

3. FYZIOLOGICKÁ PODSTATA SPORTOVNÍHO VÝKONU

Ladislav BEDŘICH

<i>Obsah</i>	<i>strana</i>
Úvod	2
3.1 ZÁKLADNÍ POJMY, TERMINOLOGIE	2
3.1.1 Dělení svalů z funkčního hlediska	5
3.1.2 Typologie svalových vláken	6
3.1.3 Energetické systémy	7
3.2 FYZIOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA VÝKONU V AD	10
<i>Referenční seznam</i>	13

Úvod

Z oblasti fyziologie vybíráme poznatky související obecně se sportovním výkonem (SV). S přihlédnutím ke kauzální souvislosti SV s fyziologickými funkcemi a s problematikou pohybového zatížení a zatěžování (variabilitou, intenzitou, dobou trvání), se zaměřujeme na sledování odezvy organismu (způsobu energetického krytí, míry fyziologických ukazatelů) s ohledem na složitost a obtížnost pohybové činnosti u jednotlivých disciplín alpského lyžování.

Pochopit fyziologii sportovního – lyžařského výkonu v celém komplexu souvisí především s porozuměním fyziologického základu vysoce intenzivní pohybové činnosti v souvislostech s fyzickými a psychologickými předpoklady lyžaře pro realizaci techniky a s vlivem prostředí. Porozumění fyziologické podstaty je devízou, indikátorem trenérské gramotnosti a základním předpokladem ke smysluplné, efektivní trenérské praxi.

Samotné zvyšování objemu a intenzity tréninku totiž nemusí vždy navozovat žádoucí adaptace, může vést k přetížení, přetrénování, k syndromu únavy, k poklesu výkonnosti apod. Naopak vhodná intenzita, frekvence, objem mohou podporovat a udržovat zdraví, vést ke zvýšení trénovanosti.

3.1 ZÁKLADNÍ POJMY, TERMINOLOGIE

Adaptace je schopnost organismu vyrovnávat se s vlivy prostředí. Má obsah biologický a sociální a zahrnuje nejkomplexnější proces biologické podstaty.

Anabolismus se vyznačuje využitím přijaté potravy k tvorbě energetických zásob, umožňuje růst, rozmnožování a obranyschopnost organismu vůči infekčním chorobám. V době růstu u dětí a dospívajících převažuje energetický příjem ze štěpení potravy nad energetickým výdejem tak, aby bylo zajištěno dostatečné množství energie pro růst. V dospělosti vede nadměrný energetický příjem k tvorbě tukových zásob v tkáních, a naopak příliš velký výdej energie má za následek ztrátu tělesné hmotnosti. Intenzitu metabolických dějů v organismu, charakterizovanou výdejem energie v klidu za přesně stanovených podmínek (ráno vleže před opuštěním lůžka, na lačno, při fyziologické teplotě těla a neutrální teplotě okolí), označujeme termínem bazální metabolismus. Jeho hodnota závisí na věku, pohlaví a velikosti těla.

Adenosinfosfáty, nejdůležitější formy skladování a přenosu energie, významné metabolické regulátory a zdroje energie pro živou buňku. **ATP-adenosintrifosfát**, energeticky nejbohatší článek systému, **ADP-adenosindifosfát**.

AE aerobní (oxidativní) kapacita, celkový objem energie, který lze uvolnit oxidativně (za přístupu kyslíku O₂).

AnaE anaerobní (neoxidativní) kapacita, probíhající bez přístupu kyslíku O₂.

ANP anaerobní práh, velikost zátěže, při které začal významně převažovat anaerobní metabolismus nad aerobním. **ANP práh** může být v rozmezí 65-95 % SF_{max} (u netréňovaných v dolních pásmech).

Agonista sval vykonávající pohyb v určitém směru (hlavní vykonavatel pohybu).

Antagonista sval vykonávající opačný pohyb jako agonista. Agonista a antagonist tvoří dvojici svalů nebo svalových skupin, které ve spolupráci zabezpečují přesnost pohybů.

Bioenergetika neboli tok energie v biologické soustavě zahrnuje především přeměnu makroživin, jako sacharidů, bílkovin a tuků, které obsahují chemickou energii.

Bradykardie je zpomalení srdeční frekvence SF . Je možné ji diagnostikovat tehdy, pokud je aktuální frekvence nižší, než je typické pro danou věkovou nebo výkonnostní kategorii.

CP-kreainfosfát, vysokoenergetická forma kreatinu obohacená o fosfátovou skupinu. Ve svalové buňce je jeho hlavní úlohou odevzdávat svoji fosfátovou skupinu hlavnímu poskytovateli energie pro činnost buňky – **ATP**.

Dýchací soustava – orgány zajišťující výměnu plynů mezi krví a vnějším prostředím těla. Soustavu tvoří dýchací cesty (nosní dutina, nosohltan, hrtan, průdušnice a průdušky) a plíce. Výměna

vzduchu v plicích se děje dýchacími pohyby prováděnými dýchacími svaly. Nejdůležitějším dýchacím svalem je bránice.

Energie je schopnost nebo kapacita provádět práci. Rozklad vysoce energetických vazeb makroživinách uvolňuje energii potřebnou k vykonání biologické práce.

Enzymatická aktivita představuje množství přeměněného substrátu (*v molech*) za jednotku času za daných podmínek.

Exogenní reakce jsou reakce, které uvolňují energii a jsou ve většině katabolické (např. rozklad ATP na ADP).

Endogenní reakce vyžadují energii a zahrnují anabolické procesy.

Glykolýza rychlá využívá sacharidy jako substrát pro tvorbu ATP při činnostech vysoké intenzity bez nutnosti přítomnosti O_2 . Konečným produktem rychlé glykolýzy je *pyruvát*, který je dále přeměňován na *La*.

Glykolýza pomalá využívá sacharidy jako substrát pro tvorbu ATP při činnostech střední a mírné intenzity, kde konečný produkt glykolýzy pyruvát není přeměňován na *La*, ale je transportován do mitochondrií, kde podstoupí *Krebsův cyklus*. Nutnou podmínkou pomalé glykolýzy představuje dostatečné množství přítomného O_2 .

Katabolismus má za účel získat energii štěpením cukrů, tuků a bílkovin. Energie uvolněná katabolismem je využita k práci svalů, určité množství energie se ztrácí přeměnou na teplo.

