požadavků (resyntéze ATP) se různou měrou podílejí všechny tři energetické systémy: ATP-CP systém (fosfagenový), anaerobní glykogenolýza a oxidativní fosforylace. Jejich podíl se mění v závislosti na celkové době zatížení, resp. délce trati. Krátké sprinty (běhy na 60 a 100 m) jsou výkony maximální intenzity s délkou trvání do 6,5 s, resp. 10 s (elitní sprinteři). Dominantním zdrojem ATP v průběhu výkonu je ATP-CP systém, v němž je prostřednictvím enzymu kreatinkinázy štěpen kreatinfosfát (CP) na kreatin a anorganický fosfát, který je následně využit k rychlé resyntéze ATP. ATP-CP systém sice vykazuje nejvyšší účinnost v průběhu prvních 2 s zatížení, ale vysoká úroveň produkce ATP je udržitelná po dobu 6–10 s, což koresponduje s výkony elitních sprinterů na 60 a 100 m.

Jedním z limitujících faktorů výkonnosti v krátkých sprintech je počáteční koncentrace CP (16–28 mmol/kg) ve svalech. Dostatečné zásoby CP umožňují běžci jak počáteční akceleraci, tak setrvání v maximální běžecké rychlosti. V okamžiku poklesu koncentrace CP zaznamenáváme také pokles běžecké rychlosti. K tomu dochází v případě běhu na 100 m přibližně ve 3/4 délky trati. S klesajícím podílem systému ATP-CP na celkové produkci ATP je energetická poptávka vyrovnána rychlou stimulací procesů anaerobní glykogenolýzy. Ta se na celkové produkci ATP při maximálních výkonech do 10 s podílí přibližně 55 %. Protože žádné tělesné cvičení není striktně anaerobní, i v případě sprintů na 60 a 100 m dochází k resyntéze ATP prostřednictvím oxidativní fosforylace. Příspěvek tohoto metabolického systému na celkové produkci ATP v průběhu výkonu se pohybuje mezi 5–8 %.

Obrázek 4

Průměrné hodnoty časů (s) 50m segmentů tratí na 100, 200 a 400 m u medailistů mistrovství světa v atletice 1999 v Seville (Ferro et al., 2001; upraveno)

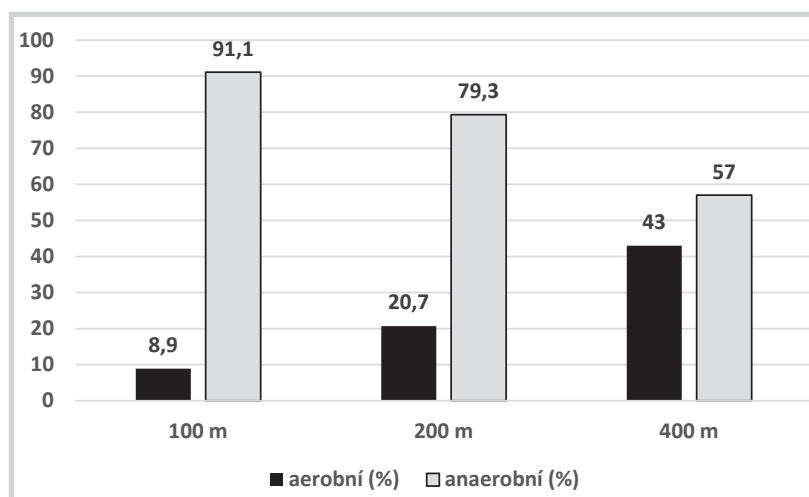


S rostoucí délkou trati klesá možnost udržet maximální intenzitu zatížení. Dochází k poklesu běžecké rychlosti. Porovnání mezičasu na 50m úsecích sprintů na 100–400 m ukazuje obrázek 4. Kumuluje se periferní únava především v důsledku rostoucí koncentrace H^+ a s ní souvisejícím poklesem pH v pracujících svalech. Přínos jednotlivých energetických systémů se postupně vyrovnává (obrázek 5). Zatímco běh na 200 m je zřetelně anaerobní aktivita, na 400m trati začínají hrát důležitou roli také aerobní procesy, které hradí 43% energetické poptávky. O nerovnováze mezi tvorbou a utilizací laktátu, a tedy i intenzitě zatížení v průběhu výkonu, vypovídají také průměrné hodnoty pozátěžových koncentrací krevního laktátu.

Ty u sprinterů na 100 m dosahují 10 mmol/l krve, u běžců na 200 m tuto hodnotu přesahují. Nejvyšší hladiny jsou zaznamenávány u běžců na 400 m (až 20 mmol/l). Jednou z determinantů dobré výkonnosti v běhu na 400 m je tedy i odolnost organismu vůči projevům metabolické acidózy. Podíl jednotlivých energetických systémů na celkovém hrazení energie v průběhu výkonu je nezbytné zohlednit také v koncepci sportovní přípravy pro jednotlivé disciplíny.

Obrázek 5

Procentuální podíl aerobního a anaerobního metabolismu na hrazení energetické poptávky svalové práce v průběhu sprinterského výkonu u mužů (Spencer & Gastin, 2001; Duffield, Dawson, & Goodman, 2004; upraveno)



3.3 Adaptace organismu na sprinterský trénink

Adaptace organismu na sprinterský trénink se odehrávají v několika rovinách. Vedle metabolických adaptací dochází v důsledku tréninku také ke zlepšení vnitrosvalové pufrací kapacity a k morfológico-funkčním svalovým adaptacím.

Metabolické adaptace. Metabolické adaptace jsou spojovány se zvýšenou schopností svalů produkovat energii. Toho může být dosaženo různými mechanismy: zvýšením enzymatické aktivity, zvětšením zásob energetických substrátů nebo zvýšenou schopností organismu odolávat kumulaci metabolitů spojených se vznikem svalové únavy, především H^+ . Charakter metabolických adaptací je do značné míry závislý na volbě tréninkových prostředků. Krátkodobé intervaly zatížení maximální intenzity (5–10 s) s plným intervalem odpočinku jsou asociovány se zvýšením efektivity fosfagenového systému, nárůstem aktivity enzymů myokinázy (o 3–20 %) a kreatinkinázy. Nárůsty klidových hodnot CP ve svaích nebyly explicitně prokázány. Využití delších intervalů zatížení nebo kombinace krátkých (do 10 s) a delších (nad 10 s) intervalů zatížení vyvolává adaptační odpověď enzymatického aparátu glykolytických procesů. Zvyšuje se především aktivita enzymů fosfofruktokinázy a laktátdehydrogenázy. Vysoce intenzivní intervalový trénink s využitím intervalů zatížení v délce trvání přibližně 30 s se podílí také na rozvoji aerobní kapacity organismu. V důsledku tréninku se zvyšuje aktivita klíčových aerobních enzymů sukcinátdehydrogenázy a citrát syntázy.

Morfológico-funkční adaptace kosterního svalstva. Hlavní adaptací na sprinterský trénink je svalová hypertrofie spolu s uchováním nebo zlepšením poměru svalových vláken I. a II. typu. Předpokládáme nárůst svalové síly a tím i sprinterské výkonnosti. Nicméně dosažení tohoto

Vážení čtenáři, právě jste dočetli ukázkou z knihy Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část II.). Pokud se Vám ukázka líbila, na našem webu si můžete zakoupit celou knihu.