

Sportovní geny

Pavel Grasgruber, Jan Cacek

Computer Press, a.s., 2008. Vydání první.

Recenzent: Mgr. Martina Novotná, Ph.D.

Jazyková korektura: Jana Otevřelová

Sazba: Radek Střecha

Obálka: Martin Sodomka

Odpočívající redaktor: Vladimír Vecheta

Technický redaktor: Petr Klíma

Produkce: Daniela Nečasová

Computer Press, a. s.

Holandská 8, 639 00 Brno

Objednávky knih:

<http://knihy.cpress.cz>

distribuce@cpress.cz

tel.: 800 555 513

ISBN 978-80-251-1873-3

Prodejní kód: KZ0075

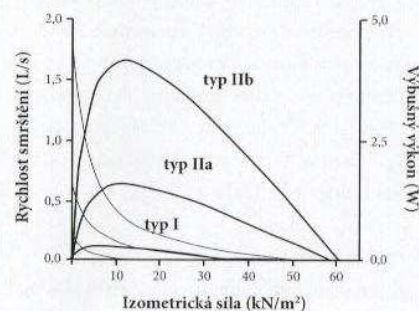
Vydalo nakladatelství Computer Press, a. s., jako svou 2936. publikaci.

© Computer Press, a.s. Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být kopírována a rozmnožována za účelem rozšiřování v jakékoli formě či jakýmkoli způsobem bez písemného souhlasu vydavatele.

1. RYCHLOST

Stavba svalu / Energetické systémy lidského těla / Fyziologické determinanty rychlostního výkonu / Metody rychlostního tréninku / Rychlostní vytrvalost a anaerobní kapacita / Výbušná síla

ridů; zásobní formy tuků). Obsahují rovněž velké množství proteinu myoglobinu, který transportuje kyslík z kapilár do mitochondrií a funguje i jako jeho pohotová zásobárna.



Rychlost smršťování (délka sarkomery/s), síla (kN/m²) a výbušnost u tří základních typů svalových vláken. Rozdíly jsou značné během rychlých dynamických kontrakcí, ale zanedbatelné při pomalých pohybech. (S. Bortolotto, C. Reggiani: *Cellular and Molecular Basis of Heterogeneity in Contractile Performance of Human Fibers. Basic and applied myology*, 1/2002, str. 7–16)

Vlákna rychlá (typ II) se dělí na pomalejší **typ IIa (oxidativně-glykolytický)**, jenž má i určitý aerobní potenciál, a rychlejší **typ IIb či IIx (glykolytický)**, který je důležitý pro anaerobní sporty, kde dominuje explozivní energie, jako jsou např. krátké sprinty či skoky. Vlákna typu IIa představují jakýsi přechod mezi vlákny I a IIb; mají velký průřez, kratší sarkomery, střední obsah myoglobinu a mitochondrií, méně husté prokrvení, poměrně velké zásoby glykogenu i kreatinfosfátu, málo triacylglycerolů a střední rychlost smrštění (50–100 ms). Aktivita oxidativních i glykolytických enzymů je srovnatelně vysoká. Vlákna typu IIb mají největší dynamickou sílu ze všech tří

typů, ale nízký obsah mitochondrií i myoglobinu a malé prokrvení. Vlivem menšího množství cytoplazmy je jejich průřez menší než u vláken typu IIa a obvykle jen nepatrně větší než u vláken typu I. Mají velké zásoby kreatinfosfátu a glykogenu, avšak málo triacylglycerolů. Smršťují se asi 4krát rychleji než vlákna typu I (20–50 ms). Aktivita glykolytických enzymů je vysoká, oxidativní enzymy jsou málo činné. Vlákna I a IIa jsou označována také jako **vlákna červená**. Toto zbarvení jim dodává myoglobin. Rychlá vlákna IIb se označují jako tzv. **vlákna bílá**.

Vzájemný poměr svalových vláken ve svalu je možno přesně zjistit pouze pomocí svalové biopsie (odebráním vzorků pomocí jehly). I tak se však mohou vyskytovat chyby, které činí až 8 % (poměr vláken totiž není na všech místech ve stejném svalu zcela shodný). Existují ovšem i jednoduché metody, pomocí nichž se dá orientačně zjistit převaha vláken v konkrétním svalu. Při tréninku s činkami si nejdříve zjistíme nejvyšší hmotnost, kterou jsme schopni uzvednout, a poté vykonáme maximální počet opakování s 80 % této váhy. Pokud vykonáme méně než 8 opakování, zapojované svaly obsahují převahu vláken typu II. Pokud vykonáme 8–12 opakování, poměr vláken se bude pohybovat kolem 50%. Vyšší počet opakování znamená převahu vláken typu I. Procento rychlých vláken se odhaduje i pomocí odrazových platforem měřících výbušnou sílu svalů (např. při vertikálním výskoku).

Průřez a metabolismus svalových vláken lze do jisté míry ovlivnit sportovním tréninkem. Jejich složení – a tedy i rychlost kontrakce – je však možno změnit pouze částečně. Kupříkladu vlákna typu IIb se

velmi plasticky přizpůsobují druhu tělesného zatížení a při dlouhodobém intenzivním tréninku s určitým podílem aerobní složky (vytrvalostním i běžným posilovacím) se prakticky kompletně konvertují na vlákna typu IIa. Je to zřejmě způsobeno tím, že extrémní anaerobní charakter vláken typu IIb se v běžném životě i při sportovním tréninku uplatňuje pouze v menší míře a nedostatek některých buněčných organel účastných při anaboličeských reakcích (mitochondrie) může být dokonce překážkou zlepšování výkonnosti. Řada výzkumů například jasně dokládá, že nárůst svalové síly a objemu výrazně závisí na přeměně IIb > IIa. Proto je výhodné, aby se vlákna

IIb mohla podle potřeby přizpůsobovat pracovním požadavkům s podílem aerobní složky.

Pokud se v některých studiích špičkových sportovců setkáme s nápadně vysokým podílem vláken IIb, připadá to zpravidla na vrub použitým laboratorním metodám. Postupy zaměřené na detekci izoform přičných můstků (myosin heavy chains, MHC) totiž dávají nezdělané jiné výsledky než histochemické metody, které zjišťují fyziologické vlastnosti svalových vláken za pomoci obarvení speciálními roztoky. Většina takto detekovaných vláken IIb má zpravidla fyziologické vlastnosti hybridního typu IIab.

Charakteristiky tří hlavních typů svalových vláken

	Pomalá (I)	Rychlá (IIa)	Rychlá (IIb)
Rychlost kontrakce	pomalá (70–140 ms)	rychlá (50–100 ms)	velmi rychlá (20–50 ms)
Produkce dynamické síly	malá	vysoká	velmi vysoká
Příčný průřez (vastus lateralis)	4 000 μm^2	4 500 μm^2	4000 μm^2
	u trénovaných až 10 000–15 000 μm^2		
Odolnost vůči únavě	vysoká	střední	nizká
Sportovní aktivita	aerobní (> 800 m)	dlouhodobá anaerobní (100–400 m)	krátkodobá anaerobní (<60 m)
Obsah mitochondrií	vysoký	střední	nizký
Obsah myoglobinu	vysoký	střední	nizký
Hustota prokrvení	vysoká	střední	nizká
	ve vastus lateralis u netrénovaných mužů ~300 kapilár/mm ² , u trénovaných mužů ~400–500 kap/mm ²		
Hlavní zdroj energie	triacylglyceroly	glykogen, kreatinfosfát	glykogen, kreatinfosfát
Obsah kreatinfosfátu	100 %	115 %	120 %
Obsah glykogenu	100 %	130 %	150 %

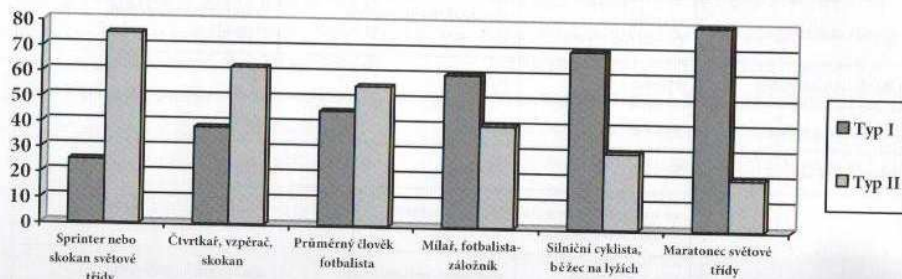
Ačkoli konverze typu II > I, I > II byly v některých studiích doloženy, je zřejmé, že probíhají v podstatně menším rozsahu nebo během velmi dlouhé doby. U vytrvalců byla např. objevena závislost mezi počtem let vytrvalostního tréninku a poměrem pomalých vláken. Výrazné přeměny izoform byly zatím doloženy pouze při dlouhodobém znehybnění (I > II) nebo při pokusech s elektrickou stimulací svalů laboratorních zvířat.

Poměr počtu rychlých a pomalých vláken je v průměru u většiny svalů zhruba rovnoměrný (50% : 50%), přičemž vlákna IIb tvoří ze všech tří hlavních podtypů nejmenší podíl (obvykle asi 10–20%). Vzhledem ke své větší velikosti však rychlá vlákna II zabírají více než polovinu celkového svalového průřezu. Zajímavé je, že ve srovnání s řadou druhů zvířat je individuální variabilita ve složení svalových vláken u člověka poměrně značná. Obvyklý průměr podílu rychlých vláken v zevní hlavě čtyřhlavého stehenního svalu (*vastus lateralis*) je kupříkladu kolem 55 %, ovšem Simoneau a Bouchard (1989)

zjistili u 418 mužů a žen rozpětí od 15 do 85 %. Právě tyto rozdíly určují sportovní předpoklady každého jednotlivce. Sprinteři světové třídy mají například ve *vastus lateralis* až 70–90 % rychlých svalových vláken, středotračaři jen cca 30–50 %. Naopak vytrvalostní běžci mohou mít přes 90 % vláken typu I.

Vyšší procento rychlých vláken je často spjato s vyšší cirkulací tělesného testosteronu. Je známo, že atleti v rychlostních a silových sportech mají vyšší krevní koncentrace testosteronu než vytrvalci; hráči kolektivních her s charakterem přerušované aktivity (např. fotbalisté) se nacházejí zhruba uprostřed. Po 30. roce věku koncentrace tělesného testosteronu klesají a v souvislosti s tím se průřez rychlých vláken začíná pozvolna zmenšovat. Nakonec dochází u velké části z nich ke konverzi na vlákna pomalá. Důsledkem těchto změn je neodvratitelný pokles rychlosti a výbušnosti. Po 40. roce života dochází k atrofii obou typů svalových vláken, což má za následek pokles statické síly.

DISTRIBUCE SVALOVÝCH VLÁKEN VE VASTUS LATERALIS





Energetické systémy lidského těla

Svaly získávají ATP na pohyb příčných můstků prostřednictvím tří základních energetických reakcí:

1. **Regenerací ATP z kreatinfosfátu („ATP-CP systém“)**
2. **Anaerobní glykolýzou („LA-systém“)**
3. **Aerobní oxidací glukózy a tuků („O₂ systém“)**

ATP+KREATINFOSFÁT („ATP-CP SYSTÉM“)

Krátkodobé intenzivní výkony (sprint, vzpírání těžkých vah) je možno po ome-

zenou dobu provádět anaerobně, tj. bez přístupu kyslíku. Během prvních sekund svalové práce je nejprve energie pro pohyb čerpána **rozkladem malých zásob ATP** uložených ve svalu. Když jsou tyto zásoby vyčerpány, je nový ATP regenerován **reakcí ADP s kreatinfosfátem (fosfokreatinem)**, uloženým ve svalectech. Z kreatinfosfátu se uvolní molekula organického fosforu a spojením s ADP vznikne nová molekula ATP. Tyto reakce jsou dominantním zdrojem energie po dobu prvních cca 5–6 sekund a na rozdíl od anaerobní glykolýzy při nich nevzniká laktát. Během delšího cvičení se

kreatinfosfát nestačí regenerovat a jeho podíl na celkové energetické produkci prudce klesá (při 6s práci cca 50 %, ale při 30s už sotva 30 %; viz review Bangsbo 1998). Po skončení zátěže se jeho zásoby ve svalectech opět rychle obnoví (75–80 % během cca 1 minuty, 100 % během cca 2–3 minut). Z uvedeného plyne, že čím vyšší budou zásoby kreatinfosfátu ve svalectech, tím déle a s větší energií bude možno provádět krátkodobý, vysoce intenzivní anaerobní výkon. Protože kreatinfosfát vzniká sloučením organického fosforu s kreatinem, využívá se umělý příjem vysokých množství **kreatinu** pro zvýšení zásob kreatinfosfátu a tím i pro zlepšení výkonnosti v disciplínách jako sprint či vzpírání.

