**VLIV TRÉNINKU NA PLAVECKOU VÝKONNOST**

Během zatížení se výkonnost fyziologických systémů organismu pohybuje vysoko nad klidovými hodnotami. Trénink umožňuje, aby tyto systémy při zatížení pracovaly během soutěže co nejúčinněji. Dvěma základními cíly plaveckého tréninku jsou: 1) zvýšit množství energie uvolněné při soutěžních výkonech, 2) oddálit únavu. Množství uvolněné energie a přítomnost únavy zahrnují komplexní aerobní a anaerobní metabolické procesy, které se odehrávají uvnitř svalových vláken. Důležitou roli hrají i respirační, oběhový, nervový a endokrinní systém. Komplikovanost tréninkového procesu vede k jeho zatím neúplnému pochopení. Každodenní zatěžování organismu nerozvíjí každý metabolický systém a každou fázi metabolismu rovnoměrně. Trénink zaměřený na jeden systém nebo jednu metabolickou fázi může negativně působit na systémy nebo fáze další. Tréninkový proces tudíž musí být plánován a veden co nejcitlivěji vzhledem k záměrům trenéra a jeho svěřence.

**Trénink ATP-CP systému**

Energie pro svalovou kontrakci pochází z ATP a hlavní funkcí dalších metabolických fází je dodávat energii pro jeho resyntézu. ATP-CP systém poskytuje energii pro svalový stah mnohem rychleji než jakýkoliv jiný systém, avšak pouze po dobu 4−6 sekund. Enzymy katalyzující tyto reakce jsou ATPáza a kreatinkináza. Je tedy logické předpokládat, že zvýšení aktivity těchto enzymů a nárůst zásob ATP a CP ve svalu povede ke schopnosti udržení maximální rychlosti pohybu po delší dobu. Nicméně možnosti ovlivnění tohoto systému tréninkem jsou minimální a mohou být výhodné pouze pro 25m a 50m tratě. Trénink pravděpodobně aktivitu uvedených enzymů nezvyšuje. Vyjma odrazových pohybů dolních končetin při startech a obrátkách nelze v rámci plaveckého výkonu uvažovat o plném využití ATP-CP systému pro vyvinutí maximální rychlosti. Pokud je technika plavání na dobré úrovni, plavec může nejvýrazněji zvýšit svou maximální rychlost plavání pomocí:

1) nárůstu průřezu a síly vláken určitých svalových skupin,

2) zdokonalení nervosvalové koordinace při zapojování svalových vláken různého typu podle aktuálních požadavků plaveckého výkonu. Zvýšení svalové síly a nervosvalové koordinace tudíž zřejmě ovlivní plaveckou rychlost lépe než snaha o zvyšování aktivity enzymů regulujících ATP-CP systém. Vlivem tréninku lze zvýšit zásoby ATP ve svalových vláknech o 18 % a CP až o 35 %. Kromě toho se sportovci pokoušejí doplňovat zásoby CP pomocí externího kreatinu. Tato praktika zvyšuje množství volného kreatinu ve svalových vláknech podobně jako trénink (až o 20 %). Nicméně výsledky studií zkoumajících vliv kreatinových přípravků na plavecký sprinterský výkon jsou nejednoznačné. Na 50m tratích mohou vyšší zásoby ATP a CP ve svalu znamenat zlepšení cca o 0,2 sekundy, které je ovšem jen okrajové v porovnání se zrychlením, jež může být dosaženo nárůstem svalové síly, zlepšením anaerobního výkonu a zdokonalením plavecké techniky. Není tedy třeba uvažovat nad speciálními sériemi pro trénink ATP-CP systému, neboť výhodnější je věnovat čas rozvoji svalové síly a dynamiky záběru. Navíc zásoby ATP a CP se vlivem tréninku zvyšují v každém případě. Nesmí se ale zapomínat na to, že trénink síly, popř. výbušnosti, by se měl odehrávat nejenom na souši, ale zejména ve vodním prostředí.

**Trénink anaerobního metabolismu**

Anaerobní rozpad svalového glykogenu doplňuje přibližně polovinu energie nutné pro recyklaci ATP-CP během prvních 5−6 sekund závodu. Poté podíl anaerobní fáze narůstá tak, že již 10−15 sekund po začátku závodu se anaerobní metabolismus stává hlavním zdrojem energie pro sprinterský výkon. Energetický přínos CP naopak během 10.−20. sekundy intenzivní práce podstatně klesá. V souvislosti s tím (proces recyklace ATP pomocí CP je rychlejší než pomocí anaerobní glykolýzy) částečně po několika sekundách od startu klesá i rychlost plavání. Schopnost plavce vytvářet svalovou sílu se v rámci prvních 4−6 sekund (v době, kdy je zásoba svalového CP téměř vyčerpána a primárním zdrojem pro recyklaci ATP se stává anaerobní glykolýza) snižuje cca o 10 %. Trénink pravděpodobně zvyšuje jak kvantitu, tak i aktivitu mnoha enzymů anaerobní glykolýzy. Týká se to zejména sprinterských sérií, zatímco vytrvalostní trénink vede spíše k potlačení kvantity a aktivity těchto enzymů. Zvýšení aktivity enzymů anaerobního metabolismu vlivem tréninku se pohybuje mezi 2−22 %. Zásadní překážkou zvýšení aktivity anaerobních enzymů je množství vytrvalostního tréninku, kterým každý plavec musí procházet. Vytrvalostní trénink snižuje aktivitu většiny enzymů anaerobního metabolismu. Mezi vytrvalostním tréninkem a sprinterskou rychlostí však pravděpodobně existuje antagonistický vztah, což potvrzuje i zkušenost, že mnoho plavců dosahuje svých nejlepších sprinterských výkonů až po dlouhodobějším tréninkovém vysazení. Pro nárůst výkonnosti ve většině plaveckých disciplín je třeba zdokonalovat vytrvalost i rychlost, což znamená pro většinu plavců tréninkové dilema. Podíl vytrvalostního tréninku je natolik vysoký, že mnozí plavci si udržují alespoň vrozenou úroveň rychlosti anaerobního metabolismu. Častěji však možnosti anaerobního metabolismu vlivem velkého objemu vytrvalostního tréninku po většinu sezóny klesají a rychlost se pak navrací během tzv. vylaďovacího období. To by mělo být zejména u sprinterů dostatečně dlouhé. Především u sprinterů je nutné položit si otázku, zda by jejich trénink nebyl efektivnější, kdyby se zaměřoval více na zlepšení anaerobního metabolismu a sílu svalové kontrakce a méně na aerobní vytrvalost. Další otázkou je, zda sprinterský trénink nezvyšuje hodnoty anaerobního metabolismu pouze na úroveň dědičností stanoveného maxima.

