

BIOMECHANICKÁ STRUKTURA PÁDOVÝCH TECHNIK

Biomechanical structure of falling techniques

Zdenko Reguli

Abstrakt:

Autor se zabývá biomechnikou pádové techniky a navrhuje biomechanickou strukturu pádové techniky. Tyto fáze jsou iniciace, padání, dopad a podopadová poloha. Jednotlivé fáze jsou dokladovány výzkumnými pracemi s uvedením důležitých biomechanických vztahů. Z hlediska protiúrazové zábrany je důležité věnovat se fázi dopadu a přehodnotit metodiku výuky pádové techniky podle vědeckých důkazů.

Klíčová slova: Biomechanické struktura, pád, pádová technika, fáze pádových technik.

Summary:

Author describes biomechanics of falling techniques and suggests biomechanical structure of falling techniques. Phases of biomechanical structure of falling techniques are initiation, falling, impact and after fall position. Single phases are grounded on cited research works with describing of important biomechanical relations. It is important to give impact phase a thought from the preventing injuries point of view. It is needed to re-evaluate teaching of falling techniques to more evidence based training.

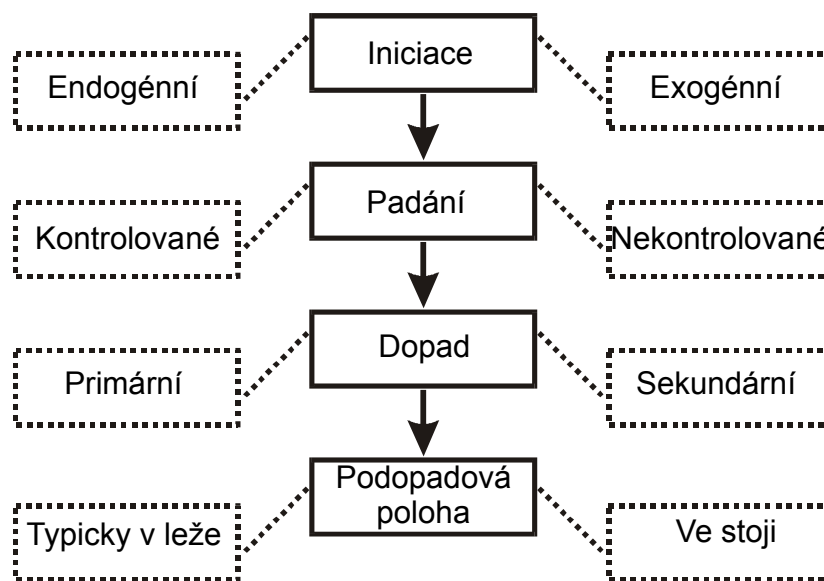
Key words: Biomechanical structure, fall, falling techniques, phases of falling techniques.

Úvod

Biomechanice pádů ve sportu nebyla věnována dostatečná pozornost. Jednotlivé sporty preferují výzkum dominantní činnosti, ostatní zanedbávají. Například ve fotbalu je častým předmětem sledování výkop míče, další důležité součásti fotbalu jsou

v biomechanickém výzkumu zanedbávány, pády nevyjímajíc. Tento názor sdílejí i Lees a Nolan (1998), kteří provedli rozsáhlý výzkum publikací o biomechanice fotbalu.

U biomechanické struktury pádových technik (obr. 1) vycházíme z biomechanické struktury pádu zejména podle Strause (2004) a Cartera et al. (2001), kteří se ale pády zabývali z hlediska forezního, či biomedicínského. U pádové techniky jsou podle našeho názoru akcentovány zejména fáze dopad a podopadová poloha.



Obr. 1: Biomechanická struktura (fáze) pádové techniky

Musíme zde uvažovat o čtyřech fázích pádové techniky. Nejdřív je to porušení rovnovážného stavu, které z hlediska mechanického vyplyne účinkem gravitační síly, případně i jiných sil do samotného pádu. Dále je to fáze kontaktu s podložkou a pak fáze zastavení pohybu, který padající ukončí obnovením stoje, nebo zastavením v dopadové poloze. I když je pádová technika komplexním jevem, ve kterém jednotlivé fáze na sebe navazují, každá další fáze je zapříčiněná předcházející. V dalším textu podrobněji rozebereme jednotlivé fáze.

