

Dalibor Pastucha a kolektiv

---

# Tělovýchovné lékařství

Vybrané kapitoly

---





Dalibor Pastucha a kolektiv

---

# **Tělovýchovné lékařství**

**Vybrané kapitoly**

---

**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**.

**MUDr. Dalibor Pastucha, Ph.D., MBA a kolektiv**

# **TĚLOVÝCHOVNÉ LÉKAŘSTVÍ**

## **Vybrané kapitoly**

**Hlavní autor a editor:**

MUDr. Dalibor Pastucha, Ph.D., MBA

**Kolektiv autorů:**

Doc. MUDr. Staša Bartůňková, CSc. – *Katedra fyziologie a biochemie, FTVS UK v Praze* (kap. 1)

Mgr. Radka Filipčíková, Ph.D., MBA – *Ústav normální anatomie, LF UP v Olomouci* (kap. 6, 15)

Prof. MUDr. Jiří Gallo, Ph.D. – *Ortopedická klinika, FN a LF UP v Olomouci* (kap. 11)

Ing. Petr Havlíček – *Centrum Vittore, Praha* (kap. 8)

MUDr. Jiří Hyjánek, Ph.D. – *U.S.G. POL s.r.o., Olomouc* (kap. 2, 5, 10)

MUDr. Radim Kalina, Ph.D. – *Ortopedická klinika, FN a LF UP v Olomouci* (kap. 11)

MUDr. Petr Konečný, Ph.D., MBA – *Centrum léčebné rehabilitace, Nemocnice Prostějov* (kap. 4)

Doc. PaedDr. František Langer, CSc. – *Katedra sportu, FTK v Olomouci* (kap. 6)

MUDr. Radomír Maráček, MBA – *Klinika tělovýchovného lékařství a kardiiovaskulární rehabilitace, FN a LF UP v Olomouci* (kap. 10)

MUDr. Jana Malinčíková, Ph.D. – *Klinika tělovýchovného lékařství a kardiiovaskulární rehabilitace, FN a LF UP v Olomouci* (kap. 4, 7, 10)

MUDr. Dalibor Pastucha, Ph.D., MBA – *Klinika tělovýchovného lékařství a kardiiovaskulární rehabilitace, FN a LF UP v Olomouci* (kap. 4, 8, 9, 10, 13, 15)

Doc. RNDr. Miroslava Přidalová, Ph.D. – *Katedra přírodních věd v kinantropologii, FTK UP v Olomouci* (kap. 4)

Prof. MUDr. Eliška Sovová, Ph.D., MBA – *Klinika tělovýchovného lékařství a kardiiovaskulární rehabilitace, FN a LF UP v Olomouci* (kap. 3, 4, 12, 13)

Mgr. Michal Šafář, Ph.D. – *Katedra společenských věd v kinantropologii, FTK UP v Olomouci* (kap. 14)

**Recenzovali:**

Doc. PaedDr. Tomáš Dohnal, CSc.

Prof. MUDr. Dušan Meško, Ph.D.

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

© Grada Publishing, a.s., 2014

Cover Photo © allphoto, 2014

---

**TIRÁŽ TIŠTĚNÉ PUBLIKACE:**

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 5680. publikaci

Odpovědný redaktor Mgr. Jan Lomíček

Sazba a zlom Jan Šístek

Obrázky dodali autoři.

Počet stran 288 + 2 strany barevné přílohy

1. vydání, Praha 2014

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.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 léčích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění ale nevyplývají pro autory ani pro nakladatelství žádné právní důsledky.

**ISBN 978-80-247-4837-5**

---

**ELEKTRONICKÉ PUBLIKACE:**

**ISBN 978-80-247-9482-2 (pro formát PDF)**

**ISBN 978-80-247-9483-9 (pro formát EPUB)**

# Obsah

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Předmluva</b> .....                                             | <b>15</b> |
| <b>1 Reakce a adaptace na zátěž</b> .....                          | <b>17</b> |
| 1.1 Terminologie .....                                             | 17        |
| 1.2 Faktory ovlivňující odpověď na zátěž .....                     | 18        |
| 1.2.1 Věk .....                                                    | 18        |
| 1.2.2 Pohlaví .....                                                | 18        |
| 1.2.3 Antropometrické parametry .....                              | 18        |
| 1.2.4 Genetika .....                                               | 19        |
| 1.2.5 Zdravotní stav .....                                         | 19        |
| 1.2.6 Vlivy zevního prostředí .....                                | 19        |
| 1.3 Reaktivní změny při zatížení .....                             | 20        |
| 1.3.1 Řídicí systémy .....                                         | 20        |
| 1.3.2 Funkce transportních systémů .....                           | 22        |
| 1.3.3 Metabolismus při zatížení .....                              | 27        |
| 1.3.4 Termoregulace při fyzickém zatížení .....                    | 34        |
| 1.3.5 Reaktivní změny ve vnitřním prostředí .....                  | 36        |
| 1.3.6 Renální exkrece při zatížení .....                           | 38        |
| 1.3.7 Pohybový systém .....                                        | 39        |
| 1.4 Adaptace na pohybové zatížení .....                            | 45        |
| 1.4.1 Neuroendokrinní adaptace .....                               | 45        |
| 1.4.2 Kardiorespirační adaptace .....                              | 45        |
| 1.4.3 Adaptace nervosvalového systému na různé typy tréninku ..... | 47        |
| 1.4.4 Adaptace vnitřního prostředí .....                           | 49        |
| 1.4.5 Adaptace organismu na zevní prostředí .....                  | 50        |
| <b>2 Dědičné faktory výkonnosti</b> .....                          | <b>53</b> |
| 2.1 Úvod .....                                                     | 53        |
| 2.1.1 Historie .....                                               | 53        |
| 2.2 Dědičnost svalové hmoty .....                                  | 54        |
| 2.2.1 Rozdělení svalových vláken .....                             | 54        |
| 2.2.2 Adaptace anaerobního systému získávání energie .....         | 54        |
| 2.2.3 Adaptace aerobního systému získávání energie .....           | 54        |
| 2.2.4 Geneticky podmíněné neuromuskulární poruchy .....            | 54        |
| 2.3 Některé geny ovlivňující výkonnost .....                       | 55        |
| 2.3.1 Gen pro ACE .....                                            | 55        |
| 2.3.2 Gen pro AMPK .....                                           | 56        |
| 2.3.3 Další geny ovlivňující svalovou vytrvalost .....             | 56        |
| 2.3.4 Gen pro ACTN3 .....                                          | 56        |
| 2.3.5 Geny ovlivňující svalový růst .....                          | 56        |
| 2.4 Závěr .....                                                    | 56        |

|          |                                                   |           |
|----------|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>3</b> | <b>Hodnocení funkčního stavu, zátěžové testy</b>  | <b>59</b> |
| 3.1      | Vlastnosti zátěžových testů                       | 59        |
| 3.1.1    | Bezpečnost, komplikace                            | 59        |
| 3.1.2    | Jednoduchost, objektivnost                        | 59        |
| 3.1.3    | Reprodukovatelnost                                | 59        |
| 3.1.4    | Validita testu (správnost)                        | 59        |
| 3.1.5    | Spolehlivost (reliabilita)                        | 59        |
| 3.1.6    | Senzitivita testu                                 | 59        |
| 3.1.7    | Specifická testu                                  | 59        |
| 3.1.8    | Predikční hodnota                                 | 60        |
| 3.2      | Rozdělení zátěžových testů                        | 60        |
| 3.2.1    | Dělení podle místa konání testu                   | 60        |
| 3.2.2    | Dělení podle velikosti zatížení                   | 60        |
| 3.2.3    | Dělení podle metabolických pochodů                | 60        |
| 3.2.4    | Další dělení testů                                | 61        |
| 3.2.5    | Dynamická zátěž                                   | 61        |
| 3.2.6    | Statická zátěž                                    | 62        |
| 3.2.7    | Farmakologická zátěž                              | 62        |
| 3.2.8    | Psychická zátěž                                   | 62        |
| 3.3      | Protokoly zátěžových testů                        | 62        |
| 3.4      | Indikace zátěžového vyšetření                     | 63        |
| 3.5      | Kontraindikace zátěžového testu                   | 64        |
| 3.5.1    | Absolutní kontraindikace                          | 64        |
| 3.5.2    | Relativní kontraindikace                          | 64        |
| 3.6      | Podmínky testu                                    | 64        |
| 3.6.1    | Prostředí                                         | 64        |
| 3.6.2    | Přístroje, vlastnosti přístrojů, kontrola kvality | 64        |
| 3.6.3    | Bezpečnost                                        | 65        |
| 3.6.4    | Personál                                          | 65        |
| 3.7      | Postup před zátěžovým testem                      | 65        |
| 3.8      | Sledování během zátěže                            | 66        |
| 3.8.1    | Subjektivní hodnocení stupně zátěže               | 66        |
| 3.9      | Indikace k ukončení zátěžového testu              | 67        |
| 3.9.1    | Fyziologická kritéria                             | 67        |
| 3.9.2    | Patologická kritéria                              | 67        |
| 3.10     | Sledování po ukončení zátěže                      | 67        |
| 3.11     | Bicyklová ergometrie, dvoustupňová ergometrie     | 67        |
| 3.12     | Spiroergometrie                                   | 69        |
| 3.13     | Tělesná výkonnost pacienta                        | 69        |
| 3.13.1   | Výkon pacienta                                    | 70        |
| 3.13.2   | Metabolický ekvivalent                            | 71        |
| 3.13.3   | Energetický výdej                                 | 71        |
| 3.13.4   | Silový výkon                                      | 72        |
| 3.14     | Transportní parametry                             | 72        |
| 3.14.1   | Tepová frekvence                                  | 72        |
| 3.14.2   | Krevní tlak                                       | 72        |