Kreatin, látka schopná přijímat fosfátovou skupinu od ATP, vznikajícího v mitochondriích oxidativní anebo anaerobní glykolýzou.

Kosterní (oporná) soustava, jedná se o pevnou a zároveň pohyblivou oporu těla. Tvoří ji cca 230 volně či pevně spojených kostí. Chrání některé orgány. Společně se svalovou soustavou tvoří pohybovou soustavu.

Kyselina mléčná vzniká primárně v *FG svalových vlákních*, sekundárně v situacích nedostatečného přívodu O_2 v činných tkáních kosterního svalstva při intenzivních pohybových činnostech **submaximální intenzity**. Při fyziologických hodnotách *pH* se vyskytuje ve formě solí, tj. **laktátu**.

Laktát (La), v těle se neustále vytváří malé množství, *La klidový* 0,5–1,5 mmol/l, nejvyšší získávání energie anaerobním způsobem (největší tvorba *La*) při intenzivních zatíženích 40-50 s, nebo VO_{2max} 70 %. Koncentrace *La* ve svaích je vždy vyšší než v krvi, do krve se zpožděním (5 min.). *La* odbourávají: játra 50 %, nezátěžované svalstvo 30 %, srdce 10 %, ledviny 10 %. *Rychlost odbourávání La*: netréovaný 0,3 mmol/min., trénovaný 0,5 mmol/min. Řídit zatížení dle hladiny *La* vyžaduje individuální profily, hodnota 4 mmol/l je bohužel často všeobecně uváděna jako laktátový práh bez ohledu na individuální hodnoty.

Lokomoce člověka je schopnost pohybu v daném prostoru a čase výhradně pomocí svalové činnosti.

Lokomoce bipedální (chůze, běh, skok...), **quadrupedální** (lezení, šplhání, plavání...) **arteficiální** (pohyb prostřednictvím, zvířat, mobilních strojů, speciálních pomůcek – např. lyží).

Parametry rychlosti vybrané lokomoce	
chůze pomalá (pozdvolná) – standardní	3 km/h – 5 km/h
klus	20-30 km/h
sprint	30 km/h a více (👤 40 km/h, 🏃 44 km/h)

Mrtvý bod – řada objektivních a subjektivních příznaků, kterými prochází sportovec během výkonu (rychlý mělký dech, vysoký krevní tlak, vysoká srdeční frekvence, svalová ztuhlost, pocit úzkosti a nepřiměřené námahy, pokles koordinace, snížený výkon). Pokračuje-li sportovec dále ve výkonu, příznaky postupně mizí, nastupuje tzv. **druhý dech**.

Maximální spotřeba kyslíku VO_{2max} , schopnost organismu O_2 přijímat, transportovat a využívat, ukazatel adaptace organismu na vytrvalost. Průměrné hodnoty běžné populace u mužů 45-50 ml/kg.min, u žen 35-40 ml/kg.min., u elitních vytrvalců 70-95 ml/kg.min. Tato proměnná bývá obvykle zjišťována v rámci sportovní prohlídky zátěžovým testem.

Výpočet rychlosti běhu (prováděný v ideálním terénu – atletická dráha, hřiště...) podle hodnot VO_{2max} :
 $v \text{ [km/h]} = [3,99 + VO_{2max} \text{ (ml/min/kg)}] / 3,656$

Metabolismus je souhrn veškerých dějů, které probíhají uvnitř organismu a které slouží k tvorbě využitelné energie a látek potřebných pro činnost organismu. Trvale probíhají pochody katabolické a anabolické v různé intenzitě viz. [ZDE](#).

Monitoring – získávání informací o pohybové činnosti a následné fyziologické odezvy na tuto činnost prostřednictvím vybraných biologických veličin (SF , VO_{2max} , La). Vyhodnocování diagnostických a analytických informací z průběhu SV v jednotlivých disciplínách je předpokladem objektivní zpětné vazby, podle které lze vytvářet či korigovat poznatky a následně je transformovat do moderních technologií tréninkového procesu i do procesu učebního. Účinnost výkonnostní diagnostiky ve sportu, zvláště pak ve vrcholovém, závisí na kvalitní analýze a respektování specifik jednotlivých AD .

Nervová soustava – slouží k zachycení a zpracování podnětů působících na organismus a zajištění přiměřené reakce na ně.

Náležitý basální metabolismus (nál.BM) vyjadřuje energetický výdej potřebný k zajištění základních životních funkcí ve standardních podmínkách (oběhu krve, dýchání, činnosti žláz, trávicího systému..., závisí na věku, pohlaví...). **Pracovní BM** je určován svalovou činností – pohybem, jeho intenzitou, dobou trvání.

Synergista sval, který se zúčastňuje stejného pohybu jako agonista (sval pomocný).

Svalová soustava je tvořena přibližně 600 svaly. Existují 3 typy svalů – *kosterní* (příčně pruhované), *hladké* a *speciální* (srdeční). Společně s kosterní soustavou tvoří pohybovou soustavu.

Systém tvoří skupiny orgánů, které spolupracují, plní společné úkoly, činnosti jednotlivých orgánů a systémů na sebe navazují a v některých případech se i překrývají. Systémy: kosterní, svalový, nervový, dýchací, vylučovací, endokrinní, srdečně-cévní, trávicí, kožní.

Tabulka 1: Manuál řízení pohybového zatížení podle srdeční frekvence a intenzity zatížení

Klidovou srdeční frekvenci SF_{klid} měříme nejlépe ráno po klidném a pohodovém probuzení. Hodnota poukazuje na aktuální stav našeho organismu. Zvýšení o 5-10 tepů/min. oproti obvyklým hodnotám je možnou příčinou nedostatečné regenerace po předchozím tréninku- únavy, nastupujícího onemocnění...

Maximální srdeční frekvence SF_{max} je definována jako individuální hodnota, při které již organismus není schopen dále pracovat. Její hodnota záleží na věku, typologii, na vlivu psychického zatížení, na trénovanosti, na stupni únavy atd. Přímé zjištění je možné pouze prostřednictvím maximálního testu v terénu, nebo laboratorním vyšetřením na bicyklovém ergometru či běhátku.