1. iniciace (příčina pádu, nerovnováha)
2. padání (akcelerace)

3. dopad (kontakt s podložkou, decelerace)
4. podopadová poloha (obnovení rovnováhy)

Iniciace

Rovnováha je takový stav tělesa, kdy silové pole tvořené všemi působícími silami způsobuje klidový stav („nepohyb“, $v = 0$, tj. statická rovnováha), nebo pohyb rovnoměrný, přímočarý ($v = \text{konst.}$, dynamická rovnováha). Aby byl dosažen tenhle stav, musí platit podmínka rovnováhy: součet všech působících sil a silových momentů musí být roven nule ($\sum F_i = 0$).

U fáze iniciace rozlišujeme vnější, či vnitřní podnět k pádu, či jejich kombinaci. Pádové techniky se týká zejména zlepšení vnitřních podmínek. Rozdělujeme tak pády na

- záměrné (úmyslné, s vnitřním podnětem k pádu)
- nechtěné (neúmyslné, s vnějším podnětem k pádu)
 - s vlastním zaviněním
 - s cizím zaviněním (jiné osoby, či předmětu)

Pád nastane v důsledku narušení rovnovážného stavu z vnitřních, nebo vnějších příčin. Pro pád je důležité působení gravitační síly. Obecné příčiny pádů vzhledem k definovaným pojmům a praktické zkušenosti podle Roubíčka (1967) jsou:

- přerušení oporové plochy (zrušení dotyku – styku s podložkou):
 - zrušením – oddělením podstavy tělesa od podložky, resp. u lidského těla úplným přerušením způsobu opory o podložku.
 - zrušením (odstraněním, poškozením apod.) samotné podložky
- přerušení závěsu se závěsnou plochou
 - zrušením (příp. poškozením, uvolněním) závěsu, resp. způsobu závěsu.
 - zrušením vlastní závěsné základny (závěsny – závěsné plochy)
- porušení oporové plochy (dotyk s podložkou zůstává)
 - porušením způsobu opory o podložku, resp. styku s podložkou.
 - porušením samotné podložky (např. posunutím, změnou povrchu).

V jednotlivých případech je zřejmá příčinná souvislost. Příčiny se mohou kombinovat, jedna plyne ze druhé. Tyto příčiny vzniku pádů mohou mít společné charakteristiky i s průběhem jiných činností, které nemají charakter pádů.

Jedním z faktorů stability postoje je i velikost plochy opory. Je dokumentováno několikanásobně vyšší riziko pádu ze stoje na jedné noze, než ze stoje na obou nohách. Wolf a Gregor (1999) z tohoto důvodu hodnotili změny v schopnosti udržet rovnováhu po intervenčním programu založeném na cvičení čínského bojového umění tchaiti. Zjistili významné rozdíly ve prospěch cvičících.

Iniciace pádu může záviset i od rychlosti lokomoce. Experiment s dynamickým a kinematickým měřením charakteristik pohybu při vstávání ze židle, který Carr et al. (2002) provedla s mladými, zdravými lidmi ve věku od 18 o 30 let potvrzuje, že zrychlení nebo zpomalení pohybu proti subjektivně optimálně rychlému pohybu při vstávání ze židle může zvýšit riziko pádu.

Ukazuje se, že je potřeba věnovat se více úloze využití reakční síly při zrychlení pohybu dolních a horních končetin při pádu. Marigold, Bethune a Patla (2002) srovnávali kinematické, optické a elektromyografické údaje získané při neočekávaném podklouznutí testovaných osob. Zjistili, že všechny testované osoby prokázali podobné a u každého dalšího pokusu se zlepšující reakce (účelový švihový pohyb) při využití dolních a horních končetin pro udržení rovnováhy.

Padání

Fázi padání (z hlediska forenzní biomechaniky) se do hloubky zabýval Straus (2004). Pády rozděluje podle výšky, ze které osoba padá. Tuto klasifikaci považuje za základní z hlediska biomechaniky:

- volný pád – je pád z výšky víc než 152 metrů.
- pád z výšky – je pádem z výšky do 152 metrů.
- pád ze stoje – je takovým pádem, u kterého padající dopadá na podložku,

ze které předtím ztratil rovnováhu.

