

ÚVOD DO BIOMECHANIKY ALPSKÝCH DISCIPLÍN

(Prof. PhDr. František Vaverka, CSC)

Úvodem

Předkládaný text je určen pro zájemce o trenérskou práci v alpských disciplínách (AD) na základní úrovni. Obsah a rozsah textu, který lze považovat za základní – elementární úvod do kurzu biomechaniky AD, je limitován předepsaným počtem stran. V daném materiálu se dotkneme elementárních pojmů a zaměříme se na základní pohybové situace – přímou jízdu a rovnováhu na kterých se pokusíme demonstrovat biomechanické zákonitosti pohybové činnosti lyžaře. Text může být východiskem k zájmu o pochopení objektivních biomechanických zákonitostí a začátkem ke hlubšímu studiu podstaty pohybů lyžaře.

Pojem Biomechanika

Pojem biomechanika je v trenérské praxi velmi frekventovaný, ale pochopení podstaty daného pohledu na pohyb člověka není zcela jednoznačné. Obor biomechanika je hraniční vědeckou disciplínou která vychází z biologického základu (morfologická a funkční podstata pohybového systému člověka) a teoretických principů klasické mechaniky. Zjednodušeně lze biomechaniku charakterizovat jako matematicko-fyzikální pohled na pohybový systém a pohybovou činnost člověka. Exaktní základ biomechaniky (fyzikální teorie) je často překážkou k pochopení biomechanických zákonitostí a jejich aplikací do praxe. Vycházíme z předpokladu, že řadový čtenář není detailněji orientován v obecné teorii biomechaniky a v textu se omezíme na charakteristiku základních pojmů a nejjednodušší rovinu výkladu s minimem matematických a fyzikálních výrazů.

1.1 Základní pojmy

Úvodem elementárního kurzu biomechaniky AD považujeme za nutné stručně charakterizovat základní pojmy s nimiž se budeme setkávat v dalším textu.

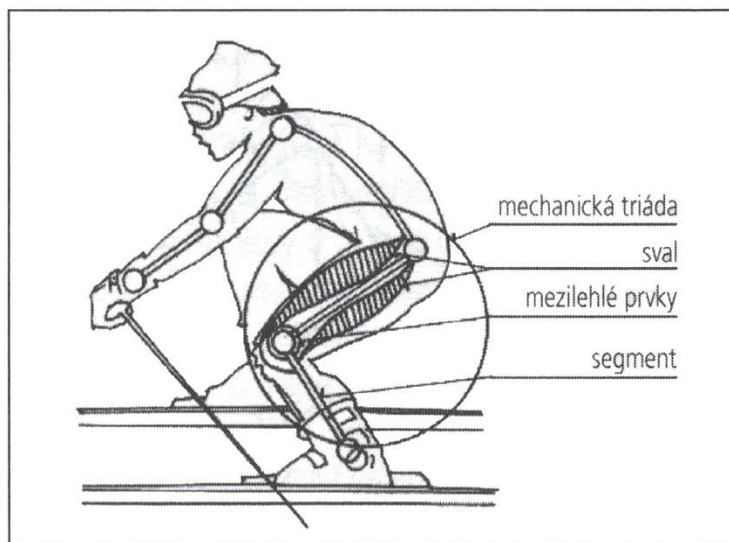
Pohybový systém lidského těla je z pohledu biomechaniky složen z několika subsystémů: subsystém pasivních prvků (kosti, šlachy, vazy, chrupavky, tkáně – neprodukují sílu, pouze přenáší sílu z vnitřního prostředí lidského těla na vnější prostředí v němž se jedinec pohybuje a naopak), svalový subsystém (svaly produkují fyzikální veličinu sílu), řídicí subsystém (centrální a periferní nervový systém – řídí činnost svalového subsystému) a subsystémy zajišťující biologickou existenci jedince (dýchací, oběhový, trávicí atd.).

Mechanická triáda je základní hybnou jednotkou pohybového systému a skládá se ze svalu (prvek produkující sílu), mezilehlých prvků (šlachy, vazy, kloubní spojení) a segmentu (obr. 1). Vzájemným propojením jednotlivých segmentů pomocí kloubních spojení se vytváří složitý otevřený nebo uzavřený kinematický řetězec v němž jsou jednotlivé mechanické triády ve vzájemných silových interakcích.

Model lidského těla je zjednodušená soustava hmotných segmentů lidského těla. Nejužívanějším modelem je systém skládající se ze čtrnácti prvků (hlava, trup, záloktí, předloktí, ruka, stehno, bérec a noha). Nejjednodušším modelem je těžiště těla které reprezentuje jeden hmotný bod.

Těžiště těla je teoretický hmotný bod, kterým prochází výslednice všech tíhových sil působících na jednotlivé elementy těla (obr. 2). V určitých polohách se může těžiště těla nacházet i mimo vlastní tělo.

Těžiště soustavy lyžař – lyže je společným těžištěm pohybového systému a výbroje a výstroje. V alpském lyžování, vzhledem k poměrně velké hmotnosti lyžařské obuvi a lyží, je těžiště soustavy v jiném bodě než těžiště těla (obr. 2). Význam vlivu těžiště soustavy narůstá především v letových – bezoporových situacích a při lyžování mládeže.



Obr. 1 Pohybový systém lidského těla – mechanická triáda

Síla¹ je definována jako příčina změny pohybového stavu tělesa. Velikost síly je vyjádřena 2. Newtonovým zákonem jako součin hmotnosti a zrychlení ($F = m \cdot a$, kde F – síla, m – hmotnost, a – zrychlení). Velikost síly vyjadřujeme v Newtonech (N) nebo kilopondech (Kp).

Síly vnější – fyzikální tvoří soustavu sil které působí z vnějšího prostředí na pohybový systém člověka. Jedná se o konečnou množinu fyzikálních sil skládající se z tíhové síly (nepřesně nazývaná gravitační síla), tření, síly působící při pohybu v prostředí (voda, vzduch; síly statické: tlak, vztlak; síly dynamické: odpor prostředí, vztlak), reakční síla, odstředivá nebo dostředivá síla. Každá z vyjmenovaných sil závisí na řadě dalších veličin a lze vyjádřit její velikost pomocí empirických vzorců.

Soustava vnějších sil je skupina fyzikálních sil působící současně v daném prostředí a v daném okamžiku na lyžaře. Soustava vnějších sil závisí na prostředí v němž se pohyb koná a v jeho průběhu dochází ke změnám ve velikosti i směru jejich působení. Základní soustava vnějších sil působících na pohybový systém lyžař-lyže v přímé jízdě je schematicky ve formě vektorů uvedena na obr. 3.