Pro řízení tréninku potřebujeme znát přesnější a objektivnější hodnoty, tzv. **Karvonenuv vzorec** zohledňující individuální odlišnosti v rozsahu SF . Tento rozsah nazýváme **srdečním rozpětím**:

$$SR = SF_{max} - SF_{klid}$$

V následujícím příkladu použijeme data imaginárního sportovce s hodnotami:

$$SF_{klid} = 60 \text{ [tepů/min]} \quad SF_{max} = 190 \text{ [tepů/min]}$$

$$SR = SF_{max} - SF_{klid} = 190 - 60 = 130 \text{ [tepů/min]}$$

Tréninkovou SF (např. požadovaných 60 % SF_{max} = vytvoření optimálních podmínek pro odstranění únavy)

$$TSF = SF_{klid} + (SF_{max} - SF_{klid}) \cdot 0,6 = 60 + (190-60) \cdot 0,6 = 138 \text{ [tepů/min.]}$$

Pohybovou činností o intenzitě zatížení $TSF=138$ [tepů/min] sportovec neefektivněji regeneruje.

Intenzita	Pozn.		% SF_{max} .
velmi nízká	zahřátí, regenerace	AEROBNÍ pásmo	do 65 %
nízká	obecná vytrvalost (LA do 2,5 mmol/l)	AEROBNÍ pásmo	65-75 %
střední	na úrovni AN prahu (LA ANP)	AEROBNĚ-ANAEROBNÍ pásmo	75-85 %
submaximální	nad úrovní ANP	ANAEROBNĚ-AEROBNÍ pásmo	85-95 %
maximální	LA 9-15-22 mmol/l	ANAEROBNÍ PÁSMO	95 % a více

Tepová (TF)-srdeční (SF) frekvence: TF se měří na perifériích, SF na srdci. Nevhodné měřit na krku na krkavici, kde jsou umístěny tzv. baroreceptory, jejichž podrážděním dochází ke zpomalení TF . **Klidová SF** – netrénovaných cca 60-70 tepů/min., u vysoce trénovaných 30-40

tepů/min. Pokles SF_{klid} je známkou zlepšení výkonnosti, aktuálně vypovídá o úrovni trénovanosti. **Maximální SF** může dosahovat až 210 tepů/min. SF je nejdostupnější ukazatel zatížení srdečně oběhového systému. Nejcitlivěji reaguje na zvýšení intenzity pohybové činnosti, je spolehlivou veličinou pro posuzování intenzity zatížení.

Tepový kyslík- $VO_2max/TFmax$ ukazuje, kolik $ml O_2$ srdce přepraví do oběhu jedním tepem. Je ukazatelem ekonomiky práce srdce. Hodnota VO_2max je do značné míry geneticky limitována a při dosažení individuálně hraniční úrovně se u špičkově trénovaných dospělých sportovců příliš nemění.

Únava je snížení schopnosti vykonávat činnost, která vyplývá z předchozího vynaloženého *úsilí fyzického* nebo *psychického*. Vzniká v důsledku nahromadění odpadů metabolismu v krvi nebo ve svalech. Psychicky je provázána zhoršeným vnímáním, sníženou pozorností, zhoršenou vstřípivostí a výbavností, změnami nálady aj. Pociťovat únavu je individuální a projevy únavy jsou velmi subjektivní. **Extrémní únava** se označuje jako **vyčerpání**, které může provázet snížená citlivost smyslů, snížení svalové síly, zhoršení koordinace, snížení pozornosti aj. Rozlišujeme **únavu fyzickou** a **psychickou**, **akutní** a **chronickou**, **lokální** a **globální**, **periferní** a **centrální**, **subjektivní** a **objektivní**.

3.1.1 Dělení svalů z funkčního hlediska

Posturální svaly (tonické, antigravitační) zabezpečující vzpřímený postoj, udržují základní polohu těla, jsou tedy v neustálém napětí a mají tendenci ke zkrácení, jsou odolnější proti únavě, snadněji se zotavují po zátěži.

Za **posturální stabilizaci** považujeme proces aktivního držení jednotlivých segmentů těla vůči působení zevní sil. Toto držení je řízeno CNS a prováděné svalovým aparátem jako koordinovaný proces svalové aktivity. Ve statických situacích (sedu, stojí) dochází k zajištění relativní tuhosti kloubních spojení prostřednictvím koordinované aktivity agonistů a antagonistů vůči gravitaci. Toto zpevnění je zásadní ve statických a zároveň i dynamických pohybech, například v rámci lokomoce těla jako celku nebo pohybu jednotlivých částí. Posturální stabilita představuje schopnost těla zajistit kontinuální zaujímání stálé polohy a zabraňovat nezamýšlenému nebo nekontrolovanému pohybu či pádu.

Hlavní posturální svaly s tendencí ke zkracování: *zadní svaly šíjové – kývač hlavy, svaly kloněné - zdvihač lopatky – horní část svalu trapézového – podlopatkový sval – velký sval prsní – dvojhlavý sval pažní (biceps) – vzpřimovače páteře (hlavně v bederní a šíjové oblasti) – spodní vlákna širokého svalu zádového – čtyřhranný sval bederní – přitahovače stehen krátký, dlouhý a velký přitahovač, sval hřebenový, štíhlý sval stehenní – ohybače kyčlí sval bedrokyčlostehenní, přímý sval stehenní, napínač stehenní povázky, sval krejčovský – ohybače kolen (hamstringy) sval poloblanitý a pološlašitý, dvojhlavý sval stehenní – zadní svaly lýtkové – trojhlavý sval lýtkový.*

Fázické svaly jsou vykonavateli pohybů. Snadněji se unaví, mají tendenci k ochabování. Obě skupiny svalů se navzájem ovlivňují a musí být v rovnováze, jinak může docházet ke svalovým dysbalancím. **Svalové dysbalance** mohou vyústit do závažných degenerativních a nevratných změn svalové tkáně se zmnožením vaziva, k patologickým změnám šlach a kloubů. K těmto změnám může dojít u sportovců trvalejším a intenzivnějším zatěžováním jen určitých svalových skupin. Proto jsou nezbytná **kompensační (vyrovnávací) cvičení**.

Hlavní fázické svaly s tendencí k ochabování: *rotátory páteře – vzpřimovače hrudní páteře – flexory krku – mezilopatkové svaly (rombické svaly a střední a spodní vlákna trapézového svalu) – přední pilovitý sval – horní vodorovná vlákna širokého svalu zádového – zadní část svalu deltového – vnější rotátory paže (podhřebenový sval a malý oblý sval) – trojhlavý sval pažní – horní vlákna*

velkého svalu prsního – břišní svaly (přímý, šikmý vnější a vnitřní sval břišní) – hýžděové svaly – vnější a vnitřní hlava čtyřhlavého svalu stehenního – přední holenní sval.