**Trénink oddálení acidózy**

Organismus plavce může být trénován pro oddálení acidózy třemi základními způsoby:

redukcí produkce kyseliny mléčné,

odstraňováním kyseliny mléčné z pracujících svalových vláken,

pufrací kyseliny mléčné.

Další možnost představuje zvyšování tolerance k bolesti způsobené acidózou.

Snižování produkce kyseliny mléčné Konečný produkt anaerobního metabolismu, pyruvát, se slučuje s vodíkovými ionty za vzniku kyseliny mléčné, pokud obě látky nejsou redukovány na další sloučeniny v procesu aerobního metabolismu. Výskyt pyruvátu a hydrogenových iontů závisí na rychlosti (resp. intenzitě) plavání. Vyšší rychlost vyžaduje rychlejší typ metabolismu (anaerobní) pro zachování konstantní dodávky ATP. Na druhou stranu dostatečné zásobení svalu kyslíkem produkci laktátu redukuje. Tréninkové adaptace, které vedou ke snížení produkce kyseliny mléčné ve svalových vláknech, tudíž souvisejí s nárůstem množství kyslíku v pracujících svalech. Proto je podstatným úkolem tréninku zvýšení maximální spotřeby kyslíku (VO2max). Další roli hrají glukózo-alaninová a malát-aspartátová spojka. Zvýšení kyslíkové spotřeby. Mezi velikostí VO2max a výkonností v disciplínách od 100 do 1500 m existuje významný vztah. Trénink zvyšuje VO2max o 20−30 % během 8−10 týdnů a o 40−50 % během jednoho roku až čtyř let. Vlivem tréninku dále dochází k rychlejšímu zvýšení kyslíkové spotřeby z klidových hodnot na maximum. Tréninkové efekty, které zvyšují kyslíkové zásobování během zatížení, můžeme rozdělit do dvou kategorií: 1) adaptace zvyšující dodávku kyslíku ke svalstvu;  zvýšení plicní difúze pro kyslík,  zvýšení celkového objemu krve v organismu,  zvýšení počtu červených krvinek,  zvýšení minutového objemu srdečního,  zvýšení kapilarizace okolo jednotlivých svalových vláken,  zdokonalení krevní redistribuce; 2) adaptace zvyšující využití kyslíku svalovou tkání;  kvantitativní nárůst myoglobinu obsaženého ve svalových vláknech,  zvětšení mitochondrií a nárůst jejich počtu,  nárůst aktivity enzymů regulujících aerobní metabolismus. Zvýšení difúzní kapacity plic. Pulmonální difúze se vztahuje k množství kyslíku, který přechází z plic do krve. Dále v plicích dochází k odstraňování CO2. Pulmonální difúze se zvyšuje v přímém vztahu k intenzitě zatížení, primárně zvětšením inspiračního objemu (prohloubením dechu) při nižších intenzitách zatížení a zvýšením dechové frekvence při intenzitách vyšších. Vlivem tréninku se zvětšuje minutový dechový objem i množství kyslíku difundujícího do krve. Dechový objem u netrénované osoby běžně činí 80−140 litrů vzduchu za minutu. Tréninkem může dechový objem narůst až o 50 % maxima (180−240 l/min). Množství kyslíku, které difunduje z plic do krve, závisí na počtu (celkové ploše) plicních alveolů a na jejich kapilarizaci. Nicméně velikost kyslíkové difúze v plicích pravděpodobně není limitujícím faktorem kyslíkového zásobení svalstva, neboť i u netrénovaných osob je množství kyslíku v alveolách větší, než může být vstřebáno do krve. Krev opouštějící plíce je plně saturována kyslíkem a téměř polovina jeho množství je vydechována zpět do vzduchu i při zatížení o vysoké intenzitě. Zvětšování této kapacity se tedy jeví pro zlepšování vytrvalostní kapacity organismu jako nedůležité. Trénink významně neovlivňuje množství kyslíku přecházejícího z plic do krve během submaximálního zatížení, avšak napomáhá tomu, že je kyslík nabízen efektivnějším způsobem, neboť při daném submaximálním zatížení klesá u trénované osoby dechová frekvence (ve srovnání s osobou netrénovanou). To je pravděpodobně nejdůležitější efekt tréninku pulmonální difúzní kapacity. Zvýšení objemu krve. Celkové množství krve v organismu činí cca 5 litrů. Vytrvalostní trénink může tento objem zvýšit až o 30 %. Trénink, který má za následek nárůst hemoglobinu, může též zvyšovat viskozitu krve, pokud se zároveň nezvětšuje objem tekuté složky krve. To vede ke znesnadnění toku krve cévami a potažmo ke zhoršení zásobení svalstva kyslíkem. Objem tekuté složky krve nicméně narůstá s tréninkem snadněji než množství hemoglobinu, tudíž viskozita krve spíše klesá. Zvýšení počtu červených krvinek. Zvýšení počtu erytrocytů vede i ke zvýšení množství hemoglobinu, tedy krevního přenašeče kyslíku. Z tohoto důvodu sportovci využívají k tréninku vyšších nadmořských výšek, popř. nedovoleného krevního dopingu nebo externího erytropoetinu. Na úrovni mořské hladiny mohou sportovci očekávat pouze malá zvýšení přepravní kapacity krve pro kyslík (maximálně o 8 %). Zvýšení minutového objemu srdečního. Pojem se vztahuje k množství krve vypuzeného do oběhu za jednu minutu (tepový objem násobený minutovou tepovou frekvencí). V klidu činí minutový objem srdeční cca 5 litrů, během maximální zátěže pak vzrůstá u netrénovaných osob na 14−16 litrů, u trénovaných až na 30−40 litrů. Tento důležitý tréninkový efekt je primárně odpovědný za nárůst kyslíkového zásobení svalových vláken. Nárůst maximálního minutového objemu srdečního je výsledkem zdokonalení tepového objemu, neboť maximální srdeční frekvence se s tréninkem nezvyšuje a srdeční frekvence během submaximálního zatížení se následkem tréninku snižuje. Adekvátní trénink může zvýšit tepový objem při maximálním a submaximálním zatížení až o 50 %. V tomto ohledu se jako nejvýhodnější jeví tréninkové zatížení s výraznou „dlouhou a pomalou“ vytrvalostní složkou (okolo 