ANAEROBNÍ GLYKOLÝZA („LACTIC ACID/LA-SYSTÉM“)

Čili **anaerobní rozklad glukózy** se rozjíždí pouze s malým zpožděním po ATP-CP systému a už po cca 6 sekundách se podíl obou systémů vyrovnává. Glukóza je nejprve rozkládána na pyruvát a ten je poté bez přístupu kyslíku odbourán na **kyselinu mléčnou**, resp. laktát (La^-) a ionty vodíku (H^+). Pokud je glukóza získávána ze svalového glykogenu, čistý zisk anaerobní glykolýzy představují 3 molekuly ATP na 1 molekulu glukózy. Pokud však výkon trvá déle a glukóza je do svalu přiváděna také krví z jater, čistý výtěžek se sníží na 2 molekuly ATP, protože 1 molekula ATP je použita na chemickou úpravu glukózy v játrech.

- Svalový glykogen je zásobní formou glukózy pro okamžitou potřebu při intenzivních výkonech a vydrží maximálně na cca 90 minut

nepřerušované svalové práce. Další zásoby glukózy jsou uloženy v jaterním glykogenu. Játra jsou schopna vytvářet glukózu také z proteinů, tuků, laktátu i jiných substancí v procesu zvaném **glukoneogeneze**. Glukóza z jater proudí do krve a při průtoku svaly je spotřebována k tvorbě energie. Jaterní glukóza však nepostačuje ke krytí intenzivního svalového výkonu; navíc určitá minimální úroveň glukózy v krvi musí být zachována, protože krevní glukóza je zdrojem energie pro mozek a další tkáň. Z toho důvodu je schopnost svalů přijímat glukózu z krve limitována.

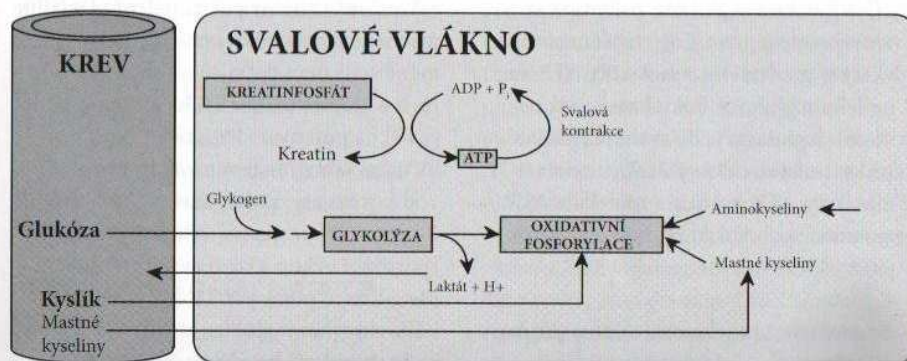
Při produkci energie anaerobní glykolýzou se ve svalu hromadí laktát, a to i přes jeho rychlé vyplavování do krve a další metabolizaci v játrech a ledvinách (tam je použit při syntéze glukózy), nepracujících svalectech či v srdci (přeměněn na pyruvát). Když dosáhne hladina laktátu určité úrovně, disociované ionty vodíku (H^+) způsobí takový pokles pH, že dojde ke sníženému nasycení hemoglobinu kyslíkem a narušení svalových funkcí. Zvyšující se okyselování způsobuje dráždění nervových zakončení a známý pocit „pálení“. Detailní mechanismus vzniku svalové únavy nicméně stále není definitivně objasněn (viz review Cairns 2006). Rychlost poklesu pH závisí na **pufrovací kapacitě** krve a svalů, tj. na schopnosti neutralizovat volné vodíkové ionty a zpomalovat okyselování. Pufrovací kapacita má velký význam pro sportovní výkon a lze ji zvýšit tréninkem. Mezi hlavní pufrů patří fosfáty, některé bílkoviny (hemoglobin, histidin) a zejména karboxylové kyseliny a jejich soli (HCO_3^- , NaHCO_3^-).

- V posledních letech se objevují názory, že klasické představy o produkci a roli laktátu v pracujícím svalstvu je nutné korigovat. Někteří fyziologové razí tezi, že během tvorby pyruvátu jsou produkovány ionty H^+ , ovšem ty jsou během následného vzniku laktátu obratem zase spotřebovávány a konečným produktem glykolýzy je pouze laktát, nikoli laktát a H^+ (kyselina mléčná). **Produkce laktátu tedy de facto snižuje buněčnou acidózu.** Ionty H^+ se ve skutečnosti kumulují

následkem štěpení (hydrolyzy) vznikajícího ATP. Pokud toto štěpení probíhá v mitochondriích, volné ionty H^+ se nehromadí, protože jsou použity v cyklu oxidativní fosforylace (Robergs a kol. 2004). Jiní sice s tímto vysvětlením souhlasí, nicméně argumentují, že tento model neplatí při nízkých hodnotách pH (Kemp 2004). Výsledky této odborné diskuse však nic nezmění na tom, že produkce pyruvátu/laktátu má velmi úzkou souvislost s poklesem pH.

	Kreatin (mmol/kg)	Glykogen (g/100 g)	Rychlá vlákna (%)
Sprinteři	132,2	1,43	60
Středotrafáři	117,0	1,68	30
Vytrvalci	110,9	2,16	20

PRODUKCE ATP

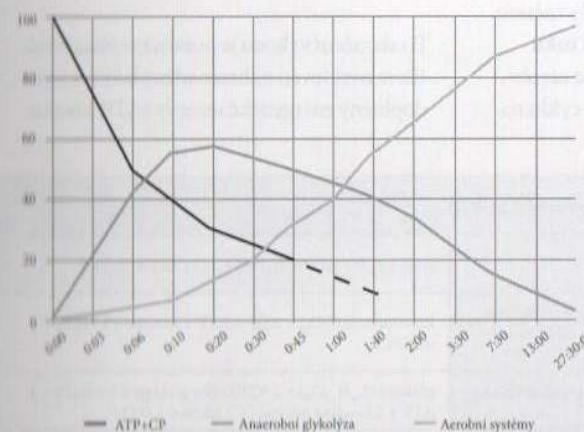


Anaerobní glykolýza je sice dosti neefektivní způsob získávání energie a asi dvakrát pomalejší než regenerace ATP z kreatinfosfátu, nicméně stále je výrazně rychlejší než oxidace glukózy. Po cca 30 sekundách intenzivní

práce jsou zásoby kreatinfosfátu prakticky vyčerpány a náhle „najeti“ na pomalejší anaerobní glykolýzu zapříčiňuje známou „čtvrťkařskou krizi“ z důvodu snížené rychlosti produkce ATP a hromadění laktátu a H^+ .

Zásoby energie u průměrného člověka vážícího 65 kg s 12 % tělesného tuku

Zdroj energie	Zásobní forma	Množství	Energetický zisk na 1 gram	Celkem energie v kJ
Sacharidy (cukry)	Jaterní glykogen	110 g	17 kJ	1 870 kJ
	Svalový glykogen	250 g	17 kJ	4 250 kJ
	Krevní glukóza	15 g	17 kJ	255 kJ
Celkem sacharidů		375 g		6 375 kJ
Lipidy (tuky)	Podkožní tuk	7 800 g	39 kJ	304 200 kJ
	Vnitrosvalový tuk	161 g	39 kJ	6 279 kJ
Celkem tuku		7 961 g		310 479 kJ



Přibližný poměr energetických systémů v závislosti na trvání výkonu (běh, popřípadě cyklistika). Podle matematických modelů založených na výkonech elitních atletů dochází k vyrovnání aerobního a anaerobního metabolismu po cca 55–72 sekundách (Ward-Smith 1999). V praktických studiích se objevují výsledky od 50 až do 100 sekund. Některé novější výzkumy (např. Spencer, Gastin 2001, Duffield a kol. 2004) se kloní spíše k rychlejšímu nástupu aerobního metabolismu, jiné naopak zdůrazňují anaerobní podíl (těch se obvykle drží naše sportovní literatura). Rozdíly v měření vyplývají z dosavadní nedokonalosti laboratorních metod a individuálních rozdílů v podílu rychlých a pomalých vláken (sprinter vytváří energii více anaerobně nežli vytrvalec).

AEROBNÍ OXIDACE GLUKÓZY A TUKŮ („O₂ SYSTÉM“)

Při výkonech trvajících déle než cca 60–70 sekund dominuje jako zdroj svalové energie **oxidace glukózy** (tj. štěpení glukózy za přítomnosti kyslíku). V cytoplazmě svalové buňky je nejprve glukóza rozkládána na pyruvát, jenž je následně metabolizován v mitochondriích v tzv. **Krebsově cyklu** (cyklu kyseliny citronové). Tato závěrečná reakce (**oxidativní fosforylace**) vede ke vzniku vody (H₂O), oxidu uhličitého (CO₂) a velkého množství energie (38 ATP). Když se výkon stupňuje, množství mitochondrií, oxidativních enzymů a přijímaného kyslíku nestačí odbourávat pyruvát a dochází k jeho přeměně na laktát v procesu anaerobní glykolýzy.

Pokud jsou po cca 90 minutách intenzivního výkonu zcela vyčerpány zásoby glykogenů a krevní glukóza nepostačuje, svaly začnou využívat energii převážně **oxidací tuků** (resp. volných mastných kyselin ze zásobního triacylglycerolu) v Krebsově cyklu na

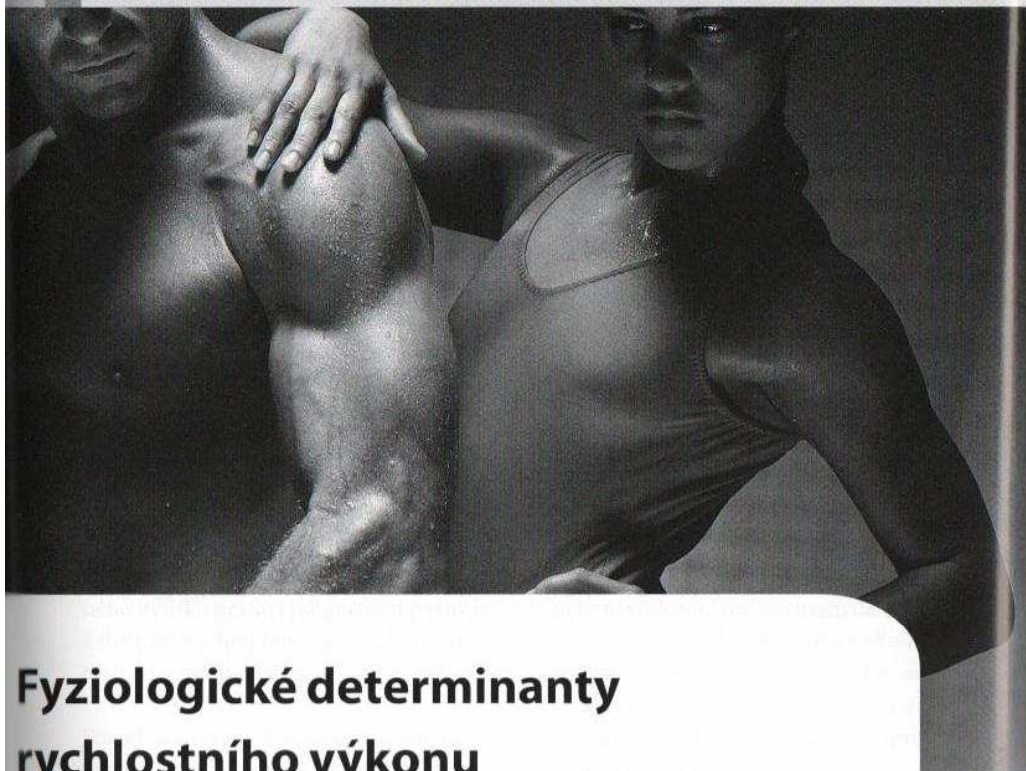
H₂O a CO₂. Tento způsob produkce energie (**lipolýza**) nevytváří laktát, ale je méně ekonomický nežli rozklad glukózy, neboť na stejné množství energie vyžaduje asi o 7 % více kyslíku. To nevyhnutelně vyvolává vyšší požadavky na dodávku kyslíku (zvýšení ventilace) a protékání krve (vyšší srdeční výkon). Při produkci energie z tuků již nelze udržet vysoké pracovní tempo. Vyčerpání glykogenových zásob a „najíetí“ na pomalejší oxidaci tuků se projevuje notoricky známou krizí po 30 kilometrech maratonského závodu (tzv. hypoglykemie). Vzhledem k obrovskému množství energie uloženému v tucích by teoreticky bylo možné vykonávat svalovou práci na oxidaci tuků téměř do nekonečna; prakticky to však není reálné vlivem dehydratace, narušení osmotické rovnováhy v tělesných tekutinách, přehřátí apod. Jako zdroj energie slouží v případě extrémní dlouhodobé zátěže i **proteiny**, a to hlavně tzv. **větvené aminokyseliny (BCAA)**.