3.1.2 Typologie svalových vláken

Svalová vlákna mají řadu společných znaků (především anatomických), které dovolují jejich jednotný obecný popis, ale sval je ve skutečnosti heterogenní populací vláken lišících se řadou mikroskopických, histochemických a fyziologických vlastností. Podíl typů svalových vláken je individuální a je dán geneticky až z 90 %.

Všechny aktivní pohyby, které člověk vykovává (chůze, běh, pohyby prstů, mimika...), jsou výsledkem koordinované součinnosti kosterních svalů. Centrum řízení volní motoriky je lokalizováno v šedé kůře mozkové. Základní fyziologickou vlastností svalu je **stažlivost** a **dráždivost**. Za hlavní rozdíl mezi vlákny bývá uváděna rychlost cyklu **kontrakce (zkrácení) – relaxace (uvolnění)**. Rychlost a síla svalové kontrakce je dána především **typem inervace** a **enzymatickou výbavou vlákna** (schopností přeměny substrátů). Pomalá svalová vlákna jsou inervována motoneurony s pomalým vedením vzruchu, zatímco rychlá vlákna jsou spojena s motoneurony s rychlým vedením vzruchu. Kosterní (příčně pruhované) svalstvo tvoří u žen zhruba 25-35 % a u mužů 40-45 % tělesné hmotnosti. Svalová vlákna obsahují 75 % vody, 20 % bílkovin, 5 % připadá na sacharidy, tuky a anorganické soli.

Pro diagnostické potřeby sportovní praxe využíváme tři ze čtyř základních typů svalových vláken, které se od sebe navzájem liší svojí morfologií a funkčními vlastnostmi: **pomalá: typ I SO, rychlá: typ IIa FOG + IIx FG, přechodná (nediferencovaná) typ III**.

- ◆ **Typ I-SO (slow oxidative)** pomalá „červená“ vlákna s velkou odolností proti únavě se uplatňují především při vytrvalostních zátěžích nižší intenzity, při statické a pomalé činnosti, zajišťující polohové funkce. Kontrakce probíhá relativně pomalu – impuls svalového stahu po 70-140 ms. Energie získávána primárně štěpením tuků (hojně zastoupeny v posturálních svalech).
- ◆ **Typ IIa-FOG (fast oxidative glycolytic)** rychlá „červená“ vlákna s vysokou glykolytickou kapacitou, vybavena pro rychlou kontrakci prováděnou velkou silou ale po krátkou dobu, jsou velmi odolná proti únavě. Uplatňují se **při zátěžích střední až submaximální intenzity**, které provází AE i AnaE způsob úhrady energie. Rychlá kontrakce s velkou silou (silové a rychlostní aktivity) po impulsu svalové stahu 50-100 ms (potřebné pro alpské disciplíny).
- ◆ **Typ IIx-FG (fast glycolytic)** bílé, rychlá glykolytická vlákna s nízkou oxidační kapacitou, nejvyšší kapacitou glykolytickou, rychle se kontrahující, ale rychle unavitelná, jsou zapojena při **silových a rychlostních výkonech maximální intenzity** s převahou AnaE energetického metabolismu. Energie výhradně z ATP a CP, mohutná, rychlá kontrakce 10-40 ms (potřebné pro sprint).
- ◆ **Typ III (nediferencovaná)**, tzv. embryonální, zastoupena cca 5 %, funkční charakteristika nejasná, zřejmě potenciální zdroj předchozích tří typů vláken.

Zastoupení jednotlivých typů svalových vláken ve svalu má vzhledem k jejich funkční charakteristice nepochybně zásadní význam z hlediska svalové výkonnosti, rychlosti prováděného pohybu a ekonomie svalové práce atd.,

- rychlostní a silové znaky svalových vláken jsou podmíněny převážně genotypem, vytrvalostní znaky lze významně ovlivnit pohybovými aktivitami,
- postupné zvyšování %podílu pomalých vláken s věkem (po 25. roce cca 5 % za 10 let – předpoklady pro vytrvalostní výkony u starších osob), během stárnutí se konvertují **IIx** buňky na buňky **IIa** s důsledkem úbytku rychlosti, ale nárůstu vytrvalosti,

- vyšší % rychlých vláken je často spjato s vyšší cirkulací tělesného testosteronu (atleti v rychlostních a silových sportech mají vyšší krevní koncentrace testosteronu než vytrvalci, hráči kolektivních her s charakterem přerušované aktivity se nacházejí zhruba uprostřed),
- po 30. roce věku koncentrace tělesného testosteronu klesá (průřez rychlých vláken se začíná zmenšovat). Nakonec dochází u velké části z nich ke konverzi na vlákna pomalá a důsledkem je neodvratitelný pokles rychlosti a výbušnosti,
- po 40. roce života dochází k atrofii obou typů svalových vláken, což má za následek pokles statické síly,
- ve všech kosterních svalech jsou všechny typy vláken, v různém poměru.

Podle **charakteru svalové činnosti** můžeme hovořit o rychlostní, vytrvalostní, cyklické a acyklické svalové činnosti s možností dalšího rozlišení na statickou (minimální změna délky svalu) a dynamickou činnost (rytmické střídání kontrakce a relaxace). Z aspektu vnějšího zatížení, směru pohybu, rozsahu smrštění svalu hovoříme o tzv. **svalové kontrakci**. Aktivní činnost svalů se obvykle rozděluje do těchto druhů kontrakcí:

① **Kontrakce izometrická** – činnost, při níž sval svoji délku nemění, ale mění napětí. Označuje se někdy i názvem statická neboli výdrž (aktivovaný sval se snaží zkrátit, ale zkrácení je bráněno například fixací nebo stejně silnou snahou o jeho protažení. Ve výsledku dochází ke zvýšení **svalového tonu**, který však není doprovázen změnou délky svalu). Kontrakce izometrická je neobyčejně únavná.