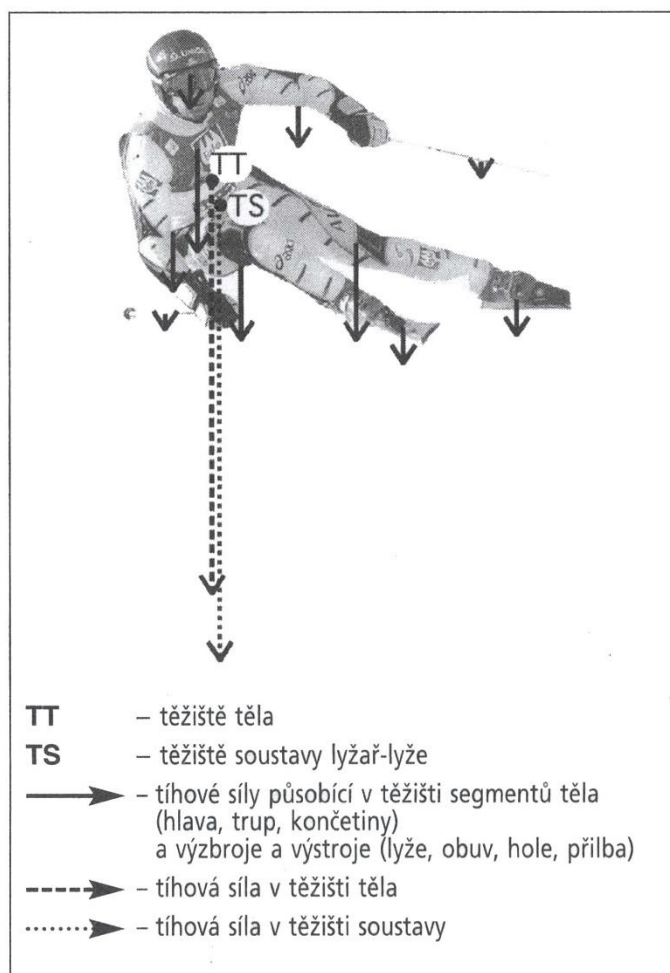
Vnitřní síly je název pro síly vznikající uvnitř pohybového systému. Rozlišujeme síly aktivní, tj. síly vznikající svalovou kontrakcí a síly pasivní které jsou charakteristické pro odpor tkání lidského těla proti zamýšlenému pohybu.

Interakce vnitřních a vnějších fyzikálních sil závisí na pohybové činnosti člověka a její výsledek ovlivňuje výsledný pohybový stav. Z pohledu biomechaniky podstata pohybu spočívá v následujícím principu: pohybovou činností, tj. působením svalových sil,

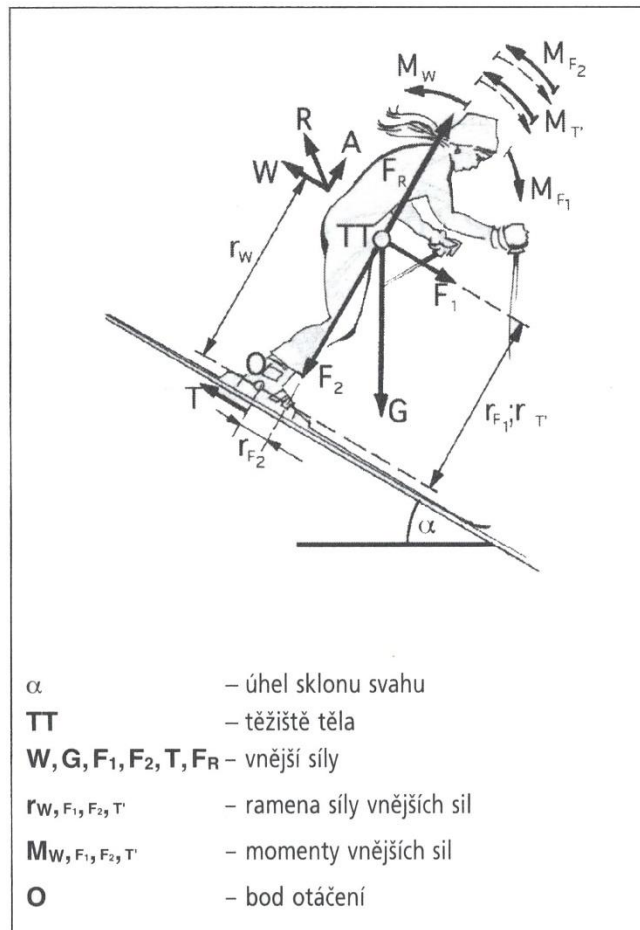
ovlivňujeme velikost vnějších fyzikálních sil, které mění pohybový stav lyžaře. Jinými slovy, na změnu rychlosti jízdy, kvalitu provedení oblouku a realizaci dalších prvků jízdy nemají přímý vliv vnitřní svalové síly, ale všechny změny v jízdě závodníka ovlivňují pouze vnější – fyzikální síly. Pohybovou činnost lyžaře jsou tyto vnější síly ovlivňovány.

¹ Síla F je vektor a je vyjádřena velikostí a směrem působení. Graficky ji budeme znázorňovat jako orientovanou úsečku s počátkem a šipka značí směr jejího působení. Vektory budeme označovat velkými písmeny. Pro sečítání nebo rozklad sil platí pravidlo rovnoběžníku. Velikost sil vyjadřujeme v Newtonech (N; síla udělí 1 kg hmotnosti zrychlení 1 m.s⁻²) nebo kilopondech (Kp; síla udělí 1 kg hmotnosti zrychlení 9,81 m.s⁻², její velikost se rovná tíhové síle působící na 1kg hmotnosti, 1 Kp = 9,81 N).

Např. síla odporu prostředí závisí na poloze těla sjezdaře a kvalita aerodynamické polohy těla ovlivňuje její velikost a snižuje nebo zvyšuje její brzdivý účinek. Nebo optimalizací silových reakcí sjezdaře na impaktní situace vznikající mezi lyžemi a terénem působíme na velikost vnější síly tření, která je jedním z významných faktorů ovlivňujících rychlost jízdy.



Obr. 2 Těžiště těla a soustavy lyžař-lyže



Obr. 3 Soustava vnějších sil a momentů vnějších sil při přímé jízdě

1.2 Biomechanika základních situací při jízdě na lyžích

V následující části se zaměříme na vybrané elementární situace jízdy na lyžích a jejich biomechanickou podstatu. Úkolem této části práce je uvedení do biomechanického pochopení podstaty jízdy na lyžích a objasnění základních fyzikálních zákonitostí ovlivňujících jízdu lyžaře.

