

Základy zátěžové fyziologie – poznámky

M. Máček, J. Radvanský, K. Slabý, M. Procházka

Reakce a adaptace na zátěž

Obsah

A Reakce organismu na různé typy tělesné zátěže

- I Krátkodobá zátěž
- II Delší zátěž v rovnovážném stavu, vytrvalostní zátěž
- III Intermitentní (intervalová) zátěž
- IV Maximální dynamická zátěž
- V Statická zátěž
- VI Kombinace statické a dynamické práce
- VII Druhy svalové síly

B Zátěžová reakce jako forma stresu a adaptace na ni

- I Stres a jeho stádia
- II Stručný přehled projevů adaptace na zátěžový stres

Pozn JR: Neplést si reakci a adaptaci: reakci na zátěž si představujete takto: já tu sedím a moje druhé já támhle sportuje rozdíl mezi Vámi a vašim druhým já je zátěžová reakce.

Teprve posun v zátěžové reakci po týdnech tělesné zátěže opakované několikrát týdně (nejlépe skoro denně) je klinicky validní zátěžová adaptace. Ujasněte si také co jsou atributy (přívlastky, popisky) tělesné zátěže a k čemu jsou dobré. Zátěž v běžném životě tak „opřívlastkujte“ : např „moje dnešní cvičení bylo kontinuální, velkých svalových skupin (běh), převážně dynamická zátěž, subjektivně těžké, s menší složkou excentrické zátěže svalů stehen, jelikož jsem běhal(a) také z kopce“

A) Reakce organismu na různé typy tělesné zátěže

⇒ reakce (biologická)

Sled fyziologických geneticky zakódovaných reflexních a zpětnovazebně regulovaných dějů, obvykle probíhající v časovém horizontu desetin sekund až minut od spouštěcího stimulu. Spouštěcím stimulem může být cokoli (každý aferent) přinášející řízenému systému informaci o změně dosavadního stavu. Reakci systému lze dnes již ve většině případů sledovat na úrovni organismus - systém - buňka- nitrobuňčná úroveň, a v řadě specifických případů již i na úrovni genů.

⇒ adaptace

V důsledku opakování reakce (za použití stále stejných či obdobných stimulů) vzniká během týdnů až měsíců posun ve sledu reflexních dějů – adaptace. Adaptací se zmenšuje působení podnětu a zvyšuje schopnost odolat podnětu silnějšimu. (Příklad: dosud nesportující pán 2 měsíce vstává o hodinu dříve a chodí rychlou chůzí v přírodě. Při chůzi mu stoupá tepová frekvence ze 70 na 120 tepů za minutu... reakce na zátěž. Po dvou měsících mu při stejné rychlosti chůze bude sice rovněž stoupat tepová frekvence, ale ne o 50 tepů proti klidu, pouze o 20. Tento posun je adaptace)

⇒ **fyziologická, přiměřená adaptace**

taková adaptace, kterou můžeme považovat za celkově spíše zdraví prospěšnou

⇒ **maladaptace**

zdraví (nebo kýženému výsledku) neprospívající posun ve fyziologických reakcích

⇒ **Atributy (typy) tělesné zátěže**

lehká ... těžká

kontinuální ... intervalová ... intermitentní

statická ... dynamická

silová – vytrvalostní

koncentrická – excentrická

izotonická – izometrická

silově vytrvalostní – silově výbušná

velkých svalových skupin – malých svalových skupin

posturálních svalů – fázických svalů

Pozn.: zátěž může být nejen fyzická (tělesná práce), ale také farmakologická, fyzikální (teplo, chlad, gravitace), psychická. Dále se občas používá termín posturální zátěž a stabilita („zatížení rovnováhy“).

I Krátkodobá zátěž

Rozsah změn závisí na délce, typu a intenzitě zátěže. Při zátěži nízké intenzity trvá počáteční, úvodní, nerovnovážná fáze asi 1 až 2 minuty, při střední intenzitě, u starších a nezdatných se prodlužuje na 3 až 4 minuty. Poté nastává nová regulační rovnováha zvaná rovnovážný stav.

Energetika

Bezprostředním energetickým zdrojem pro kontrakci je prvních zhruba 10 sekund zátěže **ATP** (adenosintrifosfát), jehož omezená zásoba je ve svalovém vláknech připravena. Ztrátou dvojných energetických vazeb se ATP mění na ADP + fosfát a ADP na AMP + fosfát. Přímou ve svalové buňce jsou systémy, které metabolizují zvenčí přiváděné živiny a takto získanou energii ukládají do chemické vazby ADP + P za vzniku nového ATP. K novotvorbě ATP slouží ve svalu také **CP** (kreatinfosfát), je to krátkodobý (na 20 sekund) rezervoár energie, který po rozpadu ATP dodá fosfát nezbytný pro resyntézu ATP z ADP.

U geneticky výjimečně vybavených a dobře trénovaných sprinterů poskytují tyto látky energii i o něco déle, až 20s. Je-li zátěž příliš intenzivní, obnovení zásob ATP nelze stihnout a zásoby těchto energií bohatých fosfátů klesají až na polovinu klidové hodnoty.

Při trvání zátěže nad 10 – 20 sekund se současně rozvíjí další forma rychlé dodávky energie - anaerobní metabolismus glukózy, anaerobní glykolýza. Ne všechny typy svalových vláken jsou pro tento metabolický proces vybaveny. Nejlépe jsou k tomuto účelu zařízena rychlá glykolytická vlákna, vybavená i rychleji vedoucím nervovým vláknem. Jako meziprodukt anaerobní glykolýzy vzniká kyselina mléčná, laktát (La), který je speciálním čerpadlem i za cenu energetických ztrát rychle vyčerpán mimo myocyt. Snadno totiž odštěpuje vodíkový proton, který v přebytku znemožňuje normální svalovou kontrakci. La přechází do krve a je později, za přítomnosti kyslíku, asi z 20% přestaven v játrech zpět na glukózu nebo je z největší části ihned spalován (je-li dost kyslíku) v jiných orgánech, zejména v myokardu, játrech nebo v dalších pracujících i nepracujících svalech. Tímto způsobem se uvolňuje energie zejména druhou minutu zátěže střední intenzity. Současně se rozbíhá aerobní spalování glukózy v mitochondriích buněk. Začíná působit poněkud pomaleji, ale je energeticky velmi ekonomické. Některé svalové buňky jsou geneticky vybaveny lépe pro anaerobní metabolismus a jsou používány zejména na začátku zátěže a také při nejvyšších intenzitách zátěže dlouhodobější. Protože obnovení (resyntéza) zásob ATP je u nich nastartována velmi rychle, jsou používána zejména pro rychlé krátké pohyby, mají na to i lepší nervové vybavení a jsou to vlákna rychlá. Jiné myocyty jsou vybaveny rezervoárem pro kyslík, myoglobinem, inervována tenčím, pomalejším nervovým vláknem a jsou více uzpůsobena pro práci dlouhodobou, vytrvalostní. (Existuje ale celé spektrum přechodů vláken

rychlých k vláknům pomalým.) Ve většině sportů a pracovních činností, kdy zátěž je většinou intermitentní (přerušovaná), probíhá zapojování obou typů vláken současně, a tak oba tyto pochody, anaerobní i aerobní probíhají současně. Jejich podíl na výsledné práci je ale velmi různý podle délky, druhu a intenzity zátěže. Krátkodobě málo záleží na tom, zda dodávka kyslíku je dostačující nebo ne. Pomalá, aerobní vlákna mají totiž krátkodobou zásobu kyslíku navázanou na svalový myoglobin a není-li krátkodobě k dispozici kyslík, je energetická potřeba pro zátěž hrazena převážně z anaerobní glykolýzy. Při činnosti rychlých (bílých vláken) převažuje anaerobně glykolytická forma uvolňování energie (anaerobní zátěž), a při činnosti červených, pomalých vláken naopak aerobní glykolýza (aerobní zátěž). Při zvyšující se intenzitě zátěže se přidávají postupně v zapojení k pomalým červeným i rychlá bílá vlákna, takže stoupá hromadění laktátu ve svalu a později (když laktát nestačí být játry, myokardem a nepracujícími svaly metabolizován) i v krvi.