110−130 tepů/min). Vyšší úroveň zatížení není pro zvětšování tepového objemu vhodná, neboť při vyšších tepových frekvencích nedochází k úplnému plnění srdce. Vytrvalostní série o vyšší intenzitě pak pozitivně ovlivňují rychlost plnění srdce. Tento druhý krok je opět nezbytný, neboť sportovec musí být schopen udržet vysoký tepový objem i při vyšší tepové frekvenci, pokud chce zvýšit svůj maximální minutový výkon srdeční a přivést tak ke svalstvu větší množství kyslíku. Zvýšení kapilarizace svalstva. Vytrvalostní trénink zvyšuje počet kapilár okolo plicních alveol a svalových vláken. Právě míra kapilarizace okolo jednotlivých svalových vláken má výraznější vliv na zlepšení vytrvalosti. Nárůst při dlouhodobém vytrvalostním tréninku může činit 15−50 %. Zvětšení počtu kapilár okolo svalového vlákna může významně zvýšit množství kyslíku difundujícího z krve do svalové tkáně. U netrénovaných osob jsou typické 3−4 kapiláry okolo každého svalového vlákna, u vytrvalců pak 4−6. Nárůst kapilarizace se odehrává specificky v těch svalech, které jsou zatěžovány nejčastěji. Adaptace tedy probíhá jako odpověď na lokálně zvýšené kyslíkové požadavky. Plavci by tudíž měli většinu své aerobní zátěže absolvovat ve vodě. Další formy vytrvalostního tréninku (na souši) by pak měly být využívány jako doplněk, nikoli jako náhražka. Zdokonalení redistribuce krve. Objem krve je v klidu rovnoměrně distribuován ve všech tkáních. Během zatížení se však krev přesunuje do pracujícího svalstva. Zatímco v klidu pouze 15−20 % objemu krve prochází kosterním svalstvem, při zatížení se tato hodnota zvedá až na 85−90 %. Více kyslíku a živin tedy přichází k místům jejich vyšší potřeby. Redistribuce dále zvyšuje množství CO2 a kyseliny mléčné, které může být během zatížení vyplaveno ze svalu. Vytrvalostní trénink zvyšuje podíl krve, který protéká pracujícími svaly při maximálním zatížení (až o 8 %) zejména vlivem větší vazodilatace. Nárůst množství myoglobinu. Myoglobin má ve svalových buňkách tyto funkce: absorbuje kyslík difundující do svalových vláken, transportuje jej do mitochondrií a může skladovat malé množství kyslíku (přibližně 240 ml) ve svalových buňkách. Tato rezerva je využita v několika prvních sekundách zatížení, než dorazí potřebná dodávka kyslíku cestou cirkulačního systému. Pomalá svalová vlákna obsahují asi o jednu třetinu myoglobinu více než vlákna rychlá. Osoby žijící ve vyšších nadmořských výškách mají až o 16 % více myoglobinu v porovnání s osobami žijícími v nížinách. Vliv tréninku na nárůst myoglobinu je zatím nejasný, dá se však očekávat pozitivní vliv pravidelného zatěžování na úrovni VO2max. Zvětšení mitochondrií a nárůst jejich počtu. Mitochondrie představují malé „chemické továrny“ uvnitř buněk. Jsou místem aerobního metabolismu a jejich hlavní složku tvoří proteiny. Mitochondrie jsou obsaženy v pomalých i rychlých svalových vláknech, převažují však v pomalých. Vytrvalostní trénink způsobuje jak nárůst velikosti mitochondrií (až 120 %) tak zvýšení jejich počtu (14−40 %) v obou typech svalových vláken. Tato adaptace napomáhá zejména redukovat produkci kyseliny mléčné. Aerobní metabolismus se tak může odehrávat na více místech uvnitř každého svalového vlákna. Tento efekt (vedle nárůstu myoglobinu) pravděpodobně umožňuje sportovci využívat vyššího procenta jeho VO2max bez zvýšení produkce kyseliny mléčné. Změny se odehrávají opět pouze ve svalech, které jsou adekvátně zatěžovány. Pro plavce je tudíž i z tohoto pohledu nejvýhodnějším podnětem samotné plavání, nikoli trénink na souši. Pomalý vytrvalostní trénink zvyšuje velikost a počet mitochondrií v pomalých svalových vláknech, zatímco střední a rychlý vytrvalostní trénink napomáhá nárůstu mitochondrií ve vláknech rychlých. Nicméně příliš velký podíl rychlostně vytrvalostního tréninku může být v tomto ohledu kontraproduktivní, neboť při zvýšené acidóze a vyčerpání svalového glykogenu mohou být mitochondrie poškozeny a jejich časté poškozování acidózou pak může vést až k přetrénování. Při nedostatku svalového glykogenu může být strukturální protein mitochondrií metabolizován jako energetický substrát. Nárůst aktivity aerobních enzymů. Jestliže narůstá počet a velikost mitochondrií, roste i kvantita aerobních enzymů v nich obsažených. Efektem je pak zrychlení aerobního metabolismu. Tato adaptace může mít větší vliv na zvýšení anaerobního prahu více než na hodnotu maximální minutové spotřeby kyslíku (VO2max), neboť enzymatická aktivita se dále zvyšuje i přes zastavení nárůstu VO2max. Zvýšení hodnoty VO2max se pravděpodobně více vztahuje ke kapacitě cirkulačního systému pro transport kyslíku k pracujícím svalovým vláknům než k předpokladům svalových vláken použít kyslík v aerobním metabolismu. Trénink by se v tomto případě měl odehrávat v rozmezí dynamické rovnováhy produkce a eliminace kyseliny mléčné tak, aby hodnota pH zůstala na své normální úrovni. Snížené svalové pH redukuje aktivitu určitých aerobních enzymů a způsobuje posun směrem ke zvýšené tvorbě kyseliny mléčné. Je však v zájmu sportovce aktivitu těchto enzymů zvýšit a zároveň urychlit metabolizaci pyruvátu a vodíkových iontů oxidativní cestou. Podstatná část tréninku zaměřeného na nárůst aktivity aerobních enzymů by pak měla být na úrovni individuálního anaerobního prahu nebo pod ním a pouze malý objem tréninkového zatížení by se měl odehrávat ve vyšších rychlostech.