Volný pád je pád z výšky víc než 152 metrů. Je to hraniční výška, která byla, jak píše Straus (2004) experimentálně určena jako nejvyšší výška, ze které můžeme uvažovat o pádu jako o pohybu rovnoměrně zrychleném. Od výšky 152 metrů je odpor vzduchu tak velký, že se vyrovnává se zrychlením, takže rychlost pádu je konstantní. Pád z výšky je pádem z výšky do 152 metrů. Odpor vzduchu zde zanedbáváme a o pádu uvažujeme jako o rovnoměrně zrychleném pohybu. Dále rozeznáváme volný pád z výšky a stupňovitý (kaskádovitý), u kterého tělo padajícího dopadá postupně na plochy v různé výšce. Pád ze stoje je takovým pádem, u kterého padající dopadá na podložku, ze které předtím ztratil rovnováhu.

U volného pádu může člověk, který pád zahájil v určité poloze těla, tuto polohu měnit aktivní činností končetin a celého těla. Od okamžiku odrazu, nebo opuštění opory do okamžiku dopadu může padající získat několik zásadních poloh (Straus et. al, 2004):

- vertikální – hlavou dolů, nebo nohama dolů
 - horizontální – čelem dolů nebo zády dolů
- nebo polohu více, či méně se přibližující k těmto dvěma polohám

Pokud padající aktivně pohybuje končetinami a tělem, může v čase padání nabývat různé polohy, které ovlivňují polohu těla v okamžiku dopadu. Dále rozlišujeme druhy pádů podle přítomné, či nepřítomné rotace těla:

- pády s rotací
- pády bez rotace

Rotace při pádu může nastat z různých příčin účinkem vnitřních sil (aktivní skok s rotací, pohyby končetinami a podobně), nebo vnějších sil.

K biomechanice pádů je nezbytné sledovat i výskyt pádů. Ellis a Trent (2001) sledovali záznamy úrazů u dospělých hospitalizovaných osob dvacetiletých a starších, způsobenými pády (n=242 166) z Kalifornských úrazových nemocnic v letech 1995 až 1997. Námi uvažované pády, tj. na rovné podložce byly příčinou úrazů až u 41% pacientů. Studie se bohužel nezabývá tím, na jaký povrch pacienti v jednotlivých skupinách upadli.

Domníváme se, že kontrolovaná pádová technika může výrazněji ovlivnit výsledek pádu zejména u pádu ze stoje. U ostatních pádů nabývají síly příliš velkých hodnot. Uvedený výzkum četností pádů podle jejich typu uvádí, že pádů ze stoje je více než 40% všech pádů u kterých byl způsoben úraz (Ellis, Trent, 2001). Pádů blízkých k pádu ze stoje (například pád ze židle, ze žebříku, ze zařízení hřiště apod.) je víc než jedna desetina ze všech pádů. To nás ujišťuje v úvaze zabývat se pádovou technikou ze stoje.

Dopad

„Deformace a destrukce těla v okamžiku dopadu se neřídí zcela podle zákonů mechaniky a fyziky, lidské tělo je značně elastické, má různý stupeň pružnosti a v těchto důsledcích se snižuje síla úderu a destrukce“ (Straus, 2004, s. 26). Právě fáze dopadu se zdá být klíčová, protože právě tohle je fáze, ve které je padající ohrožen možným zraněním. V úpolech se zabýváme zejména touto fází. Předcházející fáze jsou příčinou kontaktu s podložkou, následující fáze je jejich následkem.

Základní vzorec pro výpočet tzv. dopadové energie podává Gunther (2000). Podle tohoto základního vztahu je dopadová energie (DE) přímoúměrná hmotnosti padajícího (m) a druhé mocniny rychlosti (v) a nepřímo úměrná času dopadu (t) a ploše dopadu (a).

$$DE = \frac{mv^2}{ta}$$

Lyons a Oates (1993) sledovali záznamy 207 hospitalizovaných dětí, které spadli z postele s ohrádkou při přelézání na podlahu. Zajímavé je porovnání síly nárazu u dětí, které při pádu utrpěly zranění s dětmi, které zůstali bez zranění. Síla nárazu byla určena nepřímo podle známé výšky pádu a hmotnosti. U některých věkových kategorií nezjistili signifikantní rozdíl v hodnotě síly nárazu. Vysvětlujeme si to odlišným způsobem pádu – až v dvaceti šesti případech ze 62 byla poraněná hlava (tj. při pádu došlo k nárazu hlavy o podložku). Způsob padání tedy výrazně ovlivňuje možný vznik úrazu.