Transportní systém

Tímto pojmem označujeme soustavu ústrojí sloužící k výměně dýchacích plynů mezi atmosférickým vzduchem a cílovým orgánem, v tomto případě svalovým vláknem. Transport dýchacích plynů je výsledkem složité řízené funkce systému dýchacího a oběhového. Zátěžové změny transportního systému lze rozdělit na 3 fáze. Počáteční fáze rychlých a velkých změn trvá něco přes půl minuty a je velmi málo závislá na intenzitě zátěže, poté následuje pomalejší, několikaminutový přechod do fáze třetí, do rovnovážného stavu, kdy se již transportní systém vyrovnal se všemi novými oběhovými požadavky. Fázi 1+2 se někdy říká iniciální fáze zátěže, fázi 3 rovnovážný stav.

Krátká, nebo intermitentní (přerušovaná) zátěž nekončí přechodem do rovnovážného stavu, stejně jako většina krátkých běžných denních činností – zátěž končí dříve, než stačí regulace navodit rovnovážný stav.

U intenzivnějších zátěží trvá nástup rovnovážného stavu déle a při velmi těžké zátěži nenastává vůbec a činnost je ukončena ochranným reflexem v podobě únavy.

Změny dýchacího systému

Při klidovém dýchání dýcháme zhruba 16x za minutu dechovým objemem o něco menším než půl litru, tedy minutovou ventilací $16 \times 0,5 =$ přibližně 8 litrů za minutu. Při velmi těžké zátěži jsme schopni ventilaci i zdvacetinásobit.

Dýchání se na začátku práce zrychluje a prohlubuje. Začínáme používat i výdechové svaly. Při minutové ventilaci asi čtyřnásobně vyšší než v klidu přestáváme používat pro dýchání nos. Zvětšování dechového objemu probíhá asi v poměru 2:1 do vdechu a do výdechu. Frekvence dýchání dosahuje až 30 až 40 i více dechů za minutu, zrychlení je velmi citlivě regulováno ve vztahu k objemu, a je zvolena taková frekvence a hloubka dýchání, která vyžaduje nejméně práce pro dýchací svaly (minimalizací součtu statických a dynamických odporů dých. systému). Velmi rychlé a povrchní dýchání není ekonomické. Plíce jsou natolik předdimenzovány, že i v nejtěžší zátěži zdravého člověka neklesá obsah kyslíku v tepenné krvi. Ventilace je řízena tak, aby stačila odvádět oxid uhličitý (jeho okamžitý výdej odráží jak množství právě vytvořeného oxidu uhličitého, tak potřebu regulovat acidobazickou rovnováhu) .

Oběhové ústrojí

Srdce a cévy jsou informovány o zátěži jak z mozku, tedy centrálně (zvýšením činnosti sympatického nervstva), tak místně, tedy lokálně - mechanickým roztahováním stěny drobných tepének (vzniklým jak svalovou prací v okolí, tak větším roztahováním zevnitř při vyšší pumpovací činnosti srdce). Centrální reakce z mozku zvětšuje minutový objem srdeční (MV) následnými změnami v periférii.

$MV = \text{tepový objem (SV)} \times \text{frekvence srdeční (fH)}$

V první fázi se MV zvýší rychle, při středně těžké zátěži dosáhne již po první minutě až 80% své konečné hodnoty. Rozhodujícím faktorem při zvýšení MV je zvýšení srdeční frekvence, ta se zvyšuje jako reakce na podráždění sympatiku velmi rychle již v prvních sekundách. Rovnovážného stavu dosahuje fH za 2 až 3 minuty, při vyšší zátěži později. Důležité změny se odehrávají i v cévním řečišti na periférii. V některých orgánech se pod vlivem sympatiku tepénky (arterioly) stáhnou a orgán se odkrví

Odkrvené systémy:

*trávicí trakt (během sekund až minut),

*kůže (během sekund až minut) ,

*ledviny (během minut až desítek minut)

jiným orgánům se tepénky roztáhnou a orgán se překrví

Překrvené orgány

+ játra

+ sval

*+ Kůže se v první fázi odkrví účinkem sympatiku, poté se překrví účinkem NO.

Rovnovážná fáze, kdy regulace již zvládly nové požadavky oběhu nastává tím později, čím je cvičící osoba starší, méně trénovaná a čím je zátěž těžší. V takové situaci musíme více dbát na postupné rozcvičení.

II Delší zátěž v rovnovážném stavu, vytrvalostní zátěž

Nelze ji definovat zcela přesně: např. při běhu stále stejnou rychlostí po rovině je rovnovážný stav navozen většinou mezi 3. a 4. minutou zátěže, poté stoupá postupně a velmi pomalu subjektivní pocit intenzity zátěže a s tím i oběhové, metabolické a dýchací zatížení.

Nejvýznamnější změny při zátěži délky desítek minut až hodin nastávají v oblasti zpracování energetických zdrojů, tedy v metabolismu.

Energetika

Kromě metabolismu glukózy začíná od druhé čtvrt hodiny zátěže zvolna vzrůstat podíl spalovaných tuků. Spalují se rovněž v mitochondriích, výlučně aerobně a potřebují k tomu vždy alespoň malý podíl glukózy („tuky se spalují v ohni cukrů“). Tuků má i štíhlý člověk mnohem větší zásoby než cukrů. „Nastartování“ metabolismu tuků závisí na genetických dispozicích, dietě a typu tréninku. Při intenzitách nad 80 procent maxima začíná podíl spalovaných tuků klesat, stoupá naopak při práci v chladu.

Minutová ventilace (MV) je tak vysoká, jak velká je intenzita zatížení a dlouhodobě se při stejné zátěži téměř nezvyšuje. To platí asi do 70 procent intenzity maximální zátěže. (U starých a netrénovaných do intenzity menší). Od této úrovně, kdy je již zátěž obtížnější, stoupá ventilace a výdej oxidu uhličitého rychleji než příjem O₂. Příčinou je asi zvyšující se **kyselost** krve způsobená vyšší hladinou kyseliny mléčné.

Dechový objem se při výkonu zvětšuje zejména před dosažením rovnovážného stavu, obdobně jako u zátěže krátkodobější.

Pro intenzivní dlouhodobou zátěž je důležitá schopnost správně zapojovat dýchací svaly a snadno zvětšovat objem dutiny hrudní, čímž vzniká nádech. Pokud to nejde optimálně, pamatuje si mozek, že to minule šlo snáz a navodí subjektivně nepříjemný pocit při dýchání, dechovou tíseň, dušnost. U žen je při dušnosti ve sportu časté, že nejsou schopny dostatečně rozepínat hrudník (bloky žeber, jizvy, skolióza) u sportujících mužů pocitujících v těžké zátěži dušnost je dost časté přílišné tréninkové zaměření na přímé svaly břišní a netrénované šikmé svaly břišní. To vede ke špatné aktivaci hlavního vdechového svalu – bránice.

Transportní systém

Minutový srdeční objem stoupá při zátěži lineárně, obdobně jako spotřeba kyslíku. Tento vzestup je způsoben především zvýšením fH. **Tepový objem** při zátěži od lehké intenzity již nestoupá a v maximální zátěži může i mírně klesat.