Přímá a šikmá jízda

Podíl přímé a šikmé jízdy sjezdaře je v různých disciplínách rozdílný. Na rozdíl od sjezdu, kde přímá a šikmá jízda je dominantním prvkem, ve slalomu se téměř nevyskytuje. Jak vyplývá z podstaty závodního lyžování, základním atributem jízdy je dosažení její maximální rychlosti a zachování stability (rovnováhy) postoje. Pochopení souvislostí mezi působícími silami při přímé jízdě z hlediska rychlosti a rovnováhy je východiskem k výkladům biomechanické podstaty složitějších prvků jízdy sjezdaře.

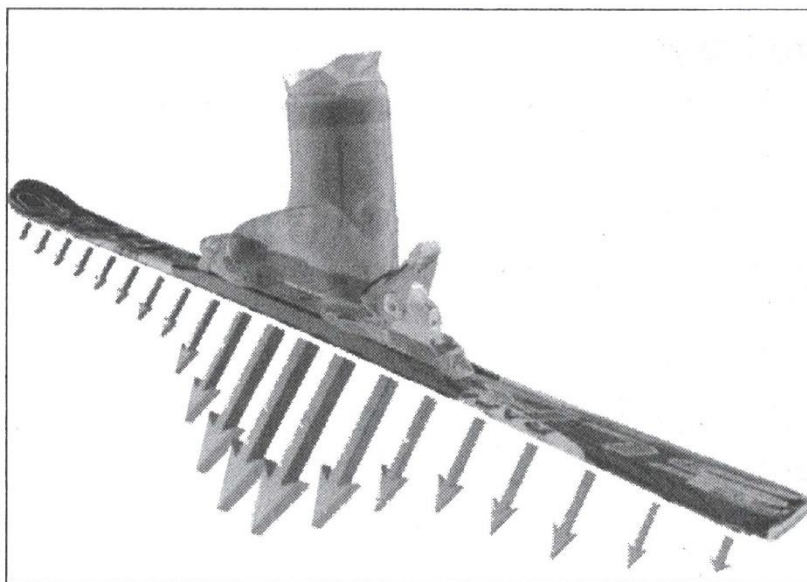
Základní soustava vnějších sil působících při přímé jízdě je v grafické formě uvedena na obr. V každém okamžiku jízdy působí na lyžaře tíhová síla, tření, odpor prostředí, aerodynamický vztlak, reakční síla a setrvačná síla. Velikost a směr působících sil se mění vlivem pohybových akcí lyžaře a neustále se měnících vnějších podmínek (sklon svahu, kvalita sněhu, rychlost jízdy,

povětrnostní podmínky apod.). Základním pohybovým úkolem sjezdaře je optimalizovat velikost a směr působících sil s cílem maximalizovat rychlost jízdy a zachovat stabilitu postoje. Znalost podstaty působících sil je východiskem k možnosti jejich ovlivňování a k efektivitě řešení tohoto úkolu.

Tíhová síla

Tíhová síla je základní vnější silou, která působí neustále na všechny hmotné elementy těla. Její velikost je konstantní a je dána součinem hmotnosti lyžaře (kg) a tíhového zrychlení ($9,81 \text{ m.s}^{-2}$). Součet všech dílčích tíhových sil působících na jednotlivé elementy těla působí v těžišti těla a označíme jej symbolem G (obr. 3). S ohledem na sklon svahu lze tíhovou sílu rozložit do dvou směrů. Složka F_1 působí ve směru svahu a je vlastní příčinou pohybu lyžaře. Ve speciálním případě (jízda do protisvahu) působí síla F_1 proti směru jízdy a pohyb brzdí. Na velikosti F_1 závisí, jaké zrychlení tíhová síla lyžaři uděluje. Se vzrůstajícím sklonem svahu vzrůstá F_1 a naopak. Síla F_2 působí kolmo k povrchu a ovlivňuje tlak na podložku. Lyžař vnitřními svalovými silami kompenzuje působení síly F_2 . Např. na lyžaře o hmotnosti 70 kg při sklonu svahu 30° působí zrychlující síla ve směru pohybu $F_1 = 343 \text{ N}$ a kolmá síla k podložce $F_2 = 486 \text{ N}$.

Tíhová síla – její složka F_2 – působí na podložku v místě interakce pohybového aparátu se sněhem. Tlak F_2 na sních je přenášen prostřednictvím lyží a nepůsobí na podložku bodově. Tlak se rozkládá do plochy skluznic lyží a má charakteristický průběh (obr. 4). Křivka rozkladu tlaku lyží na sních závisí na vlastnostech lyží (velikost styčné plochy, konstrukce lyže z hlediska tvrdosti a pružnosti jednotlivých částí – špička, patka apod.). Tvar rozložení tlaku F_2 v interakci lyže se sněhem výrazně ovlivňuje skluzové vlastnosti (tření) a promítá se také do kvality lyží z hlediska její jízdy v oblouku. Lyžař může navíc měnit křivku rozložení tlaku předozadním posunem těžiště těla při přímé jízdě a při jízdě v oblouku a tím ovlivnit velikost tření a kvalitu projíždění oblouku.



Obr. 4 Rozložení tlaku lyže na podložku

Většina vnějších sil jako tření, aerodynamické síly, odstředivá síla, ve speciálních případech reakční síly, vzniká jako důsledek jízdy lyžaře a má brzdivý účinek.

Tření

Tření vzniká při kontaktu dvou těles, která se vzájemně pohybují. Rozeznáváme tření vlečné (smykové) a valivé. Při lyžování bereme v úvahu především tření smykové. Tření valivé, vznikající při jízdě v hlubokém sněhu, ztrácí na upravených svazích praktický význam. Do třecích sil lze pro úplnost zařadit také síly, které způsobují odletování částecek sněhu od lyží (např. při jízdě v oblouku). Lyže předávají částecám sněhu část své kinetické energie a ztrácí na rychlosti.

Tření vlečné – smykové – vzniká a působí v místě kontaktu lyže s terénem. Jeho velikost je vyjádřena empirickým vzorcem:

$$T = \mu \cdot N$$

Kde **T** je síla tření, **μ** – součinitel tření a **N** kolmý tlak na podložku.

Součinitel tření **μ** závisí na:

- *Kvalitě troucích se ploch.* Hodnota **μ** se snižuje použitím speciálních hmot na skluznice lyží a její preparací. Skluznost lyží se zvyšuje mazáním lyží;
- *Kvalitě sněhu.* Pro různé typy sněhu existuje různá úroveň součinitele **μ**. Velikost **μ** se pohybuje v rozmezí 0,03 – 0,20 (tvrdý přemrzlý sníh – vlhký až mokrý sníh);
- *Rychlosti jízdy.* Se vzrůstající rychlostí klesá hodnota **μ**, při dalším nárůstu rychlosti velikost **μ** vzrůstá.