② **Kontrakce dynamická** – činnost, při které se docházím k pohybu, při čemž napětí ve svalu je přibližně během celé činnosti stejné nebo se výrazně mění. Podle změny délky svalu rozeznáváme

- **kontrakci koncentrickou** – typická pro práci, při které dochází ke zkracování (smršťování) délky svalu a překonávání gravitace či odporu břemene. Vyznačuje se jak rychlostí pohybu, tak i malou unavitelností.
- **kontrakci excentrickou** (natažení svalu), brzdíva kontrakce prodloužením. Je to taková činnost svalu, kdy sval určitý pohyb opačného směru zpomaluje. Kosterní sval není schopen se sám od sebe protáhnout. Příčinou protažení svalu při excentrické kontrakci je vždy jiný sval (antagonista) nebo nějaká vnější síla. Během protahování svalového vlákna včetně šlach a vazů dochází v těchto strukturách k postupné akumulaci **elastické energie**. Tuto energii je možné následně využít pro zvýšení celkové intenzity svalového stahu. Tento princip funguje pouze za předpokladu, že po excentrické kontrakci dojde k okamžitému navázání aktivní koncentrickou kontrakcí bez poklesu svalového napětí.

Svalová únava – intenzivní svalová práce vyvolá svalovou únavu, která je zapříčiněna lokálním zvýšením koncentrace *laktátu* a snížením *pH*. Jedná se o významný ochranný mechanismus, který má jedince informovat o riziku poškození svalových buněk. Pocit svalové únavy zmenšuje aktivace sympatiku a katecholaminů (hormonů – adrenalinu, noradrenalinu, dopaminu). Fyzicky aktivní jedinci mají posunutý práh svalové únavy, protože jejich svaly si navykly na vyšší stupeň zátěže, větší zakyselení (mají např. i bohatší energetické rezervy).

3.1.3 Biologické energetické systémy

Bioenergetika (energetické krytí) pohybové činnosti má základ v kontinuitě krytí energetických nároků prováděné činnosti respektive různorodé činnosti svalové. Svalová tkáň je významným konzumentem živin i kyslíku. Jejich spotřeba samozřejmě významně závisí na tom, jak intenzivně sval pracuje. Při velmi intenzivní zátěži spotřebují samy kosterní svaly 60 % celkové spotřeby kyslíku. Pro svalové buňky je současně typické, že dokážou určitou dobu efektivně fungovat bez dodávek kyslíku tj. **anaerobně**. Svalové buňky proto schraňují významné množství **svalového glykogenu**

a **kreatinfosfátu**. Proporce podílu účasti jednotlivých systémů je závislá na intenzitě pohybové činnosti a době trvání, tzn., že intenzita a objem zatížení spolurozhodují o okamžité převažující účasti způsobu metabolické úhrady energie.

Hlavními **energetickými zdroji** pro pohybovou činnost jsou:

- **makroergní fosfáty** (ATP, CP)
- **makroergní substráty-živiny** (cukry, tuky, bílkoviny).

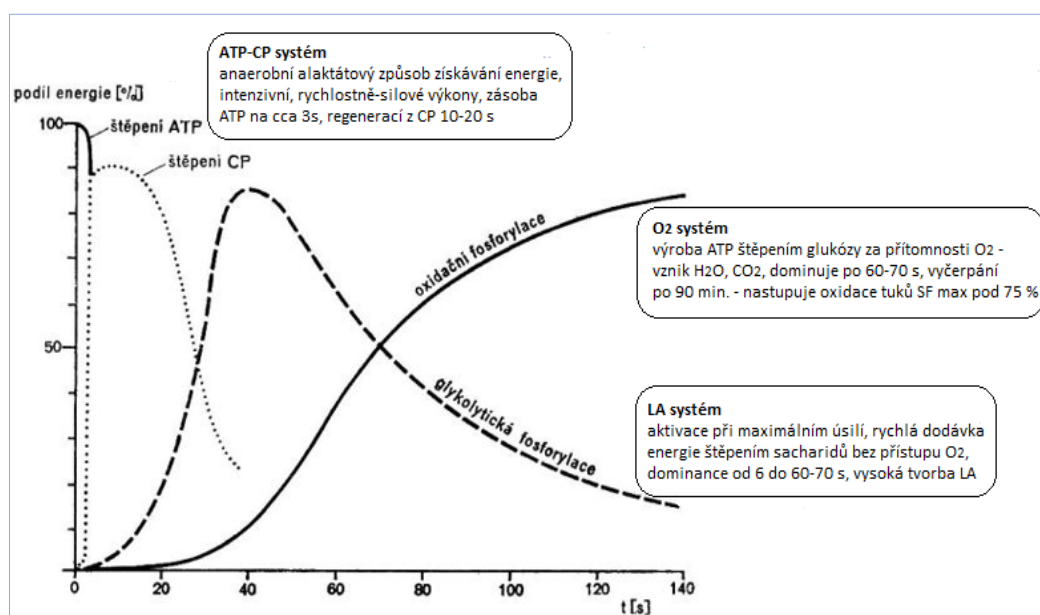
Při klidu či málo intenzivní pohybové činnosti je energie poměrně rovnoměrně čerpána ze všech uvedených živin. Při intenzivní svalové činnosti jsou hlavním a také výhradním zdrojem energie cukry. S přibývajícím dobou činnosti stoupá energetický podíl tuků, výjimečně bílkovin. Ze tří hlavních substrátů (sacharidů, tuků, bílkovin) jsou to pouze sacharidy, které mohou být metabolizovány pro energii bez přímého zapojení O₂.

Zdroje energie můžeme rozdělit podle jejich využitelnosti na *zdroje okamžité, krátkodobé a dlouhodobé*. Okamžitým zdrojem energie ve svalu (ale i v celém organismu) je chemická látka **ATP (adenosin trifosfát)**, jehož produkce se uskutečňuje prostřednictvím tří základních energetických reakcí: ① **regenerací ATP z kreatinfosfátu** tj. **ATP-CP systému**,

② **anaerobní glykolýzou** tj. **La-systému**,

③ **aerobní oxidací glukózy a tuků** tj. **O₂ systému**.

Všechny tři systémy jsou aktivní v daném okamžiku, jejich podíl na celkovém výkonu práce (na pohybové činnosti) je primárně závislý na intenzitě činnosti, sekundárně na době trvání (*Obr. 1*).



Obr. 1: Časové vztahy uvolňování energie

① ATP-CP systém (fosfagenový)

Systém je aktivní na začátku všech cvičení (pohybů) bez ohledu na jejich intenzitu. Během prvních okamžiků svalové práce je jediným možným zdrojem energie ATP uložených v buňkách, který je však po 1-3 s vyčerpán. V další fázi se ATP se slučuje s **CP (kreatinfosfátem)**. Tyto reakce jsou dominantním zdrojem energie po dobu prvních 5-6 s. Krátkodobé, intenzivní výkony lze tedy provádět anaerobně, tj. bez přístupu O₂ a bez vzniku laktátu (*La*).