U trénujících vytrvalců po mnohaměsíčním tréninku stoupá adaptací na vyšší objemové nároky objemovým objem levé komory (excentrická hypertrofie). V klidu i v zátěži mají proti netrénovaným výrazně vyšší systolický objem, na stejné zátěži mají proti běžné populaci nižší tepovou frekvenci – jednak proto, že mají vyšší systolický objem, ale také proto, že jim stačí ke stejnému výkonu méně krve – jsou si schopni z přitékající krve „vyždímat“ více kyslíku a živin. Jako známka trénovanosti se objevuje po několika měsících vytrvalostního tréninku snížení klidové tepové frekvence na hodnoty až pod 50 tepů/min jako vliv zvýšeného tonu parasymptiku a poklesu tonu symptiku.

Výsledkem všech těchto opatření je nejdůležitější efekt a to je **ekonomizace srdeční práce**.

Vznik zdravotně významné sportovní adaptace srdce trvá měsíce až roky, po ukončení sportovní činnosti se po několika měsících vrací do stavu, v jakém bylo před jeho zahájením.

Při vytrvalostní zátěži se organizmus musí zbavovat velkého množství vytvořeného **tepla**. Vzniká nebezpečí jeho nahromadění a regulace tělesné teploty se stává v některých situacích pro organizmus prvořadou. Začíná proto přesunovat část krevního proudu, který dosud zásoboval především pracující svaly kyslíkem, do kůže. Tím se odvádí přebytečné teplo do okolí. Na počátku zátěže vzniklé zúžení cév v podkoží se mění ve vazodilataci.

Se stoupající potřebou krve jinde než ve svalech nastává centrální, nouzové rozdělení krve, tím se nedokrví játra a začne stoupat krevní laktát. Intenzitu takové středně – či dlouhodobé zátěže, ve které se tak děje nazýváme *anaerobní práh*. Zátěž nad intenzitou

anaerobního prahu vydržíme po dobu desítek sekund, nejdéle několik minut. Zátěž pod intenzitou anaerobního prahu jsme při pozitivní motivaci schopni vydržet desítky minut až hodiny.

III Intermitentní (a intervalová) zátěž

Je střídáním aktivity a odpočinku, nebo intenzivnější a méně intenzivní zátěže po určitou dobu. Po stránce energetického výdeje i z hlediska transportního systému se tato forma liší od zátěže kontinuální. Při střídání krátkých intervalů práce a odpočinku během sekund až desítek sekund je stejná práce prováděna s nejmenším úsilím.

Když je ale práce prováděna trvale, kontinuálně, probíhá nejméně ekonomicky. Trénovaný sportovec takovou těžkou zátěž, kterou intervalově zvládá třeba hodinu, zvládá kontinuálně mnohem kratší dobu: většinou méně než deset minut.

Příčinou těchto rozdílů je způsob energetického hrazení zátěže. Při krátkých intervalech je použito jako paliva ATP a CP ze zásob, které jsou během následujícího klidového období znovu rychle syntetizovány smíšenou činností aerobního i anaerobního metabolismu. Laktát se stačí „vypumpovat“ do krve a aerobně zmetabolizovat.

Jakmile se pracovní úseky prodlužují, zvyšuje se při této intenzitě podíl anaerobního metabolismu s vyšší produkcí La, který už se nestačí proměnit na glukózu nebo energeticky využít a stoupá jeho krevní hladina. Při těžké zátěži je přebytkem vodíkových protonů v buňce tlumen aerobní metabolismus.

Intervalovým způsobem lze zvládnout velká kvanta práce bez známek větší únavy. Tento způsob zátěže je principem **intervalového tréninku**, kombinují se různé délky zátěže a odpočinku. Očekává se, že se zvýší **glykolytická kapacita** (podle starší terminologie anaerobní kapacita). Nejúčinnější jsou krátké pracovní úseky např. 10 až 15 sekund, delší úseky nad 3 až 4 minuty zvyšují spíše kapacitu oxidativní, vytrvalostní.

Adaptace oběhu na silovou zátěž

Vzniká rovněž až po měsících a letech tréninku. Probíhá jak na úrovni srdce, tak na úrovni svalu a úrovni regulační.

U vzpěračů se tepový objem nezvětší adaptací vůbec: levá komora tloustne, ale směrem dovnitř (koncentrická hypertrofie jako adaptace na pakované tlakové zatížení lůvevé komory). Srdce tak lépe zvládá situaci, kdy většina svalů je v kontrakci a má tak zmáčkнутé kapiláry. To lze překonat jedině silnějším stahem a vyšším tlakem krve. Vzpěrač má v okamžiku výkonu podstatně vyšší krevní tlak než maratonec (i nad 300 mmHg), ale nepotřebuje tak velký srdeční výdej. Při nevhodném tréninku vzniká nevhodná adaptace (maladaptace), kdy účelně zvýšený krevní tlak během sportu zůstává vysoký i v klidu. Proto je vhodné silový trénink raději vždy prokládat krátkými pauzami na dostatečné uklidnění oběhu a nechat kontrolovat silovým sportovcům krevní tlak.

IV Maximální dynamická zátěž

Pod tímto pojmem si představujeme **maximální výdej energie** provedený různými formami spíše dynamického než silového pohybu např. jízdou na kole, při běhu, plaváním a pod.

Energetika

Mírou intenzity této zátěže je **maximální spotřeba kyslíku** ($VO_2\max$).

Nezbytnou podmínkou správného změření hodnoty maximální spotřeby kyslíku je, aby trvala určitou krátkou dobu, obvykle po rozezhřátí do 10 minut, ve kterých vrcholí vzestup sledovaných hodnot tj. fH, ventilace a spotřeby kyslíku k maximu. Ke zjištění $VO_2\max$ je možno použít **ergometr**, kdy se stupňovanou zátěží délky 3 minuty na jeden stupeň intenzita stupňuje až do maxima tak aby celé vyšetření optimálně trvalo 12 - 15 minut. Jinou alternativou jsou 1 – 2 rovnovážné zátěže, velmi lehká a lehká, a po nich kontinuálně zvyšovaná zátěž „ramping protocol“ délky 5 – 12 minut do maxima.

Nejvyšší hodnoty **$VO_2\max$** byly získány u sportovců, kteří podávají vytrvalostní výkony a jsou k tomu trénováni. U běžců na lyžích byly nalezeny nejvyšší hodnoty okolo $80 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, u vytrvalců běžců, chodců a orientačních běžců hodnoty mezi 70 až 80, podobně i u plavců a rychlobruslařů, ostatní sporty se řadí poněkud níže. Pořadí je stejné i u žen s tím, že všechny hodnoty jsou sníženy asi o 10 až 15%. Hodnoty **normální populace** jsou nižší používají se ke stanovení obecné vytrvalostní zdatnosti nebo na správnou volbu rekreačních a léčebných pohybových činností. Nemá smysl měřit spotřebu kyslíku u sportů s vysokou složkou silové, statické zátěže.

Absolutní hodnoty VO₂max jsou závislé na pohlaví, tělesném složení, věku a trénovanosti. Stoupají k vrcholu, který je mezi 20 a 25 lety, u žen o něco dříve, pak pozvolna klesají a asi v 60 letech představují jen polovinu původních hodnot. Není dosud jednoty v otázce, co je hlavním **limitujícím** faktorem, který omezuje maximální výkon.

V Statická zátěž

Ve své čisté formě znamená **statická zátěž** déletrvající izometrickou kontrakci, tedy silovou kontrakci s nezměněnou délkou svalového vlákna. Z fyzikálního hlediska nevzniká při statické kontrakci žádná mechanická práce, protože se nemění poloha těžiště. V praktickém životě je však daleko častější forma smíšená, kdy se sval při silové kontrakci pomalu zkracuje, tj. kontrakce **koncentrická**, nebo prodlužuje, tj. kontrakce **excentrická**.