Zdokonalení glukózo-alaninového cyklu. Proteiny mohou hrát malou roli ve snižování produkce kyseliny mléčné během zatížení na základě procesu zvaného glukózo-alaninový cyklus. V tomto procesu se pyruvát váže s amoniakem za vzniku alaninu. Důsledkem je blokování reakce pyruvátu s hydrogenovými ionty, která by jinak vedla ke vzniku kyseliny mléčné. Alanin produkovaný v této reakci je transportován do jater, kde dochází k jeho konverzi na glukózu (součást dalšího, tzv. Coriho cyklu). Tato glukóza opět vstupuje do krve a může být znovu použita jako energetický zdroj pro recyklaci ATP. Glukózo-alaninový cyklus pracuje během sprintů stejně jako při vytrvalostních disciplínách, ačkoliv je nejasné, zda na základě tohoto cyklu dochází k jakémukoliv pozitivnímu ovlivnění výkonu v disciplínách kratších než 100 m. Nicméně odstranění pyruvátu jeho konverzí na alanin může mít signifikantní vliv na redukci acidózy při rychlostně vytrvalostních a vytrvalostních disciplínách, neboť tento proces redukuje množství produkované kyseliny mléčné při jakékoliv rychlosti plavání (více však při vyšší intenzitě). Trénink má patrně vliv na zdokonalení glukózo-alaninového cyklu pravděpodobně proto, že zvyšuje aktivitu klíčového enzymu této reakce (alanintransaminázy). Zdokonalení malát-aspartátové spojky. Tento mechanismus může redukovat produkci kyseliny mléčné odstraňováním části vodíkových iontů před jejich sloučením s pyruvátem. Proces začíná v Krebsově cyklu, kde během konverze malátu na oxaloacetát vzniká aspartát. Tato konverze je doprovázena uvolněním vodíkových iontů z NADH a jejich vstupem do elektronového transportního řetězce. Dehydrogenovaná forma NAD+ pak může přijmout další vodíkový ion dříve, než se sloučí s pyruvátem. Množství hlavních enzymů malát-aspartátové spojky (aspartáttransamináza, malátdehydrogenáza) se vlivem vytrvalostního tréninku zvyšuje až o 60 %. Malát-aspartátová spojka tudíž může hrát malou, ale přesto významnou roli při snižování produkce kyseliny mléčné během zatížení.