Kolmý tlak závisí na:

- *Sklonu svahu.* Kolmý tlak tvoří složka **F₂** tíhové síly **G**, která směřuje kolmo k povrchu. Vzhledem ke změnám sklonu svahu dochází k neustálým oscilacím velikosti kolmého tlaku a tedy i hodnoty tření;
- *Ploše podstavy.* Je dána plochou skluznic lyží. Se vzrůstající plochou (délkou lyží) klesá kolmý tlak při konstantní úrovni hmotnosti závodníka. V disciplínách, kde je dominantní rychlost jízdy (sjezd, superobří slalom, obří slalom) se délka lyží prodlužuje s ohledem na zvýšení jejich skluznosti.
- *Konstrukci lyží.* Základní vliv na úroveň tření má konstrukce lyže, která ovlivňuje tvar křivky přenosu tlaku na podložku (obr. 4). Každá lyže, i když je v principu konstrukčně shodná s ostatními, má svoji specifickou křivku rozložení tlaku, která rozhoduje o její rychlosti. Nejlepší lyže z hlediska rychlosti se dají zjistit pouze „testováním“, tj. praktickou zkouškou. Princip testování lyží spočívá ve standardizaci celé škály faktorů ovlivňujících rychlost jízdy (stejný sklon dráhy, stejná hmotnost, stejná skluznice a mazání, konstantní aerodynamické poměry, stejný způsob startu, stejný projížděný úsek atd.) a jedinou proměnnou je lyže. Nejlepší závodníci používají jen „testované“ lyže, které byly vybrány z velkého množství nejlepších lyží, především pro závody ve sjezdu, superobřím slalomu a obřím slalomu.
- *Pohybových akcích lyžaře.* V průběhu přímého sjezdu (pochopitelně také ve všech prvcích závodního lyžování) dochází k nespočetným změnám tvaru terénu od velmi malých nerovností až po větší nebo velké terénní vlny. Sjezdař musí neustále korigovat a

vyrovnávat svalovou činností mění se velikost kolmé složky tíhové síly G_2 s ohledem na zachování rovnováhy. Většina silových akcí sjezdaře při přejezdu menších terénních nerovností má charakter podvědomých reakcí na impakt (náraz) lyže na terénní nerovnost. Silové akce – vyrovnávání tlaků na podložku při nárazu – teoreticky mají respektovat princip optimalizace. Odchytky od optimální silové reakce vedou ke zvýšení tlaku na podložku (zvýšení tření, ztráta rychlosti) a k vertikální výchylce těžiště těla (snížení stability jízdy). Co to je optimální silová reakce na impakt? Obecně ji můžeme označit jako minimalizaci odchytky svalové síly působící proti složce G_2 od optimální hodnoty. V trenérské mluvě se hovoří o „citu pro sníh“. Kvalita řešení obrovského množství těchto nenápadných přejezdů přes malé terénní nerovnosti (neohrožují bezprostředně rovnováhu) je jedním ze zdrojů rychlé jízdy v relativně snadném terénu.

Aerodynamické síly

Vznikají při pohybu lyžaře v prostředí. Mezi aerodynamické síly řadíme odpor prostředí a aerodynamický vztlak (obr. 3). Součet obou sil tvoří výslednou aerodynamickou sílu R .

Odpor prostředí působí proti směru pohybu, ovlivňuje rychlost jízdy. Aerodynamický vztlak působí ve směru normály (kolmo na směr pohybu) a ovlivňuje velikost tlaku na podložku (nepřímo působí na velikost tření).

Ve sjezdovém lyžování má zásadní význam *síla odporu prostředí*, působící vždy negativně proti směru pohybu. Vztlaková síla nenabývá významnějších hodnot (s výjimkou vysokých rychlostí ve sjezdu v přísně aerodynamickém postoji a především v bezoporových situacích) a v dalších úvahách ji pomineme.

Velikost odporu prostředí je dána empirickým vzorcem:

$$W = \frac{\rho \cdot c_x \cdot S \cdot V^2}{2g}$$

Kde ρ – hustota prostředí

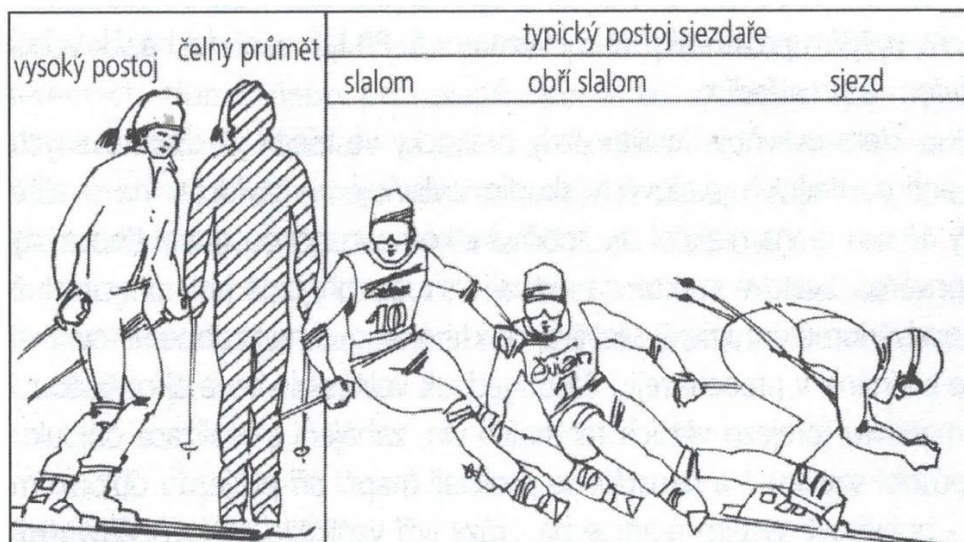
g – tíhové zrychlení ($g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$)