Maximální **síla svalové kontrakce** závisí:

- 1) na schopnosti **zapojit** ve stejný okamžik co nejvíce vláken stejné svalové skupiny při současné relaxaci antagonistů. Při této činnosti se uplatňuje i **motivace, koordinace, trénink**, pohybová zkušenost a pod.
- 2) na ploše **příčného průřezu** svalu,
- 3) na **postavení kloubu a dalších biomechanických faktorech**. Např. pro různý úhel v loketním kloubu platí různý stupeň síly bicepsu. Ve středním postavení okolo 90° je síla nejvyšší, při ostrém a tupém úhlu nejnižší.
- 4) na tom, zda se jedná o kontrakci **koncentrickou** nebo **excentrickou**. Např. při pokládání břemene ohýbači předloktí, spustíme dolů těžší závaží než zvedneme týmiž ohýbači nahoru.

Průměrná síla svalu v populaci je u stejných svalových skupin zhruba stejná, rozdíly jsou dány tréninkem a geneticky (genetický vliv je mnohem větší než se dříve předpokládalo). U žen je svalová síla nižší asi o 20 - 30%, se stoupajícím věkem klesá a v 60 letech věku je asi o 20% nižší než v době největší síly. Tento pokles je větší u svalů trupu a dolních končetin, Fázičné svaly si zachovávají svou sílu déle.

Energetika

Při kontinuální, nepřetržité svalové kontrakci větší silou se sval brzy vyčerpá. Čím je kontrakční síla menší, tím déle může kontrakce trvat. Do 10 až 20% maximální síly může kontrakce trvat velmi dlouho. Takové práci jsou přizpůsobeny posturální svaly, tedy ty které

udržují vzpřímenou pozici těla. Mají mnohem více červených svalových vláken a víc vláken připojených k jednomu motoneuronu. Vyšší kontrakce vede k mnohem rychlejší svalové únavě. Příčinou tohoto omezení je zvýšení nitrosvalového tlaku. Tím dojde ke stisknutí krevních cév a omezení průtoku krve. Červená vlákna jsou pak odkázána na rezervy kyslíku v myoglobinu, stoupá význam anaerobní glykolýzy. Omezení přívodu kyslíku a energetických látek a současně hromadění odpadových metabolitů vyvolá vyčerpání i bolesti v kontrahovaném svalu. I krátká přestávka podstatně zlepší místní oběhové podmínky a zvýší podíl aerobního metabolismu.

Transportní systém při zátěži statické a dynamické ... rozdíly oproti dynamické zátěži

Je velký rozdíl v reakci oběhu na zátěž dynamickou a statickou. *Dynamická* svalová činnost má nároky hlavně *objemové*, protože se na činnosti většinu účastní velké svalové skupiny, které je nutno zásobit velkým objemem krve, kdy se otevírají četné nové cévy a zvyšují se nároky na množství dodávané krve. Naopak *při práci statické* se zvyšují nároky na *tlakovou práci srdce* (od levé komory srdce je žádán ne tak moc velký srdeční výdej, ale do velkého periferního odporu...to nutí komoru pracovat do vysokého tlaku). Příčinou je signalizace z kontrahovaných a proto nedostatečně prokrvených malých svalů, kdy zvýšením TK se snaží centrální regulace oběhu dopravit krev stísněnými cévami do těchto svalů. Nejintenzivnější signalizace do mozku vzniká při statické práci svalů horních končetin, zejména ohýbačů prstů. S prodlužováním kontrakce se TK stále zvyšuje. To platí i při práci malých svalových skupin.

Při lehké a střední statické zátěži je nejekonomičtější zvýšit tlak diastolický, reflexně se zužují drobné arterioly v podkoží a nepracujících svalech. Teprve při statické zátěži těžké, zejména při zapojení velkých svalových skupin podstatně stoupá i systolický tlak. Tento vzestup je výrazný již od 30% MVC, přitom se nemusí zvyšovat fH. Rozdíl v nárocích na oběh při statické a dynamické zátěži má velké zdravotní důsledky. Zatímco **práce objemová** srdci prospívá, tlaková práce levé komory srdeční může naopak osoby se zvýšeným tlakem krve nebo srdeční chorobou ohrožovat. Nejvýraznější působení statické složky zátěže se objevuje při činnosti se rukama zdviženými nad hlavu, kdy je staticky kontrahováno svalstvo pletence ramenního, dále krční a páteřní svalstvo, zatímco malé svaly horních končetin provádějí dynamickou činnost. Tato činnost je nevhodná a riziková nejen u nemocných s poruchami krevního oběhu, ale i u starších osob zdravých (lze ji provádět jen dosti krátce a s přestávkami). Kondiční cvičení těchto osob by mělo obsahovat jen méně intenzivní prvky

silových cvičení. Při nezvyklé práci "na chalupě" by se starší osoby měly vyvarovat déle trvajících silových zátěží a práce s rukama nad hlavou.

Silovým nebo odporovým tréninkem lze zvýšit statickou sílu určité svalové skupiny. Tím oba typy svalových vláken hypertrofují a zesilují v nich kontraktilní elementy. Z metabolického pohledu je významný i větší počet receptorů pro inzulín na hypertrofickém vlákně. Současně s touto větší adaptací na zátěž se snižuje oběhová odpověď a konkrétně se objevuje nižší vzestup TK při stejné intenzitě MVC. Při rozumně vedeném posilování s dostatečnými přestávkami na uklidnění oběhu lze aplikovat silový trénink i léčeným hypertonikům a kardiakům. Z nejasných důvodů ze silovým tréninkem seniorů zvyšuje významně i jejich vytrvalostní zdatnost.

VI Kombinace statické a dynamické práce

Tato kombinace je hlavní formou většiny činností pracovních i sportovních. Vliv na metabolismus i oběh se řídí podle převládajícího zatížení. Vliv statické složky přidáváme například zařazením běhu do kopce, změnou vytrvalostního tréninku za kruhový, kde přidáváme posty s krátkými vsuvkami intermitentní statické zátěže. Svalovce tím z klienta neuděláte, ale lze mu tak významně zvýšit vytrvalostní zdatnost a pomoci posílit oslabené svalové skupiny při jednostranně zaměřených sportech.

VII Druhy svalové síly

Typy využití svalové síly určují i její pojmenování. Ve sportu se uplatňuje často **explozivní síla**. Lze ji snadno měřit pomocí výskoku a dosažením určité výšky. Výsledek je určován vlastní svalovou silou, schopností jejího rychlého vybavení, ale i výškou, hmotností, motivací i praxí. Tedy celou řadou objektivních i subjektivních faktorů.

Izometrická síla (sval se kontrahuje aniž změní délku). Je využívána v každodenních životních a pracovních situacích. Je používána také k fixování páteře a kloubů při požadavcích na jejich fixaci. 100% sílu, tj. MVC lze udržet jen několik sekund.

(V anglicky psaném písemnictví najdete „static load“, což v některých případech je izometrická kontrakce. Dále najdete termín „resistance training“, odporové cvičení, což je trénink za použití statické zátěže, nebo dynamické zátěže proti většímu odporu, ale vždy

s dostatečnými přestávkami na prokrvení svalu po izometrické kontrakci, případně kombinovaný se zátěží dynamickou)

Izotonická síla. Při tomto druhu síly se nemění svalový tonus, tedy napětí svalu, ale mění se jeho délka. Je to síla používaná v denní praxi pro provádění běžných a všedních pohybů. Testuje se jednoduchými testy jako jsou opakovaná cvičení sed/leh, kdy se současně hodnotí i isotonická vytrvalost.

Celkové vyjádření **silové kapacity** (anaerobní kapacity) organismu lze provést pomocí co největšího výkonu proti vysokému odporu na ergometru po dobu několika málo sekund. Tento výkon by vyčerpал zásoby ATP a dalších makroergních fosfátů, další výkon po dobu 30 sekund by měl změřit schopnost mobilizace síly pomocí glykolytické fosforylace.