Po skončení výkonu je pomocí zvýšené ventilace zoxidován nahromaděný laktát a jsou doplněny energetické rezervy (ATP, kreatin-

fosfát). Tato zvýšená spotřeba kyslíku se běžně označuje jako „**kyslíkový dluh**“. Při výkonech delších než cca 30 sekund se laktát nahromadí takovým způsobem, že se prudce zvyšuje čas na zotavení. Běžci na 400 metrů proto potřebují k zapakování kvalitního výkonu mnohem delší odpočinek než sprinteři na 100 m.

Při chemických reakcích ve svalové buňce hraje důležitou roli celá řada enzymů. Měření jejich aktivity umožňuje pochopit fyziologické procesy. Pokud se účastní energetických procesů v mitochondriích (Krebsův cyklus) za přítomnosti kyslíku, označujeme je jako **enzymy oxidativní**. Enzymy rozkládající glukózu v cytoplazmě nazýváme **enzymy glykolytické**. S ATP-CP systémem jsou např. spjaty enzymy kreatin(fosfo)kináza (CK, CFK) a myokináza (MK), při rozkladu glukózy a produkci laktátu „asistují“ glykolytické enzymy glykogen-fosforyláza (PHOS), fosfofruktokináza (PFK; indikuje intenzitu glykolýzy), hexokináza (HK) a laktát-dehydrogenáza (LDH; indikuje produkci laktátu). V mitochondriích jsou to oxidativní enzymy citrát-syntáza (CS), pyruvát-dehydrogenáza (PDH), malát-dehydrogenáza (MDH) nebo 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenáza (HAD).

Reakce produkující energii pro svalový pohyb	
HYDROLÝZA ATP (první sekundy)	$ATP + H_2O > ADP + H_3PO_4 + 31 \text{ kJ na } 1 \text{ mol ATP}$
REGENERACE ATP z KREATINFOSFÁTU (dominuje v prvních cca 6 sekundách a výrazně klesá po cca 30 sekundách)	$\text{kreatinfosfát (PCr)} + ADP > ATP + \text{kreatin} + 43 \text{ kJ na } 1 \text{ mol PCr}$
ANAEROBNÍ GLYKOLÝZA – Anaerobní rozklad glukózy (dominuje od cca 6 s až do cca 60–70 s)	$\text{glukóza (C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 2 \text{ ATP (nebo glykogen} + 1 \text{ ATP)} > 4 \text{ ATP} + 2 \text{ kyselina mléčná (> 2 laktát} + 2 \text{ H}^+)$
OXIDACE GLUKÓZY – Aerobní rozklad glukózy (dominuje po cca 60–70 sekundách)	$\text{glukóza (C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 2 \text{ ATP (nebo glykogen} + 1 \text{ ATP)} + 6 \text{ O}_2 > 6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + 38 \text{ ATP}$
OXIDACE TUKŮ (LIPOLÝZA) – Aerobní rozklad tuků (volných mastných kyselin) (dominuje po vyčerpání glykogenů po cca 90 minutách)	$\text{mastné kyseliny (C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2) + 23 \text{ O}_2 > 16 \text{ CO}_2 + 16 \text{ H}_2\text{O} + 130 \text{ ATP}$



Fyziologické determinanty rychlostního výkonu

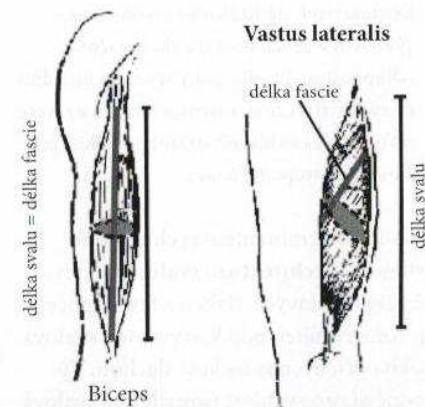
Rychlost se zdá být do značné míry podmíněna geneticky. Závisí totiž převážně na jediném faktoru, jímž je **poměr počtu rychlých vláken** v pracujících svalech (měří se tradičně ve stehenní svalovině). Bylo doloženo, že vyšší % rychlých vláken u sprinterů souvisí s jejich vyšší rychlostí, výbušností a silou, a naopak negativně ovlivňuje vytrvalost. Vysoké % vláken IIb je obecně předpokladem všech výbušných a rychlostních výkonů, jež neprobíhají déle než cca 6 sekund a závisí v převážné míře na produkci energie z ATP-CP systému (tj. např. všechny

skoky a sprint na 60 m). Vlákná IIa jsou důležitá pro rychlostní vytrvalost, jež se vyznačuje převahou anaerobní glykolýzy a kumulací laktátu (tedy např. v závěru běhu na 100 m nebo u běžců na 200–400 m).

Navzdory tolik zdůrazňované důležitosti jsou bílá vlákna IIb ve svalovině sprinterů nebo skokanů často konvertována na typ IIa nebo přechodný typ IIab, což ukazuje, že pro intenzivní výkony krátkého trvání nejsou nezbytná. Jejich konverze na pomalejší typy rychlých vláken, která nastává

vlivem intenzivního tréninku, je totiž bohatě kompenzována nárůstem svalové síly a svalového průřezu. (Atleté s dědičnou dispozicí k vysokému procentu vláken IIb však pochopitelně mohou být ve výhodě.) Protože **celkový průřez rychlých vláken** ovlivňuje funkční charakteristiky svalu téměř ve stejné míře jako jejich početní podíl a rychlá vlákna lze působením silového tréninku zvětšit výrazně více nežli vlákna pomalá, flintu do žita nemusejí házet ani ti, kteří vyložené vlohy pro rychlost nemají. Pokud by tomu tak nebylo, nemělo by ve sprintu opodstatnění zneužívání anabolických steroidů, které prudce zvyšují svalovou sílu za minimálních přírůstků tuku. Zvýšení svalové síly má však význam pouze tehdy, pokud současně nedojde k nadměrnému zvýšení tělesné hmotnosti (= pokles relativní síly) a k přílišné hypertrofii vláken typu I. Hráček je také v tom, že extrémní hypertrofie může vést ke změnám ve svalové architektuře, které negativně ovlivňují schopnost rychlého pohybu (zvýšení úhlu položení svalu; viz dále).

• **Silový trénink** má největší význam pro akcelerační fázi sprintu (0–50 m). Měl by být obecně zaměřen hlavně na svaly stehna a hýždí, a to ohybače i natahovače. Velký hýžďový sval *gluteus maximus* (natahovač kyčle) pracuje výrazně hlavně při startu z nízké polohy, kdy je hlavním generátorem akceleračních schopností. Během běhu se poté navíc zapojuje v brzdivé fázi při pohybu vzad, která předchází dopadu nohy na zem. Při švihů nohy vpřed pracují ohybače kyčle (sval *bedrokyčlostehenní*, přímý stehenní aj.). Natahovače kolena (*kvadricepsy*) se zapojují výrazně při startu a během běhu pracují poměrně krátce, ale zato



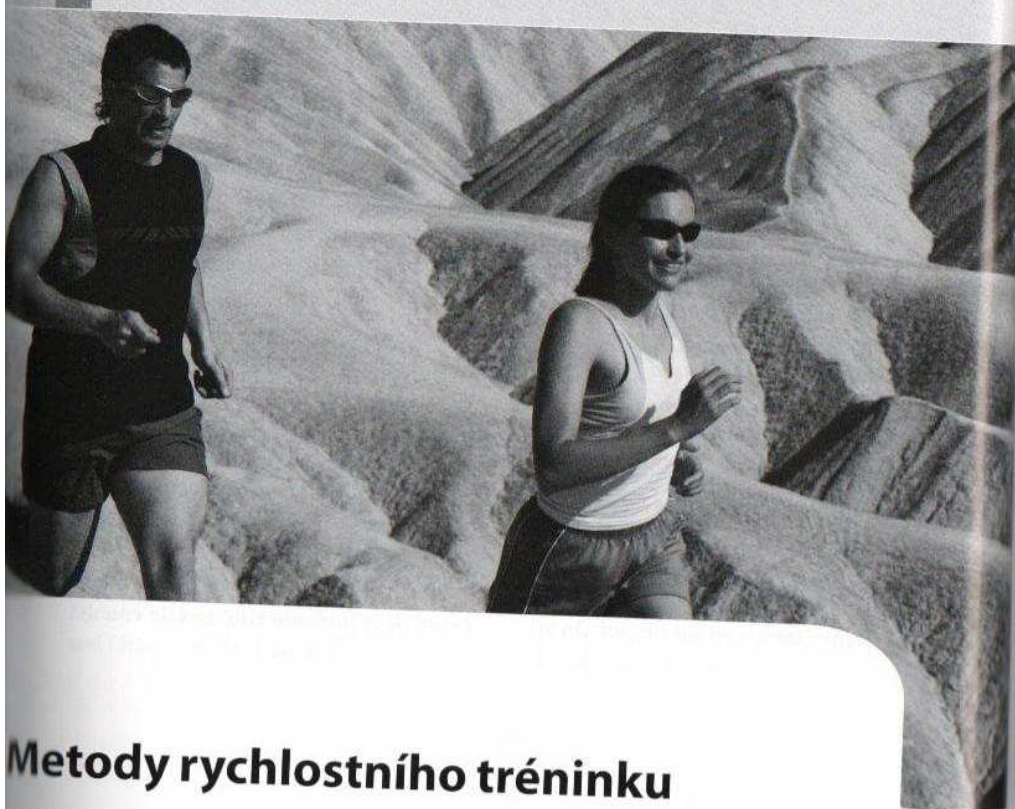
*Svalová architektura. Lidské svaly lze podle převažující tendence k uspořádání vláken zjednodušeně rozdělit na dvě základní skupiny: fusiformní (vřetenovité) svaly jako např. biceps jsou položeny pod nízkým úhlem (téměř paralelně) ve směru působení síly, jsou dlouhé a mají menší fyziologický průřez. Tato architektura je výhodná pro generování rychlosti. Stehenní sval *vastus lateralis* je příkladem penniformního (zpeřeného) svalu, v němž jsou svalové fascie krátké a položené pod větším úhlem (až 30°) ke směru silového působení. Díky tomu může mít *vastus lateralis* více svalových vláken a při stejném anatomickém průřezu (obvodu) má výrazně větší fyziologický průřez než fusiformní sval, což umožňuje vyvinout větší sílu. Penniformní svaly tvoří cca 3/4 skeletálního svalstva.*

intenzivně při odrazu nohy od země. Ohybače kolena (*hamstringy*) mají podobně jako hýžďový sval důležitou funkci v brzdivé fázi, ale pracují i při odrazu nohy od země a při následném švihů vzad. Významnou úlohu má i velký přitahovač (*adductor magnus*), který funguje jako ohybač kyčle při švihů vpřed a stabilizuje kyčel před dopadem nohy na zem. Lýtčkové svaly pracují velmi intenzivně při startu a při všech odrazech chodidla od země. Ke zlepšenému výkonu sprintera přispívá i síla horní poloviny těla, která musí vybalancovat síly produkované rychlými pohyby nohou.