c_x – aerodynamický součinitel

S – kolmý průměr lyžaře na rovinu kolmou na směr pohybu

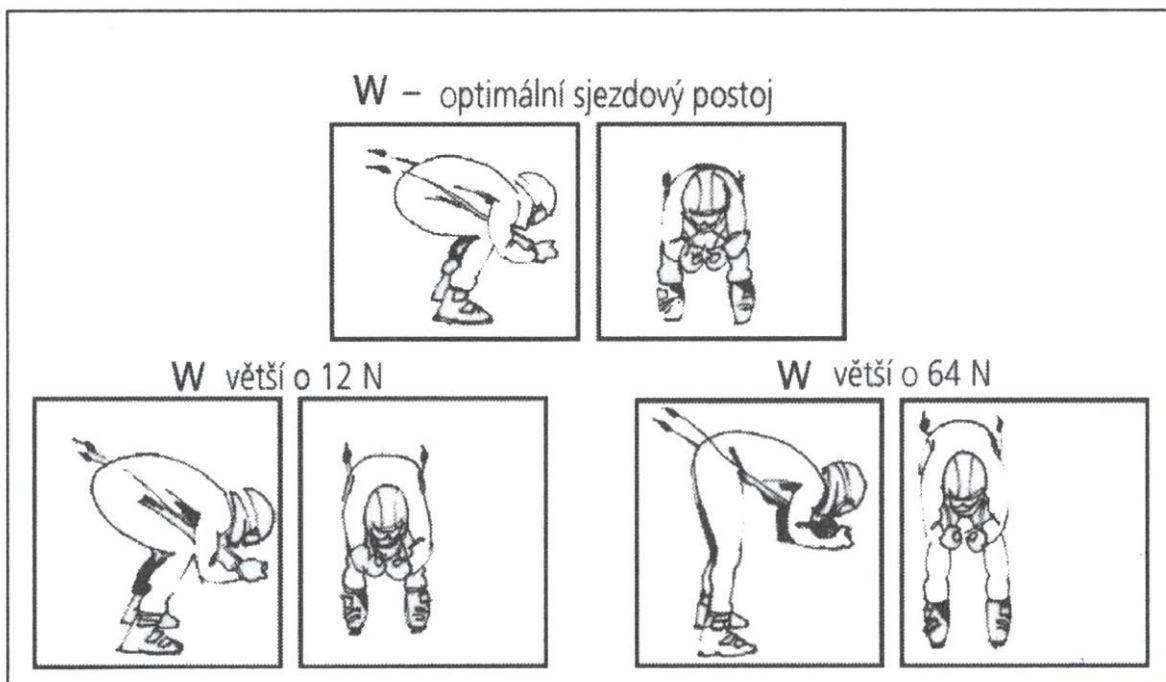
V – relativní rychlost lyžaře a prostředí

Z uvedeného vztahu vyplývá, že velikost W je přímo úměrná čelnému průmětu lyžaře a aerodynamickému součiniteli. Velikost těchto veličin závisí na somatických rozměrech lyžaře a jeho pohybové činnosti (různé varianty polohy těla). Snahou lyžaře je minimalizovat obě veličiny. Na obr. 5 jsou znázorněny některé typické postoje lyžaře sjezdaře i začátečníka.



Obr. 5 Postoje lyžaře v různých situacích jízdy

Velikost čelného průmětu se pohybuje kolem 0,4 – 0,9 m² v závislosti na výšce postoje. Tvarový součinitel c_x do značné míry závisí na výšce postoje a „aerodynamice“ postavení lyžaře. Nejvýhodnější je postavení lyžaře v rychlostním sjezdovém postoji, kdy je minimalizován čelný průmět těla i velikost aerodynamického koeficientu. Aerodynamickou kvalitu postoje ovlivňuje také poměr mezi výškovým a délkovým údajem charakterizujícím postoj lyžaře. Z hlediska rychlosti jízdy je třeba respektovat tendenci k minimalizaci výšky postoje a maximalizaci jeho délky. Postoj s předkloněným trupem, složenými pažemi a přiměřeně pokrčenými dolními končetinami je výhodnější. Aerodynamickou kvalitu postavení lyžaře lze objektivně měřit v aerodynamických tunelech. Na obr. 6 je uveden příklad konkrétních výsledků měření odporu vzduchu W u různých postojů jednoho závodníka. Z výsledků podobným testovacím procedur vyplývá, že i při velmi malých změnách polohy, objektivně (např. filmovou kamerou) takřka nepostřehnutelných, dochází ke změnám v aerodynamické kvalitě polohy lyžaře. Dalším podstatným zjištěním z měření v aerodynamických tunelech je individuálnost optimálního postavení lyžaře. Každý závodník má svůj osobitý optimální postoj, který vyhovuje jeho specifickým somatickým rozměrům a jeho osobitému pojetí jízdy.