Zvýšení odbourávání laktátu ze svalů a z krve Podle dřívějších představ byla kyselina mléčná odpadním produktem anaerobního metabolismu, který zůstával ve svalech až do doby jeho odstranění během následné zotavovací fáze. Dnes je již objasněno, že tato sloučenina je pouze meziproduktem metabolických procesů, který je odstraňován průběžně během zatížení stejně jako ve fázi zotavení. Množství kyseliny mléčné kumulované ve svalových vláknech během zatížení je vlastně rozdíl mezi produkcí kyseliny mléčné a její eliminací. Při nízké produkci kyseliny mléčné není proces jejího odstraňování podstatný. Ale při závodních rychlostech energetické požadavky markantně převyšují možnosti aerobního metabolismu dodávat potřebné množství energie, které je tudíž doplňováno metabolismem anaerobním za výrazné produkce kyseliny mléčné. Jakýkoliv mechanismus, který odstraňuje část vytvořené kyseliny mléčné z pracujícího svalu, oddaluje snížení pH, což umožňuje sportovci udržet vyšší rychlost po delší dobu. Proces odbourávání laktátu. Odstraňování laktátu z pracujícího svalu probíhá pravděpodobně jak pasivní difúzí, tak i aktivním transportem. Rychlost difúze závisí na rozdílu koncentrace laktátu uvnitř svalového vlákna a v krvi nebo v okolních tkáních. Čím větší je produkce kyseliny mléčné ve svalovém vlákně, tím větší je tendence kyseliny mléčné sval opouštět. Nicméně koncentrace kyseliny mléčné v krvi může vzrůst na hladinu, která snižuje velikost koncentračního spádu a rychlost difúze tudíž klesá. Rychlé odbourávání laktátu v krvi udržuje vysoký koncentrační gradient mezi svalovými vlákny a krevním oběhem. Transportní mechanismus, který odčerpává laktát ze svalstva, představuje systém svalových a krevních proteinů identifikovaných jako monokarboxyláty. Tento systém odstraňuje laktát ze svalstva i proti snižujícímu se koncentračnímu spádu. Během zatížení se na odstraňování laktátu ze svalstva podílí laktátový transport z 50−75 %. Část kyseliny mléčné je transportována z protoplazmy svalových vláken přímo do mitochondrií stejných vláken, kde dochází ke zpětné konverzi kyseliny mléčné na pyruvát a k jeho následné oxidaci. Tento děj probíhá při nepřerušovaném zatížení. Většina takto odstraněné kyseliny mléčné pochází z pomalých svalových vláken. Další část je transportována do sousedících svalových vláken, kde opět dochází k oxidaci. Tento děj se primárně odehrává mezi rychlými svalovými vlákny, kde dochází k nejvyšší produkci kyseliny mléčné, a mezi rychlými a pomalými svalovými vlákny, jejichž pomnožené a zvětšené mitochondrie umožňují snadnější oxidaci této substance. Určité množství kyseliny mléčné je transportováno do krve a přenášeno do dalších částí těla, zejména do jater nebo do nezapojených svalů, kde dochází k další oxidaci a energetickému využití, a také do srdce, které využívá kyselinu mléčnou přímo jako energetický zdroj. Zbývající podíl kyseliny mléčné zůstává ve svalových vláknech, kde způsobuje snížení pH. Všechny procesy, které odstraňují kyselinu mléčnou z pracujících svalových vláken, napomáhají oddálení a snížení poklesu pH, což sportovci umožňuje udržet vyšší úroveň anaerobního metabolismu navzdory vysoké produkci kyseliny mléčné. Plavec tak může udržet vyšší úroveň svalových kontrakcí, vysokou sílu záběru a tudíž vyšší rychlost plavání po delší dobu před nástupem acidózy a následným zpomalením. Odstraňování kyseliny mléčné umožňuje plavci udržet vyšší intenzitu zatížení bez zvýšení acidózy. Podle odhadů je v pracujících i dalších svalech 60−70 % odstraněného laktátu metabolizováno na CO2 a vodu. Zbývající množství odchází do jater (resp. do srdce), kde dochází k jeho zpětné konverzi na glykogen a k uskladnění. Tréninkové efekty, které zdokonalují odstraňování kyseliny mléčné z pracujícího svalu, by měly hrát zejména u středotraťařů a vytrvalců hlavní roli ve zlepšování výkonnosti. Tento efekt by však měl být signifikantní i v kratších závodech, neboť již v první minutě zatížení dochází k výrazné eliminaci laktátu z pracujícího svalstva. Mělo by však být zdůrazněno, že většina kyseliny mléčné vytvořená během rychlého a intenzivního plavání zůstává ve svalových vláknech. Produkce laktátu je velmi výrazná, naopak jeho odbourávání není natolik rychlé, aby zamezilo jeho kumulaci ve svalu (produkce laktátu v maximální míře 2−3× převyšuje jeho odbourávání). Ačkoliv tedy proces odstraňování laktátu ze svalu během zatížení může oddálit nástup acidózy, větší množství kyseliny mléčné zůstává neodstraněno (např. už po 30 sekundách maximálního zatížení dosahuje koncentrace kyseliny mléčné ve svalu 28−35 mmol/l, zatímco v krvi pouze 8−12 mmol/l). Maximální míra odbourávání laktátu. Výsledky studií zkoumajících rychlost transportu laktátu směrem z pracujících svalových vláken do krve se rozcházejí. Nicméně odbourávání laktátu na úrovni 10−20 mmol/min má patrně signifikantní vliv na redukování kumulace laktátu během zatížení. Rychlost odbourávání laktátu zjevně odráží velikost spotřeby kyslíku. Míra odstraňování laktátu dosahuje svého vrcholu přibližně po 1−2 minutách zatížení. Tento proces tedy není mobilizován okamžitě. Během krátkých sprintů tudíž mechanismy odstraňování laktátu ze svalstva nemohou být při oddalování acidózy efektivnější než mechanismy zahrnující spotřebu kyslíku. Určitě však procesy odstraňování laktátu napomáhají snižovat acidózu při dlouhých sprintech, u středních tratí, při vytrvalostních disciplínách a během tréninkových sérií. Trénink pravděpodobně mechanismy odbourávání laktátu zdokonaluje. Trénink pro zvýšené odbourávání laktátu. Takový trénink pravděpodobně vyžaduje především distanční plavání jak o nízké, tak i o střední a vysoké intenzitě. Pomalé a střední rychlosti by měly vést k této adaptaci v pomalých svalových vláknech a vláknech přechodného typu, zatímco rychlost na úrovni 100 % VO2max a vyšší je nezbytná pro zvýšení odbourávání laktátu v rychlých svalových vláknech. Tento typ tréninku je podobný tréninkovému zatěžování zaměřenému na zvyšování kyslíkové spotřeby ve stejných typech vláken. I když na jednu stranu vytrvalostní série plavané s vysokou intenzitou poskytují největší adaptační výhody pro mechanismy odstraňování laktátu, zároveň se ukazuje, že efektivita laktátových transportérů klesá se snižujícím se pH. Na to by mělo být pamatováno při tréninku, kdy je třeba oddálit acidózu např. prodloužením intervalu zatížení v sérii nebo zkrácením série.