|          |                                                            |           |
|----------|------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.14.3   | Index srdeční práce                                        | 73        |
| 3.14.4   | Ventilační hodnoty                                         | 73        |
| 3.14.5   | Respirační hodnoty, aerobní schopnost organismu            | 74        |
| 3.14.6   | Omezení aerometabolických schopností                       | 75        |
| 3.14.7   | Ventilační práh (VT)                                       | 76        |
| 3.14.8   | Respirační výměnný koeficient (RER)                        | 77        |
| 3.15     | Hodnocení EKG při zátěži                                   | 77        |
| 3.15.1   | Fyziologické změny EKG při zátěži                          | 78        |
| 3.15.2   | Patologické změny EKG při zátěži                           | 78        |
| 3.15.3   | Falešně negativní a falešně pozitivní změny EKG při zátěži | 78        |
| 3.16     | Měření svalové síly                                        | 79        |
| 3.16.1   | Izometrická síla                                           | 79        |
| 3.16.2   | Izokinetická síla                                          | 79        |
| 3.17     | Zátěžové testy v diagnostice ICHS                          | 79        |
| 3.18     | Zátěžové testy po akutním koronárním syndromu              | 80        |
| 3.19     | Zátěžové testy u srdečního selhání                         | 80        |
| 3.20     | Zátěžové testy u chlopenních vad                           | 81        |
| 3.21     | Zátěžové testy u nemocných s arytmií                       | 81        |
| 3.22     | Zátěžové testy u systémové hypertenze                      | 81        |
| 3.23     | Zátěžové testy u dušnosti nejasné etiologie                | 81        |
| 3.24     | Zátěžové testy u osob před operací plic                    | 82        |
| 3.25     | Zátěžové testy u pacientů s kardiostimulátorem             | 82        |
| <b>4</b> | <b>Preventivní prohlídka tělovýchovným lékařem</b>         | <b>85</b> |
| 4.1      | Antropometrická měření                                     | 87        |
| 4.1.1    | Individuální proporcionalita                               | 88        |
| 4.1.2    | Normalizační indexy (SD-skóre, Z-skóre)                    | 90        |
| 4.1.3    | Percentilové grafy                                         | 91        |
| 4.1.4    | Optimální tělesná hmotnost                                 | 92        |
| 4.1.5    | Distribuce tuku                                            | 95        |
| 4.1.6    | Tělesné složení                                            | 97        |
| 4.1.7    | Biologický věk                                             | 106       |
| 4.1.8    | Typologie                                                  | 109       |
| 4.2      | Klinické vyšetření                                         | 114       |
| 4.2.1    | Anamnéza                                                   | 114       |
| 4.2.2    | Fyzikální vyšetření                                        | 114       |
| 4.2.3    | Laboratorní vyšetření                                      | 114       |
| 4.2.4    | Elektrokardiogram (EKG) sportovců                          | 115       |
| 4.3      | Vyšetření pohybového systému                               | 118       |
| 4.3.1    | Vyšetření vestoje                                          | 118       |
| 4.3.2    | Vyšetření svalových dysbalancí                             | 119       |
| 4.3.3    | Vyšetření pohybových stereotypů                            | 122       |
| 4.3.4    | Testy zaměřené na hlubokou stabilizaci páteře              | 122       |
| 4.3.5    | Funkční poruchy                                            | 123       |
| 4.3.6    | Pomocná přístrojová vyšetření pohybového systému           | 123       |

|          |                                                                                                |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4      | Vyšetření funkční .....                                                                        | 123        |
| 4.4.1    | Dvoustupňová ergometrie, W 170/kg, spiroergometrie .....                                       | 123        |
| <b>5</b> | <b>Sex testy ve sportu .....</b>                                                               | <b>127</b> |
| 5.1      | Úvod .....                                                                                     | 127        |
| 5.2      | Somatosexuální poruchy (DSD – Disorders of sexual development) ....                            | 127        |
| 5.2.1    | SRY gen .....                                                                                  | 127        |
| 5.2.2    | Poruchy pohlavních chromozomů .....                                                            | 128        |
| 5.3      | Poruchy pohlavního vývoje .....                                                                | 129        |
| 5.3.1    | Poruchy vývoje varlat .....                                                                    | 129        |
| 5.3.2    | Poruchy syntézy a účinku androgenů<br>(tzv. androgenní insenzivita) .....                      | 130        |
| 5.3.3    | Poruchy vývoje vaječníků .....                                                                 | 130        |
| 5.3.4    | Nadbytek androgenů .....                                                                       | 130        |
| 5.4      | Mutace genů na autozomech .....                                                                | 130        |
| 5.5      | Biologický materiál .....                                                                      | 131        |
| 5.6      | Rozdělení genetických laboratorních metod .....                                                | 131        |
| 5.6.1    | Cytogenetické vyšetření .....                                                                  | 131        |
| 5.6.2    | Molekulárně-cytogenetické vyšetření – Fluorescenční <i>in situ</i><br>hybridizace (FISH) ..... | 132        |
| 5.6.3    | DNA diagnostika – detekce pohlaví metodami PCR<br>(polymerázová řetězová reakce) .....         | 132        |
| 5.6.4    | Závěr .....                                                                                    | 132        |
| <b>6</b> | <b>Trénink .....</b>                                                                           | <b>135</b> |
| 6.1      | Anaerobní trénink .....                                                                        | 135        |
| 6.2      | Aerobní trénink .....                                                                          | 135        |
| 6.3      | Silový (odporový) trénink .....                                                                | 136        |
| 6.4      | Funkční (3D) trénink .....                                                                     | 136        |
| 6.5      | Vliv prostředí na trénink a výkonnost .....                                                    | 137        |
| 6.5.1    | Vliv tepla .....                                                                               | 137        |
| 6.5.2    | Vliv chladu .....                                                                              | 138        |
| 6.6      | Důsledky neadekvátní zátěže na organismus .....                                                | 139        |
| 6.6.1    | Únava .....                                                                                    | 139        |
| 6.6.2    | Přetížení (overload) .....                                                                     | 140        |
| 6.6.3    | Přepětí (overreaching) .....                                                                   | 141        |
| 6.6.4    | Přetrénování (overtraining) .....                                                              | 141        |
| 6.6.5    | Abstinenční příznaky .....                                                                     | 141        |
| <b>7</b> | <b>Regenerace sil .....</b>                                                                    | <b>143</b> |
| 7.1      | Formy regenerace .....                                                                         | 143        |
| 7.1.1    | Pasivní regenerace .....                                                                       | 143        |
| 7.1.2    | Aktivní regenerace .....                                                                       | 144        |
| 7.1.3    | Časná regenerace .....                                                                         | 144        |
| 7.1.4    | Pozdní regenerace .....                                                                        | 144        |
| 7.1.5    | Fáze aplikace regeneračních postupů .....                                                      | 144        |

|          |                                                                             |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.2      | Regenerační prostředky                                                      | 144        |
| 7.2.1    | Pedagogické prostředky                                                      | 145        |
| 7.2.2    | Psychologické prostředky                                                    | 145        |
| 7.2.3    | Biologické prostředky                                                       | 145        |
| 7.3      | Regenerace ve sportovní praxi                                               | 150        |
| <b>8</b> | <b>Výživa a pitný režim sportovce, potravinové doplňky</b>                  | <b>153</b> |
| 8.1      | Obecná pravidla výživy                                                      | 153        |
| 8.2      | Sacharidy                                                                   | 154        |
| 8.2.1    | Vláknina                                                                    | 155        |
| 8.2.2    | Sacharidy během tréninku a fyzické aktivity                                 | 156        |
| 8.3      | Lipidy                                                                      | 156        |
| 8.3.1    | Rozdělení mastných kyselin                                                  | 156        |
| 8.4      | Proteiny                                                                    | 157        |
| 8.5      | Pitný režim sportovce                                                       | 159        |
| 8.5.1    | Příznaky dehydratace                                                        | 159        |
| 8.5.2    | Doporučené množství tekutin dle délky zátěže                                | 160        |
| 8.6      | Potravinové doplňky                                                         | 161        |
| 8.6.1    | Dělení                                                                      | 161        |
| 8.6.2    | Sacharidové doplňky stravy                                                  | 162        |
| 8.6.3    | Proteinové doplňky stravy                                                   | 162        |
| 8.6.4    | Aminokyseliny – vybrané                                                     | 162        |
| 8.7      | Nutrigenetika a nutrigenomika                                               | 163        |
| <b>9</b> | <b>Doping</b>                                                               | <b>165</b> |
| 9.1      | Definice dopingu                                                            | 165        |
| 9.2      | Seznam antidopingových pravidel                                             | 165        |
| 9.3      | Organizace a pravidla boje proti dopingu                                    | 166        |
| 9.4      | Průběh dopingové kontroly                                                   | 166        |
| 9.5      | Seznam zakázaných látek a metod                                             | 167        |
| 9.5.1    | Absolutně zakázané látky (zákaz v soutěžních a mimosoutěžních disciplínách) | 167        |
| 9.5.2    | Metody zakázané vždy (zákaz v soutěžních a mimosoutěžních disciplínách)     | 168        |
| 9.5.3    | Látky a metody zakázané při soutěži (všechny látky S1-5 a metody M1-3)      | 168        |
| 9.5.4    | Látky zakázané v určitých typech sportů                                     | 168        |
| 9.6      | Účinky vybraných zakázaných látek                                           | 168        |
| 9.6.1    | Anaboličké látky                                                            | 168        |
| 9.6.2    | Peptidové hormony, růstové faktory a související látky                      | 169        |
| 9.6.3    | Beta-2 agonisté                                                             | 169        |
| 9.6.4    | Diuretika a maskovací látky                                                 | 169        |
| 9.6.5    | Stimulancia                                                                 | 170        |
| 9.6.6    | Zvýšení přenosu kyslíku                                                     | 170        |
| 9.6.7    | Chemická a fyzikální manipulace                                             | 170        |
| 9.6.8    | Genový doping                                                               | 170        |
| 9.7      | Nežádoucí účinky dopingu                                                    | 171        |