Obr. 6 Změna ve velikosti odporu prostředí v závislosti na poloze sjezdaře

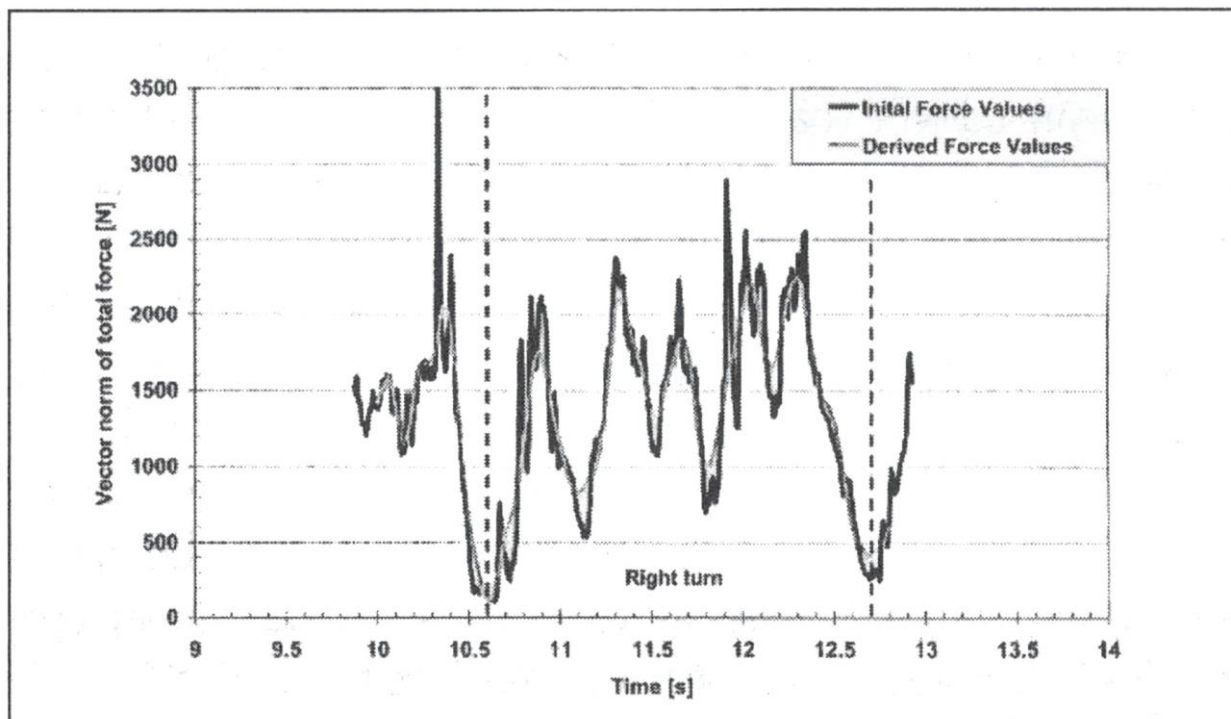
Reakční síla

Vztah mezi působící silou – akcí a silovou odpovědí tělesa na daným podnět – reakcí, definuje 3. Newtonův princip. Teoreticky je reakční síla stejně velká jako síla akční, leží v jedné vektorové přímce a působí proti akční síle. Tato zákonitost platí pro tuhá tělesa. V případě interakce pohybového aparátu s vnějším prostředím jsou silové poměry značně složitější. Lidské tělo se nechová jako tuhé těleso a navíc může produkovat vnitřní – svalovou sílu, kterou lze různým způsobem reagovat na silové podněty z vnějšího prostředí. Také úloha pasivních vnitřních sil (odpor tkání, vazů, tření v kloubech, pružnost kostí apod.) je při interakci s vnějším prostředím velmi významná. Při lyžování dochází k velmi složité vzájemné interakci mezi lyžařem a prostředím.

Reakční síla je rozhodující vnější silou, která ovlivňuje kvalitu jízdy prakticky ve všech již diskutovaných aspektech. Výsledná svalová síla antigravitačních svalových skupin ovlivňuje v závislosti na kvalitě podložky velikost a směr reakční síly. Hlavní úloha reakční síly spočívá v kompenzaci působení tíhové síly a stabilizaci postoje (udržování rovnováhy). Svalové reakce na aktuální situaci při jízdě jsou principiálně dvojího charakteru. Jsou to jednak podvědomé (intuitivní) silové akce, které reagují na drobné nerovnosti terénu a působící impaktní síly (bylo zmíněno v předcházející části), jednak volní pohybové akce vedoucí k řešení konkrétního pohybového manévru (přejezd větších terénních vln, zahájení a realizace oblouku atd.). Uvedené principiální situace působí současně a neustále se prolínají (např. při průjezdu obloukem – volní záměrná pohybová činnost – pohybový systém reaguje na „rázy lyží vznikající vlivem nerovnosti terénu“ intuitivně. Na obr. 7 je zachycen průběh reakční síly působící na závodníka při průjezdu obloukem při závodní jízdě. Vidíme, že velikost reakční síly je značná (klade vysoké nároky na silovou kapacitu sjezdaře) a v závodním provedení

oblouku se pohybuje kolem 2 000 – 3 000 N, což je přibližně 2-3násobek tíhové síly působící na jedince. Co je ale důležité, v každém oblouku dochází k sérii impaktních situací, kdy se

prudce mění zatížení lyží. Změny tlaku na podložku – impaktní rázy – se pohybují ve frekvenci kolem 3-5 Hz a na tyto změny závodník reaguje intuitivními svalovými reakcemi.



Obr. 7 Velikost reakční síly působící na lyžaře při jízdě v oblouku (Lühti et al., 2005)

1.3 Odstředivá síla

Vzniká při křivočarých pohybech. S pojmem odstředivá síla úzce souvisí pojem dostředivá síla. Obě síly působí současně, jsou stejně velké, leží v jedné vektorové přímce a mají opačný smysl. Příčinou změny směru těžiště lyžaře (zakřivení pohybu) je síla dostředivá a reakcí na tuto změnu je odstředivá síla. Velikost odstředivé síly je dána vztahem:

$$F_{OD} = \frac{m \cdot V^2}{r}$$

m – hmotnost soustavy lyžař-lyže

V – rychlost pohybu

r – poloměr zakřivení

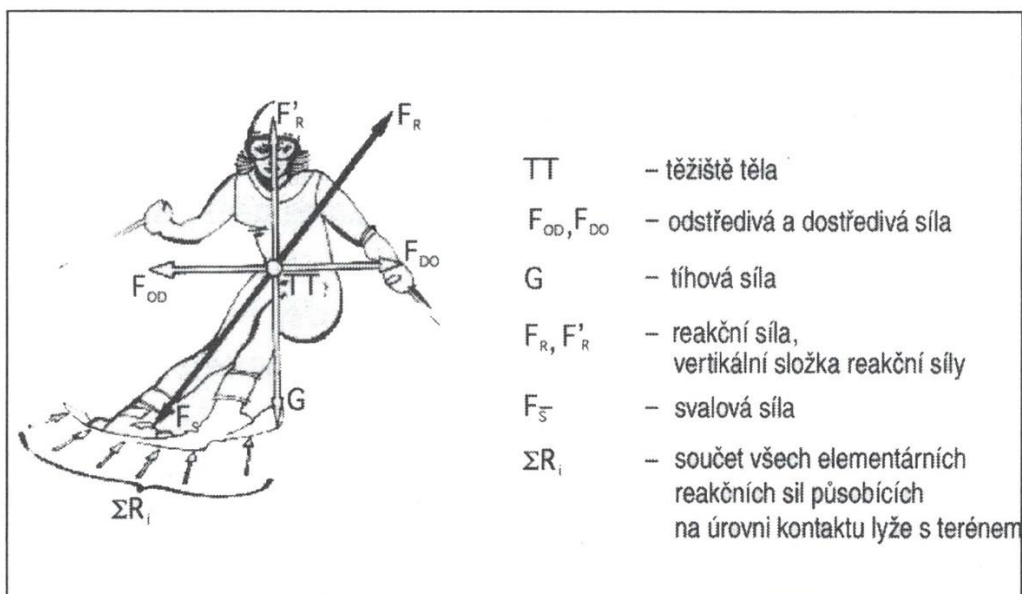
Z uvedeného vzorce vyplývá, že velikost FOD narůstá se zvyšující se hmotností závodníka, s rostoucí rychlostí jízdy (druhá mocnina) a zmenšujícím se poloměrem zakřivení.

Odstředivé a dostředivé síly přímé jízdě působí při přejíždění velkých terénních nerovností,

terénních zlomů nebo protisvahů. Ve velké rychlosti mají vysoké hodnoty a vyžadují vysokou silovou kapacitu sjezdaře k jejich překonávání (v trenérské terminologii se hovoří o kompresi). Významným způsobem se odstředivé síly projevují při jízdě v oblouku. Na obr. 8 jsou schematicky znázorněny síly působící na lyžaře při jízdě v oblouku v rovině frontální. Výsledná reakční síla je v rovnovážném stavu dána vektorovým součtem odstředivé a tíhové síly. Tlaky lyží na podložku (akční – svalové síly) jsou na jednotlivých končetinách diferencované a poměr jejich velikosti se mění v průběhu jízdy v oblouku.

Setrvačná síla

Vzniká na základě 1. Newtonova principu setrvačnosti. Těleso se brání proti změně rychlosti setrvačnou silou, která působí vždy proti směru změny rychlosti. Setrvačná síla ovlivňuje především rovnováhu lyžaře.