Tento test lze provést i na běhátku nebo co možná nejrychlejším během do prudkých schodů. Mírou je dosažený výkon v daném čase.

B) Zátěžová reakce jako forma stresu a adaptace na ni

I Stres a jeho stádia

Stres je soubor regulačních mechanismů nastupujících při ohrožení **vnitřní homeostázy organismu**. Stresová reakce začíná při nadprahovém působení stresorů - např. intenzivní tělesná zátěž, chlad, horko, hlad, ale i infekce, nebo i myšlenky spojené se silnými emocemi. Stresová reakce je fylogeneticky zakódovaná neurohumorální odpověď.

1. Stadium poplachové reakce

Je charakterizováno **poklesem tonu parasymptiku, zvýšením tonu symptiku, vzestupem** kortikotropin releasing hormonu (CRH) a adrenokortikotropního hormonu (ACTH), který v nadledninách spustí syntézu kortizolu.

Protože symptikus je přímo propojen s dřením nadledvin, vyplavují se ihned katecholaminy - adrenalin a noradrenalin, které připraví organismus na hrozící zátěž ve smyslu hesla "Boj nebo útěk". Naproti tomu kortizol je hormonem pozdního stresu - trvá desítky minut než se na popud ACTH v nadledvinách vyrobí.

Vlivem symptiku a katecholaminů se zvětšuje srdeční výdej zvýšením srdeční frekvence a stažlivosti, stoupá krevní tlak, prohlubuje se dýchání, stoupá hladina glukózy,

vyplavují se tuky z depot, urychluje krevní srážlivost, tlumí se činnost trávicího, vylučovacího a reprodukčního systému a další.

2. Stadium adaptace na stres.

Adaptace na stres nastává vlivem opakovaného působení stejného stresoru, což vede ke snížení adrenokortikální odpovědi. Přitom při opakovaném fyzickém stresu dochází k většímu postresovému vzestupu beta endorfinů. Adaptací se zvyšuje odolnost na stejný stresový nadprahový podnět a zvyšuje se schopnost odolat podnětu intenzivnějšímu (zvyšuje se práh nutný pro spuštění poplachové reakce).

Tréninkové působení je vlastně řízená adaptační odpověď na zátěžový stres. Je pravděpodobné, že se poplachová reakce plně rozvíjí až při zátěžích vyšší intenzity, tj. asi od 60% VO₂max, při nižších intenzitách vyžaduje adaptace velmi dlouhé tréninkové dávky, nepoužitelné v praxi. Dolní mez pro adaptační mechanismy je někde u 40-50% maxima.

Ke stresové odpovědi patří vedle zvýšeného vyplavování katecholaminů i vyplavování celé řady imunomodulačních látek, dalších hormonů a regulačních látek. Výsledkem je, že krátkodobý intenzivní zátěžový stres má podstatný vliv na metabolické funkce, obranyschopnost organismu i psychiku.

Na vznik poplachové reakce se nelze dívat jako na zásadně škodlivý jev, negativní působení se vyvíjí spíše nadměrným opakováním a nezvládnutelnou intenzitou. Znamená to například, že pro člověka středního věku dosud neadaptovaného na zátěž by například rychlá chůze do kopce (jako pro něj příliš intenzivní pohybová aktivita) mohla představovat těžký stres, zatímco u mladého zdatného člověka tato intenzita bude příliš malý stresor, aby na tak nízkou zátěž vyvolala účinnou adaptační odpověď.

3. Stadium destrukce

Je-li působení stresoru velmi intenzivní a stres probíhá pro organismus za nepříznivých podmínek, jestliže všechna opatření a obranné reakce nestačí potlačit působení zevního stresoru jako například infekce, chladu, vyčerpání, únavy a hladu, pak se nastupuje selhání a organismus hyne.

II Stručný přehled projevů adaptace na zátěžový stres

Adaptace ústrojí lokomočního, tj. na kostech, šlachách, vazivu, chrupavkách, svalech:

Vzniká

- * Zpevnění kosti ve směru tahu a tlaku změnou architektiky kostní tkáně.
(Optimální zatížení 2x denně 20 a více minut s přestávkou 8 a více hodin.)
- * Zvýšené ukládání minerálních solí v intersticiální substanci kosti.
- * Zesílení šlach a ligament, zvýšení tahové odolnosti.
- * Zvětšení svalové hmoty tj. ztlustění (hypertrofie) při změně detailní struktury svalových vláken
 - o jsou vyráběny účinnější přečerpávače draslíku a vápníku, jiné varianty bílkovin svalových vláken zejména myozinu.
 - o Sval má i rychlejší relaxační schopnost (schopnost povolit zaťatý sval).
- * Při tréninku síly vzniká zvýšení účinnosti stažlivých částí svalového vlákna a lepší odolnost na uvolněné vodíkové protony při anaerobní glykolýze.
- * Při tréninku vytrvalosti vzniká zvýšení okysličovací, oxidativní kapacity enzymů v mitochondriích, časněji zapojený metabolismus tuků a snazší čerpání glukózy do buněk svalu.
- * Ač je cvičení zvýšeným oxidačním stresem, stoupá v rámci adaptace antioxidační kapacita svalu.
- * Zmnožení cév a zlepšení mikrocirkulace ve svalech.
- * Zlepšení neurosvalové koordinace, což se projeví zlepšením pohybové techniky. To je dáno schopností zapnout současně více svalových jednotek, zlepšením souhry agonistů a antagonistů, snížením ekonomické náročnosti pohybu.

**Sumárně: celkové zvýšení svalové hmoty, pevnosti a odolnosti vazivového a kostního systému a podstatné zvýšení svalové síly při lepší koordinaci.

Adaptace oběhového (transportního) systému:

Ekonomizace srdeční práce

- * periferní adaptací - tím, že se zlepší využití kyslíku a živin ze stejného množství krve přicházející do svalu (zlepšuje se velmi zvolna)
- * lepší podporou žilního návratu (svalové pumpy),
- * tím, že v dlouhodobém působení se zvyšuje tepový objem a ke stejnému srdečnímu výdeji pak stačí menší tepová frekvence.
- * Adaptací také stoupá objem cirkulující krve.

Metabolická adaptace: u trénovaného

- * Vyšším obratem tuků pro delší zátěž se příznivě mění složení tuků v krvi.
 - o Sníží se celkový cholesterol a zvýší se HDL cholesterol (ale někdy až po fázi, kdy klesne LDL i HDL).
 - o LDL cholesterol klesne.
- * Vzniká po čase snížení krevní hladiny inzulínu
 - o zvýšením počtu svalových receptorů na inzulín při svalové hypertrofii
 - o zvýšením citlivosti inzulínových receptorů a zvýšenou schopností čerpat v zátěži glukózu do svalů i bez použití inzulínu
- * Rychlejší utilizace tuků pro vyšší aktivitu lipázy.
- * Nižší sympatikotonie při nízké zátěži a vyšší při extrémně vysoké zátěži blízké maximu.

Jaký má vliv pohybová adaptace (tedy adaptace na zátěžový stres) na složení těla:

- * Snížení % tuku – zejména viscerálního a břišního - a zvýšení % aktivní hmoty, změny rizikového rozložení tukové tkáně (od androidní směrem ke gynoidní obezitě)

Přizpůsobení vegetativního systému na zátěžový stres:

- * Zvýšení šetřícího vlivu parasympatiku (n. vagus) a snížení klidového tonu sympatiku.