Zdokonalení nárazníkové kapacity Hladina kyseliny mléčné ve svalu může vzrůst 4−5násobně nad klidové hodnoty ještě předtím, než významně poklesne pH. To je umožněno vlivem tzv. pufračních látek, které se vážou s vodíkovými ionty a oslabují tak jejich vliv na pH ve svalu. Sloučeniny, které mohou vystupovat jako pufry, zahrnují bikarbonáty (tzv. alkalická rezerva), svalové proteiny a kreatinfosfát. Pufry zpomalují nástup acidózy pravděpodobně již od začátku zatížení. Pokud by tyto látky nebyly přítomny, pH ve svalu by pokleslo až na 1,5 namísto typických 6,6−6,8. Pufry jsou obsaženy ve svalových buňkách i v krvi, jak bylo naznačeno výše, ve třech základních formách (bikarbonáty, fosfáty, proteiny). Bikarbonát sodný a hemoglobin (protein) se nejvíce vyskytují v krvi, zatímco svaly více obsahují draselné a hořečnaté bikarbonáty. Fosfáty se primárně vyskytují uvnitř svalových vláken ve formě fosforečnanu sodného. Avšak zdaleka nejvydatnějším zdrojem pufrů v těle jsou různé proteiny svalových vláken. Krevní pufry mohou oddálit snížení pH v krvi během zatížení, takže dochází k rychlejšímu přenosu laktátu z pracujícího svalu (nižší pH) do krve (vyšší pH). I CP má jistou pufrační kapacitu, nicméně není jasné, do jaké míry se účastní na stabilizaci svalového pH. Pufrační systémy tedy reagují téměř bezprostředně po zahájení zatížení, následkem čehož dochází k prevenci poklesu pH ve svalu. Tento proces je pravděpodobně důležitý pro úspěch v 100m a 200m závodech a může hrát i malou roli při udržování maximální rychlosti v posledních 10 metrech 50m disciplín. Vysoká rychlost a krátké trvání těchto disciplín vede k převažujícímu získávání energie anaerobní cestou, pufrace má tedy, vedle odstraňování laktátu a spotřeby kyslíku, velmi důležitý vliv na oddálení acidózy. Vliv tréninku na svalovou pufrační kapacitu je zjevný (nárůst až o 40 %), zatímco u pufrační kapacity krve podle současných zjištění o pozitivních změnách způsobených tréninkem nelze hovořit. Některé studie však potvrzují zlepšení výkonu při vnějším podání sodných bikarbonátů před rychlostně vytrvalostními disciplínami. Z celkového pohledu sprinterský trénink pravděpodobně může pozitivně ovlivnit pufrační kapacitu, zatímco vytrvalostní trénink tento proces nezlepšuje a může snad zapříčinit i snížení jeho efektivity. Tento druh adaptace zřejmě vyžaduje stimul ve formě tréninkové redukce svalového pH, popř. acidózy. Nicméně při sprinterském tréninku je na místě obezřetnost, neboť frekventovaný stav acidózy může poškozovat proteinové pufry namísto jejich zdokonalování.

Snižování prahu bolesti Vedle negativního vlivu na recyklaci ATP způsobuje acidóza též ostrou bolest ve svalstvu. Tato bolest může ovlivnit výkon sportovce mnoha způsoby v závislosti na individuální míře její tolerance. Přítomnost bolesti vede ke zpomalení zejména u těch sportovců, kteří jsou na bolest citlivější. Většina sportovců je však dostatečně motivovaných pro to, aby navzdory bolesti danou intenzitu zatížení udrželi. Přesto může mít bolest na výkon velmi negativní vliv, jestliže se acidóza objevuje např. již v polovině závodu. Zatím není jasné, proč někteří sportovci tolerují bolest více než jiní. Na jednu stranu hraje důležitou roli motivace, která však není trénovatelná. Na druhou stranu existují jisté důkazy, že tolerance k bolesti je fenoménem trénovatelnosti přístupným. Jedinci, kteří testují své limity bolesti způsobené acidózou, mohou být schopni trénovat sami sebe k ignoraci nebo alespoň k lepší toleranci této bolesti.