|           |                                                                                                     |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.7.1     | Kardiovaskulární aparát .....                                                                       | 171        |
| 9.7.2     | Krev a vaskulární systém .....                                                                      | 171        |
| 9.7.3     | Kůže .....                                                                                          | 171        |
| 9.7.4     | Játra .....                                                                                         | 171        |
| 9.7.5     | Muskuloskeletární systém .....                                                                      | 172        |
| 9.7.6     | Endokrinní systém .....                                                                             | 172        |
| 9.7.7     | CNS .....                                                                                           | 172        |
| <b>10</b> | <b>Rizikové sporty .....</b>                                                                        | <b>175</b> |
| 10.1      | Typy rizikových sportů – dle prostředí .....                                                        | 175        |
| 10.2      | Rizikový způsob činnosti .....                                                                      | 175        |
| 10.3      | Rizikové prostředí .....                                                                            | 175        |
| 10.3.1    | Riziko vodního prostředí .....                                                                      | 176        |
| 10.3.2    | Riziko teploty prostředí .....                                                                      | 176        |
| 10.3.3    | Riziko vlivu vysoké nadmořské výšky .....                                                           | 177        |
| 10.3.4    | Nemoc z výšky – High Altitude Illness (HAI) .....                                                   | 179        |
| 10.4      | Sportovní potápění .....                                                                            | 181        |
| 10.4.1    | Kesonová nemoc .....                                                                                | 182        |
| 10.4.2    | Rizika freedivingu .....                                                                            | 183        |
| <b>11</b> | <b>Sportovní ortopedie a traumatologie .....</b>                                                    | <b>185</b> |
| 11.1      | Sportovní poranění hlavy .....                                                                      | 185        |
| 11.2      | Sportovní problematika páteře .....                                                                 | 186        |
| 11.2.1    | Poranění páteře .....                                                                               | 187        |
| 11.2.2    | Neúrazové problémy páteře .....                                                                     | 188        |
| 11.3      | Sportovní problémy ramenního kloubu .....                                                           | 189        |
| 11.3.1    | Luxace a nestability .....                                                                          | 190        |
| 11.3.2    | Zlomeniny v oblasti ramenního kloubu vznikající při sportu ...                                      | 192        |
| 11.3.3    | Poranění rotátorové manžety .....                                                                   | 192        |
| 11.3.4    | Impingement syndrom .....                                                                           | 193        |
| 11.3.5    | Přenesené bolesti .....                                                                             | 194        |
| 11.4      | Sportovní problematika lokte .....                                                                  | 194        |
| 11.4.1    | Zlomeniny a luxace v oblasti lokte .....                                                            | 194        |
| 11.4.2    | Syndromy z přetížení .....                                                                          | 195        |
| 11.4.3    | Nestabilní loket z chronické insuficience mediálního<br>ulnárního postranního vazy .....            | 196        |
| 11.4.4    | Ztuhlost lokte .....                                                                                | 196        |
| 11.5      | Sportovní problematika předloktí, zápěstí a ruky .....                                              | 196        |
| 11.5.1    | Zlomeniny a luxace .....                                                                            | 198        |
| 11.5.2    | Chronické stavy (tendinopatie, impingement syndromy,<br>ischemické nekrózy, úžinové syndromy) ..... | 198        |
| 11.6      | Sportovní problematika kyčle a stehna .....                                                         | 200        |
| 11.6.1    | Zlomeniny a luxace v oblasti kyčle .....                                                            | 201        |
| 11.6.2    | Pohmoždění kyčle a stehna .....                                                                     | 201        |
| 11.6.3    | Natažení svalů stehna .....                                                                         | 201        |
| 11.6.4    | Chronické stavy (tendinopatie, impingement syndromy,<br>ischemické nekrózy) .....                   | 202        |

|           |                                                                    |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.7      | Sportovní problematika kolena .....                                | 204        |
| 11.7.1    | Zlomeniny v oblasti kolena .....                                   | 204        |
| 11.7.2    | Poranění měkkých tkání kolena (vazy, menisky, chrupavka) ....      | 205        |
| 11.7.3    | Neúrazové bolestivé syndromy kolena .....                          | 207        |
| 11.8      | Sportovní problematika bérce, hlezna a nohy .....                  | 208        |
| 11.8.1    | Akutní zlomeniny v oblasti bérce, hlezna a nohy .....              | 209        |
| 11.8.2    | Akutní poranění měkkých tkání v oblasti hlezna a nohy .....        | 209        |
| 11.8.3    | Neúrazové bolestivé syndromy bérce .....                           | 210        |
| 11.8.4    | Neúrazové bolestivé syndromy v oblasti hlezna a nohy .....         | 211        |
| <b>12</b> | <b>Náhlá smrt při sportu .....</b>                                 | <b>215</b> |
| 12.1      | Příčiny náhlé smrti .....                                          | 215        |
| 12.2      | Definice náhlé srdeční smrti .....                                 | 215        |
| 12.3      | Příčiny a výskyt NSS .....                                         | 215        |
| 12.4      | Rizikové faktory náhlé srdeční smrti .....                         | 217        |
| 12.4.1    | Osoby nad 35 let .....                                             | 217        |
| 12.4.2    | Osoby do 35 let .....                                              | 217        |
| 12.5      | Vyšetření jako prevence rizika náhlé srdeční smrti .....           | 217        |
| 12.5.1    | Stanovení rizika u rodinných příslušníků .....                     | 217        |
| 12.5.2    | Skrínink u výkonnostních sportovců .....                           | 217        |
| 12.5.3    | Skrínink u běžné populace .....                                    | 221        |
| 12.6      | Další opatření ke snížení náhlé srdeční smrti .....                | 222        |
| 12.7      | Závěr .....                                                        | 223        |
| <b>13</b> | <b>Doporučené pohybové aktivity při různých onemocněních .....</b> | <b>227</b> |
| 13.1      | Vliv pohybové aktivity na různá onemocnění .....                   | 227        |
| 13.2      | Ordinace pohybové aktivity .....                                   | 228        |
| 13.3      | Ordinace pohybové aktivity v primární prevenci .....               | 228        |
| 13.4      | Kardiovaskulární rehabilitace .....                                | 232        |
| 13.4.1    | Indikace pro kardiovaskulární rehabilitaci .....                   | 232        |
| 13.4.2    | Kontraindikace pro kardiovaskulární rehabilitaci .....             | 232        |
| 13.4.3    | Rizika a komplikace .....                                          | 232        |
| 13.5      | ICHs .....                                                         | 233        |
| 13.6      | Akutní koronární syndrom .....                                     | 234        |
| 13.7      | Srdeční selhání .....                                              | 237        |
| 13.8      | Hypertenze .....                                                   | 237        |
| 13.8.1    | Hypertenze u dospělých .....                                       | 237        |
| 13.8.2    | Hypertenze u dětí a adolescentů (do 18 let) .....                  | 238        |
| 13.9      | Ischemická choroba dolních končetin .....                          | 238        |
| 13.10     | Plicní nemoci .....                                                | 239        |
| 13.10.1   | CHOPN .....                                                        | 239        |
| 13.10.2   | Astma .....                                                        | 239        |
| 13.10.3   | Plicní fibróza .....                                               | 239        |
| 13.11     | Onemocnění gastrointestinálního traktu .....                       | 239        |
| 13.12     | Obezita .....                                                      | 240        |
| 13.12.1   | Dětská obezita .....                                               | 240        |
| 13.13     | Diabetes mellitus .....                                            | 241        |

|                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 13.13.1 Diabetes mellitus II. typu .....                                              | 241        |
| 13.14 Onemocnění ledvin .....                                                         | 242        |
| 13.15 Onkologická onemocnění .....                                                    | 242        |
| 13.16 Osteoporóza .....                                                               | 242        |
| 13.17 Pohybová aktivita u dětí a mladistvých s kardiovaskulárním<br>onemocněním ..... | 243        |
| 13.17.1 Hypertrofická kardiomyopatie .....                                            | 244        |
| 13.17.2 Vrozená anomálie koronárních tepen .....                                      | 244        |
| 13.17.3 Wolfův-Parkinsonův-Whiteův syndrom .....                                      | 244        |
| 13.17.4 Poruchy iontových kanálů (LQT, Brugada, krátké QT) .....                      | 244        |
| 13.17.5 Arytmogenní dysplazie (kardiomyopatie) pravé komory .....                     | 244        |
| <b>14 Psychické aspekty sportovního výkonu .....</b>                                  | <b>247</b> |
| 14.1 Psychologie sportu .....                                                         | 247        |
| 14.2 Psychologické intervence .....                                                   | 247        |
| 14.2.1 Psychodiagnostika .....                                                        | 247        |
| 14.2.2 Psychologické poradenství, koučink a psychotrénink .....                       | 247        |
| 14.2.3 Psychoterapie .....                                                            | 249        |
| 14.3 Vybrané metody a techniky psychologické intervence .....                         | 249        |
| 14.3.1 Kontrola kognitivních procesů .....                                            | 249        |
| 14.3.2 Regulace emocí .....                                                           | 252        |
| 14.3.3 Optimalizace aktivační úrovně .....                                            | 254        |
| 14.3.4 Zdravá motivace .....                                                          | 255        |
| 14.3.5 Přiměřená sebedůvěra .....                                                     | 256        |
| 14.3.6 Metody a techniky odborné psychologické intervence .....                       | 256        |
| 14.3.7 Možnosti a meze psychologické intervence .....                                 | 258        |
| <b>15 Pohyb v dětském věku .....</b>                                                  | <b>261</b> |
| 15.1 Kojenecký věk .....                                                              | 261        |
| 15.2 Batolecí období .....                                                            | 263        |
| 15.3 Předškolní věk .....                                                             | 264        |
| 15.4 Mladší školní věk .....                                                          | 265        |
| 15.5 Starší školní věk .....                                                          | 267        |
| 15.6 Adolescence .....                                                                | 268        |
| <b>Seznam zkratk .....</b>                                                            | <b>271</b> |
| <b>Přílohy .....</b>                                                                  | <b>274</b> |
| Příloha 1 Populační tabulky pro W 170/kg .....                                        | 274        |
| Příloha 2 Percentilový graf – chlapci .....                                           | 275        |
| Příloha 3 Percentilový graf – dívky .....                                             | 276        |
| Příloha 4 Stanovení tělesného složení podle Matiegky .....                            | 277        |
| Příloha 5 Formulář pro výpočet somatotypu .....                                       | 278        |
| Příloha 6 Převod antropometrických dat na body somatotypu .....                       | 279        |
| Příloha 7 Migrační vzdálenosti .....                                                  | 280        |
| Příloha 8 Hodnocení mužských somatotypů dle estetického hlediska .....                | 281        |
| Příloha 9 Hodnocení ženských somatotypů dle estetického hlediska .....                | 282        |

|                                                                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Příloha 10 Dotazník sportovce ke zjištění potenciálně zjistitelných<br>nemocí srdce s vysokým rizikem náhlé srdeční smrti ..... | 283        |
| <b>Rejstřík .....</b>                                                                                                           | <b>285</b> |
| <b>Souhrn / Summary .....</b>                                                                                                   | <b>288</b> |



## Předmluva

Tělovýchovné lékařství je vysoce specializovaným a interdisciplinárním klinickým oborem, jehož základní náplní je tělesná a sportovní aktivita člověka v diagnostice, léčbě i prevenci. Je již dlouhodobě známým faktem, že lidské zdraví může být tělesným pohybem zlepšeno, ale na druhé straně také kvantitativně či kvalitativně neadekvátní zátěž může působit negativně a vést k poškození zdraví. Proto se náplň tělovýchovného lékařství dotýká celého lidského organismu a vyžaduje úzkou spolupráci s jinými lékařskými obory, např. vnitřním lékařstvím, všeobecným lékařstvím, pediatrií, dorostovým lékařstvím, chirurgií, ortopedií, rehabilitací, kardiologií, diabetologií, obezitologií, onkologií, preventivním lékařstvím, posudkovým lékařstvím, imunologií, hygienou práce, pracovním lékařstvím, genetikou a dalšími.