Adaptace psychická:

- * Získání příjemných a radostných zážitků při pěstování sportu a při vyšší pohybové aktivitě.
- * Získání kladných subjektivních pocitů větší výkonnosti.
- * Kompenzace stresových vlivů z běžného života zejména vyplavováním endorfinů
- * Zvýšení sebedůvěry, seberealizace, antidepresivní vliv vyšším vyplavováním serotoninu.
- * Zlepšení vztahů ke kolektivu a řada dalších vlivů patřících do oblasti psychologie.

Vybrané termíny

Hlavní sledované zátěžové kardiorespirační parametry a jejich význam při zátěžovém testování

⇒ Maximální spotřeba kyslíku

(VO_{2max} , VO_{2peak}) [$ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$]

Vyjadřuje maximální schopnost aerobně produkovat makroergní fosfáty, je globálním ukazatelem výkonnosti celého transportního systému pro dýchací plyny od zevního prostředí až po intracelulární transport. Je považována za relativně nejpřesnější numerické vyjádření celkové schopnosti pacienta absolvovat dlouhodobou tělesnou zátěž a zregenerovat po namáhavém výkonu, má být vždy uváděna s respiračním výměnným koeficientem (R), (RER) jako mírou motivace. Hlavním orgánem, podílejícím se na zvýšení spotřeby kyslíku proti klidu jsou příčně pruhované svaly. Protože máme všichni téměř identickou účinnost oxidativního substrátového metabolismu, lze ze spotřeby kyslíku stanovit dosti přesně i energetický výdej. V poslední době se jako jednotek spotřeby kyslíku používá násobků tabelární klidové spotřeby kyslíku - ekvivalentů klidového metabolismu, „metabolic equivalents“, (METs) 1MET = spotřeba 3.5 ml O_2 na kilogram hmotnosti za minutu. Vzhledem k vyššímu emočnímu ovlivnění během zátěžového vyšetření závisí výsledek u dětského pacienta proti dospělému podstatně více na jeho momentální náladě, u seniorů skutečnou maximální spotřebu často ovlivňují jiné choroby (např. hybný systém), hovoříme o *symptomaticky limitované zátěži*.

⇒ Krevní tlak v zátěži

(TK) [mmHg] - oficiální jednotky [kPa] se neujaly

TK je funkcí srdečního výdeje a periferní rezistence. V dynamické zátěži stoupá systolický krevní tlak, klesá nebo stagnuje tlak diastolický. Měření krevního tlaku v zátěži je nutno interpretovat dle norem v závislosti na věku, intenzitě a typu tělesné zátěže (statická či dynamická). Auskultační měření diastolického TK je v zátěži zatíženo značnou chybou. Při testech na bicyklovém ergometru by neměl pro dospělé do střední generace stoupat systolický TK proti klidu o více než 30 mmHg na každý Watt na kilogram tělesné zátěže, senior by neměl mít v dynamické zátěži nikdy více než 220 mmHg systolického tlaku (nemá pružné cévy, nadměrně tak zatěžuje svůj endotel.) Iktus v zátěži je vzácný. Pokud používáte 24 hodinový monitor TK, nevěřte hodnotám naměřeným v zátěži, mnohem spolehlivější je laboratorní zátěžový test s měřením klasickým manometrem a fonendoskopem. Při

stupňované zátěži má s vyšším stupněm zátěže stoupat i systolický TK. Při statické zátěži (zátěž intenzity jedné třetiny maximální volní kontrakce) pokládáme za hraniční tlaku u školních dětí 170/115, u adolescentů 180/120 u dospělých 190-200/130 mmHg.

⇒ **Hlavní skupiny parametrů odvoditelných ze zátěžového EKG**

- a) tepová frekvence (HR) na jednotlivých stupních zátěže (viz bod d)
- b) poruchy rytmu z poruchy tvorby i vedení vzruchu
- c) poruchy repolarizační fáze (podle doporučení Americké kardiologické společnosti nelze hodnotit ST segment u dětí se syndromem preexcitace, bloky ramének a komorovým pacemakerem)
- d) dynamiku klidových patologických nálezů v zátěži.
- e) ověření některých typů poruch rytmu z 24 hodinového záznamu EKG dle Holtera.
- f) rovnováhu vegetativních regulací z dynamiky změn HR na začátku zátěže a ve zotavení

⇒ **Tepová frekvence**

(HR) [tepů * min⁻¹]

Je nejsnáze a nejpřesněji měřitelný parametr nepřímo svědčící o dynamice srdečního výdeje v zátěži a o tonu sympatiku a parasympatiku a jeho změnách. V praxi hodnotíme, zda reakce tepové frekvence na zátěž odpovídá pohybové anamnéze, výkonnosti a hemodynamickému stavu pacienta. Tepová frekvence v lehké a střední intenzitě dynamické zátěže vyjádřená v Z skóre (Z skóre je odchylka od průměru náležité normy dělená směrodatnou odchylkou této normy) je nepřímo úměrná zdatnosti za předpokladu, že maximální tepová frekvence je prokazatelně v pásmu normálních hodnot. Na nižší zátěži se do ní mohou více promítat i psychogenní vlivy (stres z vyšetření u neurotických pacientů).

⇒ **Maximální tepová frekvence**

(HR_{max}, TF_{max}, fH_{max}) [tepů * min⁻¹]

Je nejvyšší HR, naměřená obvykle v okamžiku ukončení zátěže pro vyčerpání. V praxi se měří tepovým pravítkem ze 4 cyklů, případně automaticky z EKG. Naměřenou hodnotu HR porovnáváme s normami dle věku, korigovanými na typ zátěžového protokolu. Maximální tepová frekvence nezávisí na tělesné zdatnosti a klesá s věkem.

Pokud je HR v mezích normy, svědčí o dobré schopnosti sinoatriálního uzlu akcelarovat v zátěži. Pokud je pod dolní mezí normy, nutno zvážit, zda pacient dosáhl objektivně maximálního výkonu, jakého je schopen.

Norma pro HRmax se odvozuje ze vzorce, platného pro maximální intenzitu běhu:
Průměrná hodnota HRmax = 220 - věk.

Směrodatná odchylka HRmax je asi 15 tepů. Z toho vyplývá například pro dítě ve věku 12 let dolní mez HRmax při běhu $220 - 12 - (2 \cdot 15)$, tedy 178 tepů.

HRmax při běhu je o 5-10 tepů za minutu vyšší než při jízdě na kole a o 20 i více tepů za minutu vyšší než při plavání. Podle toho je nutné vzorec pro výpočet normálních hodnot HRmax korigovat.

HRmax u pacienta na terapii betablokátory sympatiku je ovlivněna (snížena) více než HR klidová.

⇒ Indexové parametry s tepovou frekvencí a výkonem

Indexy výkonnosti W_{170} , W_{150} , W_{130} [W],[W*kg⁻¹]

Udávají intenzitu zátěže, při které má pacient v indexu udanou tepovou frekvenci (v rovnovážném stavu). Určujeme je metodou lineární regrese ze tří a více bodů, abychom snížili riziko chyby měření. (Pokud parametr určujeme ze dvou bodů, má být jedna zátěž subjektivně lehká a druhá subjektivně střední až těžká).

Pokud vyjadřujeme tyto indexy bez přepočtu na tělesnou hmotnost, u pacientů s různou hmotností nelze indexy srovnávat. I při vyjádření v závislosti na kilogram hmotnosti (W_{170}^* kg⁻¹) nemají zřejmě tyto indexy o nic větší výpovědní hodnotu než v Z - skóre vyjádřená tepová frekvence na standardizované zátěži vnímané subjektivně jako těžší až těžká. (Zátěž v rovnovážném stavu dávkovaná ve W* kg⁻¹)

⇒ Anaerobní práh

angl. anaerobic threshold, (AT), neinvazivně (ventilatory anaerobic threshold, VAT)
[jednotky dle parametru vyjadřujícího intenzitu zatížení]

V poněkud zjednodušujícím pohledu lze AT definovat (u zdravého člověka) jako takovou hraniční intenzitu zátěže, jejíž překročení vede k ochranné fyziologické únavě během desítek sekund až několika minut, zatímco při intenzitách zátěže pod AT nastává únava (u motivovaného zdravého člověka) během desítek minut až hodin. Nejčastěji se stanovuje neinvazivně ze změn kinetiky minutové ventilace, spotřeby kyslíku, výdeje oxidu uhličitého, změn RER a změn tepové frekvence během zátěžového protokolu s kontinuálně zvyšovanou zátěží.