Obr. 8 Síly působící na lyžaře při jízdě v oblouku

Rovnováha

Pojem rovnováha lyžaře je v didaktické i tréninkové praxi velmi často používáný. Z pohledu praxe lyžař zachovává „rovnováhu“ nebo „stabilitu“ tehdy, jestliže při jízdě udržuje odpovídající postavení těla a nepřerušuje jízdu pádem. V případě pádu se hovoří o porušení rovnováhy.

Pojem rovnováha

Nejobecnější definice rovnováhy z pohledu biomechaniky je dána splněním dvou základních podmínek:

- Algebraický součet pravoúhlých průmětů všech sil do dvou směrů se musí rovnat nule. Symbolicky lze vyjádřit:

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0$$

Kde F_i jsou vnější síly působící na těleso.

- Algebraický součet momentů² všech sil se musí rovnat nule. Podmínku můžeme zapsat symbolicky:

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0$$

Kde M_i jsou momenty působících sil.

Jestliže jsou splněny obě podmínky, lze hovořit o rovnovážném stavu.

Při lyžování rozlišujeme rovnováhu v labilní poloze (těžiště se nachází nad bodem opory) a za relativního pohybu (dynamická rovnováha). Z hlediska působící soustavy vnějších sil hovoříme o rovnováze v tzv. oporové a bezoporové situaci. Oporovou situaci rozumíme stav kdy je závodník v kontaktu s podložkou a působí soustava vnějších sil a momentů vnějších sil definovaná na obr. 3. Bezoporová situace je stav kdy se závodník nedotýká povrchu (letová

Moment síly definujeme jako součin síly a ramene síly, kde rameno síly je kolmá vzdálenost od bodu otáčení ke směru působící síly. Moment síly vyjadřuje otáčivý účinek síly působící na těleso a vzniká v situaci, kdy síla působí mimo střed otáčení. Velikost momentu síly vyjádříme vztahem $M = F \cdot r$, kde F je síla a r rameno síly. M je vyjádřen v jednotkách N.m a graficky jej znázorníme jako zakřivený vektor kde šipka znázorňuje směr otáčení.

fáze) a soustava vnějších sil je redukována o reakční sílu a tření. Uvedené dvě situace jízdy jsou z hlediska řešení rovnováhy kvalitativně odlišné a vyžadují odlišný způsob korekcí rovnovážného stavu.

Rovnováha v oporové situaci

Při jízdě je nutno řešit rovnováhu v rovině předozadní (sagitální) a rovině bočné (frontální). Objasnění základních zákonitostí řešení rovnovážné polohy lyžaře bude demonstrováno při přímé jízdě v rovině předozadní.

Rovina sagitální – předozadní

Řešení rovnováhy při pohybech v rovině sagitální je náročnější než v rovině frontální. Neustálé změny v soustavě působících sil se při jízdě odehrávají především v předozadním směru. Mění se sklon svahu (síla F_1), tření (síla T) a odpor prostředí (W). O výsledné úrovni rovnováhy v daném směru rozhodují tři oblasti faktorů.

Momenty vnějších sil

Na obr. 3 je znázorněna soustava vnějších sil a momentová situace vnějších sil působících v rovině sagitální. Pohybový systém lyžaře můžeme charakterizovat jako flexibilní soustavu hmotných segmentů (kinematický řetězec) a střed otáčení v předozadním směru lokalizovat do oblasti kotníků (bod O). Jednoznačný smysl otáčení vytváří momenty sil M_W a M_{F1} .

Moment M_{F1} působí souhlasně ve směru rotace těla vpřed. Moment M_W vytváří otáčivý účinek těla směrem vzad. Smysl rotace momentu M_{F2} a M_T' již není tak jednoznačný. Působení M_{F2} závisí na kolmém průmětu síly F_2 na podstavu, jinými slovy na předozadní lokalizaci těžiště těla. Jestliže F_2 směřuje před bod O , vzniká rotace směrem vpřed, v opačném případě směrem vzad. V situaci průmětu F_2 do bodu O tato síla nevytváří otáčivý účinek. Moment M_T' může působit v obou směrech podle změny velikosti tření. Při snížení tření působí směrem vzad, při zvýšení hodnoty tření působí vpřed.

V situaci stabilizovaného postoje, (tj. rovnovážná poloha) zaujme lyžař postavení, při němž se působení všech momentů vnějších sil vzájemně ruší. Z lyžařské praxe víme, že ke stabilizaci vnějších sil dochází pouze výjimečně a během velmi krátkého časového úseku (např. při jízdě na hladkém svahu o konstantním sklonu). Ve většině pohybových situací se neustále mění velikost i směr působících sil, v případě síly W i její působíště (změnou postoje lyžaře). Neustále dochází k porušování základní podmínky rovnováhy a vzniká rotace těla kolem bodu O ve směru vpřed nebo vzad. Na změny v rovnováze je nutno reagovat přiměřenými pohybovými akcemi, které plynule „doladují“ základní podmínku rovnováhy. Hovoříme o průběžném „boji o rovnováhu“. Úspěšnost obnovování rovnováhy je závislá na:

- rychlosti reakce na změněnou situaci (zpožděná reakce prohlubuje nerovnováhu a návrat do stabilní polohy trvá déle);
- optimální silové akci, tj. přiměřeném svalovém úsilí, které opět vede ke získání rovnovážného stavu.

Odchytky od optima silových korekcí v poloze těla opět vedou k prodloužení doby obnovení rovnovážného stavu a prohlubování situace nerovnováhy.

Momenty vnitřních svalových sil

Korekční pohybové akce, kterými lyžař „doladuje“ rovnováhu při jízdě, tvoří složitý komplex svalových činností, převážně izometrického charakteru. Porušení rovnováhy je korigováno zvýšeným napětím svalových skupin, které vytváří vyšší úroveň momentů působících svalových sil. Změny ve svalovém napětí probíhají na všech úrovních jednotlivých článků otevřeného kinematického řetězce lidského těla. Při určitém zjednodušení, kdy budeme uvažovat otáčení těla jako celku kolem bodu opory (oblast hlezenního kloubu), můžeme silovou činnost lyžaře vyjádřit ve formě protichůdného působení momentů svalových sil.