Kim (in Quick, 2003) studoval způsob padání mládeže a seniorů u iniciovaného pádu vzad. Padající instruoval, aby pád tlumili zapažením a dopadem na dlaně obou rukou. Zjistil, že senioři paže extendují, čímž se zvyšuje síla nárazu 10 až 15 krát oproti mládeži, která padá s pažemi pokrčenými v loktech, čímž zpomaluje pád a plynule ho

tlumí. Podobně významné rozdíly nacházíme mezi osobami trénovanými v pádových technikách a osobami netrénovanými. Pád vzad se zaražením (uširo ukemi) je jedním ze základních pádů v džúdó. To přimělo trojici autorů Miura, Takeuchi a Ono (2001) zjistit kinematické rozdíly mezi mužem trénovaným v džúdó (4. dan) a netrénovaným mužem. Netrénovaná osoba, na rozdíl od trénované, padala s flexovaným trupem vpřed, takže nesnížila rychlost pádu, rotovala vzad a snažila se „chránit“ hlavu předklonem, čímž mohla ohrozit krční páteř.

U přímých pádů, kde není možné pokračovat převratem, nebo převalem je rozhodující zaražení pažemi, které má tlumit impakt těla s podložkou. Dovednost efektivnějšího zaražení je dána celkovým stavem fyzické připravenosti. Rozdíly mezi mladými ženami a seniorkami studoval Robinovitch et al. (2005). I když byla reakční doba u obou skupin stejná, pohyb mladých žen směrem k podložce byl rychlejší. Dále pak záleží na způsobu zaražení pažemi, způsobu tlumení pádu.

Sabick et al. (1997) sledovali 9 aikidistů s různou úrovní zkušeností s aikidó. Podle jejich zjištění impakt těla klesal lineárně s prodlužováním intervalu zaražení. Potvrdilo se, že aikidisté s vyšší úrovní dovedností v aikidó významně lépe využívají zaražení paží a zmenšují tak impakt v okamžiku dopadu ($r=-0,73$, $p<0.01$).

Z biomechanických sledování plynou závěry, které potvrzují i dřívější názory (Reguli, 2000, Roubíček 1967, 1970) že dopad u správně provedené pádové techniky musí být charakterizován:

- rozložením síly na plochu
- rozložením síly v čase

Podopadová poloha

V podopadové poloze rozlišujeme v zásadě dvě možnosti ukončení pohybu:

- v leže (nebo v jiné mimopostojové poloze na podložce)
- ve stoje

Pokud padající u dopadu zastavuje pohyb do lehu, teoreticky až do nulové rychlosti, rychlost zastavení pohybu je přímo úměrná vyvinuté síle v časovém intervalu

brždění pohybu a nepřímo úměrná hmotnosti. Pro úplné zastavení pohybu tedy padající potřebuje vyvinout dostatečně velkou sílu po dobu dostatečně dlouhého časového intervalu ($\Delta v = F\Delta t/m$). Další důležitou charakteristikou pádů končících v podopadové poloze v leže je snaha o udržení co největší plochy opory, aby nedocházelo k sekundárním zraněním při přetočení těla.

V mnoha případech je padající vnějšími okolnostmi přinucen ukončit pád v leže. Ve sportu je častý přechod z pádu pomocí pádové techniky zpět do stoje tak, aby sportovec mohl pokračovat ve sportovním výkonu. Schopnost rychlého (okamžitého) zaujetí postoje je i ideální dovedností v bojových uměních.

Závěry

Je nespochybnitelné, že pádová technika patří mezi důležité pohybové dovednosti (Reguli et al., 2007, Bartík, 2006, 1999). Dosavadní praxe čerpala zejména z různých úpolových sportů a bojových umění (Vít, 2005, Cynarski, Momola, 2006). Pochopení biomechanické struktury pádových technik je krucální pro tvorbu metodiky nácviku pádových technik. Biomechanická struktura pádové techniky je zkonstruovaná ze čtyřech navazujících fází: iniciace, padání, dopad a podopadová poloha. Je nevyhnutelné zabývat se podrobněji jednotlivými fázemi pádové techniky. Z hlediska úrazové prevence je důležité dále rozvíjet bezpečnější techniku zejména ve fázi dopadu. Stejně tak je potřeba zjistit, jak se jednotlivé fáze projevují v pádových techních různých, i neúpolových sportů.