V původní vyšetřovací metodice i v jejím teoretickém vysvětlení hrála primární úlohu hladina krevního laktátu ve smíšené venózní krvi, dnešní vysvětlení všeobecně zažitého praktického termínu je nejasné.

Při kontinuálně lineárně zvyšované zátěži do maxima: mezi intenzitou AT a maximální zátěží: HR stoupá, ale méně strmě než pod AT, spotřeba kyslíku stoupá, ale méně strmě než pod AT, minutová ventilace a výdej oxidu uhličitého stoupají, ale strměji než pod intenzitou AT

⇒ **Výkon**

[W] Fyzikálně definován jako síla * dráha.

Udává se ve Watech - vzhledem k rozdílné hmotnosti a výšce je však nutné jej vždy udávat vztažený k hmotnosti, výšce, BMI, povrchu těla nebo svalové hmotě. V klinické praxi se udává nejčastěji hodnota vztažená na kilogram hmotnosti. Při zátěži na běhátku lze výkon přepočítat z rychlosti pohybu a úhlu sklonu běhátka, pokud se testovaný nepřidržel madel. Schopnost jedince podávat výkon v určité činnosti se označuje jako výkonnost. Maximální výkon (W_{max}) je hodnota nejvyšší dosažené zátěže, s výhradami použitelná pouze při identickém zátěžovém protokolu (za použití výkonu v závislosti na váze či povrchu těla).

⇒ **Výdej energie**

[kJ], [kJ * min⁻¹], [kJ * min⁻¹ * kg⁻¹]

Z hlediska zátěžové fyziologie je to "metabolická cena", kterou organizmus zaplatil za zatížení. V praxi jej stanovujeme pouze nepřímými, ekonomicky nenáročnými postupy. Lze jej určit nepřímo ze spotřeby kyslíku, z tabulek energetických nároků jednotlivých činností (vhodné jsou ale pouze tabulky udávající výdej za časovou jednotku a v závislosti na

hmotnosti pacienta) či z elektronického zařízení přepočtem z integrálu výstupu akcelerometru.
(Referenční metody: přímá kalorimetrie, metodiky s dvojitě značeným izotopem vody)

⇒ Celkový čas zátěže

[min]

Dlouhodobě je srovnatelný při zachování identického protokolu u jednoho pacienta pokud nezměnil výrazně hmotnost, nebo pokud je dávkování zátěže odvozené od hmotnosti.

⇒ Symptomaticky limitovaná zátěž, pracovní kapacita ("symptom limited exercise")

[jednotky dle způsobu jakým vyjádříme intenzitu zatížení, nejčastěji $W \cdot kg^{-1}$]

Je maximální dosažitelný výkon před vznikem subjektivních či objektivních příznaků, které by mohly vést k přerušení testu. V interpretaci zátěžového testu dětských pacientů je méně užívaná vzhledem k časté limitaci testu sníženou motivací pacienta.

⇒ Maximální tolerovaná zátěž

$(W_{max}) [W \cdot kg^{-1}]$

Maximální výkon (ve Watech na kilogram hmotnosti) při kterém je pacient schopen dosáhnout rovnovážného stavu. (Termín tolerovaná znamená, že výkonu byl pacient schopen bez větších negativních emocí s tím spojených). Z maximální tolerované zátěže lze pak odhadnout maximální aerobní kapacitu pacienta, jestliže nemáme analyzátor výměny dýchacích plynů, nebo pacient netoleruje dýchání do analyzátoru či do Douglasova vaku. Jako příklad lze uvést empirické schéma používané občas v naší laboratoři pro dětský věk:

$$VO_2 \max [ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}] = \text{maximální tolerovaná zátěž } [W/kg] \cdot (11 \text{ až } 13) + (3,5 \text{ až } 7)$$

Tedy pro horní mez odhadu: $VO_2 \max = (\text{Max. tolerovaná zátěž} \cdot 13) + 7$

pro dolní mez odhadu: $VO_2 \max = (\text{Max. tolerovaná zátěž} \cdot 11) + 3,5$

⇒ Tepový kyslík

$[ml \cdot tep^{-1} \cdot kg^{-1}]$

Množství kyslíku, transportované jedním stahem srdce. Je to indexový parametr, svědčící v zátěžové fyziologii zdravých jedinců nepřímo o velikosti systolického objemu srdečního. Pokud není vyjádřen na kilogram hmotnosti, tedy pokud je udáván pouze podíl VO_2/HR na dané zátěži, nelze jej porovnávat s hodnotami jiných pacientů, protože je přímo úměrný hmotnosti pacienta. (Budou-li dva pacienti s identickou výkonností a maximální tepovou frekvencí, jeden 150 cm a 50 kg, druhý 200 cm a 100 kg, pak větší z nich vykazuje dvojnásobný tepový kyslík, ale nemá přitom lepší adaptaci oběhu ani přesně dvojnásobný systolický objem srdeční)

⇒ Využití kyslíku

(utilizace O_2 , UT_{O_2}) []

Utilizace kyslíku je rozdíl v průměrné inspirační a expirační koncentraci. Z historických, iracionálních důvodů bývá spíše udávána hodnota *ventilačního ekvivalentu*.

⇒ Průměrná koncentrace vydechaného oxidu uhličitého

(FeCO_2) []

Je vlastně obdobou utilizace kyslíku.

⇒ Ventilační ekvivalent pro kyslík, ventilační ekvivalent pro oxid uhličitý

[]

Udává kolikrát větší je ventilace proti spotřebě (pro O_2), respektive proti výdeji (pro CO_2) dýchacího plynu. Ventilační ekvivalent nemá o nic lepší výpovědní schopnost než prostá utilizace kyslíku respektive průměrná výdechová koncentrace oxidu uhličitého.

⇒ Minutová ventilace

(VE) [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$, BTPS]

Je množství vzduchu vydechnuté za minutu, přepočítané na bazální teplotu, tlak a plnou saturaci vodními parami. VE nebývá v zátěžové fyziologii příliš využívána, s

výjimkou změn dynamiky pro stanovení anaerobního prahu. Do rozmezí normálních hodnot "zapadnou" vrcholoví sportovci i pacienti s těžkou poruchou transportu či výměny dýchacích plynů.

⇒ Poměr mrtvý prostor / dechový objem

(VD/VT) []

Měří se kapnometrem s krátkou dobou odezvy (řádu desetin sekundy). Neklesá-li VD/VT v zátěži proti klidu, je to suspektní známka nepoměru ventilace/perfuze v zátěži.