**Adaptace zvyšující předpoklady k tréninku**

Tyto adaptace jsou významné zejména z pohledu možnosti častějšího a intenzivnějšího tréninkového zatěžování a potažmo ke vzniku dalších tréninkových adaptací se vztahem ke snižování acidózy během závodu. Mezi dva hlavní tréninkové efekty zvyšující předpoklady sportovce k podstupování tréninkového zatěžování patří nárůst zásob svalového glykogenu a zvýšení úrovně tukového metabolismu.

Zvýšení ukládání svalového glykogenu Svalový glykogen je hlavním energetickým zdrojem pro všechny plavecké disciplíny delší než 25 m. Pokud jsou dodržovány zásady správné výživy a dostatečného odpočinku, svalové zásoby glykogenu postačují na pokrytí energetických potřeb každé z disciplín typického plaveckého závodního programu (včetně 1500 m volným způsobem). Nicméně trénink představuje poněkud jinou oblast. K podstatnému poklesu zásob svalového glykogenu může dojít již po hodině tréninku. Svalstvo trénovaných vytrvalců obsahuje 120−160 g skladovaného glykogenu na kg vlhké svalové tkáně. Toto množství stačí cca na 90 minut plavání intenzivním tempem. Energie je však získávána částečně i spalováním tuků a proteinů, zásoby svalového glykogenu proto nejsou za uvedenou dobu spotřebovány úplně. Nicméně během typické dvouhodinové tréninkové jednotky jsou ze svalů vyčerpány více než dvě třetiny glykogenových zásob. Po jednodenním odpočinku se množství svalového glykogenu navrací jen asi z jedné poloviny. Dá se tedy říci, že plavci, kteří podstupují každodenní trénink, mají zásoby svalového glykogenu snížené. Dvoufázový trénink pak svalový glykogen vyčerpává ještě více, neboť doba zotavení mezi dvěma tréninkovými jednotkami nepřekračuje 13 hodin. Ačkoliv vytrvalostní trénink zásoby svalového glykogenu pravděpodobně zvyšuje (o 40−60 %), toto zvýšení je spíše jen potenciální než reálné zejména u plavců, kteří trénují dvě a více hodin denně. Množství glykogenu aktuálně skladovaného ve svalech bude tudíž nižší, než představuje daný skladovací potenciál. K naplnění tohoto potenciálu pak může dojít pouze tehdy, pokud plavec na několik dní přeruší svou tréninkovou přípravu nebo pokud se několik dní věnuje pouze lehkému vyplavání. Pak dochází k využívání výhod efektu superkompenzace, při které se zásoby glykogenu oproti původnímu množství zvyšují o 40−60 %. Co se týče výživy, minimálně 60 % kalorického příjmu by v tomto případě mělo pocházet z karbohydrátů. Dalším tréninkovým efektem vztahujícím se ke svalovému glykogenu je snížení jeho využívání. Po několika týdnech vytrvalostního tréninku organismus sportovce využívá k recyklaci ATP při dlouhých tréninkových jednotkách většího množství krevní glukózy a tuku. Tato adaptace tedy „šetří“ svalový glykogen, jehož zvýšené množství umožňuje plavci trénovat častěji a intenzivněji. Pro zvýšení množství svalového glykogenu není třeba speciálních tréninkových programů. Standardní zatěžování zahrnující sprinty i vytrvalost je adekvátním stimulem pro nárůst ukládání glykogenu v rychlých i pomalých svalových vláknech. Samozřejmě k nárůstu dochází pouze u svalů zapojených do tréninku.

Zvýšení úrovně tukového metabolismu Uvolňování energie z tuků je příliš pomalé pro naplnění požadavků resyntézy ATP při všech klasických plaveckých disciplínách. Podstatné množství energie však tuky nabízejí při dlouhých tréninkových jednotkách, čímž dochází k nižší spotřebě svalového glykogenu. Tuky dále šetří svalový glykogen pro jeho využití při intenzivnějších (rychlejších) částech tréninkové jednotky, resp. v následujících tréninkových jednotkách. Jednou z výhod vytrvalostního tréninku je zvyšování množství energie dostupné z tuků při všech submaximálních rychlostech plavání. Princip spočívá ve zvýšení tukových zásob ve svalech a v nárůstu svalových mitochondrií, čímž je vytvořen prostor pro intenzivnější oxidaci mastných kyselin. Trénink může zvýšit podíl tuků na celkové energetické spotřebě během dvouhodinové jednotky z 35−40 % až na 50−60 % (více u mužů než u žen). Nejlepším typem tréninku pro zvýšení úrovně tukového metabolismu je dlouhé a pomalé vytrvalostní plavání, neboť tuk je hlavním zdrojem energie právě u pomalých až středních rychlostí plavání. Adaptace primárně spočívá ve zvýšení aktivity enzymů tukového metabolismu a probíhá specificky v zatěžovaných svalových vláknech.