Během delšího cvičení se CP nestačí regenerovat a jeho podíl na celkové energetické produkci prudce klesá (při 6s práci cca 50 %, při 30s 30 % a méně). Po skončení zátěže se zásoby CP ve svalech opět rychle obnovují (75-80 % během 1. min., 100 % během 2-3 min.). Z uvedeného plyne, že čím

vyšší budou zásoby CP ve svalech, tím déle a s větší intenzitou bude možno provádět krátkodobý, vysoce intenzivní anaerobní výkon (cca do 10-20 s, sprint 100-200 m, vzpírání...).

Tento systém lze trénovat velmi krátkými intervaly (do 20 s) maximální zátěže. Jakmile jsou zásoby ATP a CP vyčerpány, začíná se ve svalech jako vedlejší produkt rozpadu ATP hromadit **kyselina mléčná (laktát La)**. Tím zahazuje činnost **anaerobní (La) systém**.

② LA systém (glykolýza)

Anaerobní glykolýza (rychlá) čili anaerobní rozklad glukózy se rozjíždí pouze s malým zpožděním po ATP-CP systému a už po cca 6 s se podíl obou systémů vyrovnává. Anaerobní glykolýza je sice neefektivní způsob získávání energie a asi 2krát pomalejší než regenerace ATP z CP, ale stále je výrazně rychlejší než oxidace glukózy. Po cca 30 s intenzivní pohybové činnosti jsou zásoby CP prakticky vyčerpány a náhlé „najetí“ na pomalejší anaerobní glykolýzu zapříčiňuje tzv. „čtvrkařskou krizi“ z důvodu snížené rychlosti produkce ATP a hromadění La. A to i přes jeho rychlé vyplavování do krve a další odbourávání (utilizace) v játrech a ledvinách (tam je použit při syntéze glukózy), nepracujících svalech či v srdci (přeměněn na pyruvát). Když hladina La dosáhne určité úrovně, dojde k utlumení svalových funkcí. Tolerance organismu vůči La má velký význam pro sportovní výkon a lze ji výrazně ovlivnit tréninkem. Obecně platí, že organismus, který dokáže dlouhodobě pracovat ve vyšší intenzitě bez hromadění La, je schopen podávat lepší rychlostně-silové, rychlostně-vytrvalostní výkony.

Tento energetický systém se uplatňuje při submaximálních intenzitách, při kterých již nelze dodávat dostatek O_2 zatěžovaným svalům. Jako zdroj energie slouží téměř výhradně sacharidy, což garantuje jejich rychlou dodávku. Délka zapojení tohoto systému závisí na množství zásob sacharidů, obecně lze usuzovat o 60-90 s.

③ Aerobní (oxidativní systém O_2)

O_2 systém potřebuje 2-3 min. než je plně aktivován. Hrazení energie z **O_2** a **La systému** se většinou prolíná a jejich vzájemný podíl závisí na intenzitě cvičení a trénovanosti sportovce. Při déletrvajících pohybových aktivitách submaximální intenzitou se glykogenový systém aktivuje dříve, ale postupem času se podíl tuků na hrazení energetické potřeby stále zvyšuje. Tak si organismus vlastně chrání zbývající zásoby glykogenu. Již při výkonech trvajících déle než cca 60-70 s dominuje jako zdroj svalové energie **oxidace glukózy** tj. štěpení glukózy za přítomnosti O_2 . Tato reakce tzv. **oxidativní fosforylace** vede ke vzniku vody (H_2O), oxidu uhličitého (CO_2) a velkého množství energie (38 ATP).

Pokud jsou po cca 90 min. intenzivního výkonu zcela vyčerpány zásoby glykogenu a krevní glukóza nepostačuje, svaly začnou využívat energii převážně oxidací tuků (resp. volných mastných kyselin). Tento způsob produkce energie (**lipolýza**) nevytváří La, ale je méně ekonomický nežli rozklad glukózy, neboť na stejné množství energie vyžaduje asi o 7 % více O_2 . To nevyhnutelně vyvolává vyšší požadavky na dodávku O_2 (zvýšení ventilace) a protékání krve (vyšší srdeční výkon o intenzitě pohybové činnosti pod 75 % SF_{max}). Při produkci energie z tuků již nelze udržet vysoké pracovní tempo. Vyčerpání glykogenových zásob a „najetí“ na pomalejší oxidaci tuků se projevuje notoricky známou krizí po 30 km maratonského závodu (tzv. **hypoglykemie**).

Je třeba mít v patrnosti, že i při zátěži velmi nízkou intenzitou, kdy je maximální podíl energetické potřeby hrazen tuky, je vždy třeba přísunu určitého množství glykogenu. 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 možné dehydratace, narušení osmotické rovnováhy v tělesných tekutinách, přehřátí apod.

Nejdůležitějším zdrojem energie pro pohyb (vytrvalostní a rychlostně vytrvalostní) jsou tedy cukry, protože jsou schopny dodat nejvíce energie za časovou jednotku. Čím je intenzita zátěže nižší, tím je vyšší úloha tuků na hrazení energie. Jako zdroj energie slouží v případě extrémní dlouhodobé zátěže i proteiny (bílkoviny).

Souhrn: Energetické systémy se liší ve schopnosti dodávat energii pro pohybové činnosti různých intenzit a po různou dobu trvání, tzn. mezi rychlostí dodávky ATP a celkovým množstvím vyprodukovaného ATP za delší čas (Tab. 2). **Fosfagenový systém (ATP-CP)** primárně dodává ATP pro vysoce intenzivní činnosti, ovšem krátkého trvání (cca 100 m sprintu). **Glykolytický systém (LA)** pro středně až těžkou pohybovou činnost s vysokou intenzitou, s krátkou nebo střední dobou trvání (např. běh na 400 m, slalom, obří slalom) a **oxidační systém (O₂)** pro aktivity s nízkou intenzitou a delší dobou trvání (např. marathon).

Tabulka 2: Energetické systémy ve vztahu s intenzitou a objemem pohybové činnosti.