Typ zátěžového protokolu (ZP) s přihlédnutím zvláště k dětskému věku

ZP popisuje postup, kterým jsme pacienta zatížili. Špatná volba může podstatně ovlivnit výsledek celého vyšetření. V laboratorních podmínkách lze zatěžovat dětské pacienty desítkami rozličných protokolů, jejichž volba závisí především na:

- účelu zátěže (diagnostická zátěž, zátěž v rámci pohybové terapie)
- typu zátěžového stresu, který chceme použít (statická zátěž - dynamometr, dynamická zátěž - ergometr, speciální typy zátěže : veslařský trenažér, steptest)
- věku dítěte (od 2 do 6 let dáváme přednost běhátku)
- typu onemocnění pacienta (například k vyvolání pozátěžového bronchospasmu je nutno volit velkou intenzitu zatížení od začátku zátěže, u hypertonika je nutno zatížit nejprve statickou a potom dynamickou zátěží)
- parametrech o které stojíme nejvíc (jiné protokoly jsou vhodné pro AT a jiné pro VO_2max)

V laboratorních podmínkách a v rámci evropské tradice u kardiologických pacientů dáváme jednoznačně přednost protokolům s použitím bicyklového ergometru s výkonem nastavitelným nezávisle na počtu otáček v rozmezí alespoň 40 - 80 otáček za minutu. Pro lepší reproduibilitu výsledků je žádoucí nechat pacienta zvolit rychlost šlapání a poté jej instruovat, aby rychlost otáček během zátěže příliš neměnil (s výjimkou maximální zátěže).

Za rozumný kompromis v dětské zátěžové fyziologii lze pokládat tyto zásady při volbě ZP:

- Zátěž dávkuje se stupňovitě pro potřeby srovnání výsledků v rovnovážném stavu od intenzity lehké zátěže až do submaxima
- Pro stanovení $VO_2\text{max}$ není typ protokolu příliš rozhodující, dosáhne-li dítě nebo mladý dospělý subjektivního maxima v rozsahu 2 - 5 minut od střední intenzity zátěže.
- Pro potřeby stanovení anaerobního prahu zvyšujeme zátěž od střední intenzity kontinuálně, lineárně až do maximální zátěže, musíme počítat s délkou tohoto stupně zátěže 5 - 8 minut.
- Spokojíme-li se s maximální spotřebou kyslíku ve formě $VO_2\text{peak}$, stačí zvyšovat zatížení (i nelineárně) od střední intenzity zátěže do maxima tak, aby subjektivního maxima pacient dosáhl během dalších 2-6 minut. Za známku blížící se maximální zátěže považujeme neschopnost pacienta udržet vysoké otáčky šlapání (pod $65 \cdot \text{min}^{-1}$). Umožňují-li to analyzátory výměny dýchacích plynů, nasazujeme náústek až během poslední fáze vyšetření.
- Protokoly s použitím běhátko mají celou řadu nevýhod (vyšší náklady, horší reproducibilitu, vyšší riziko úrazu i pozátěžových kolapsů, práci v hluku, horší kvalitu zátěžového EKG, nemožnost dávkovat přesně zátěž) a zřejmě pouze dvě výhody (použitelné od 2 - 3 let věku, zhruba o 10% vyšší $VO_2\text{max}$ - pokud se pacient či sportovec nepřidrží madel). Jejich uplatnění v praxi je minimální s výjimkou běžeckých sportů.

⇒ Hlavní odlišnosti v dynamice změn kardiopulmonálních parametrů dětí a dospělých

Rozdíly kardiopulmonálních parametrů dítě – dospělý shrnuje následující tabulka:

FUNKCE	U DÍTĚTE PROTI DOSPĚLÉMU
Tepová frekvence (HR) - klidová	Rychlejší
Vzestup tepové frekvence v submaximální zátěži	Vyšší
Vzestup tepové frekvence v maximální zátěži	Vyšší
Systolický objem srdeční v klidu	Nižší
Systolický objem srdeční v zátěži	Nižší
Srdeční výdej v submaximální zátěži	Nižší
Arteriovenózní diference O_2 v submaximální zátěži	vyšší

Zátěžový vzestup krevního tlaku	Nižší
Využití kyslíku ve vydechovaném vzduchu	Nižší
Zátěžová ventilace vztažená na 1 kg hmotnosti	v maximu stejná
Ventilační anaerobní (stresový) práh	méně zřejmý
Poměr mrtvý prostor / dechový objem	Stejný
Koncentrace CO ₂ na konci výdechu	poněkud nižší
Maximální aerobní kapacita prepubertálních dětí	nižší (menší využití kyslíku při stejné maximální minutové ventilaci)

Až do úrovně submaxima mají děti vyšší extrakci kyslíku z pracujících svalů a tím mohou do určité míry kompenzovat nižší srdeční výdej. Nižší zátěžová tolerance submaximální zátěže školních dětí není zřejmě podstatně omezená oběhovými parametry, jako spíše koordinační, emoční a svalovou složkou.

Emoční složka pohybové aktivity je důležitým psychologickým faktorem, který může fyziologické parametry v zátěži do značné míry modifikovat. Jakékoliv příkazy a omezení, případně negativní pocity spojené s vyšetřením více snižují momentální výkonnost dítěte než dospělého. Hlubší pozitivní emoce spojené s účastí zejména v kolektivních sportech mohou v dětské populaci snáze zakrýt varovné známky přetížení. Interpretace naměřených hodnot je tedy často spornější vzhledem k širšímu spektru motivace dětí. Proto je jako motivační index v dětské zátěžové fyziologii velmi ceněn respirační výměnný koeficient (poměr vydaného CO₂ a přijatého O₂ , RER) který by měl být v maximu 1,10 – 1,20.

Obecné zásady pro trénink pacientů s interními civilizačními chorobami

⇒ Intenzita a délka tréninku

Všeobecně platí, že iniciační fáze tréninku pacienta začíná nízkou intenzitou, která se postupně zvyšuje spolu s rostoucí výkonností kardiopulmonálního systému a zlepšující se svalovou silou a koordinací. Intenzitu cvičení lze určit z maximální tepové frekvence pacienta (HRmax), zjištěné při zátěžovém vyšetření nebo přibližně, výpočtem. Používá se metoda procent HRmax nebo metoda srdeční rezervy. Lze ji též odvodit z maximální spotřeby kyslíku (VO₂max) zjištěné při zátěžovém testu.

Podle obecných doporučení ACSM je vhodné úvodní fázi cvičebního programu (první dva týdny) začínat intenzitou 40 - 50 % VO₂max v délce 15 minut s frekvencí 3x týdně.

Tato intenzita nevede u většiny pacientů ke zvýšení rizika kardiovaskulárních komplikací nebo muskuloskeletárních poranění. Cílem je zvýšit trvání cvičební jednotky na 40 - 60 minut o intenzitě 60 - 70 % VO₂max s optimem 3x týdně. Tato intenzita se ukazuje jako dostačující pro navození pozitivních metabolických změn. Součástí rehabilitačního programu by měl být i odporový trénink přiměřené intenzity rozvíjející svalovou sílu a vytrvalost. Intenzita je určena zátěží, počtem opakování a intervaly klidu mezi stanovišti. Nejvhodnějšími se zdají být pomalu, v plném rozsahu pohybu prováděná cvičení, s lehkými zátěžemi, velkým počtem opakování, zvyšující především svalovou vytrvalost. Z důvodů vzniku častějších svalových poranění se nedoporučují dlouhodobé excentrické kontrakce. Opatrnosti je třeba i při izometrických kontrakcích, prováděných zejména se zadržným dechem (Valsalvův manévr), které mohou dramaticky zvýšit systolický a diastolický krevní tlak.

⇒ Stanovení tréninkové tepové frekvence (HR_{exerc})

$$HR_{exerc} = K * (HR_{max} - HR_{rest}) + HR_{rest}$$

(HR_{max} - HR_{rest}) - srdeční rezerva, předností je, že na základě lineárního vztahu mezi výkonem a tepovou frekvencí odpovídá procentuální podíl rezervy srdeční procentuálnímu podílu maximálního výkonu

K - index určující stupeň srdeční rezervy, udává se v rozmezí 40 - 80 % v závislosti na úrovni výchozí zdatnosti, do vzorce se dosazují hodnoty 0,4 – 0,8. Index 0,4 volte tam kde se bojíte pacienta zatížit více než jen lehkou zátěží.

Odporový trénink (resistance exercise)