Tělovýchovné lékařství se dnes nezaměřuje pouze na péči o vrcholové sportovce a prevenci zdravotních komplikací vznikajících v souvislosti s nadměrnou či neadekvátní pohybovou aktivitou (včetně boje proti dopingu, nadužívání potravinových doplňků), optimalizaci tréninkového procesu, regeneraci sil atd., ale zaměřuje se stále více na běžnou populaci všech věkových kategorií, pro které je pohybová aktivita nedílnou součástí primární i sekundární prevence.

Z výše uvedených faktů je patrné, že je prakticky nemožné postihnout všechny aspekty takto široce orientovaného a multidisciplinárního oboru, jakým tělovýchovné lékařství je, proto se náš autorský tým snažil vybrat některé, z našeho pohledu významné oblasti, se kterými se ve své klinické praxi setkává tělovýchovný lékař.

Tato publikace vychází ze skript lékařské fakulty UP v Olomouci, které vyšly pod názvem Tělovýchovné lékařství v roce 2011 v nakladatelství UP Olomouc. Kniha vznikla jejich rozšířením, přepracováním i aktualizací tak, aby mohla oslovit širší cílovou skupinu.

Naší snahou bylo nastínit komplexnost péče v daném oboru a čtenáři poskytnout ucelený a přehledný souhrn aktuálních informací, který by se mohl stát pomocníkem jak v pregraduálním, tak postgraduálním vzdělávání, především v oboru tělovýchovné lékařství, ale také v příbuzných oborech. Jednotlivé kapitoly jsou doplněny o přehled recentní literatury věnující se dané problematice, ve kterých čtenář nalezne podrobnější informace.

Doufáme, že se nám tento cíl podařilo alespoň částečně naplnit a že v knize naleznete potřebné informace.

*Za kolektiv autorů Dalibor Pastucha*



# 1 Reakce a adaptace na zátěž

## 1.1 Terminologie

**Reakce** organismu na fyzické zatížení je bezprostřední odpověď různých systémů organismu a je závislá na řadě proměnných. Mezi ně patří **charakter** zátěže (druh, intenzita a trvání), vrozené a získané **psychosomatické předpoklady** a **aktuální stav** jedince, podmínky **zevního prostředí** (teplota, vlhkost, atmosferický či hydrostatický tlak, nadmořská výška, povětrnostní vlivy, záření, akustické vlivy atd.) a **biorytmy**.

**Adaptace** organismu na fyzické zatížení je schopnost přizpůsobovat se dlouhodobému působení dané zátěže z **morfologického, funkčního a biochemického** hlediska. Probíhá jak na úrovni systémové a orgánové, tak i buněčné, subbuněčné a molekulární. Adaptace v obecném smyslu je podstatou obou vývojových teorií, ontogeneze i fylogeneze. Přežili jen ti jedinci a ty druhy, které se dokázaly adaptovat na měnící se podmínky zevního prostředí. Narušením adaptace nastává tzv. **dezadaptace**, snížení nebo vymizení některých získaných adaptačních mechanismů. Ve sportovní praxi k ní vede např. přerušování tréninku, tzv. **detrénink**.

**Zátěžová maladaptace** je poruchou přizpůsobení na danou zátěž. Ve sportu se může jednat o různé závažné formy **přetrénování** či přetěžování pohybového aparátu pod obrazem opakovaných mikrotraumat, enteziopatií, kloubních, svalových a vertebrogenických potíží. U pacientů s neadekvátně nastaveným pohybovým režimem se může objevit i závažné zhoršení zdravotního stavu.

**Fyzická zdatnost** zahrnuje soubor předpokladů **optimálně reagovat** na různé vlivy vnějšího prostředí. Zdatnost se někdy definuje jako připravenost nebo způsobilost organismu konat práci, vyrovnat se s vnějšími nároky, resp. odolávat aktuálním vlivům okolí. **Výkonnost** představuje schopnost podávat **objektivně měřitelný výkon** v určité pohybové oblasti nebo sportovním odvětví. Výkonnost oproti zdatnosti či přesněji fyzické zdatnosti představuje užší a méně obecnou oblast. Sportovní výkonnost znamená dispozici podávat určitý výkon či opakovaně podávat určitý výkon na poměrně stabilní úrovni.

**Trénink** je dlouhodobý proces rozvíjející vrozené pohybové schopnosti, získané dovednosti a funkční kapacity jedince. **Pohybové schopnosti** (síla, rychlost, vytrvalost a obratnost) jsou ovlivněny geneticky. Přibližný koeficient heriability je 55 % u síly statické, 75 % u síly výbušné, 80–85 % u rychlosti, 70 % u vytrvalosti a 80 % u obratnosti. Organismus každého jedince disponuje individuálně odlišnou adaptační kapacitou na vnější podněty, které říkáme **trénovatelnost**.

## 1.2 Faktory ovlivňující odpověď na zátěž

### 1.2.1 Věk

Zdatnost jedince odpovídá jeho biologickému věku, trénovanosti a zdravotnímu stavu. Při soutěžích je třeba respektovat věkové kategorie, a to jak u dětí, tak i u osob staršího věku.

Děti mají menší svalovou hmotu, a tím i menší svalovou sílu. Přestože preferují spontánní krátkodobou aktivitu, je u nich snížena laktátová kapacita. Nedostatečně vyvinutá termoregulace (s riziky hypotermie i hypertermie) koreluje s vodní a elektrolytovou labilitou. Nedostatečná zralost jejich nervového systému je kompenzována vysokou plasticitou, schopností učit se. „Ostaršování“, přerazování do vyšší věkové kategorie musí být opodstatněno markery vyššího **biologického věku** (viz růstový, kostní, proporcionální věk atd.).

Organismus staršího člověka podléhá involučním změnám. Pohyb je limitován sníženým svalovým tonem, svalovou silou a omezeným kloubním rozsahem. Stejně jako u dětí, je i u starších osob větší riziko termoregulačních poruch. Významná je i zhoršující se kapacita a efektivita všech funkčních systémů, zejména kardiorepiračního systému. Zhoršena je také odpověď řídicích systémů na různé stresové vlivy a schopnost regenerace.

### 1.2.2 Pohlaví

Ženy, díky své biologické roli, mají odlišnou morfologickou stavbu. Ve srovnání s muži vykazují slabší ekonomii funkcí a většinou nižší hodnoty sledovaných parametrů. V relativní svalové síle (na 1 cm<sup>2</sup> průřezu svalu) nejsou sice rozdíly, nicméně v absolutní síle dosahují ženy jen 66 % síly mužů. Srovnatelnější výsledky dosahují ženy při soutěžích ve vodním prostředí (pro vyšší procento tuku a aerodynamické tvary). Lepší jsou ve flexibilitě. **Výkony trénovaných žen** však bývají **lepší** než výkony **netrénovaných mužů**. Výkonnost ženy je ovlivněna fázemi menstruačního cyklu (horší je v premenstruační a postovulační fázi, naopak **lepší** ve fázi **preovulační**). Ukázalo se také, že v některých zemích se vyšší výkonnosti na začátku těhotenství **zneužívalo** k dosažení vyšších výkonů. Při náročném tréninku se u žen mohou objevit různé poruchy menstruačního cyklu, viz dále.

### 1.2.3 Antropometrické parametry

Antropometrické parametry (zejména výška, hmotnost, složení těla) ovlivňují nejen **úspěšnost** v určitých sportovních odvětvích (např. basketbal, gymnastika), ale i hodnoty testovaných parametrů. Proto je vhodné používat při interpretaci dat relativní ukazatele, např. srovnání s náležitými tabulkovými hodnotami pro **určitý věk, výšku, hmotnost a pohlaví** (nál. VC či nál. V max), **či vyjádřit hodnoty ve vztahu k hmotnosti** ( $\text{VO}_2 \text{ max}$  v ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>).

Nadváha (BMI 25–30 kg.m<sup>-2</sup>) nebo obezita (BMI > 30 kg.m<sup>-2</sup>) přináší řadu pohybových a zdravotních problémů. Podkožní tuk je sice vhodnou izolační vrstvou, chrání před hypotermií, ale tuková tkáň, především viscerálního původu, je nežádoucím zdrojem adipokinů s prosklerotickými, prozánětlivými a prodiabetickými účinky. Obezita, jako

rizikový faktor metabolických a kardiovaskulárních onemocnění, vyžaduje specifický edukační, pohybový a dietní režim (viz kapitola 4.1 Antropometrická měření).

### 1.2.4 Genetika

Genetická podmíněnost sportovního úspěchu je neoddiskutovatelná. Kromě **osobnostních dispozic** (soutěživost a morálně volní vlastnosti) hrají důležitou roli **antropometrické předpoklady** (výška sportovce, poměry segmentů, kloubní rozsahy), **vlastnosti nervového systému** (excitabilita CNS a ladění autonomního nervového systému) a v neposlední řadě **charakter nervosvalové tkáně** (stupeň dráždivosti a zastoupení rychlých a pomalých svalových vláken). Genetická determinovanost v zastoupení svalových vláken se nejvýrazněji projevuje u rychlostně silových sportů. Úspěšný sprinter má 80–85 % rychlých vláken typu FG (fast glycolytic fibres) a FOG (fast oxidative glycolytic fibres). Naopak úspěšný vytrvalec má převahu vláken pomalých, oxidativních. Existují i rasové a etnické podmíněné předpoklady (např. američtí sprinteři, afričtí vytrvalci, asijská gymnasté). Genetika hraje významnou roli v dlouhověkosti, genetické dispozice jsou známy pro řadu onemocnění metabolických, krevních, kardiovaskulárních i nádorových.

### 1.2.5 Zdravotní stav

Pro provádění **vrcholového sportu** je nezbytným předpokladem dobrý zdravotní stav. Nejen proto mají preventivní tělovýchovně-lékařské prohlídky zásadní význam. **Při zatěžování pacientů** (při zátěžových testech či preskripci pohybového režimu) je třeba zohlednit nejen diagnózu, akutní stav, ale i medikaci. Je známo, že farmakoterapie může zkreslit skutečný stav (např. kardioinhibitory, kardiotonika a antiarytmika).