<i>doba</i>	<i>intenzita</i>	<i>primární energetický systém</i>
0-6 s	maximální	fosfagenový
6-30 s	submax.-max.	fosfagenový + rychlá glykolýza
30 s až 2 min.	vysoká	rychlá glykolýza
2-3 min.	střední	rychlá glykolýza + oxidační systém
>3 min.	nízká	oxidační systém

3.2 FYZIOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA VÝKONU V ALPSKÝCH DISCIPLÍN

Proměnlivost vnějších podmínek vyžaduje od lyžaře okamžitou a adekvátní reakci, korekci jízdy (rychlosti i směru) tzn. trajektorie soustavy lyžař-lyže, udržování rovnováhy, orientace v prostoru a čase aj. Jsou to specifika, která nemají obdobu v žádném jiném sportovním odvětví.

Výkon lyžaře je charakteristický rychlostně silovým projevem, který dominuje ve všech disciplínách. V průběhu přímé jízdy i jízdy v obloucích dochází k nesčetným změnám tvaru terénu, k nesčetným epizodním kontaktům lyží s podložkou, k řetězci situací vyžadujících optimální reakci lyžaře zprostředkovanou svalovou činností.

Práce svalů při lyžování se soustřeďuje především na **svalstvo dolních končetin – svalstvo trupu (zádové a břišní) – svalstvo horních končetin**.

- Ve sjezdovém postoji převažuje činnost svalstva šijového a zádového (flexorů a extenzorů kloubu kolenního a kloubu kyčelního), svalů hýžďových (adduktorů-přitahovačů), svaly bérce,
- při rotačních a vyrovnávacích pohybech činnost svalstva břišního, zádového, hrudníku, svalů pletence ramenního a horních končetin,
- držení hole zajišťují svaly pažní, svaly ruky.

Uplatňování lyžařských technik klade vysoké nároky na jednotlivé **systémy** lidského těla, na systém srdečně-cévní (kardiovaskulární), dýchací (respirační), nervový, kosterní (skelet), svalový (muskulatura). Navzájem spolupracující orgány vyjmenovaných systémů jsou vystaveny zatížení utvářené

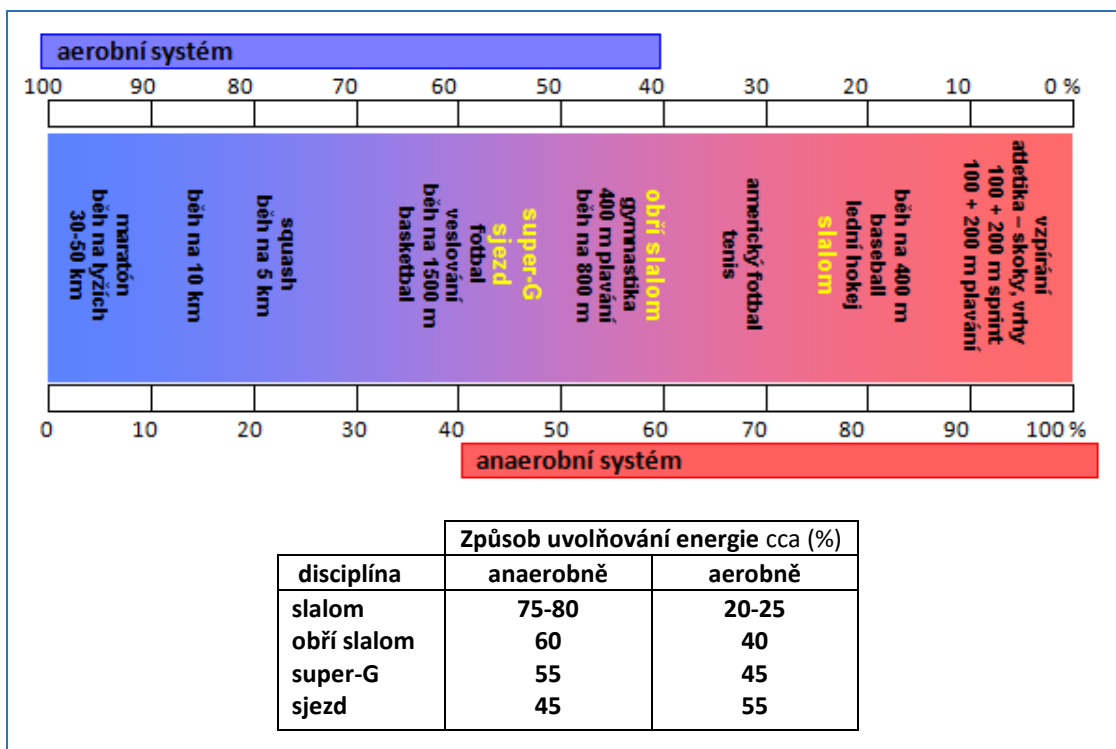
- a) dobou trvání jízdy cca 50 s až 2,5-3 min., (**lokomoce arteficiální, pohyby segmentů acyklické, typ zátěže kontinuální**),
- b) intenzitou pohybové činnosti (**subjektivně submaximální až maximální** vyžadující aktivaci energetických systémů, energetických zdrojů **ATP-CP, anaerobní glykolýza** ve slalomu, **anaerobní glykolýza, aerobní fosforylace** ve sjezdu).

Energetickou náročnost sjezdového lyžování lze přiřadit k atletickým běhům na 400 či 800 m. Energetické krytí, podmíněné submaximální intenzitou, dosahuje hodnot v rozmezí **85-95 % VO_{2max}**, což v závislosti na době trvání výkonu (jízdy) a vysokému podílu isometrických i isotonických kontrakcí, vede k poměrně rychlé místní únavě přetížených svalových skupin. Aktivaci energetických zdrojů a jejich podíl u jednotlivých disciplín je uveden na Obr. 2, s. 11.

Velikost energetického výdeje můžeme obecně posuzovat za různých podmínek, od zajištění základních funkcí organismu až po tzv. pracovní výkon v konkrétních sportovních činnostech. Intenzita metabolismu je u sjezdového lyžování submaximální a lze ji vyjádřit hodnotou **% nál. BM**, která činí u slalomu 3000-4000 %, což prezentuje energetický výdej 150-250 kJ/min, u obřího slalomu 2000-3000 % tj. 100-150 kJ/min.

Biologické veličiny (SF, La, VO₂max...) charakterizují fyziologické stavy při provádění sportovní činnosti. Jejich *diagnostický význam* vzrůstá při rostoucí únavě, zdravotních indispozicích nebo obecně při stagnující výkonnosti sportovce. SF nám poskytuje informace o *intenzitě pohybové činnosti* v průběhu sportovní činnosti respektive sportovního výkonu, v průběhu jízdy.