Existuje např. signifikantní závislost mezi výkonem v bench pressu a akceleračními schopnostmi. Prudké pohyby rukou usnadňují i rychlý start ze startovních bloků a v závěru závodu (týká se hlavně 400 m) pomáhají překonávat nastupující únavu.

Dalším determinantem rychlostního výkonu je **architektura svalu**, konkrétně délka svalových vláken a fascií, počet sarkomer a úhel, pod kterým jsou svalová vlákna přichycena na kost šlachou. Výhodnější pro rychlost jsou dlouhá svalová vlákna, spíše s menším průřezem, spojená do dlouhých fascií položených pod nízkým úhlem ve směru působení síly. Dlouhá vlákna totiž obsahují vyšší množství řetězovitě seřazených sarkomer, což

prodlužuje délku svalového stahu a zrychluje pohyb (Abe a kol. 2000). Délka fascií může vysvětlit výrazné výkonnostní rozdíly mezi sprintery se stejným % rychlých vláken. Podle experimentů provedených na zvířatech je zřejmě možné stimulovat řetězovitý růst sarkomer a tím růst fascií do délky pomocí strečinku (Antonio a Gonyea 1993). Na rozdíl od sprinterů mají svaly vytrvalců svalová vlákna i fascie krátké, s menším množstvím řetězovitě seřazených sarkomer, což snižuje spotřebu energie při pohybu. Úhel položení svalu je větší. Podobně je tomu u silových sportovců. Kromě svalové architektury hraje roli i pozice šlach (výhodné pro rozsah stahu je přichycení šlachy v malé vzdálenosti od kloubů) a jejich elasticita.



Metody rychlostního tréninku

Rychlost a spolu s ní i výbušná (explozivní) síla – jsou všeobecně považovány za pohybové schopnosti, jež jsou do značné míry podmíněny geneticky, a tudíž jsou tréninkem vůbec nejhůře ovlivnitelné. Měla by jim být proto věnována zvýšená pozornost už od dětského věku. Vhodným obdobím pro stimulaci rychlosti je počátek puberty (10–15 let), kdy se formují nervové základy svalových funkcí. Stejně jako ve všech jiných pohybových aktivitách by trénink v tomto věku neměl

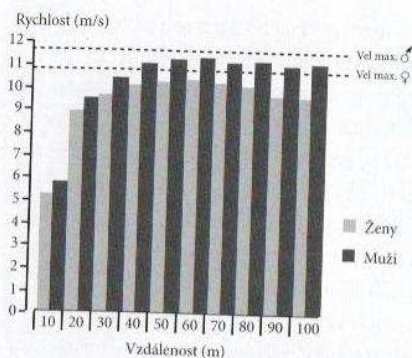
být příliš náročný a specializovaný; brzká rychlostní specializace u mládeže sice zpočátku vede k rapidnímu zlepšování, ale vlivem mnohonásobných tréninkových sprintů dojde záhy k nervové podmíněnému „zmrazení“ pohybového stereotypu při běhu, což velmi často vytváří výkonnostní bariéry v dospělosti. Tomu lze zabránit pestrým složením tréninku, jenž by se měl skládat z široké palety výbušných, rychlostních, koordináčnických i silově-výbušných cvičení.

Trénink sprintů by neměl přesahovat 15 % celkového tréninkového objemu. I dospělí sportovci sice po zahájení speciálního tréninku dříve či později zaznamenají výkonnostní plató, ale vzhledem ke svému všestrannému pohybovému základu jsou schopni dosáhnout lepších výkonů než předčasní specialisté. Se speciální přípravou je možno pozvolna začít během dorosteneckého věku. Největší pokroky při házejí zpravidla mezi 18–21 roky, kdy je dokončen rozvoj silových a anaerobních schopností organismu. Maximální výkonnosti dosahují sprinteři a jiní rychlostní sportovci kolem 25. roku života. Po 30. roce dochází k neodvratitelným fyziologickým změnám rychlých vláken, která se začínají měnit na vlákna pomalá. Klesá rovněž rychlost reakce. Sportovní „životnost“ sprinterů a výbušných atletů je proto menší než u vytrvalostních a silových závodníků. Existují ale i pozoruhodné výjimky jako např. britský sprinter Linford Christie či Jamajčanka Merlene Otteyová, kteří dosahovali časů světové extratřídy i věku kolem 35 let.

Rychlost sprintera je výsledkem vzájemné interakce frekvence kroku a délky kroku. Nejrychlejší sprinteři se vyznačují kombinací vysoké krokové frekvence i délky. Naopak málo výkonní sprinteři mají tento poměr velmi nevyrovnaný. Tyto faktory jsou přítom do značné míry protikladně (prodloužení kroku vede ke snížení frekvence kroku a naopak). Při startovní akceleraci dochází nejprve k rapidnímu nárůstu délky kroku, která po několika vteřinách stagnuje; dosažení maximální

rychlosti po cca 60 metrech závodu se projevuje maximálním nárůstem frekvence. Frekvence vzrůstá jako důsledek snižování kontaktní doby chodidla se zemí, nárůstu odrazových sil vyvíjených při tomto kontaktu a zkracování letové fáze. Trénink pro akceleraci a pro maximální rychlost tedy stimuluje rozvoj pohybových schopností, jež jsou do značné míry protichůdné a jejich vzájemný poměr musí být volen velmi citlivě, s ohledem na přednosti a nedostatky atleta.

U každého sprintera existuje určitý optimální poměr mezi délkou a frekvencí kroku. Délka kroku bývá přirozeně delší u dlouhonožých sprinterů; u mužů činí zhruba 2,5–2,7násobek a u žen cca 2,3 až 2,5násobek délky dolní končetiny (měřené jako výška trochanterionu). Frekvence je naproti tomu nejvyšší u sprinterů menších postav s kratšíma nohama, jež vyvíjejí malou setrvačnou sílu. Z toho důvodu jsou sprinteři malého vzrůstu schopni rychleji dosáhnout své maximální frekvence a excelují především na nejkratší sprinterské trati (60 m). Vzhledem ke svému krátkému kroku však nejsou tolik konkurenceschopní na delších tratích. Rozdíly mezi sprintery lepší a horší výkonnosti nevyplývají ani tak z délky letové fáze (schopnosti rychle přemístit nohy vpřed a vzad), jako spíše z délky oporné fáze (kontaktní doby chodidla se zemí) a délky kroku. Ženy-sprinterky se od svých mužských kolegů stejné výšky nejvýrazněji liší nižší frekvencí kroku, která je způsobena především jejich horší silovou úrovní.

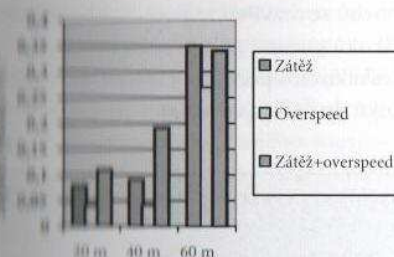


Průměrná rychlost sprinterů při běhu na 100 m (finále MS 1987). Maximální rychlost je dosažena po cca 50–60 metrech běhu. Únava vláken IIb a převažava anaerobní glykolýzy způsobuje mírný pokles ve druhé polovině závodu. (P. Moravec a kol.: *The 1987 International Athletic Foundation/IAAF Scientific Project Report: Time analysis of the 100 meters events at the II World Championships in Athletics. New Studies in Athletics, vol. 3, str. 61–96, 1988*)

Klasický sprinterský trénink zahrnuje běžecské intervaly o kratší vzdálenosti a delších přestávkách, které jsou doplňovány plyometrickým a silovým tréninkem. Pokud chceme, aby byl fyziologický efekt tréninku maximálně ideální, neměla by délka série o mnoho přesahovat čas dosahovaný na konkrétní trati a rychlost pohybu (množství vykonané práce) by měla být co nejvyšší. V případě, že použijeme trénink se zátěží, rychlost pohybu pochopitelně klesne a snižuje se specifická nervová adaptace svalů; protože však tato nervová adaptace nezávisí pouze na rychlosti pohybu, ale také na intenzitě svalové kontrakce, lze sníženou rychlost do jisté míry vykompenzovat maximálním volným úsilím. Počet sérií – a to zvláště při použití zátěží – by nikdy

neměl být vysoký (max. 10) a přestávky mezi sériemi musí zaručit kompletní zotavení (po 60 m běhu nejméně 2–3 min, jinak zpravidla 3–5 min). Regenerace mezi sériemi je rychlejší, pokud jsou pauzy spojeny s aktivním pohybem (lehký poklus), neboť se tím urychluje odstraňování laktátu. V tréninkové praxi se navíc vždy po určitém počtu sérií vkládají prodloužené intervaly odpočinku. Trénink by měl končit při prvních signálech nástupu únavy, tj. zhoršování časů při opakování úseků. Dlouhé zatížení do vyčerpání je kontraproduktivní. Regenerace svalů po rychlostním tréninku bývá obvykle rychlá (24–48 hodin), ale je lépe přihlídnout k individuálním potřebám. Potřeba zotavení se pochopitelně zvyšuje, pokud je více zapojována anaerobní glykolýza. Pozornost je dobré věnovat i tomu, aby druh cvičení pokud možno co nejvěrněji kopíroval polohu těla při pohybu a popřípadě probíhal i v úhlu, jenž je pro pohyb typický. Pro trénink akcelerace je tedy vhodné vybírat cvičení, která simulují postavení těla v předklonu a pohyb v kolenním kloubu při nich probíhá ve větším úhlu; při tréninku maximální rychlosti se naopak hodí cvičení ve vzpřímené poloze, s malým pokrčením kolenou, ale výraznějším úhlem pohybu v kyčlích. Jak už bylo nastíněno výše, je rovněž vhodné vyvarovat se dlouhodobého pohybového stereotypu.

Možností kombinace tréninkových postupů při rozvoji jednotlivých složek pohybu je značné množství. **Akcelerace a délka kroku** se rozvíjejí velmi podobnými metodami, tj. silově-výbušným tréninkem se zátěží



Tréninkový efekt tří metod na rozvoj rychlosti: 1) zátěž (15 % těl. hmotnosti tažené na saních), 2) overspeed (běh na pásu za vodičem při 104–106 % max. rychlosti), 3) zátěž+overspeed (kombinace obou metod). (A. Faccioni: *Resisted and Assisted Methods of Speed Development, www.faccioni.com/Reviews/res-ass.PDF*)

působím na atletův trup. V podstatě se jedná o všechny sprinty využívající lehký závaží (zpravidla ne více než 10 % atletovy hmotnosti) připevněné v zátěžových vestách, popřípadě tahání pneumatiky či tažných saní. (Obecně se doporučuje preferovat zátěžové vesty, protože zátěž tažená na pásu má negativní efekt na techniku běhu.) Vyšší zatížení než 10–15 % těl. hmotnosti má už nezfidka záporný efekt, protože vede k přílišnému poklesu délky kroku a prodloužení kontaktní doby. Lze je nicméně příležitostně využít na rozvoj akceleračních schopností při startu (síla hýždí, dynamická práce paží). Jinou alternativou podobného druhu jsou výběhy do kopce nebo do schodů (působí na zvýšení frekvence při akceleraci), běh proti větru, běh v písku. Ze silových cvičení se používají klasické dřepy nebo polodřepy, výpady s činkou, mrtvé tahy, hacken-dřepy v předklonu, vzpěračské silvíhy a základní cviky na rozvoj horní

poloviny těla. Z plyometrických cviků jsou to především hluboké dřepy s výškou a vyšší zátěží. Excesivní praktikování zátěžového tréninku může mít za následek pokles maximální rychlosti.