**TRÉNINKOVÉ EFEKTY ZLEPŠUJÍCÍ VÝKONNOST**

Efekty techniky. Zdokonalení techniky plaveckých způsobů redukuje potřebu energie při všech rychlostech plavání pod úrovní rychlosti maximální. Efekty síly záběru. Zvýšená síla záběru umožňuje dosažení vyšších rychlostí plavání. Faktory, které mohou vést k nárůstu síly záběru, jsou:  zvýšení svalové síly a rychlosti kontrakce,  zlepšená nervosvalová koordinace při zapojování svalových vláken různého typu,  zvýšení zásob svalového CP. Efekty anaerobního metabolismu. Primární tréninkový efekt spočívá v nárůstu množství ATP recyklovatelného cestou anaerobní glykogenolýzy s důsledkem možnosti dosažení vyšší rychlosti plavání po prvních pěti sekundách závodu. Tento efekt je výsledkem nárůstu aktivity enzymů anaerobního metabolismu, zejména fosforylázy, fosfofruktokinázy, pyruvátkinázy a laktátdehydrogenázy. Efekty aerobního metabolismu. Požadovaným tréninkovým efektem je redukce negativních vlivů acidózy během závodů. Tento efekt je výsledkem dvou faktorů: snížení produkce kyseliny mléčné uvnitř svalu a zvýšení jejího odbourávání. a) Tréninkové adaptace redukující tvorbu kyseliny mléčné:  zvýšení difúze kyslíku v plicích, které je důsledkem nárůstu objemu vdechovaného a vydechovaného vzduchu, potažmo zkvalitnění kapilarizace plicních alveol;  zvětšení krevního objemu spojené s rychlejší krevní cirkulací;  zvýšení přepravní kapacity krve pro kyslík vlivem vyššího počtu erytrocytů;  zvýšení minutového objemu srdečního spojené s rychlejším transportem krve mezi plícemi a svalstvem;  zvýšení kapilarizace svalové tkáně spojené s nárůstem difúze kyslíku do pracujících svalů;  zlepšená redistribuce krve a tudíž zlepšené krevní zásobení pracujícího svalstva;  nárůst množství myoglobinu spojený s větším množstvím kyslíku transportovaného k mitochondriím svalových buněk;  nárůst velikosti a počtu mitochondrií ve svalových buňkách vedoucí ke zvýšené kapacitě aerobního metabolismu; nárůst aktivity aerobních enzymů vedoucí ke zrychlení aerobního metabolismu;  nárůst aktivity glukózo-alaninové spojky odstraňující větší množství pyruvátu s následkem zamezení jeho reakce s vodíkovými ionty za vzniku kyseliny mléčné. b) Tréninkové adaptace zvyšující odbourávání laktátu z pracujících svalových vláken:  zvýšená aktivita laktátových transportérů v pracujících a v receptorových svalových vláknech;  zvýšený objem krve a zvýšený minutový objem srdeční s následnou rychlejší cirkulací a související možností rychlejšího transferu laktátu z pracujících svalových vláken k oblastem, kde dochází k jeho další metabolizaci;  nárůst kapilarizace okolo pracujících a receptorových svalových vláken, více laktátu tudíž může být během zatížení přemisťováno z krve a do krve;  zdokonalení krevní redistribuce s pozitivním vlivem na odstraňování laktátu z pracujících svalových vláken během zatížení. Tréninkové efekty zvyšující výdrž při tréninku. Díky zvýšení množství glykogenu skladovaného v pracujících svalových vláknech mohou plavci trénovat častěji a intenzivněji. Na základě zvýšení úrovně tukového metabolismu dochází k šetření svalového glykogenu pro větší počet intenzivních tréninkových jednotek.

**Aplikace a varianty intervalového tréninku v plavání**

Při modulaci tréninkového zatížení, přesněji řečeno objemu, intenzity a intervalu odpočinku, existuje nespočet různých dalších variant, např.:

- straight sets – úseky v sérii jsou plavané konstantní rychlostí,

- descending sets – následující úsek v sérii je plaván rychleji než předchozí,

- broken sets – celkový úsek je rozložen na kratší s minimálním intervalem odpočinku (plavání rozložených úseků, např. 100 metrů se rozdělí na 4×25 s 5sekundovým intervalem odpočinku),

- pyramida – narůstá a pak klesá délka úseků, stejně jako délka intervalu odpočinku,

- permutace – celkový úsek je nepravidelně přerušován (např. 400 metrů rozděleno na 200+100+50+50 nebo 50+100+150+100 atd.),

- simulátor – simulace žádoucího tempa na rozložené závodní trati,

- negative split – druhá polovina daného úseku je plavána rychleji než první (negativní mezičas).

Modifikace zatížení v plaveckém tréninku Abychom zkompletovali informace věnované využití kondičních tréninkových metod ve sportovním a kondičním plavání, uvádíme ještě další modifikace tréninkového zatížení:

- plavání nadtratí – úseky v sérii jsou 2× delší než je závodníkova hlavní disciplína,

- lokomotivy – střídání tempa při nepřerušovaném plavání (např. 1 kolo rychle+1 pomalu, 2+2, 3+3, 4+4, 3+3, 2+2, 1+1 apod.),

- časovky – plavec se snaží v daném čase uplavat co nejdelší vzdálenost (rozvoj vytrvalosti),

- fartlek – hra s rychlostí (viz výše),

- plavání s vnějším odporem – využití různých expandérů, kapes připevněných na těle plavce, závaží apod.,

- usnadněné plavání – pro překonání rychlostní bariéry (např. při tažení na laně, na expandéru),

- tapering – vylaďovací trénink před soutěží.