

Kriminalistické a forenzní hodnocení pádu ze schodů

Criminological and forensic evaluation of a fall from the stairs

JIŘÍ STRAUS¹

Abstrakt

Text se zabývá rizikem pádů, zejména ze schodů, a jejich důsledky pro různé věkové skupiny. Zmiňuje příčiny pádů, jako je ztráta rovnováhy či vnější síla, a popisuje biomechanické a kriminalistické aspekty jejich analýzy. Dále se věnuje využití počítačové simulace v rekonstrukci pádů, poskytující přesnější analýzu a objasnění příčin. Příklady z praxe ilustrují, jak simulace pomáhá objasnit okolnosti a důsledky pádů.

Klíčová slova

kriminalistika, forenzní biomechanika, pády z výšky, počítačová simulace

Abstract

The text discusses the risk of falls, particularly down stairs, and their consequences for different age groups. It mentions causes of falls, such as loss of balance or external forces, and describes the biomechanical and forensic aspects of their analysis. Additionally, the text covers the use of computer simulation in fall reconstruction, offering a more precise analysis and clarification of causes. Practical examples illustrate how simulation helps clarify the circumstances and consequences of falls.

Key words

criminalistics, forensic biomechanics, height falls, computer simulation

DOI

<http://dx.doi.org/10.37355/fvpk-2024/1-05>

1 Úvod

Riziko pádu je často předpovídáno faktory souvisejícími s osobou, prostředím a úkolem. Zdá se, že schodištvé pády představují vysoký podíl pádů, zejména u dospělých středního věku, a vedou k neúměrně vysokému riziku úmrtí nebo vážným zraněním, o nichž je známo, že vedou k dlouhodobému postižení a vysokým ekonomickým nákladům. Laboratorní kineziologické studie široce charakterizovaly biomechaniku pohybu jak

¹ prof. PhDr. Jiří Straus, DrSc., Katedra kriminalistiky a forenzních disciplín, Vysoká škola finanční a správní, a.s.

v případě mladších osob, tak při pohybu starších osob². Pády ze schodů závažným problémem u starších osob. Významným faktorem jsou pády ze schodů z forenzního hlediska, k pádu může dojít spontánním pohybem, ztrátou rovnováhy, nekoordinovaným pohybem nebo mohou být zaviněny vnější silou (strčením, úderem, kopem).

Obvykle lze v případě úrazů požádat o rekonstrukci dynamiky nehodového děje, pádu z výšky nebo pádu ze schodů. Pády ze schodů představují hlavní příčinu náhodné smrti u starších dospělých³. K okolnostem pádu schodiště často patří zapojení rizikové chování člověka, jako je přenášení předmětů na schodech, chůze po schodišti v ponožkách nebo silonových punčochách nebo nepoužívání zábradlí. Z rozborů videozáznamů pádů na schodech bylo zjištěno, že 41 % pádů ze schodů se časově shoduje s rozptýlenou pozorností, bočním pohybem, změnou opory o zábradlí nebo reakcí na vnější podněty⁴. Výzkumy potvrdily uvedené příčiny pádu u 91 % mladých dospělých a 57 % starších osob⁵.

2 Pády ze schodů

Při kriminalistickém a zejména biomechanickém posuzování pádů lidského těla ze schodů uvažujeme poměrně často o pádu těla s přiloženou vnější silou. Termín přiložená síla či působící síla označuje sílu, která působí na lidské tělo v okamžiku počátku pohybu těla, a může ji vyvinout sám člověk, který padá, svým pohybem, nebo jiná osoba, která na něj působí silou. Lidské tělo se při pádu chová jako otevřený kinematický řetězec. Z hlediska kriminalistiky jsou důležité stopy na těle padající osoby, na lidském těle a oblečení jsou časté nálezy stopy prachu, poškození určité povahy a lokalizace zranění.