Frekvence kroku se nejlépe zlepšuje umělým zrychlením atletova běhu. Tento způsob tréninku se běžně označuje jako tzv. „overspeed training“, tj. běh supramaximální rychlosti (běh ze svahu se sklonem max. 3°, na pásu za rychlejším vodičem max. 3°, na pásu za rychlejším vodičem či tažným zařízením, po větru apod.). Podobně jako v případě tréninku délky kroku může použití nevhodného zařízení negativně ovlivnit techniku běhu, a proto se upřednostňuje používání tahačů s kontrolovanou silou tahu před gumovými lany. Overspeed training se doporučuje hlavně při překonávání rychlostní stagnace, neboť pomáhá vytvářet nové, rychlejší nervosvalové stereotypy. Jeho efekt se nejvýrazněji projeví v maximální rychlosti (od 60 m výše), ale nikoli ve schopnosti akcelerace (0–50 m). Je nutno mít na paměti, že příliš velká rychlost běhu (nad cca 105 % maxima) neúměrně prodlužuje krok a relativně snižuje frekvenci. Doporučit je možno i používání lehké zátěže na kotnících (optimem je 0,5–1 kg na každou končetinu), čímž rozvíjíme sílu a výbušnost svalů účastných při švihovém pohybu nohou vpřed a vzad. Podobnou alternativou je např. běh ve vodě. V silové přípravě se preferují podřepy s mírně pokrčenými koleny a různé jiné formy silových cviků, které zatěžují kolenní kloub v malém úhlu a při kombinaci vel-

ké zátěže a rychlosti. Na svaly kyčelního kloubu jsou to např. různé formy záklonů, hyperextenzi a přednožování či zanožování, na lýtka výpony. Výbušné aspekty

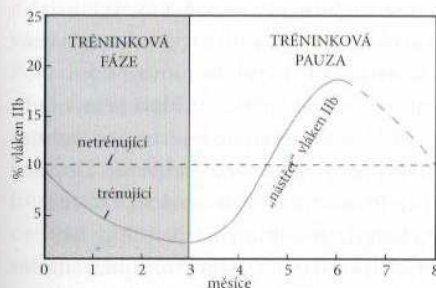
pohybu se rozvíjejí za pomoci hlubokých seskoků s mírně pokrčenými koleny, přeskakování překážek či vícenásobných skoků do dálky (viz dále).

Kinematické parametry při běhu supramaximální rychlosti s využitím pružné gumy nebo tahače (bez zátěže, se zátěží na kotnicích 2 x 0,5 kg a se 4kg zátěžovou vestou).

(Podle M. Vanderky a T. Kampmiller 2004; In: R. Moravec a kol.: Teória a didaktika športu. 2004)

	Čas 20 m letmo	Frekvence (Hz)	Délka kroku (cm)	Kontakt (ms)	Let (ms)
Tah (20 m gumové lano)	1,970	4,34	234,45	104,06	127,00
Tahač „Speedy“	1,978	4,33	232,23	103,81	127,59
Tahač „Speedy“ + 2x0,5 kg	2,056	4,21	226,80	106,55	131,82
Tahač „Speedy“ + 4 kg vesta	2,049	4,28	229,07	108,93	125,41

Vzhledem k tomu, že nerovnovážný poměr tréninkových metod na rozvoj akcelerace a maximální rychlosti může způsobit pokles



Konverze vláken IIa a IIb během 3měsíčního posilovacího tréninku a během následné 3měsíční tréninkové pauzy. (J. L. Andersen, P. Aagard: *Myosin heavy chain IIx overshoot in human skeletal muscle. Muscle Nerve*, 7/2000, str. 1095–1104) Podle několika novějších studií (Liu a kol. 2003, Andersen a kol. 2005) je konverze IIa na IIb možná provázena i částečnou konverzí pomalých vláken na vlákna IIa.

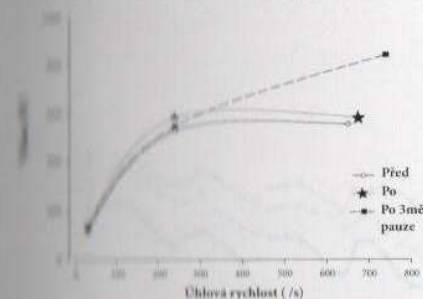
některé z těchto pohybových schopností, je velmi vhodné tyto postupy rozumně kombinovat. Kampmiller a Vanderka (2004) doporučují jako vůbec neefektivnější a nekomplexnější metodu na rozvoj rychlosti běh za tahačem se zátěžovými vestami (4–6 % těl. hmotnosti). Tato kombinovaná metoda vyvažuje působení horizontálních a vertikálních sil a pronikavě zlepšuje akcelerační schopnosti i maximální rychlost. Lze si samozřejmě představit i jiné účinné kombinace (např. sprinty se zátěží na těle i na kotnicích na různých sklonech terénu). Užitečné je taktéž věnovat pozornost elastickým komponentům běhu (viz následující pojednání o výbušné síle). Kotníky sprintera by neměly být příliš flexibilní a nestabilní, aby se nenarušoval přenos výbušné síly při kontaktu chodidla se zemí; svalstvo stehna je vhodné protahovat mírně nad normál a nejvyšší má být flexibilita kyčlí, neboť pohyb v kyčelním kloubu probíhá rychle ve

velkém rozsahu a nejlépe může benefitovat ze stupněné kapacity elastické energie (vedle protahovacích cviků je možno využít běh s vysokou zdviženými koleny, tzv. skipping). Namístatnou kapitolou je trénink startovní reakce a běžecké techniky. Podrobněji k tréninkovým metodám rozvíjení rychlosti viz V. Millerová a kol.: *Běhy na krátké tratě (Olympia 2001)*.

Pokud jde jako v případě tréninku vytrvalosti, i zde lze je možno při tréninku rychlosti dosahovat kontinuálních pokroků pouze **pravidelným cyklováním** intenzity zátěže. U hladké a vysokou intenzitou tréninku je nutno střídát s méně náročnými mezicykly

(mezocykly), kdy dojde k regeneraci adaptačních schopností organismu. Na začátku cyklu by měly převažovat ztížené (brzděné) běhy a silový trénink, na konci cyklu by potom postupně měla dostávat přednost plyometrická a technická cvičení + *overspeed training*. Zhruba týden před soutěží nastává fáze „taperingu“, tj. vyladování formy, kdy je preferován trénink techniky. Ostatní cvičení jsou silně redukována a prováděna s velmi malým objemem a vysokou intenzitou.

Návod na ideální tréninkovou strategii nedávno přinesl výzkum **konverze svalových vláken („overshoot phenomenon“**, tj. doslova „nástřelový jev“). J. L. Andersen a P. Aagard (2000) z týmu známého fyziologa Bengta Saltina podrobili skupinu devíti netrénovaných Dánů tříměsíčnímu posilovacímu tréninku a po této době jim odebrali vzorky svalové tkáně. Jak bylo možno předpokládat, téměř všechna vlákna typu IIb se přeměnila na typ IIa (z původních 10,2 % klesl jejich výskyt na pouhých 4,1 %). Poté studování probandi trénink přerušili a vrátili se k běžnému životu. Po dalších třech měsících Saltinův tým opět provedl svalové biopsie a očekával, že poměr vláken se bude vracet na původní úroveň. K jejich překvapení však došlo u všech devíti lidí ke zcela neočekávanému zvýšení počtu svalov-



	Před tréninku	Po tréninku	Po 3měs. pauze
IIb (%)	5,6 ± 0,8	0,8 ± 0,3	7,7 ± 1,1

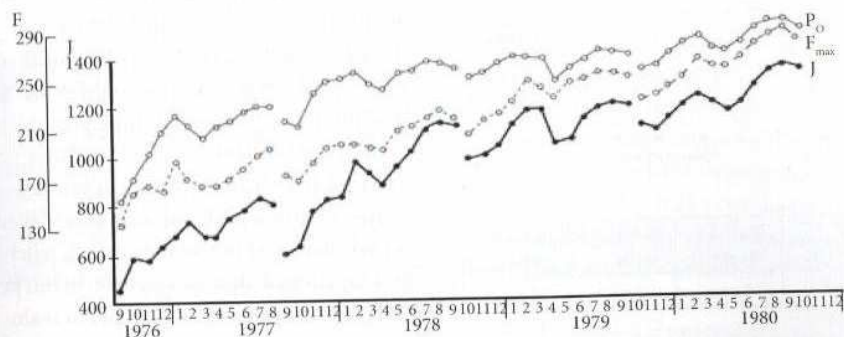
*Podle dodatečného výzkumu kinematických parametrů při extenzích v kolenou se posilovací trénink projevil nárůstem síly a výbušnosti při pomalých (30%/s) a středně rychlých (240%/s) kontrakcích, ale nedošlo k nárůstu výbušného výkonu při extenzích bez zátěže (rychlost 700–900%/s). Tříměsíční tréninková pauza vedla podle očekávání k ústupu a poklesu silových parametrů při pomalých kontrakcích. V souladu se zvýšením počtu vláken IIb ale současně došlo ke zvýšení maximální rychlosti pohybu o 14% a výbušného výkonu při nezatižených extenzích o 44%. Po dlouhém tréninkovém „lenošení“ doprovázeném „nástřelem“ vláken IIb lze tedy očekávat zlepšení výkonu při nezatižených výbušných pohybech (kopy, tenisové smeče apod.), ale nikoli v atletických disciplínách, kde vstupuje do hry vyšší zátěž nebo hmotnost těla. (L. L. Andersen a kol.: *Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. Journal of Applied Physiology*, vol. 99, 1/2005, str. 87–94, <http://jap.physiology.org/cgi/content/full/99/1/87>)*

RYCHLOST

vých vláken IIb, a to na úroveň dvakrát větší než před zahájením tréninku (v průměru na 18,8 %!).

Doposud není jasné, zda se po delší době poměr vláken IIa a IIb opět vrátí na původní hodnoty (jedna studie například dokumentovala, že „nástřel“ vláken IIb zůstává o 50 % nad normálem ještě po 8 měsících). V každém případě mají tato pozorování velký význam pro běžce na nejkratší sprinterské tratě a zejména pro skokany. Jak vidno, nejlepší strategií by bylo zprvu zmenšit poměr vláken IIb vysokoobjemovým silovým tréninkem s vyšším počtem sérií i opakování. Poté dostanou na 2–3

měsíce přednost krátká silově-výbušná cvičení doplňovaná málo frekventovaným „udržovacím“ cvičením s těžkými vahami a malým počtem opakování. Výsledkem by mělo být podstatné zvýšení množství vláken typu IIb a tím následně i zvýšení rychlosti a výbušnosti. Jak dodává Saltin, střídání fází intenzivního a redukováného posilovacího tréninku praktikuje mnoho sprinterů, kteří si jeho efektivitu ověřili na základě prosté osobní zkušenosti. Mimochodem, praktická znalost účinků těchto tréninkových postupů patřila už od 60. let k přísně střeženým tajemstvím sportovního systému bývalé NDR. Konec každého cyklu byl „doladován“ steroidy.