Je třeba mít na paměti, že vysoce intenzivní trénink a náročné výkony při závodech vyvolávají u sportovců několik hodin trvající imunosupresi. Sportovci jsou tak mnohem náchylnější k propuknutí infekcí, nejčastěji respiračních a kožních, viz dále.

### 1.2.6 Vlivy zevního prostředí

Faktory zevního prostředí (nižší a vyšší teplota, nižší a vyšší vlhkost, nižší a vyšší tlak, beztlíže, gravitační přetížení, povětrnostní vlivy, sluneční a kosmické záření, akustické vlivy, stejně jako škodliviny ve vzduchu, vodě a na zemi) významně ovlivňují lidský organizmus, jak v klidových podmínkách, tak i při tělesném zatížení. Kombinace **chladu, vlhkosti a větru** (v zimě na horách) výrazně zvyšuje riziko hypotermie. V tropických a subtropických oblastech (**při kombinaci nadměrné vlhkosti s horkem**) hrozí naopak přehřátí s dehydratací. Horolezci se při nadměrné fyzické a psychické zátěži potýkají navíc s **hypoxií, chladem, nízkou vlhkostí, UV zářením a větrem**. Potápěči mají při sestupech a výstupech problémy s dramaticky se měnícím hydrostatickým **tlakem a uvolňovanými plyny**, sportovní potápěči (freediving) se kromě vysokého tlaku potýkají s **hypoxií a hyperkapnií** (kumulací  $\text{CO}_2$ ). Specifické změny nastávají u kosmonautů při startech a přistávání (přetížení), i při stavech beztlíže.

S ohledem na vlastnosti plynů je nezbytné zohlednit jak aktuální teplotu, tak i tlak. Pro **korekci ventilačních funkcí** je třeba použít faktory **BTPS** (vztahující se na teplotu 37 °C, okolní tlak a nasycení vodními parami), pro respirační plyny **STPD** (s převodem na teplotu 0 °C, tlak 760 torrů a suchý plyn), viz příslušné tabulky (např. Kohlíková, 2008).

## 1.3 Reaktivní změny při zatížení

### 1.3.1 Řídící systémy

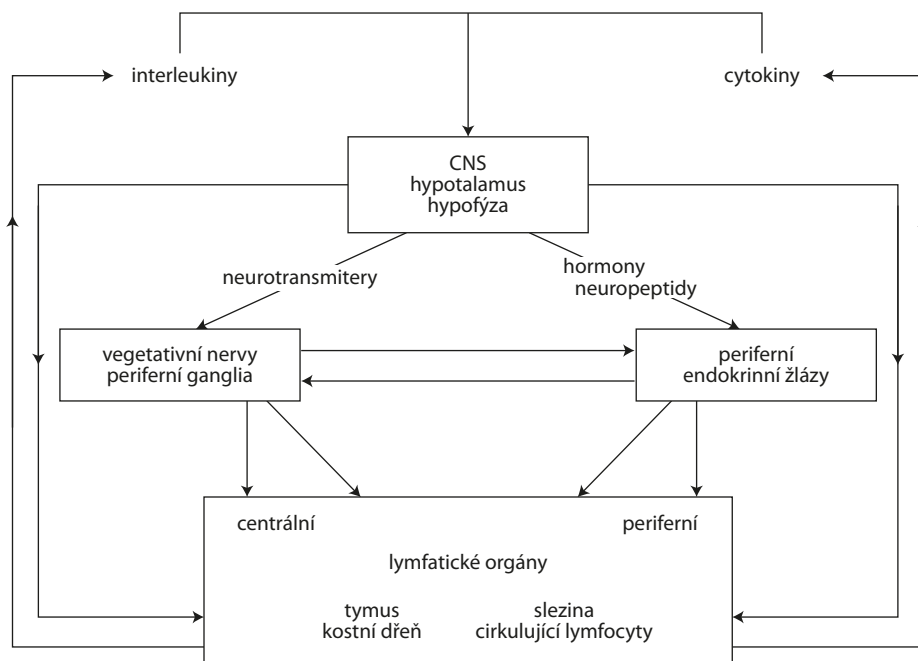
#### Neuroendokrinní regulace

Zahájení pohybové činnosti předchází neuroendokrinní aktivace. Ta se projeví již v rámci tzv. startovních stavů, a to na podkladě podmíněných reflexů a emocí. U sportovců se jedná spíše o zkušenost, očekávání daného výkonu, u netrénovaných spíše o emoce. Nicméně i u sportovců, zejména při významných stresujících závodech, soutěžích na ME, MS, OH, hrají emoce významnou roli. Podobná situace vzniká i před zkouškou, popřípadě veřejným vystoupením. Jako první je aktivován **sympatoadrenální systém**. **Noradrenalin** (NA), jako mediátor sympatiku se vylučuje během prvních 3 s, **adrenalin** (A) se uvolňuje z nadledvin za 20–30 s. Oba aktivují kardiorespirační systém, startují první metabolické pochody (glykogenolýzu) a zvyšují svalové napětí. Při vlastním pohybovém zatížení pokračuje sympatoadrenální aktivizace. Stoupají nároky na transportní systémy a také na systém dýchací a oběhový. K zajištění dostatečného přívodu krve do pracujících svalů je nezbytná redistribuce krve (v klidu je otevřeno jen 5 % kapilár). Dochází k vyplavení krve ze zásobáren (játra, slezina, plíce a podkožní plexy), ale ani to nestačí. Je třeba tzv. kompenzační vazokonstrikcí snížit průtok v některých neangažovaných systémech, jako jsou systémy gastrointestinální a urogenitální. Po několika minutách (při vysoce intenzivní zátěži dokonce do 60 s) se k sympatoadrenální ose přidává i stresová **osa hypotalamohypofyzární** s dalšími hormony: **kortikoliberinem** (CRH) z hypofýzy, **adrenokortikotropním hormonem** (ACTH) z hypotalamu a **glukokortikoidy** (GK) z kůry nadledvin. Spolu s hormony štítné žlázy (trijodtyroninem – T3 a **tyroxinem** – T4), **somatomediny** (SM) z jater a především pankreatickým **glukagonem** (GLU) se snaží zajistit glykemii, dostatečnou k zajištění energetických požadavků. V průběhu zátěže, především v souvislosti se zvyšující se teplotou tělesného jádra, dochází k odvádění tepla pocením s odpařováním. Organismus se snaží zabránit větším ztrátám tekutin a solí zvýšenou produkcí **antidiuretického** hormonu, ADH (vazopresinu) z hypotalamu a **aldosteronu** (ALD) z kůry nadledvin. ADH je hlavním hormonem zabezpečujícím množství tekutin v těle přímo, tzv. fakultativní (výběrovou) resorpcí vody v distálních a sběrných kanálcích ledvin. ALD, aktivovaný osou renin–angiotenzin–aldosteron, ovlivňuje množství vody v těle nepřímo, a to zvýšenou ledvinovou resorpcí osmoticky aktivního sodíku. Jediným anabolickým hormonem, kompenzujícím katabolické účinky stresových hormonů, je **somatotropní** (STH) neboli růstový hormon. Stejně jako při jiných stresových situacích dochází v různých částech CNS, hypoteticky i ve svalech, k sekreci endorfinů, snižujících vnímání bolesti, úzkosti a deprese a navozujících naopak pocity sebevědomí a stavu „well-being“. V **zotavení** se uplatňují anabolicky působící hormony, jako jsou **růstový hormon, testosteron, inzulin a tyroxin**, umožňující znovunastolení metabolické homeostázy. Přetrvává zvýšená produkce vazopresinu a aldosteronu.

#### Fyzická zátěž jako stres

Dříve se za stresor považovala každá situace, která zvyšovala produkci ACTH. V současnosti se tato role přičítá nadřazenému kortikoliberinu, CRH. Každý stres aktivuje nervový a hormonální systém. Akutní stres, pokud není příliš intenzivní, se považuje za podnět imunostimulační (adrenergní stimulace vyvolává leukocytózu), chronický

stres naopak za podnět imunosupresivní (kortikoidy potlačují produkci leukocytů a dalších imunologicky aktivních látek). Je-li však stresor příliš intenzivní, může být i akutní stres poškozující. Mezi stresory s imunosupresivním efektem patří i **nadměrná fyzická námaha, náročný sportovní trénink a vyčerpávající závod** (obr. 1.1).



**Obr. 1.1** Schéma neuroendokrinních a imunitních vztahů

**Zdroj:** podle Ferenčíka, 2002.

Hlavní imunosupresivní vliv má **osa CRH–ACTH–kortizol**. Paradoxně přispívá tymopoetin z brzlíku a některé cytokiny (interleukin 1, interferon a TNF). Současně uvolňované hormony (růstový hormon, prolaktin či endorfiny) nejsou schopny ovlivnit jejich působení. Významná je nejen **intenzita**, ale i **doba trvání zátěže**. Závod na 100 m nevyvolá u špičkového sprintéra zásadnější změny, zatímco vytrvalci po uběhnutí maratonu vystoupí cytokiny na hodnoty, které odpovídají stavu sepse. Nicméně i při krátkodobých, ale opakovaných zátěžích, nastává imunosuprese, udává se snížení imunity o 15–25 %. Délétrvající fyzická zátěž (> 1 h při intenzitě > 75 %  $\text{VO}_2$  max) inhibuje v zotavovací fázi některé funkce imunitního systému. Toto období, trvající od **2–24**, někdy až **72 hodin**, se nazývá **imunosupresivní okno**. Dlouhodobá a náročná fyzická zátěž je rizikem pro **rozvoj a chronický průběh infekčních**, popřípadě **nádorových** onemocnění. Imunosupresivní účinek se projevuje infekcemi horních cest dýchacích, kožními lézemi, skrytými virovými a parazitárními onemocněními, poškozením zažívacího systému i poškozením svalů. Může se objevit i chronický únavový syndrom.

Na dvou amerických univerzitách byly popsány případy malých epidemií poliomyelitidy či hepatitidy, které postihly zcela výhradně náročně trénující studenty. I v jiném případě (při epidemii aseptické meningoencefalitidy) byli sportující studenti postiženi

2krát častěji než studenti nesportující. Týden po závodu se u maratónců objevilo 5krát častěji infekční onemocnění než u jiných sportovců. Mezi ultramaratonci byli zase nejčastěji postiženi ti, kteří měli nejnáročnější trénink a v závodě dosáhli nejlepších výsledků. Velmi nebezpečná je fyzická zátěž v době inkubace.