Experimentální studie biomechaniky pádu ze schodů umožňují rekonstruovat průběh pádu a identifikovat charakteristická zranění pro tento typ pádu⁶. Při pádu ze spodních stupňů schodiště dochází ke kolizi s plochou rovinou schodiště. Při pádu ze středních schodů (zejména v horní poloze) se trup ohýbá podél obrysu úhlu tvořeného schodištěm. Při pádu z horních schodů naráží celé tělo na šikmou žebrovanou plochu schodiště a poté sklouzává dolů. To činí zásadní rozdíly v úrazech při pádu na schodech jak mezi těmito skupinami, tak ve vztahu k jiným typům pádů. U zranění způsobených pádem ze schodů, na rozdíl od úderů tupými tvrdými předměty, jsou nejcharakterističtějšími znaky poranění

2 JACOBS, V. A review of stairway falls and stair negotiation: Lessons learned and future needs to reduce injury, *Gait & Posture*, Volume 49, 2016, pages 159-167, ISSN 0966-6362.

3 JACOBS, V. A review of stairway falls and stair negotiation: Lessons learned and future needs to reduce injury, *Gait & Posture*, Volume 49, 2016, pages 159-167, ISSN 0966-6362.

4 STARTZELL, J. K., OWENS, D. A., MULFINGER, L. M. & CAVANAGH, P. R. Stair negotiation in older people: a review. *Journal of the American Geriatrics Society*, 48(5), 2000, 567-580.

5 ACKERMANS, H., FRANCKSEN, N., LEES, C., PAPATZIKA, F., ARAMPATZIS, A., BALZOPOULOS, V., LISBOA, P., HOLLANDS, M., O'BRIEN, T., MAGANARIS, C. Prediction of Balance Perturbations and Falls on Stairs in Older People Using a Biomechanical Profiling Approach: A 12-Month Longitudinal Study, *The Journals of Gerontology: Series A*, Volume 76, Issue 4, April 2021.

6 AVDĚJEV, A.I. Об определении механизма повреждения при падении с лестницы [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.forens-med.ru/book.php?id=3443>

kůže (odřeny, rány, krvácení) hlavy umístěné vodorovně, zlomeniny kostí lebeční klenby s přechodem na základnu; krvácení pod měkkou a tvrdou plenou mozkem, pohmoždění mozku; zlomeniny kostí páteře⁷.

3 Rekonstrukce pádu s využitím počítačové simulace

Při posuzování pádu postupujeme retrospektivně. Tedy známe konečný stav děje a pokoušíme se z dostupných důkazů určit výchozí stav a jeho změny v čase. Avšak u pádů neexistuje jednoznačný vztah mezi konečnou polohou těla a počátečními podmínkami skoku. Jinými slovy stejného místa dopadu i polohy těla lze dosáhnout mnoha různými způsoby pohybového chování osoby. Kriminalistické metody nám tedy mohou pouze poskytnout informaci, zda předpokládaný průběh pádu je biomechanicky přijatelný nebo ne⁸. K objasnění některých hypotéz, jak ke skoku nebo pádu došlo a zda je takový pohybový mechanismus vůbec možné uskutečnit, je nutné provést mnoho výpočtů, které mohou být složité a časově náročné.

V těchto případech lze velmi dobře využít počítačovou simulaci, jež dokáže rychle a přesně spočítat různé druhy pádů a tak určit, zda výsledek pádu odpovídá skutečnosti, případně který z průběhů pádů je pravděpodobnější. Navíc počítačová simulace může zahrnovat i interakci těla s dalšími objekty během pádu, jako například dopad na nějaký předmět, nebo pád ze schodů. Tím může kriminalistům pomoci lépe zhodnotit počáteční podmínky a průběh pádu, jehož manuální výpočet by byl extrémně náročný a zdlouhavý.

Velmi pozitivní posun v kvalitě kriminalistických experimentů a modelování situací přinesl rozvoj výpočetní techniky. Kriminalisté začali využívat grafickou počítačovou metodu z trojrozměrných dimenzí a to zejména u vražd spáchaných stělnou zbraní, vyhození oběti z oken, sebevražedných skoků z oken či nešťastných pádů z výšky⁹.