Dynamika statické síly, výbušné síly a silového gradientu v průběhu tréninkových cyklů špičkového trojskokana, které sestávají ze tří základních fází: přípravné, soutěžní a přechodné. Během přípravné, „adaptační“ fáze je objem tréninku zpočátku vysoký, ale intenzita je nízká. Tělo se tak adaptuje na nový tréninkový podnět. Intenzita tréninku postupně vzrůstá a dosahuje vrcholu během soutěžního období. Nao-pak objem tréninku stále klesá. Jakmile je schopnost organismu reagovat na tréninkové stimuly vyčerpána a dochází k zastavení růstu výkonnosti, je nutno zařadit přechodnou fázi. Během ní je objem i intenzita na nízké úrovni a dochází k regeneraci adaptačních schopností organismu, která je doprovázena dočasným poklesem výkonnosti. Na začátku nového cyklu je potom organismus připraven k dalšímu progresivnímu zlepšování. (Verchožanskij, Viru 1990)



Rychlostní vytrvalost a anaerobní kapacita

V některých sportech, jako např. u sprinterů na 200 m, je důležitý i rozvoj **rychlostní vytrvalosti**, tj. energetické kapacity ATP-CP systému. Ta se zvyšuje nárůstem zásob kreatinfosfátu a aktivit příslušných enzymů (myokináza, kreatinkináza), které urychlí resyntézu ATP. Tréninkem rychlostní vytrvalosti je možno udržet vysokou a relativně konstantní rychlost až po dobu více než 20 sekund. **Anaerobní kapacita** vyjadřuje energetickou kapacitu laktátového („LA“) systému, tj. schopnost udržet vysoký pracovní výkon v režimu anaerobní glykolýzy

(30–60 s). Pozitivním signálem zlepšení anaerobní kapacity je zvýšení krevní koncentrace laktátu po výkonu, což odráží vyšší aktivitu glykolytických enzymů a urychlení produkce energie anaerobní glykolýzou. Současně s tím rostou zásoby glykogenu, jenž je hlavním energetickým zdrojem, i puřrovací kapacita svalstva, která zpomaluje okyselování.

Z pohledu energetických procesů je velmi složitým mixem trať na 400 m. ATP-CP systém se podílí na výkonu špičkového

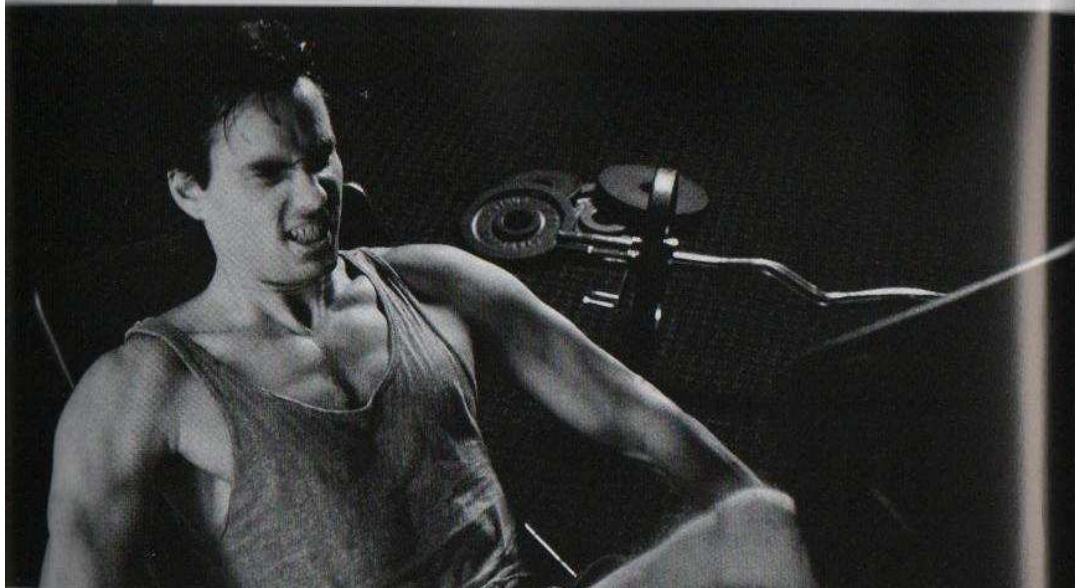
čtvrtkafe v průměru z cca 20–25 %, anaerobní glykolýza asi 50 procenty a aerobní glykolýza asi z 25–30 %. V první půli závodu je nutno disponovat vysokou maximální rychlostí a velkou rychlostní vytrvalostí, která oddálí nástup anaerobní glykolýzy. V závěrečné polovině závodu potom rozhoduje anaerobní kapacita svalstva. Při tréninku čtvrtkafe se tedy nabízí možnost kombinovat krátké úseky do 60 m pro vyžití maximální rychlosti a stimulaci ATP-CP systému s delšími úseky v pásmu maximální akumulace laktátu (30–60 s), které zvýší aktivitu anaerobních enzymů a puřrovací kapacitu (viz str. 67–68). Pokud jsou přestávky krátké (max. 2 min), dochází k rovnovážné aktivaci ATP-CP i LA systému, která se zpočátku projevuje výrazným vzestupem koncentrace laktátu, ale po několika dalších sériích dochází k poklesu laktátové koncentrace, která se vysvětluje obnovou „reaktivizací“ ATP-CP systému. Kombinace krátkých sprintů a relativně krátkých přestávek má specifický význam při tréninku kolektivních her, jež mají charakter přerušované aktivity.

Vzhledem k významnému (25–30%) podílu anaerobní složky na finálním výkonu čtvrtkafe se nesmí zapomínat ani na rozvoj vytrvalosti prostřednictvím intervalových, kontinuálních nebo fartlekových metod. V tréninku každého běžce – a tedy i u běžce na krátké tratě – by

měla být v jednotlivých fázích ročního tréninkového cyklu trénována všechna běžecká tempa – od akcelerační a maximální rychlosti přes rychlostní vytrvalost, anaerobní kapacitu až k vytrvalosti obecné. Jejich vzájemný poměr závisí na mnoha faktorech, především ale na disciplíně, v níž atlet závodí, a na fázi ročního tréninkového cyklu.

Anaerobní kapacita je důležitým výkonostním determinantem i na tratích 800 a 1500 m. Podle dosavadních pozorování je lépe trénovatelná než pohybové schopnosti spjaté s ATP-CP systémem, tj. rychlost a výbušná síla (Calvo a kol. 2001). V laboratorních podmínkách se pro měření anaerobní kapacity často používá tzv. **Wingate(ský) test** na bicyklovém ergometru. Výsledky se udávají ve wattch (W) nebo joulech (J). Ještě přesnější a objektivnější je měření kyslíkového deficitu po výkonu ($\text{ml O}_2/\text{kg}$).

- Ženy mají obecně horší metabolické předpoklady k anaerobním výkonům než muži, což se projevuje nižšími koncentracemi klíčových enzymů a nižšími hladinami laktátu při maximálních testech. Také u mládeže je schopnost anaerobní produkce energie nízká a krátkodobý svalový výkon je ve zvýšené míře kryt aerobně. To vysvětluje, proč mnoho běžecy zdatných dětí exceluje na velmi rozdílných vzdálenostech.



Výbušná síla

Výbušná síla, resp. výbušný výkon (P), souvisí se silou i rychlostí, protože je násobkem síly (F) a rychlosti (v): $P = F \times v$. Je to v podstatě schopnost svalů vykonat velký objem práce za jednotku času, resp. schopnost vyvinout velkou sílu v co nejkratším čase při jednotlivém pohybu. Udává se převážně ve Watech (W), popřípadě i v $kg \cdot m/s$. Výbušná síla je kriticky důležitá pro atlety v široké škále sportů – sprintery, vrhače, skokany, volejbalisty či basketbalisty. Vzhledem k důležitosti silového komponentu závisí mnohem více

na **celkovém průřezu rychlých vláken** než na jejich početním poměru. Proto často nenacházíme u výbušných atletů tak výrazný podíl rychlých vláken jako u sprinterů. Čím důležitější je rychlost odrazu, tím podstatnější je poměr průřezů rychlých a pomalých vláken (Costill a kol. 1976). Z toho důvodu bývají rychlá vlákna skokanů výrazně hypertrofovaná, ale jejich pomalá vlákna nebývají větší než u netrénovaných lidí. S rychlými vlákny a výbušnými schopnostmi se úzce pojí také **nervové faktory** – rychlost vyvinutí maxi-

VZTAHY MEZI SILOU, RYCHLOSTÍ A VYTRVALOSTÍ

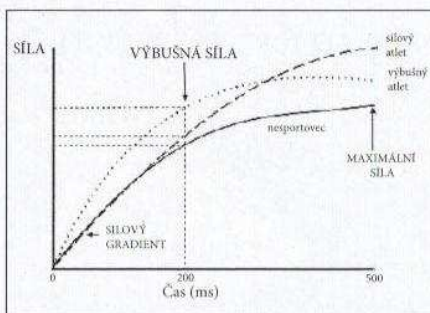


mální síly (silový gradient), selektivní aktivace rychlých vláken, koordinace činnosti antagonistických (protichůdně působících) svalů. Dalším významným činitelem je **svalová pružnost** (elastická energie).

Cvičení na rozvoj výbušnosti by měla sestávat z velmi krátkých, intenzivních sérií, jejichž délka by neměla o mnoho překročit 6 sekund (kdy tvoří převažující podíl produkce energie z kreatinfosfátu). Orientačním vodítkem při volbě délky cvičení může být pocit pálení, který indikuje hromadění laktátu. Kontraproduktivní je trénovat do vyčerpání, protože dochází ke snižování rychlosti pohybu a k vytrvalostním adaptacím (konverze IIb > IIa). Abychom se jim co nejvíce vyhnuli, pauzy by měly být co nejdelší (podobně jako v případě rychlostního tréninku) a trénink krátký a velmi intenzivní. Pokud bude výbušná síla využívána při specifickém sportu,

pohyb při cvičení by jej měl maximálně napodobovat.

Vzhledem k tomu, že rychlost odrazu se při různých výbušných pohybech liší, trénink by měl být pokud možno co nejvíce specifický, neboť ke zlepšení výbušnosti dojde pouze v omezeném okruhu, který odpovídá délce odrazu při cvičení. Odraz chodidla sprintera na počátku fáze akcelerace (prvních 5 m) přitom trvá více než 120 ms, po dosažení maximální rychlosti cca 80–100 ms, odraz nohy dálkaře cca 100–120 ms, u trojskokana 120–180 ms (nejméně při úvodním hopu, nejvíce při závěrečném jempu), u výškaře 120–160 ms, při sousozném výskoku volejbalisty i přes 250 ms. Oštěpař potřebuje k mobilizaci síly při hodu oštěpem cca 120–180 ms, vzpěrač během zdvihu 200–300 ms, koulař při vrhu 300–400 ms (podle jiných zdrojů i méně než 300 ms), powerlifter při pomalém zdvihu činky přes 500 ms.



Obrázek znázorňuje rozdílnou schopnost vyvinutí síly během 200 ms (kritická hranice úspěchu u anaerobních atletických disciplín). Jedině s vyšší výbušností je schopen dosáhnout lepšího výkonu, přestože jeho maximální statická síla je menší než u silového atleta. (W. Kraemer, R. Newton: Training For Improved Vertical Jump. Sports Science Exchange, www.gssiweb.com, 6/1994, str. 1–12)

Z toho vyplývá, že použití vysoké zátěže při tréninku výbušné síly sprinterů bude mít význam spíše jenom pro zlepšení akceleračních schopností, ale nikoli při rozvoji maximální rychlosti běhu. Naopak koulaři, který hází 7,25 kg náčiním, moc nepomůže výbušný trénink se zátěží, kterou úspěšně používá jeho vrhačský kolega házející 800gramovým oštěpem. A házenkář zřejmělepší svůj výkon v hodu míčem výrazněji, když použije 3kg medicinbal a nikoli 10kg medicinbal. V úvahu je nutno vzít i rozdíly v zapojování svalů. Při horizontálním sounožném skoku z místa vyvíjejí největší sílu natahovače stehna (46 %) a lýtkový sval (50 %), zatímco podíl stehenního svalstva je malý (4 %); při vertikálním výskoku se markantně zvyšuje práce svalstva stehna (24 %) a klesá podíl obou výše zmíněných skupin (na 40 % a 36 %) (Robertson, Fleming 1987). Při skoku dalekém s rozběhem je největším generátorem síly lýtkový sval (47 %) před natahovači stehna (26 %) a stehenním

svalstvem (25 %). Při vertikálním výskoku s rozběhem vytváří nejvíce síly rovněž lýtkový sval (53 %) následovaný stehenním svalstvem (25 %) a natahovači stehna (21 %) (Stefanyshyn, Nigg 1998). Tyto odlišnosti mají svůj vliv i na optimální pákové poměry končetin při výbušném pohybu (s rostoucím podílem stehenního svalstva roste i důležitost poměru délky stehna a lýtka).