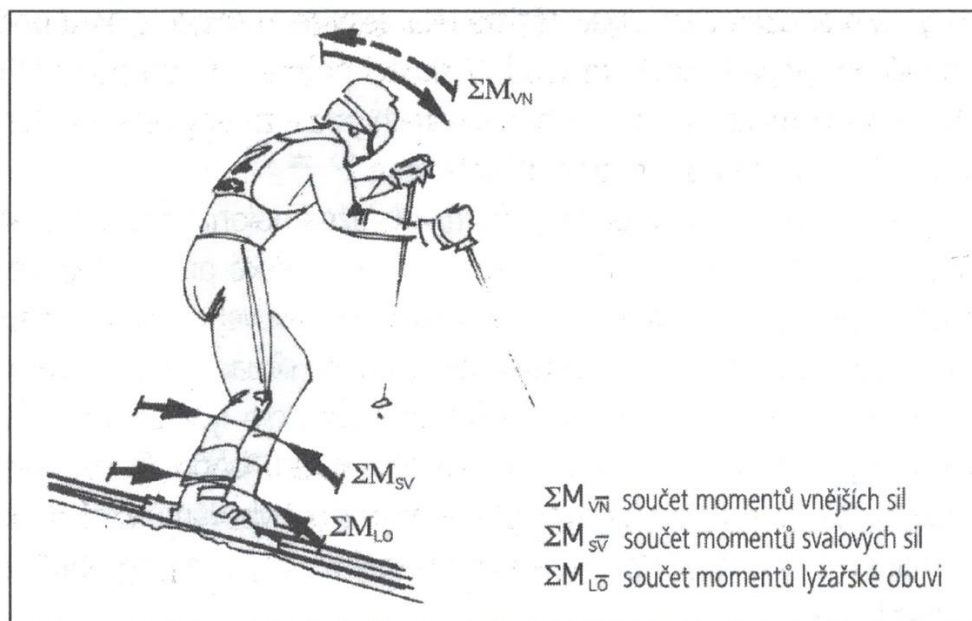
V sagitální rovině působí dva základní momenty sil. Moment působení výsledné svalové síly svalových skupin bérce a chodidla vzhledem k bodu otáčení O způsobující rotaci bérce vpřed. Moment působení tříhlavého svalu lýtkového a svalových skupin plantárních flexorů nohy ovlivňuje rotaci bérce směrem vzad. Oba definované momenty svalových sil jsou základními korekčními mechanismy, kterými lyžař reaguje na porušení rovnováhy vnějších sil a doladuje rovnovážný postoj. S ohledem na anatomickou stavbu lidského těla je evidentní, že moment rotující tělo vzad je větší, než moment způsobující rotaci těla vpřed. Prakticky to znamená při ztrátě rovnováhy účinnější kompenzaci pohybu těžiště těla směrem vpřed svalovými silami než při pohybu těžiště těla vzad.

Momenty pasivních odporů lyžařské obuvi

Lyžařská obuv vytváří relativně pevné spojení lyžaře s lyžemi. Pojem „relativní“ znamená, že v rovině frontální je spojení téměř pevné vlivem konstrukce lyžařské obuvi (pomineme-li

deformaci měkkých částí těla), ale v rovině sagitální má bérce určitou míru volnosti pohybu vpřed i vzad. Interakce lyžaře v oblasti nohy a částečně bérce s lyžařskou obuví je velmi složitá a zajišťuje přenos svalových sil na lyži. Pasivní odpor lyžařské obuvi je třeba chápat jako rezervu pro korekce postojů v extrémních situacích při porušení rovnováhy. Zvláště u začátečníků je nutné preferovat jako základní a rozhodující mechanismus korekce poloh těla působení svalových sil.

Celkový pohled na tři základní mechanismy, které ovlivňují rovnováhu lyžaře v sagitální rovině, je znázorněn na obr. 9.



Obr. 9 Mechanismy ovlivňující rovnováhu lyžaře

Souhrnně lze konstatovat:

- porušení rovnovážného stavu je vyvoláno změnami v soustavě momentů vnějších sil;
- hlavním korekčním mechanismem porušené rovnováhy jsou momenty svalových sil;
- v extrémních situacích se na obnovení rovnováhy podílejí momenty pasivních odporů lyžařské obuvi.

Rovnováha v bezoporové situaci

Bezoporová situace, (tzv. let vzduchem) nastává v okamžiku, kdy lyžař přeruší kontakt s podložkou – terénem a končí v okamžiku opětovného získání opory. Náhle dochází ke změnám v soustavě působících sil, přestává působit FR a T. Pohyb lyžaře v bezoporové fázi je ovlivňován zákonitostmi volného pádu (tíhová síla G) a aerodynamickými silami. Dráha letu lyžaře má charakter různých variant šikmých vrhů. Při opětovném získání kontaktu s podložkou dochází opět skokem ke změně v soustavě sil a rovnováhu opět ovlivňují síly FR a T.

Ve sjezdovém lyžování dochází k bezoporovým situacím dosti často. Za bezoporovou fází lze také považovat velmi krátké časové úseky (řádově 0,1 až 0,2 sekundy), kdy lyžař přejíždí přes drobné terénní nerovnosti nebo napojuje krátké slalomové oblouky. Rovnováha lyžaře

v těchto krátkých bezoporových časových úsecích je determinována úrovní rovnováhy před zahájením bezoporové situace. Při letu vzduchem v tak malém časovém úseku je možnost korigovat rovnováhy pohybovou činností prakticky zanedbatelná.

Za bezoporové situace v pravém slova smyslu budeme považovat takové stavy, kdy lyžař letí vzduchem delší časový úsek (0,3 sekundy a více) a pohyb soustavy lyžař-lyže má charakter šikmého vrhu. V takových případech má možnost pohybovými akcemi zasáhnout do korekcí v rovnováze. Jedná se především o přejezdy větších terénních nerovností ve velkých rychlostech, kdy lyžař ztratí kontakt s podložkou, přejezdy terénních zlomů apod.

Z pohybového hlediska se může sjezdář dostat do bezoporové situace různými mechanismy, např.

- volní silovou akcí (odrazem aktivně zahájit let – např. při předskoku);
- pasivně přejet terénní nerovnost s cílem přechodu do letu;
- nechtěná a nečekaná ztráta kontaktu s podložkou při chybném najetí určitého úseku tratě.

Zákonitosti zachování rovnováhy v bezoporové fázi jsou totožné se zákonitostmi pro oporovou situaci. Zásadní rozdíl nastává v bodě rotace soustavy. V oporové fázi uvažujeme o rotaci těla kolem bodu opory, tj. oblast hlezenního kloubu. V bezoporové situaci soustava lyžař-lyže rotuje kolem bodu, který je dán společným těžištěm této soustavy. Základní podmínka rovnováhy znamená, že v průběhu letu soustava nerotuje a úhlová rychlost rotace je nulová. Objasnění podstaty rovnováhy v bezoporové situaci a pohybové mechanismy jeho řešení by značně překročilo poskytnutý publikační prostor (této problematice se budeme věnovat v dalších materiálech).

Prof. PhDr. František Vaverka, CSc.