Vedle klasických kriminalisticko taktických metod, jako je kriminalistický experiment získává na významu počítačová simulace. Z pohledu forenzní biomechaniky se rozumí zjištění kinematických a dynamických parametrů popisujících pohyb a interakci lidského těla s dalšími objekty na místě činu. To vše v souladu s dostupnými důkazy a výpověďmi svědků, poškozených, případně podezřelých osob.

7 AVDĚJEV, A.I. Об определении механизма повреждения при падении с лестницы [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.forens-med.ru/book.php?id=3443>

8 STRAUS, J. Pád z výšky a počítačová simulace. Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování, 2020.

9 ALERIAN, L. Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.

V literatuře se v posledních letech prezentují možnosti počítačové simulace, někteří autoři využívají model PC Crash, MADYMO, PAM-Crash nebo Virtual Crash^{10, 11, 12}. V poslední době se využívá Virthuman¹³, což není simulační program, ale je spíše škálovatelný model člověka pro použití do SW PAM-CRASH.

Vzhledem k rozvoji vědy a techniky se pro potřeby forenzní biomechaniky jeví jako zpřesnění používaných modelů metoda konečných prvků a vícetělesových systémů. Metoda konečných prvků umožňuje řešit biomechanické problémy, včetně problematiky deformace jednotlivých těles. Metodu konečných prvků využívá např. program PAM-Crash, MADYMO nebo Virthuman. Finanční náročnost pořízení těchto vysoce profesionálních programů a časová náročnost výpočtu je staví do pozice programů využitelných pouze výjimečně na specializovaných pracovištích¹⁴. Pro běžné výpočty pro potřeby forenzní biomechaniky není jejich praktické využití myslitelné.

Vhodné je aplikovat Virtual Crash a PC Crash pro řešení problému forenzní biomechaniky. Jedná se o rychlý, cenově dostupný softwarový nástroj pro rekonstrukci nehod a řešení biomechanických otázek. V tomto programu lze také provádět biomechanickou analýzu vybraných pohybových situací¹⁵. V základních informacích o využití počítačové simulace Virtual Crash je možné nalézt příklad řešení pohybové situace pádu člověka na schodech. V podkladech se jasně uvádí, že Virtual Crash je velmi vhodný softwarový nástroj pro rekonstrukci nehod, dopady chodců, dopady jízdních kol a další biomechanické rekonstrukce¹⁶.

V literatuře byl popsán případ přepadnutí muže přes hranu zábradlí a následný kaskádovitý pád ze třetího podlaží na podlahu, případ byl analyzován jako podrobná studie s využitím počítačové simulace PC Crash¹⁷. Pomocí PC Crash byla provedena řada simulací, což umožnilo stanovit hraniční podmínky. Bylo prokázáno, že tato simulace může přinést cenné informace pro odhalení mechanismu pádu a ověření různých hypotéz.

10 ADAMEC, J., GRAW, M., PRAXL, N. *Numerical Simulation in Biomechanics – A Forensic*. Acta Univ. Palacki. Olomuc, Gymn. 2006, vol. 36, no. 4, 33.

11 <https://www.youtube.com/watch?v=894peo9Wpuo>

12 VÉMOLA, A. *Komplexní hodnocení podpory analýzy silničních nehod simulačním programem*. Habilitační práce, ÚSI VUT Brno, 2008, s. 12-18.

13 PAVLATA, P., VYCHYTIL, J. *Simulace dopravní nehody kloubového autobusu se zaměřením na ohodnocení biomechanické zátěže cestujících*. Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2018. VUT USI Brno, 2018, ISBN 978-80-214-5600-6, s. 194-206.

14 VÉMOLA, A. *Komplexní hodnocení podpory analýzy silničních nehod simulačním programem*. Habilitační práce, ÚSI VUT Brno, 2008, s. 18.