Všechny tři řídicí systémy (nervový, endokrinní i imunitní) mají jeden **společný „biochemický jazyk“**, kterým přenášejí informace mezi sebou i uvnitř vlastního systému.

### 1.3.2 Funkce transportních systémů

#### Dýchací systém

Funkce dýchacího systému je možné sledovat jak ventilačními, tak respiračními ukazateli. Ventilační parametry jsou výrazem výměny vzduchu mezi zevním prostředím a plicemi, respirační ukazatelé obrazy jak výměnu plynů mezi plicními sklípky a kapilárami (vnější respirace), tak i mezi kapilárami a periferními tkáněmi (vnitřní respirace).

**Dechová frekvence** (DF) stoupá u netrénovaných osob z klidových 14–16 dechů.min<sup>-1</sup> až na 60, popř. až na 70 dechů.min<sup>-1</sup>. **Dechový objem** (Volume Tidal) ( $V_T$ ) se u netrénovaných osob zvyšuje z klidových 500 ml až na hodnoty 2,5–3,0 l, což představuje asi 50 % VC (vitální kapacity). U sportovců je známa ekonomizace funkcí, a to jak klidových, tak i zátěžových. V klidu jde o kombinaci nízké DF (např. 10 dechů.min<sup>-1</sup>) s velkým  $V_T$  (až 1000 ml). Při zátěži stoupá DF až k hodnotám, které však jsou individuální a závisí na volní kontrole. Dechový objem se může zvýšit až na 4 l (70 % VC). Při sportovních aktivitách je dýchání často omezeno, dochází i k zadržení dechu (např. u gymnastických cvičení, plavání, potápění či silových sportů). Klidová **minutová ventilace** ( $V_E$ ) se u netrénovaných a trénovaných příliš neliší (cca 8–10 l.min<sup>-1</sup>), velké rozdíly jsou ale u maximální minutové ventilace ( $V_E$  max). U nesportujících mužů činí  $V_E$  max asi 100 l.min<sup>-1</sup>, u žen 80 l.min<sup>-1</sup>, u sportujících může dosáhnout až k 220 l.min<sup>-1</sup>. Často měřeným spirometrickým parametrem je **vitální kapacita plic** (VC). U netrénovaných mužů činí VC 4,5–5 l, u netrénovaných žen 3,5–4 l. Nejvyšších hodnot dosahují plavci a potápěči (6–8 l). Nejlepším vyjádřením je ale hodnota relativní, vztažená k základním údajům každého jednotlivce, tzn. k jeho pohlaví, věku, výšce a hmotnosti. Podle příslušných koeficientů a daných vzorců se dá vypočítat náležitá hodnota VC (nál. VC), tedy hodnota, kterou by jedinec „měl mít“. Vytrvalostní výkonnost nemusí být přímo závislá na hodnotách vitální kapacity. Někteří vytrvalci mají pouze průměrnou hodnotu VC (5,0 l) a přitom dosahují maximální minutové volní ventilace okolo 180 l.min<sup>-1</sup>. V klinické, ale i sportovní praxi se častěji používá měření usilovného výdechu vitální kapacity, ve kterém je vyjádřena rychlost výdechu, a tím i síla výdechového svalstva. Je tak možno získat celkovou hodnotu usilovného výdechu (FVC) nebo hodnoty výdechu za 1 či 3 s ( $FEV_1$ ,  $FEV_3$ ) či výdechovou rychlost vyjádřenou v procentech ( $FEV_{25-75\%}$ ). U zdravých jedinců se  $FEV_1$  pohybuje v rozmezí 70–80 % FVC,  $FEV_3$  již v rozmezí 92–98 % FVC.

Spirografické přístroje používané v klinické praxi však umí měřit i řadu dalších parametrů (např. jednotlivé rezervní objemy, reziduální objem i různé průtokové rychlosti apod.). Nejsledovanějším parametrem respiračních funkcí, vyjadřujícím jak obecnou zdatnost, tak i vytrvalostní předpoklady, je **maximální aerobní výkon** neboli **maximální spotřeba kyslíku** ( $VO_2$  max). Optimálním vyjádřením spotřeby kyslíku je vyjádření relativní, spotřeba kyslíku vztažená k hmotnosti daného jedince, tedy  $VO_2$  max. kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. Nejvyšších hodnot  $VO_2$  max. kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> dosahují díky své nízké hmotnosti děti.

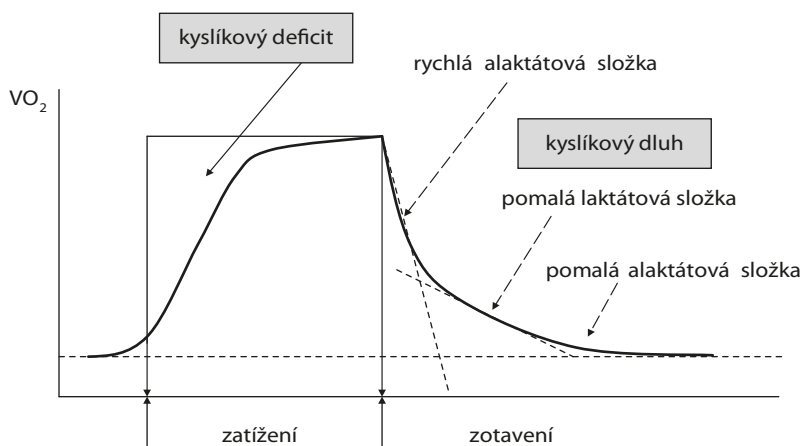
V dospělosti byly zaznamenány nejvyšší hodnoty v 18 letech (muži  $47 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , ženy  $37 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Vytrvalostně trénovaní jedinci mívají hodnoty nad  $60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ , maratónci a lyžaři běžci až  $80\text{--}90 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Ženy mívají hodnoty nižší, ale vytrvalostně trénované ženy dosahují vyšších hodnot než netrénovaní muži. Věkem aerobní výkon klesá každých 10 let o 10 %. Saturace arteriální krve v plicích závisí na nabídce kyslíku. Vyšší  $p\text{O}_2$  zvyšuje saturaci, ale maximálně do 98,5 %. Uvolňování kyslíku z hemoglobinu ve tkáních se zvyšuje trénovaností a je lepší při vyšším  $p\text{CO}_2$ , vyšší teplotě a nižším pH. Zlepšení, tj. zvýšenou nabídku  $\text{O}_2$  tkáním, představuje posun disociačních křivek doprava. K respiračním parametrům, vyjadřujícím stupeň využití kyslíku tkáněmi (tzn. množství kyslíku, které tkáň spotřebovaly), patří **arteriovenózní difference pro kyslík**,  $\text{AV O}_2$ . Zatímco v klidu je a-v difference asi 6 ml na 100 ml krve, při maximální zátěži stoupá na 15 ml u netrénovaných a až na 18 ml u trénovaných jedinců.

Počáteční fáze pohybového zatížení jsou spojeny s **diskrepancí** mezi kyslíkovými požadavky (**potřebou**) aktivních svalů a možností nabídky (**aktuální spotřebou**). Vzniká **kyslíkový deficit** (obr. 1.2). Po dobu několika prvních sekund se využívá makroergních fosfátů, poté musí být zapojena anaerobní glykolýza. V případě nouze dochází i na kyslíkové rezervy, tj. kyslík vázaný na hemoglobin, myoglobin, rozpuštěný v plazmě nebo obsažený v plicích. Celkem je ho k dispozici kolem 2,5 l.

Kyslíkový deficit se musí splatit formou kyslíkového dluhu. **Kyslíkový dluh je nadspotřeba kyslíku** (neboli „nadklidová“ hodnota), hrazená většinou až **po skončení práce**. Kyslíkový dluh bývá větší než kyslíkový deficit, a to o zásoby kyslíku, které je třeba uhradit. **Rychlá alaktátová** složka kyslíkového dluhu (3–5 min) slouží k resyntéze ATP, CP-systému, **pomalá laktátová** složka k resyntéze laktátu na glykogen. Úplný návrat je ve shodě s dosažením klidových hodnot spotřeby kyslíku. Označuje se jako **pomalá alaktátová** složka.

Po 20–45 sekundách velmi intenzivní aktivity může nastat subjektivně nepříjemný stav, tzv. **mrtvý bod**. Je spojený především s nouzí o dech. Nastává i tuhnutí a bolest svalů, někdy se objeví píchání v boku. Za možné příčiny se považuje např. nesprávné,

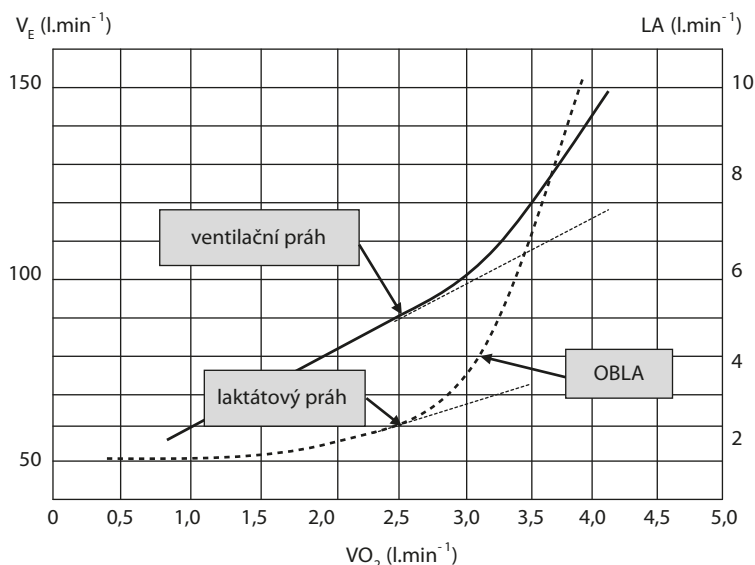


**Obr. 1.2** Kyslíkový dluh a kyslíkový deficit

**Zdroj:** podle různých autorů.

nedostatečně hluboké dýchání, větší žaludeční náplň, kontrakce fascie sleziny atd. Objektivně dochází ke zvýšení oběhových parametrů spolu se zvýšenou DF a sníženým  $V_T$  a  $VO_2$ . Méně zdatní jedinci výkon ukončí. Po překonání tohoto stavu (snížením intenzity výkonu a prohloubením dýcháním) se dostaví tzv. **druhý dech**. U trénovaných sportovců je mrtvý bod minimalizován, proběhne většinou v době rozcvičení. Probíhá-li zátěž na konstantní úrovni (při mírné až střední intenzitě zatížení) nastává pro transportní systémy rovnovážný stav (steady state). Při něm může jedinec pracovat teoreticky neomezenou dobu, protože příjem kyslíku je pro uhrazení požadavku svalu dostatečný. Čím je sportovec trénovanější, tím je schopen lépe dosáhnout rovnovážného stavu při vyšší intenzitě zatížení. Při déletrvajícím zatížení spojeným s únavou se však postupně zvyšují některé hodnoty (např. SF).