Energetický výdej je u jednotlivých disciplín různý a jeho absolutní hodnota může být odvislá od délky tratě, její náročnosti z hlediska terénního profilu, konfigurace branek, kvality sněhu apod. Bereme-li v úvahu relativní ukazatel (kJ za časovou jednotku), pak nejvyšší hodnoty zaznamenáváme u slalomu (9200-11000 kJ/h), u obřího slalomu (4200-5900 kJ/h), u super-G a sjezdu (7600-9200 kJ/h). Při energetickém výdeji je důležitá rychlost uvolňování energie. Ta je limitována především funkcemi dýchacího, oběhového a energetického systému. Lze uvést, že čím nižší je intenzita pohybové činnosti, tím vyšší jsou objektivní biologické předpoklady pro vysoký celkový objem energetického výdeje. Je třeba připomenout, že údaje o intenzitě energetického výdeje ve vztahu k jednotlivým lyžařským disciplínám jsou orientační.



Obr. 2: Podíl metabolických systémů na energetickém zajištění sportovního výkonu v %

Dýchání je u lyžařů nepravidelné, u všech disciplín se vyskytují tzv. **apnoické pauzy** (přerušované dýchání, zadržení dechu) při zdolávání terénních nerovností a skoků apod. Dechová frekvence je nepravidelná a pohybuje se v rozmezí cca 35-50 dechů/min.

Spotřeba kyslíku u obřího slalomu dosahuje až 90 % VO₂max, tepový kyslík cca 20 ml. Hodnota spotřeby kyslíku v přepočtu na 1 kg hmotnosti je u mužů 60-70 ml, u žen 50-60 ml. U mužů hodnoty **kyslíkového dluhu** v důsledku uplatňování anaerobního metabolického krytí nabývají hodnot u slalomu cca 5 l, u obřího slalomu cca 8 l, při super-G a sjezdu cca 11 l, u žen jsou tyto hodnoty poněkud menší. Již zmíněné svalové kontrakce vyvolávají odezvu v **srdeční frekvenci (SF)**, na jejíž hodnotě se podílejí i emoce. SF je u lyžařů značně individuální, převažuje vagotonie (50-60

tepů/min), v průběhu závodu (jízdy) dosahuje *SF* u jednotlivých disciplín hodnot cca 80-97 % *SF_{max}*. Z těchto hodnot rezultuje mj. vysoké zatížení krevního oběhu v důsledku isometrických a isotonických svalových kontrakcí s mírnou venostázou (městnání krve v žilách).

Hodnocení výkonnosti, stavu trénovanosti je především intraindividuální, kdy se hodnotí změny a posuzuje se významnost těchto změn. Srovnání výsledků mezi různými sportovci navzájem má spíše orientační hodnotu. Jako referenční hodnoty je vhodnější a doporučujeme využít výsledky zátěžových testů terénních a laboratorních o to u skupin obdobného věku a výkonnostní úrovně.

Referenční seznam:

1. BEDŘICH, L. (2014). *Struktura sportovního výkonu v alpských disciplínách*. In *Struktura sportovního výkonu*. Brno: MU, FSpS. s. 128-131. ISBN 978-80-210-6695-3.
2. BEDŘICH, P., BEDŘICH, L. (2007). *Monitorování srdeční frekvence a laktátu v závodech alpského lyžování*. In *Na podporu projektů Vega*. Trnava. Slovenská technická univerzita, MTF. ISBN 978-80-227-2678-8.
3. BEDŘICH, L., BLAHUTKOVÁ, M., HURYCH, E., KORVAS, P. (2014). *Teorie sportovního tréninku II*. Brno: MU, FSpS. 38 s. ISBN 978-80-210-7462-0.
4. BEDŘICH, L., BEDŘICH, P., KLOUČEK J. (2008). *Sjezdové lyžování nejen z aspektu tělesné zátěže*. Praha: Debora.
5. BEDŘICH, L., BEDŘICH P. (2005). *Registrace a vyhodnocení hodnot krevního laktátu v soutěžním zatížení*. In *FSpS MU. Sport a kvalita života*. Brno: Masarykova univerzita, s. 20-26, 98 s. ISBN 80-210-3863-2.
6. BEDŘICH, L., DOVALIL, J. (2009). *Sylabus teorie a didaktiky sportu I*. Elportál online. Brno: MU. ISSN 1802-128X.
7. BERNACIKOVÁ, M., KALICHOVÁ, M., BERÁNKOVÁ, L. (2010). *Základy sportovní kineziologie*. Dostupné na: https://is.muni.cz/do/1451/elearning/kineziologie/elportal/pages/kinematika_dynamika.html#dynamickacharakteristika
8. BERNACIKOVÁ, M., KAPOUNKOVÁ, K., NOVOTNÝ, J. a kol. (2010). *Fyziologie sportovních disciplín*. Dostupné na: https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/fyziologie_sport/index.html
9. DYLEVSKÝ, I., JEŽEK, P. (2000). *Základy kineziologie*. Dostupné na: <https://vos.palestra.cz/skripta/kineziologie/1.htm>
10. HAVLÍČKOVÁ, L a kol. *Fyziologie tělesné zátěže II*. Speciální část – 1. díl. Praha: UK, 1993, 238 s., ISBN 80-7066-815-6.
11. HELLER, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu. Východiska, aplikace a interpretace*. Praha UK. Karolinum. ISBN 978-80-246-3359-6.
12. MÁČEK, M., & RADVANSKÝ, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.
13. NOVOTNÁ, M., NOVOTNÝ, J., (2007). *Fyziologická podstata rychlostního a vytrvalostního běžeckého výkonu*. Brno: Masarykova Univerzita, FSpS. 57 s. ISBN: 978-80-210-4506-4.
14. VRÁNOVÁ, Jana. *Lyžování: Alpské disciplíny*. In *Fyziologie tělesné zátěže II*. Speciální část – 1. díl. Praha: FTVS UK, Karolinum, 1993. s. 114-127. ISBN: 80-7066-816-6.
15. WILHELM, Z. et al. (2003). *Stručný přehled fyziologie člověka pro bakalářské studijní programy*. Brno: MU, lékařská fakulta. ISBN 80-210-2837-8.