Literatura

- BARTÍK, Pavol. *Úpolové cvičenia a hry na 1. stupni základnej školy*. Banská Bystrica : Univerzita Mateja Bela 1999. 1. vydanie 88 s. ISBN 80-8055-285-1
- BARTÍK, Pavol. *Úpoly na 2. stupni základnej školy*. Banská Bystrica : Univerzita Mateja Bela, 2006. 136 s. ISBN 80-8083-332-X
- CARR, Janet H. et al. 2002. *Some biomechanical characteristics of standing at three different speeds: Implications for functional training*. In *Physiotherapy Theory and Practice*, 2002;18:47-53

- CARTER, Nick D. et al. *Exercise in the prevention of falls in older people: A systematic literature review examining the rationale and the evidence*. In *Sports Med.*, 2001, 31(6), s. 427 - 438
- CYNARSKI, J. W., MOMOLA, I. *Bezpieczne pady na lekji wychowania fizycznego*. In *IDŃ Movement for culture*, vol. 7, 2007, s. 124 -131. ISSN 1730-2064
- ELLIS, Arthur A., TRENT, Roger B. *Do the risks and consequences of hospitalized fall injuries among older adults in California vary by type of fall*. In *Journal of gerontology: Medical sciences*, 2001, vol. 56A, No. 11, s. M686 – M692.
- GUNTHER, Wendy. *The Physics of Ukemi*. In SHIFFLETT, C. M. *Aikido: Exercises for Teaching and Training*. Merryfield : Round Earth Publishing, 2000. 280 s. ISBN 1-55643-314-x. s. 121
- LEES, Adrian, NOLAN, Lee. *The biomechanics of soccer: A review*. In *Journal of Sports Sciences*, 1998;16:211-234
- LYONS, Thomas J., OATES, R. Kim. *Falling out of bed: A relatively benign occurrence*. In *Pediatrics*, 1993, 92, s. 125 – 127. ISSN 0031-4005
- MARIGOLD, Daniel S., BETHUNE, Allison J., PATLA, Aftab E. 2003. *Role of the unperturbed limb and arms in the reactive -recovery response to an unexpected slip during locomotion*. *J Neurophysiol*, 2003;89:1727–1737
- MIURA, Shuji, TAKEUCHI, Hokao, ONO, Katsutoshi. *A Study on The Stages of The Mastery in The Technique of USIRO-UKEMI*. 2nd IJF World Judo Conference in Munich, Germany. Oral presentation on Tuesday, 24 July 2001. http://www.ijf.org/research/Download.php?FilePath=/BoardUploadFiles/Pos001/upload/&FileName=2001_24.doc (2007-05-07).
- QUICK, Susane. 2003. *Falling study aims to keep seniors safe*. In *Milwaukee Journal Sentinel* 2003. http://www.onwisconsin.com/redirect/js_top_promo.asp (2003-03-02)
- REGULI, Zdenko - ĎURECH, Miroslav - VÍT, Michal - BARTÍK, Pavol. *Teorie a didaktika úpolů ve školní tělesné výchově*. Brno : Masarykova univerzita, 2007. 88 s. ISBN 978-80-210-4318-3

- REGULI, Zdenko. *Teoretické východiská pádových technik*. In Využitie pohybových štruktúr úpolov v iných pohybových aktivitách. Bratislava : FTVŠ UK, 2000. od s. 51-56, 6 s. ISBN 80-223-1551-6
- ROBINOVITCH et al. *Time Requirement for Young and Elderly Women to Move Into a Position for Breaking a Fall With Outstretched Hands*. In Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES 2005, Vol. 60A, No. 12, 1553-1557
- ROUBÍČEK, Vladimír. *Pády, jejich výskyt a uplatňování, pádové úrazy, metodika nácviku*. Praha : Universita Karlova 1967, 93 s.
- ROUBÍČEK, Vladimír. *Technika pádů jako prostředek úrazové prevence*. Praha : Universita Karlova 1970, 93 s.
- SABICK, et al. *Effect of active responses on peak impact force in falls to the side*. Proc. 21th Annual Meeting, American Society of Biomechanics, 1997. <http://asb-biomech.org/onlineabs/abstracts97/33> (2006-05-14)
- STRAUS, Jiří et al. *Biomechanika pádu z výšky*. Vydavatelství PA, Praha : 2004. 88 s. ISBN 80-7251-149-1
- VÍT, Michal. *Aikibudó: Bojová umění jako sportovní aktivita mládeže*. In Sport a kvalita života. 1. vyd. Brno : Masarykova univerzita, 2005. s. 152. ISBN 80-210-3863-2
- WOLF, Steven L., GREGOR, Robert J. *Exploring unique applications of kinetic analyses to movement in older adults*. In Journal of applied biomechanics 1999;15,75-83