Nejvyšší dosažená úroveň rovnovážného stavu, nalézající se na hranici smíšené zóny aerobně-anaerobní, je **anaerobní práh, ANP**. Je definován jako intenzita zatížení, při které je nastolena dynamická rovnováha mezi tvorbou a utilizací laktátu. Jeho průměrná hodnota odpovídá koncentraci **4 mmol.l<sup>-1</sup> LA** a v zahraniční literatuře se označuje jako počátek kumulace laktátu, **OBLA** (Onset Blood Lactate Accumulation). Činí asi 55–65 %  $VO_2$  max. Nicméně mezi jedinci s vysokou úrovní aerobní vytrvalosti a jedinci rychlostně a silově trénujícími jsou značné rozdíly. **Maratonci** dosahují dynamické rovnováhy při koncentracích LA okolo 2,5 mmol.l<sup>-1</sup>, zatímco **sprintéři** až okolo **5–6 mmol.l<sup>-1</sup>**. Trénovaní dosahují ANP při vyšším %  $VO_2$  max. Nejčastěji se anaerobní práh stanovuje při zátěžovém testu do maxima ventilačně respirační metodou (obr. 1.3). Minutová ventilace stoupá lineárně jen do okamžiku, než se začne ve větší míře uplatňovat anaerobní glykolyza s tvorbou laktátu (LA). Zvyšující se acidóza, vyvolaná stoupající produkcí LA a potencionálně uvolňovaným  $CO_2$  z labilní  $H_2CO_3$  pufovacího



**Obr. 1.3** Různé metody stanovení aerobního a anaerobního prahu

**Zdroj:** podle McArdle, 2007.

bikarbonátového systému, stimuluje inspirační oblast dýchacího centra v prodloužené míše k vyšší ventilaci. Zlom v křivce  $V_E$  i  $VCO_2$  je bodem anaerobního prahu.

Nejpřesnější metodou pro stanovení ANP, i když pro sportovce méně příjemnou, je invazivní **laktátová metoda**, spojená s odběrem arterializované krve z prstu či lépe z ušního lalůčku. Hodnota ANP se vypočte z laktátové křivky, získané při rovnoměrně se zvyšující zátěži, numerickou metodou nejmenších čtverců. ANP je možné stanovit i z **křivky SF**, tzv. **Conconiho** testem. Anaerobní práh představuje „hokejkový“ zlom dosud lineárního průběhu SF. Pro tuto metodu je však nezbytné sledovat SF ve velice krátkých časových intervalech. Jako **aerobní práh** (AP), neboli **laktátový práh**, se uvádí začátek aerobně-anaerobního přechodu čili okamžik **prvního** pozorovatelného vzestupu hodnot **kyseliny mléčné**. Tato hodnota je většinou udávána kolem **2 mmol.l<sup>-1</sup>** krve.

### Oběhový systém

Pracující svaly potřebují při fyzické zátěži zvýšený přívod krve. Krev se vyplavuje ze zásobáren a zvyšuje se tím relativně množství plazmy a krvinek. Nastává důležitá **redistribuce krve** (tab. 1.1) s vazodilatací svalového a srdečního řečiště a **kompenzační vazokonstrikci** řečiště gastrointestinálního a urogenitálního systému.

**Tab. 1.1** *Redistribuce krve při fyzickém zatížení (množství krve je uvedeno v ml.min<sup>-1</sup>) (Havlíčková, 2004)*

|                               | Klid        | Lehká       | Těžká         | Maximální     |
|-------------------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| ostatní                       | 600         | 400         | 400           | 100           |
| útroby                        | 1400        | 1100        | 600           | 300           |
| ledviny                       | 1100        | 900         | 600           | 250           |
| kůže                          | 500         | 1500        | 1900          | 600           |
| srdce                         | 250         | 350         | 750           | 1000          |
| CNS                           | 750         | 750         | 750           | 750           |
| svaly                         | 1200        | 4500        | 12 500        | 22 500        |
| <b>minutový srdeční objem</b> | <b>5800</b> | <b>9500</b> | <b>17 500</b> | <b>25 000</b> |

Z oběhových funkcí se sleduje nejčastěji srdeční činnost. **Srdeční frekvence** (SF) je v klidovém stavu nejsledovanějším ukazatelem **vegetativního ladění** a nepřímým výrazem vytrvalostní trénovanosti (vago-tonie). V zátěžových podmínkách je ukazatelem **intenzity zatížení**. SF byla jako první využita pro dálkové, telemetrické sledování. I přes své výjimečné postavení je SF ovlivňována celou řadou faktorů, se kterými je třeba počítat (dědičnost vegetativního ladění, trénovanost zejména vytrvalostního charakteru, druh fyzického zatížení, emoce, teplota tělesná i teplota prostředí, okolní atmosferický či hydrostatický tlak, únava, trávení, reflexní vlivy, hormony, léky atd.). **Tepová frekvence** (TF), pulzová vlna měřená na periférii, se u zdravého člověka neliší od SF. Rozdíl, tzv. „periferní deficit“, se objevuje např. u pacientů s fibrilací síní. Pulz by se neměl měřit na *a. carotis*, protože podrážděním sinokarotických baroreceptorů vzniká možnost vyvolání sinokarotického reflexu. U senzitivnějších jedinců může

snížit TF až o 10 tepů.min<sup>-1</sup>. Proto se doporučuje měřit TF na *a. radialis*, a pokud je toto místo obtížně přístupné, je vhodné měření na *a. temporalis*.

**Systolický objem (SV)** je množství krve vypuzené jednou systolou. Závisí podle Frankova-Starlingova zákona na srdeční kontraktilitě a předtížení (**preload**), tj. na výchozím stavu délky svalových vláken a roztahitelnosti komor na začátku kontrakce i na dotížení (**afterload**), daným arteriální elasticitou a odporem cévní periferie. SV se zvyšuje společně se zvětšováním srdce, a to jak v době růstu a vývoje, tak i později v průběhu vytrvalostního tréninku. Systolický objem roste se zvyšující se intenzitou zatížení. Při hodnotě SF kolem 120–130/min dosahuje systolický objem nejvyšších hodnot, ale při vysokých intenzitách činnosti, a tím i vysokých hodnotách SF se mění již jen málo. Komory se již nestáčí dostatečně plnit, SV se nezvyšuje nebo nastává i jeho mírné snížení. Z klidových hodnot 60–80 ml u netrénovaného a asi 100 ml u trénovaného, stoupá SV k maximálním hodnotám, cca 150 ml u netrénovaného a 200 ml u trénovaného jedince. Důležitým hemodynamickým ukazatelem, vyšetřovaným echokardiograficky, je **ejekční frakce** – relativní vztah mezi objemem krve na konci diastoly a množstvím vypuzené krve. Normální hodnota kolísá kolem 60 %, u kardiálně selhávajících pacientů klesá až na hodnoty 20–30 %. Vypočítávaným parametrem je **tepový kyslík** (VO<sub>2</sub>/SF), který ukazuje, kolik kyslíku se dostalo ke tkáním jednou systolou. Tepový O<sub>2</sub> činí v klidu 5 ml, při maximální zátěži dosahuje u netrénovaných 15 ml, u vysoce trénovaných jedinců až 30 ml.

**Minutový srdeční výdej (MV, CO, Q) se z klidových hodnot 5 l.min<sup>-1</sup> dostává při maximální intenzitě zatížení na hodnoty kolem 25 l u netrénovaného a až 35–40 l u trénovaného.** Minutový srdeční výdej ani systolický objem se při běžném zátěžovém vyšetření nesledují, neboť jejich měření je doposud technicky náročné. Dá se získat při neinvazivním echokardiografickém vyšetření nebo při srdečních katetrizacích s měřením VO<sub>2</sub> a pO<sub>2</sub> v arteriální a žilní krvi.

**Krevní tlak (TK)** – při dynamické činnosti se zvyšuje především systolický tlak (TKs), diastolický (TKd) se mění jen mírně. Při střední intenzitě zatížení stoupá systolický TK, diastolický se nemění nebo klesá. Nejvyšších hodnot dosahuje TK při submaximální intenzitě zatížení (až 180–240 torrů) (tab. 1.2). Výraznější pokles TKd je výrazem vazodilatace a únavy.

**Tab. 1.2** Krevní tlak v klidu a při různých intenzitách dynamické činnosti (Bartůňková, 2006)

| Krevní tlak<br>(TK, torrý) | Intenzita |         |         |              |           |
|----------------------------|-----------|---------|---------|--------------|-----------|
|                            | klid      | mírná   | střední | submaximální | maximální |
| <b>systolický tlak</b>     | 120       | 120–140 | 130–170 | 180–250      | 150–190   |
| <b>diastolický tlak</b>    | 80        | 50–80   | 50–80   | 50–100       | 80–110    |

Při vysokých hodnotách minutového srdečního výdeje se může u mladých osob objevit tzv. nekonečný tón (240/0 torrů). Při **statické práci** je omezena cirkulace v kontrahovaných svalech, ischemie zvyšuje produkci LA s acidózou. Při ní nastává dříve únava a více stoupá TK (tab. 1.3), zejména **tlak diastolický**. Proto se k posouzení reaktivity TK využívá „handgrip“, test s 3minutovou izometrickou kontrakcí na úrovni 30 %

maximální síly. Při vzpírání je (fixací hrudních svalů a bezdeším) omezen žilný návrat. Udává se, že TKs může vystoupit až nad 300 torrů, přičemž vznikají rizika odchlípení sítnice i nitrolebního krvácení. McDougall (1985) naměřil u vzpěračů neuvěřitelně vysoké hodnoty (TK 320/250 torrů), u jednoho z nich **480/350 torrů**.

Po skončení výkonu se TK nejdříve rychle, následně pomalu vrací k výchozím hodnotám.