Kromě silového tréninku existují dvě základní varianty cvičení na rozvoj výbušnosti: rychlostně-silový a plyometrický (odrazový) trénink.

SILOVÝ TRÉNINK

Je dobře známo, že **silový trénink** u začátečníků vede ke zlepšení statické i výbušné síly, což vyplývá hlavně z rychlých nervových adaptací (zvýšené % aktivovaných svalových vláken). Při dalším zlepšování výbušné síly však není efektivní, neboť nemá markantní vliv na silový gradient. Proto také může jedinec s působivým výkonem v bench pressu (ale „pomalejšími“ vlákny a nervy) dohodit vrhačským náčiním daleko méně nežli slabší vrhač s velkou explozivní silou, neboť poslední jmenovaný disponuje větším pracovním výkonem svalů za jednotku času. Význam statické síly při výbušných pohybech stoupá teprve s růstem hmotnosti zátěže.

RYCHLOSTNĚ-SILOVÁ CVIČENÍ

jako vzpěračské zdvihy (trh, nadhoz) či explozivně prováděné tradiční silové cviky (např. bench press) jsou kompromisem mezi silovým a plyometrickým tréninkem a umožňují rovnoměrný rozvoj výbušnosti a statické síly. Laboratorní data ukazují, že nejvyšších hodnot výbušné síly (jako

Rozvoj rychlé síly (upraveno dle Moravce, 2004)

Typ zatížení	Intenzita		Objem		Pauzy (min.)	Frekvence týdne	Dominantní adaptační efekt	Příklad tréninku (osobní maximum 100 kg)
	% max. váhy	% max. úsili	opak.	série				
Rychlá síla	45–65	90–100	5–8	3–4	2–3	2	rychlost aktivace sval. vláken (silový gradient), mezi-svalová koordinace a synchronizace	Rychle opakovaný dřep s činkou 60 kg/3–4×6 opak., ne víc než 10–12 cviků
Rychlá opakovaná síla	30–45	70–80	15–30	3–4	2–3	1–2	rychlost aktivace sval. vláken (silový gradient), pružnost a reflexy, méně synchronizace	Rychle opakovaný dřep s činkou 30 kg/3×20 opak., ne víc než 10 cviků

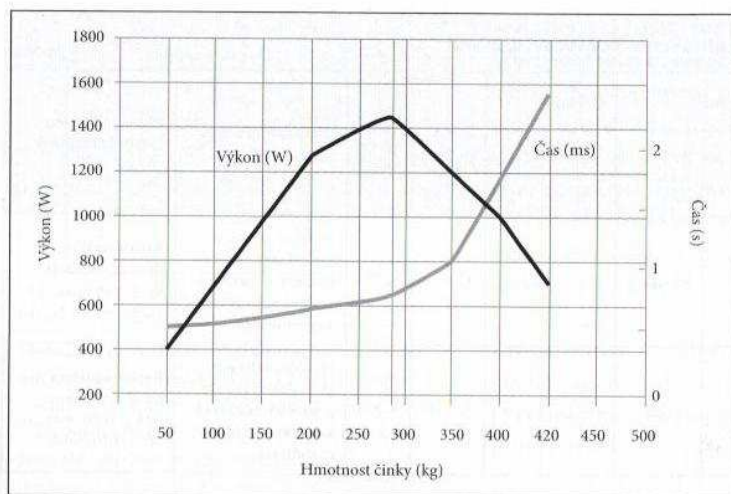
množství vykonané práce za jednotku času) je možno dosáhnout při cvičení s cca 50–70 % maximální váhy. Kupříkladu u dřepu činí tato hodnota zhruba 66 %, u bench pressu 55 % a u bicepsového zdvihu už 50 % maximální síly. Při užívání vyšších vah klesá rychlost pohybu a s tím i výbušná síla. Vždy je vhodné přihlídnout k požadavkům konkrétní sportovní disciplíny a hledat optimální kompromis, protože získané adaptace budou odpovídat zvolenému poměru mezi hmotností zátěže a rychlostí pohybu.

• Zatímco vzpěračské zdvihy se zdají být velmi efektivními a komplexními cviky na rozvoj výbušné síly, biomechanika jiných cviků (např. bench press) nedovoluje plnou akceleraci v závěrečných fázích pohybu, kdy je nutno udržet činku v rukou. Sportovci, kteří chtějí zlepšit výbušnou sílu pro údery nebo hody, by proto měli preferovat spíše plyometrické cviky (např. hody medicinbalem či odrazy posilovacího náčiní na bezpečných přístrojích). Dobrou alternativou

jsou i kliky s odrazem či cviky s pružinami připravenými na končetinách.

PLYOMETRICKÁ (ODRAZOVÁ) CVIČENÍ

zlepšují schopnost využití elastické energie protahovacího reflexu a neúčinněji stimulují nervové faktory, které podmiňují rychlost vyvinutí síly. Pro rozvoj výbušnosti se používají asi nejčastěji. Při tréninku výbušné síly nohou se jedná např. o výskoky, skoky z místa (i vícenásobné), seskoky z bedny na zem a opět na bednu nebo opakované seskoky a výskoky na lavici (i jednonož). Pro horní část těla se používají vrhy a hody míčem či těžším náčiním apod. Při výběru cviků je velmi důležité přihlídnout k subtilním kinematickým rozdílům v délce kontaktní doby, míře protipohybu a síle vyvinuté při odrazu, neboť se mezi jednotlivými sporty a disciplínami liší. Kupříkladu při odrazu chodidla sprintera od dráhy je míra pokrčení v kolenu malá, rychlost pohybu velmi vysoká a délka odrazu (kontaktní



Závislost mezi pracovním výkonem a hmotností zátěže při dřepu. Maximálního pracovního výkonu 1 451 wattů je dosaženo při zdvihu 280 kg (69 % maximální zátěže 407 kg) za 0,81 sekundy. Podle www.sportsci.com.

doby) extrémně nízká. Síla odrazu ale není zdaleka tak velká jako např. u dálkaře, jehož skok je prováděn s využitím maximální rychlosti rozběhu a poněkud větším protipohybem v kolenou, což zaručuje optimální kompromis mezi silou odrazu a udržením kinetické energie v horizontálním směru. Skok vysoký naproti tomu vyžaduje menší horizontální rychlost, ale poměrně výrazný protipohyb při výskoku spojený s delší kontaktní dobou při odrazu od země, neboť kinetická energie je směřována vertikálně.

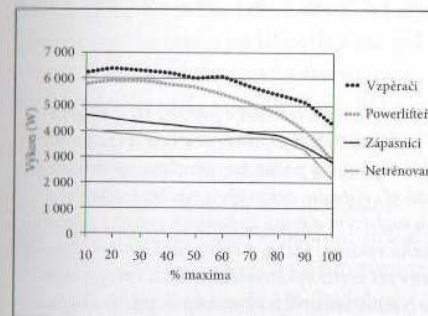
1/ Výrazný protipohyb (maximální využití elastické energie, nízká tuhost) + dlouhá kontaktní doba: Odrazový pohyb tohoto druhu se hodí ve sportovních aktivitách, jejichž cílem je maximalizace výbušné síly. Příkladem může být např. souonožný výskok volejbalisty nebo trénink úderů v úpolových sportech. Používají se cviky s výrazným pro-

tipohybem a zpravidla i s přiměřenou zátěží, která umožní selektivně trénovat výbušnou sílu rychlých vláken.

Experimentálně bylo dokázáno, že k maximalizaci výbušného výkonu dochází při plyometrickém cvičení s vahou odpovídající cca 20–30 % maximální síly (při menší úrovni trénovanosti už při 10 %, u některých silově-výbušných atletů ale až při 40–50 %). Při vyšších zátěžích se ve zvýšené míře zapojují pomalá vlákna a výbušný výkon klesá. Klasickým příkladem tohoto zátěžového způsobu tréninku (angl. „maximal power training“) mohou být výskoky ze dřepu s činkou na ramenou. Na horní část těla je možno vyzkoušet kliky s odrazem a zátěží na zádech. Podle potřeby je možno provádět takové cviky i jednožejednoručí, což je v řadě sportů specifickéjší, a dokonce účinnější i pro rozvoj celkové výbušnosti obou končetin. Účinek

dále markantně roste, pokud je maximal power training kombinován se strečkem zapojovaných svalů (Hunter, Marshall 2002).

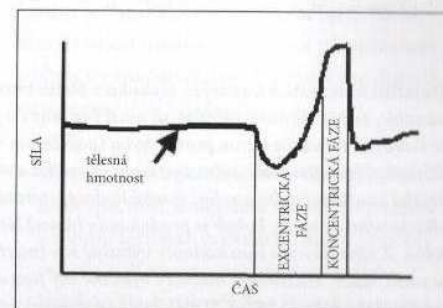
2/ Mírný protipohyb (vysoká tuhost) + krátká kontaktní doba: Typickým příkladem je odraz nohy sprintera ve fázi maximální rychlosti nebo poskakování s mírně pokrčenými koleny. Vzhledem k tomu, že elastická energie je málo využívána, hodnoty výbušné síly jsou nízké. Vysoká tuhost však umožňuje rychlý přenos síly ze svalů na šlachy a kosti a následkem toho je dosaženo velmi krátké kontaktní doby při odrazu. Běžnými cviky prakticky nelze simulovat extrémně krátkou dobu odrazu dokumentovanou při některých atletických disciplínách (kolem 100 ms a méně). Relativně nejbliže těmto hodnotám jsou odrazové parametry při opa-



Závislost mezi pracovním výkonem a hmotností zátěže při dřepu s výskokem, zátěž 10–100 % maxima (Stone a Stoneová, nepublikovaná prezentace 2001). Nejvyššího absolutního výbušného výkonu dosáhli mezi studovanými silovými sportovci vzpěrači následovaní powerlifteri. V jiné podobné studii z roku 1999 (McBride a kol.) byli také nejlepší vzpěrači před powerlifteri a sprintery. Vzpěračský trénink se tedy ukazuje být prospěšný pro maximální rozvoj výbušnosti celého těla. Sprinteri, skokani a jiní výbušní atleti mají nejvyšší relativní hodnoty výbušnosti (tj. ve vztahu ke hmotnosti těla).

kovaných seskocích a výskocích na lavice či protilehlé bedny (~140 ms). Horní část těla se trénuje prudkým odmršťováním zachyceného náčiní, které bylo hozeno partnerem.

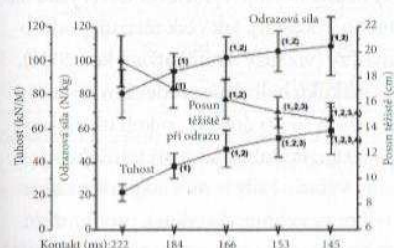
Při tréninku seskoků a výskoků (drop jumps) se obvykle používají výšky seskoku mezi 20–80 cm. Za optimum se považuje cca 40–60 cm, u zkušených sportovců až 80 cm. Při vysokém seskoku se už cvik provádí pouze jednorázově. Obvykle se soudí, že zvyšování výšky bedny zvyšuje výbušnou sílu (výšku následného výskoku). Jak však ukazují podrobné analýzy (viz níže Arampatzis a kol. 2001), výška seskoku ovlivňuje především hodnoty odrazových sil při dopadu, nikoli už tolik výbušnou sílu. Podobně jako při tréninku maximální výbušné síly je možno použít zátěže. Ty ovšem nevyhnutně vedou k prodloužení



Časová křivka síly při odrazu s protipohybem (tzv. protahovací reflex; angl. stretch-shortening cycle, SSC): Během protipohybu v excentrické fázi (např. podřepu před výskokem) se ve svalech a slachách uchová tzv. **elastická (pružná) energie**. Množství této energie je úměrné rychlosti pohybu a vyvinuté síle. Předchází-li odrazu příliš velká pauza, uchovaná energie vyprchá (100 % za 4 s) a výkon se sníží až o 20 %. Malý rozdíl mezi výkonem s protipohybem a bez protipohybu značí slabou schopnost využití elastické energie. Její potenciál lze pozitivně ovlivnit strečkem. (Wilson a kol. 1992)

kontaktní doby a představují značnou zátěž pro šlachy a klouby. Zařazení strečinku má v případě těchto cviků spíše záporný efekt, protože vede ke snížení svalové tuhosti.