**Tab. 1.3** Změny TK při různé intenzitě zatěžování v procentech maximální volní síly (McArdle, 2007)

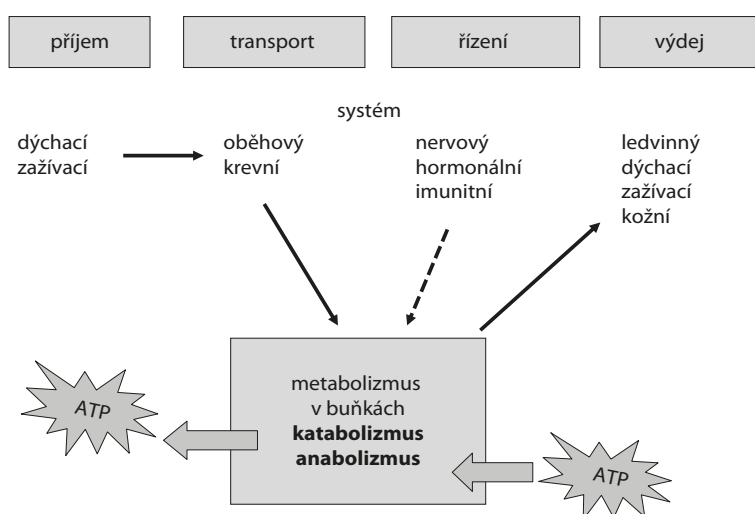
|            | Izometrická kontrakce<br>(% maxima) |     |     |     | Anizometrická kontrakce<br>(% maxima) |     |
|------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|---------------------------------------|-----|
|            | 25                                  | 50  | 75  | 100 | 25                                    | 50  |
| <b>TKs</b> | 172                                 | 179 | 200 | 225 | 169                                   | 232 |
| <b>Tkd</b> | 106                                 | 116 | 135 | 156 | 104                                   | 154 |

Řada odborných publikací nabádá k opatrnosti a k vyřazení izometrických cvičení z rehabilitačního programu kardiaků i hypertoniků. American Heart Association na základě analýzy řady studií však došla k závěru, že správně vedený odporový trénink je bezpečný i pro klinicky stabilizované kardiaky (dále viz kapitoly 6.3 a 13).

### 1.3.3 Metabolismus při zatížení

Buněčný metabolismus má v organismu klíčové postavení (obr. 1.4).

Při fyzickém zatížení se systémy řídí požadavky aktivních svalů. Řídící systémy využívají interaktivní zpětné vazby. Metabolismus (látková přeměna) má složku katabo-



**Obr. 1.4** Vztahy mezi jednotlivými funkčními systémy a metabolismem

lickou (tj. rozklad z látek složitějších na jednodušší), provázenou energetickým ziskem (reakcemi exoergními) a **anabolickou** (tj. syntézou látek složitějších z jednodušších), pro kterou je třeba energii dodávat (hovoří se o reakcích endoergních). Obě složky musí být v rámci homeostázy v rovnováze.

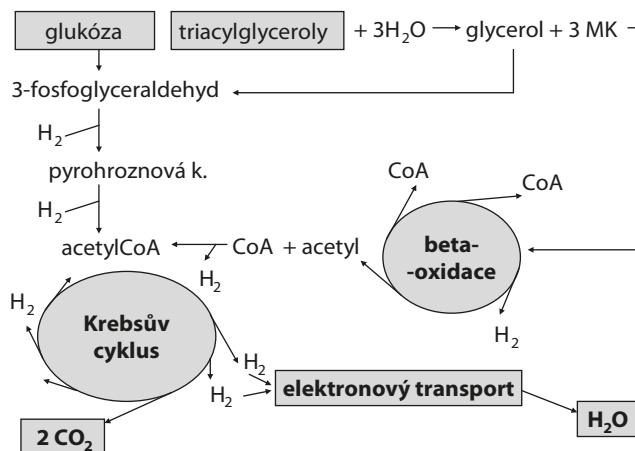
**Metabolismus glycidů** – katabolické reakce začínají již v trávicím traktu (polysacharidy jsou štěpeny slinnou a pankreatickou  $\alpha$ -amylázou, disacharidy střevní maltázou, sacharázou a laktázou). Monosacharid **glukóza** je základní a finální jednotkou všech typů sacharidů. Zásoby cukrů ve formě **svalového** a **jaterního glykogenu** představují přibližně 250–400 g u nesportujících a 400–600 g u sportovců, což energeticky odpovídá asi **6700–8400 kJ** a stačí na úhradu **2–3 hodin** fyzické zátěže. K dosažení maximálních hodnot je nutná sacharidová superkompenzace, viz kapitola 8.2. Tendence udržet stálou hodnotu glykemie ( $3,5\text{--}6,5\text{ mmol.l}^{-1}$ ) patří mezi základní homeostatické mechanismy.

Stálá hodnota glykemie se udržuje **glykogenolýzou**, štěpením jaterního a svalového glykogenu, **glukogenezí**, tvorbou glukózy z cukerných složek a **glukoneogenezí**, tvorbou glukózy z laktátu a z necukernatých složek (tj. z glycerolu, glukoplastických aminokyselin, popřip. dalších složek citrátového cyklu). Výhodou cukrů je nízký specifickodynamický účinek (na jejich trávení připadá jen 6 % bazálního metabolismu), dobrá užitizace výsledných metabolitů ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  a laktátu) a schopnost štěpení bez přístupu kyslíku.

**Anaerobní glykolýza** – série 10 kontrolovaných enzymatických reakcí, ve kterých se fosforylují hexózy při energetické dodávce 2 mol ATP. Nakonec se rozbiňají do dvou linií trióz s 3-fosfoglyceraldehydem, který je styčným substrátem pro vstup glycerolu (produktu tukového metabolismu) do metabolismu cukrů. Konečným produktem je kyselina mléčná, která vzniká přeměnou z kyseliny pyrohroznové. Výhodou této cesty je rychlý nástup, určitou nevýhodou je vznik malého množství energie. Čistý zisk z rozkladu 1 mol glukózy jsou **jen 2 mol ATP**, štěpením glykogenu se získají 3 mol ATP (obchází se první reakce spotřebovávající ATP). Laktát (směs kyseliny mléčné a jejích solí) se resyntetizuje v **Coriho cyklu** (Cori, Nobelova cena 1947) na **jaterní glykogen**, popřipadě v pomalých vláknech na **svalový glykogen** a energeticky se **využívá myokardem**.

**Metabolismus tuků** – tuky přijaté potravou se v zažívacím systému štěpí lipázami, popřip. fosfolipázami na glycerol a mastné kyseliny. Na snadnějším trávení tuků se podílí žlučové kyseliny, jak jejich emulgací, tak i transportem do střevních klků. V krvi se tuky vyskytují ve formě mastných kyselin, glycerolu, cholesterolu, chylomikronů a lipoproteinů (složených z cholesterolu, fosfolipidů, triacylglycerolů a bílkovinného nosiče). V játrech jsou zpracovávány a dále zužitkovávány všemi buňkami (fosfolipidy jsou součástí buněčných membrán). Tuky slouží k syntéze steroidních látek, žlučových kyselin apod. Rozpouští se v nich vitaminy A, D, E a K. Zásoby tuků v adipocytech kolísají od 5 do 20 kg (energeticky představují zhruba **260 000 kJ**). Podkožní tuk se uplatňuje jako významná **izolační vrstva**, chránící proti chladu. Nebezpečný je však nadbytek zejména viscerálního tuku, produkujícího zdraví škodlivé adipokiny, jako jsou např. adiposin, rezistin, tumor necrosis faktor, interleukiny aj.

Tuky (ve formě mastných kyselin – MK) jsou známé jako **nejbohatší energetické zdroje**. Jsou využívány při deletrvajících zátěžích a metabolizují se v Krebsově cyklu. Nejdříve však musí projít chemickým procesem tzv. beta-oxidace. Při ní vzniká koenzym A (CoA) a ketolátky, jako jsou aceton, kyselina acetocetová a betahydromáselná (obr. 1.5).



**Obr. 1.5** Anaerobní glykolýza, beta-oxidace mastných kyselin a Krebsův cyklus s elektronovým transportem

**Zdroj:** volně podle McARDLE, 2007.

**Metabolismus bílkovin** – bílkoviny přijímané v potravě jsou živočišného nebo rostlinného původu. Chemickým složením jsou to aminokyseliny, peptidy, dipeptidy, tripeptidy a složené proteiny (např. glykoproteiny). Po požití se postupně rozkládají v trávicím traktu (gastrickým pepsinem, pankreatickým trypsinem a střevními peptidázami) až na aminokyseliny. Portálním oběhem se dostávají do jater, kde se dále zpracovávají. Bílkoviny se zde přeměňují v ketoplastické a glukoplastické AMK. Ketoplastické AMK se přes ketolátky začleňují do lipidového metabolismu, glukoplastické AMK se stávají součástí glycidového metabolismu (viz alanin-glukózový cyklus).

Bílkoviny jsou součástí buněčných membrán a nitrobuněčných **struktur**, jsou zabudovány v genetickém materiálu buněčného jádra (v DNA) i v polyfunkční RNA. Tvoří kolagenní struktury kostí, chrupavek, šlach, vazů, kůže, vlasů a nehtů. Kontraktilní bílkoviny aktin a myozin jsou základními elementy hybnosti. Bílkoviny mají **funkce metabolické** (v těle máme přes 2000 různých enzymů proteinového původu). Mají i funkce **transportní** (plazmatické albuminy, globuliny i specifické bílkoviny, jako jsou např. protrombin a fibrinogen nebo významné přenašeče O<sub>2</sub> – hemoglobin, myoglobin a cytochromy). Neméně významná je jejich funkce **regulační** (hormony s neurotransmitery řídí všechny významné životní funkce). Bílkoviny pomáhají udržet acidobazickou rovnováhu, **energeticky** se ale využívají méně. Uplatní se především při intenzivní zátěži nebo v období regenerace. Před vstupem do Krebsova cyklu podléhají **deaminaci** (–NH<sub>2</sub>), **dekarboxylaci** (–COOH) a **hydrogenaci** (+H<sub>2</sub>).

Energetický a látkový metabolismus jsou, stejně jako metabolismy všech tří živin, spolu propojeny (obr. 1.6).

### Zdroje energie pro pohybovou zátěž

Energie v organismu se čerpá z:

- bezprostředních zdrojů, tzv. **makroergních fosfátů** (ATP, ADP, CP),
- náhradních zdrojů, tzv. **makroergních substrátů** (cukrů, tuků a bílkovin).