- Praktická studie (Wilson a kol. 1993) ukázala, že plyometrický trénink (seskoky a výskoky z výšky 20–80 cm) byl po 10 týdnech schopen zlepšit vertikální výskok s protipohybem o 10 % a vertikální výskok ze statické polohy (kolena

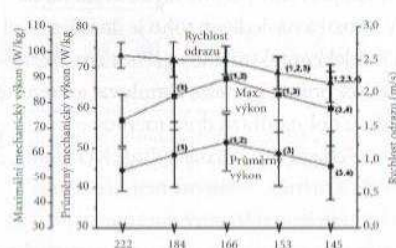


Detailní kinematická analýza seskoku z 60cm bedny

ukazuje, že při tréninku výbušnosti musí být brány v potaz velmi subtilní technické faktory, které souvisí se svalovou tuhostí a mírou protipohybu (pokrčením nohy) v koleni. Pokud je pokrčení v koleni (posunutí těžiště) při odrazu malé, tuhost ve svalu je vysoká a síla se při dopadu na podložku nerozloží; výsledkem je krátká kontaktní doba a velmi vysoké hodnoty odrazových sil při dopadu, což zvyšuje zatížení svalově-šlachového aparátu. Pohyb je produkován hlavně lýtkovým svalstvem a práce stehenních svalů je zanedbatelná. Z toho důvodu jsou hodnoty výbušné síly (mechanického výkonu) nízké, a výška následného výskoku je tudíž malá. Maximální hodnoty výbušné síly jsou dosaženy při určité optimální kombinaci protipohybu a kontaktní doby (~160–170 ms), kdy je nejvíce aktivováno lýtkové svalstvo a výrazně pracují také stehna. Výbušný výkon stehenního svalstva dále roste, pokud se prodlužuje protipohyb a kontaktní doba, ale vzhledem k tomu, že se práce lýtkového svalstva rapidně snižuje, celková výbušná síla opět klesá. Výška seskoku obecně nejvíce ovlivňuje hodnoty odrazových sil, ale projevuje se i v jiných parametrech. Celkem byly testovány tři výšky seskoku (20 cm, 40 cm, 60 cm) a maximální hodnoty mechanického výkonu byly dosaženy při seskoku z 40 cm. Nejvyšší aktivita stehenního svalstva byla dokumentována při 60 cm a nejnižší při seskoku z 20 cm+krátké kontaktní době.

Z výše uvedených faktů je jasné, že maximální tuhost se nemůže pojit s maximálním výbušným výkonem, což je nutno vzít v úvahu při atletickém tréninku. U atletů, jejichž disciplíny vyžadují krátký odraz (= malý protipohyb) i velkou výbušnou sílu, je nutno zvolit kompromisní přístup. Kupříkladu při tréninku sprinterů a skokanů by měla být preferována technika „bounce drop jump“, při níž je atlet instruován seskočit s malým protipohybem, ale následně vyskočit co nejvýše. Při tréninku volejbalistů je naopak vhodné se zaměřit na maximalizaci výbušného výkonu, tj. provádět výskok s větším pokrčením nohou a delší kontaktní dobou. (A. Arampatzis a kol.: Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5/2001, str. 355–364)

v pravém úhlu, bez protipohybu) o 6,5 %. Nebyl však patrný žádný efekt ve sprintu na 30 m ani v 6 s Wingate testu. Naproti tomu trénink zaměřený na maximalizaci výbušného výkonu (dřepe s výskokem, zátěž 30 % maxima) zlepšil vertikální výskok s protipohybem o 18 %, výskok ze statické polohy o 15 %, čas ve sprintu na 30 m o 1,5 % a výkon v 6 s. Wingate testu o 5 %. Efekt na statickou sílu byl v obou případech zanedbatelný.



KOMPLEXNÍ TRÉNINK

Protože výbušná síla je násobkem statické síly a rychlosti, nepřekvapí zjištění, že **nejvýraznějšího zlepšení výbušnosti je možno dosáhnout kombinací těžkého silového a lehkého výbušného cvičení**. V poslední době si získává oblibu hlavně tzv. **komplexní trénink**, který spočívá ve střídání těžkých silových sérií (nejlépe s cca 90 % maxima) s lehkým plyometrickým a rychlostně-silovým cvičením, při němž je užívána zátěž maximalizující výbušnou sílu. Vysoké váhy maximalizují statickou sílu, průřez rychlých vláken a vnitrosvalovou koordinaci (aktivaci a synchronizaci svalových vláken), zatímco nižší váhy trénují spíše selektivní aktivaci rychlých vláken, silový gradient a mezisvalovou koordinaci antagonistů. Při komplexním tréninku také možná nedochází k tak rapidní konverzi IIb > IIa a naopak se nervově stimuluje transformace pomalých vláken na vlákna rychlá (Liu a kol. 2003). Počet opakování je nízký (max. 5), přestávky dlouhé (až 5 min.) a počet sérií do 10 (2 × 5). Silovou sérii je vhodné provádět těsně před sérií výbušnou, neboť zlepšená aktivace svalových vláken zvedne výbušný výkon v řádu cca 3 %. Podobné vztahy ovšem fungují i při opačném pořadí (Young, Elliott 2001, Gourgoulis a kol. 2003 aj.). Kombinace silového tréninku, plyometrických cvičení a intenzivních sprintů se ukázala být velmi účinná i pro zvýšení cyklické rychlosti. Vysocí lidé s dlouhými končetinami by měli upřednostňovat lehký výbušný trénink před silovým, protože růst hmotnosti těla vyvolaný svalovou hypertrofií by u nich byl po jisté době rychlejší než růst výbušné síly.

Při praktikování takového cvičení je možno rychle dosáhnout pozoruhodných přírůstků výbušné síly. Po nějakém čase však pohybový a fyziologický stereotyp nevyhnutelně vede k výkonnostnímu plató, které je možno překonat jen rozšířením pestrosti cvičení nebo jeho cyklováním. Někteří atleti např. doporučují při komplexním tréninku střídání silová a výbušná cvičení v delším časovém období, čímž lze využít přínosu „nástřelového jevu“. Doporučuje se každý cyklus začít fází všeobecné přípravy, která se vyznačuje vyšším objemem tréninku a zařazováním méně stresujících cvičení s delší kontaktní dobou. Druhá, speciální fáze je vyplněna náročnými cviky s kratší kontaktní dobou. V souvislosti s tím je nutno redukovat objem tréninku. Třetí (soutěžní) fáze se zaměřuje na vpičování techniky, a proto převažují cvičení, která pokud možno co nejvíce připomínají pohyb v provozovaném sportu a produkují nejspecifičtější adaptace.

- U všech výbušných cvičení je důležité dbát na bezpečnost, uměřenou frekvenci tréninků a solidní techniku provedení, neboť prudké pohyby během cvičení způsobují zranění kloubů a šlach. Obzvláště náročné na svalově-šlachový aparát je praktikování seskoků a výskoků s malým protipohybem, a to především se zátěží. Bezpečnější je v takovém případě volit měkký gumový podklad, ale ten pro změnu snižuje specifičnost účinku cviku. Opatrnější sportovci také spíše preferují přístroje před činkami. Všeobecně se nedoporučuje provádět více než 3 tréninky týdně. Únava nervového systému vzrůstá při použití vertikálních skoků s velkými změnami polohy těžiště (zejména hluboké seskoky a výsko-

ky), při užívání zátěže a při skocích jednož. V takovém případě se doporučují minimálně 3 dny odpočinku. Před zařazením plyometrického tréninku je vhodné dosáhnout co největší úrovně statické síly, resp. maximální hypertrofie rychlých vláken. Lepší silový základ rovněž omezuje možnost zranění.

Užitečné může být i posílení ostatních svalů těla účastných při pohybu (síla švihů paží se podílí na výskoku asi 10 procenty). Nezapomínejme také na posilování antagonistických svalových skupin, neboť jejich oslabení způsobuje pokles rychlosti, poruchy koordinace a náchylnost ke zranění.



Stavba svalu

Lidské tělo obsahuje asi 660 svalů. Sval tvoří z cca 70 % voda, asi 20 % představují proteiny. Základní jednotkou kosterního svalu jsou **svalová vlákna**, podlouhlé buňky cylindrického tvaru navzájem spojené vazivem do svalových snopců (**fascií**), jejichž svazky tvoří sval, připevněný na kosti šlachou. Každé svalové vlákno je složeno z membrány (sarkolemy), vnitřní tekuté cytoplazmy (sarkoplazmy, cytosolu), buněčných organel (mitochondrie, ribozomy, sarkoplazmatické retikulum aj.) a tisíců myofibril, podélných vláček, která vyplňují cytoplazmu uvnitř buňky. Největší svalová vlákna v lidském těle

jsou až 30 cm dlouhá a 0,05–0,15 mm široká a obsahují tisíce jader.

Myofibrily jsou uvnitř položeny v podélných svazcích a jsou stejně dlouhé jako vlákno. Sestávají z podélných řetězců tzv. **sarkomer**, jež obsahují dva kontraktilní proteiny (filamenta), **myozin** a **aktin**, a ještě několik dalších proteinů, které jejich činnost regulují (např. troponin nebo elastický titin). V klidu jsou silnější myozinová filamenta obklopena slabšími aktinovými filamenti a navzájem jsou jen ve slabém kontaktu. Svalový stah (svalová kontrakce) se uskutečňuje

pomocí tzv. **příčných můstků** (myozinových hlav) na myozinových filamentech. Dochází k tomu vlivem nervového impulsu z **motorických nervů (motoneuronů)**, jež jsou situovány v míše nebo mozkovém kmeni. Jeden motorický nerv ovládá až stovky svalových vláken prostřednictvím tzv. **motorických plotének** na povrchu svalového vlákna. Nervový impuls vycházející z motorické ploténky nejprve vypudí z trubicovitých organel okolo buněčného jádra (tzv. sarkoplazmatického/endoplazmatického retikula) ionty vápníku (Ca^{+}). Jejich působením se uvolňují troponinové „zámký“ mezi filamenti, myozinové hlavy se navážou na aktin, sklopí se a vtahují se mezi filamenti aktinu. Svalová vlákna ovládaná jedním motorickým nervem dohromady tvoří samostatnou motorickou jednotku a jsou ve svalu navzájem promíchána mezi vlákny jiných motorických jednotek, což umožňuje lepší adaptaci svalu na svalovou práci.

Energii pro pohyb příčných můstků poskytuje **adenosintrifosfát (ATP)**. Na každý pohyb příčného můstku je nutno rozštěpit hydrolyzou (reakcí s vodou) jednu molekulu

ATP. Štěpením ATP vzniká adenosindifosfát (ADP) a organický fosfor (P). U dospělého člověka existují příčné můstky v několika hlavních variantách (izoformách), které závisí na typu motorického nervu, jímž je sval ovládán. Izoformy určují vlastnosti svalového vlákna a rychlost jeho smršťování. Ve specializované sportovní literatuře se můžeme setkat s dělením svalových vláken na 7 odlišných typů (I, Ic, IIc, IIac, IIa, IIab, IIb), ovšem většinou jsou rozlišovány pouze tři základní typy: **I, IIa a IIb (IIx)**.

Pomalá (oxidativní) vlákna typu I jsou nezbytná pro vytrvalostní, aerobní svalovou práci (tj. dlouhodobou, méně intenzivní práci probíhající za přístupu kyslíku). Smršťují se sice pomalu (70–140 milisekund), avšak využívají energii ATP efektivněji a jsou typická velkou hustotou prokrvení. Mají malý průřez, dlouhé sarkomery, obsahují málo glykogenu (zásobní forma glukózy), málo enzymů účastných v glykolytických (anaerobních) reakcích, ale zato mají vysoký obsah oxidativních (aerobních) enzymů, které hrají roli v oxidativních reakcích (Krebsův cyklus), a vysoké zásoby triacylglycerolů (triglyce-