15 <http://www.vcrashusa.com/demobiomechanics2>

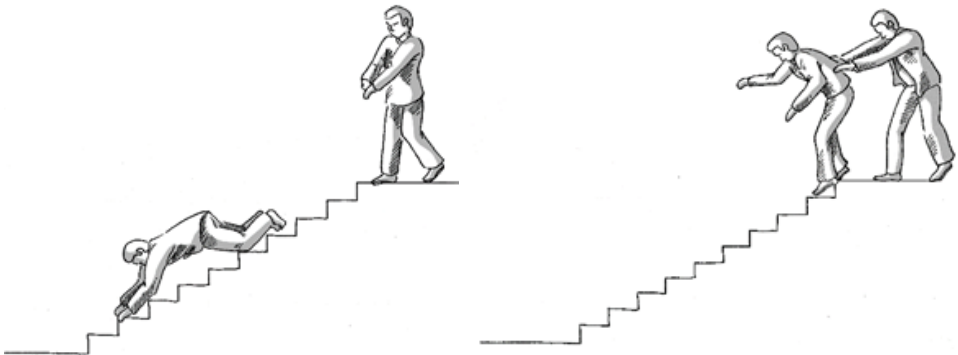
16 <http://www.vcrashusa.com/demobiomechanics2>

17 WACH, W., UNARSKI, J. *Fall from Height in a stairwell – mechanics and simulation analysis*. Forensic Science International. 244, 2014, s. 136-151.

Příklad výpočtu pádu lidského těla s podporou simulačního programu dokumentuje, že při korektních vstupních parametrech lze s pomocí vícetělesového systému velmi dobře modelovat i jiné pohyby, než jsou pohyby při analýze silničních nehod¹⁸.

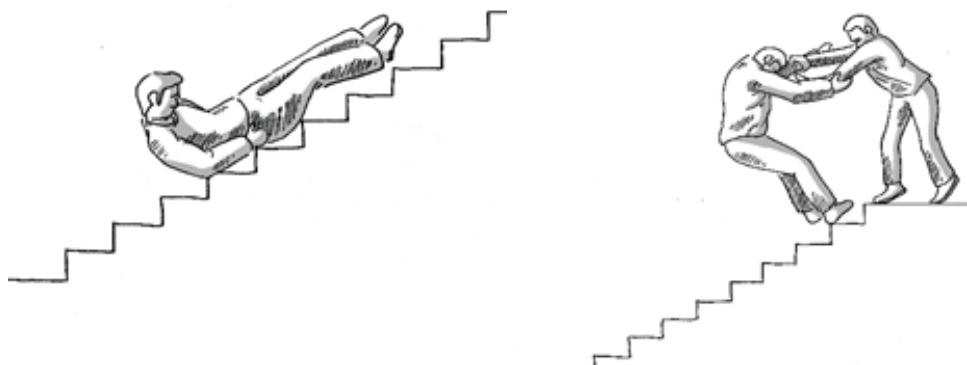
Simulační program Virtual Crash je program nové generace primárně určen pro technické analýzy silničních nehod, stále se zdokonaluje a novější verze simulačního programu je možné jej úspěšně využít i pro řešení biomechanických situací. Rychlý vývoj počítačů a programového vybavení umožňuje čím dál více realizovat komplexní výpočty v reálném čase. Simulační program umožňuje zobrazit výsledky ve 3D pohledech a výstupy mohou být prezentovány mnoha diagramy a tabulkami.

Využití počítačové simulace se velmi vhodně využívá nejen při znaleckém hodnocení pádů z výšky, ale také při hodnocení pádu se schodů. Dosavadní výzkumy biomechaniky pádu osoby na schodišti byly závislé na experimenty s figurínou nebo s dobrovolníky. Takové experimenty jsou vždy spojené s nebezpečím úrazu. Počítačová simulace nabízí široké variování různých pohybových situací, výchozích počátečních podmínek a umožňuje velmi rozsáhlé experimentování. Na obrázcích 1 a 2 jsou schématicky uvedeny některé výsledky experimentů.



Obr. 1: Znázornění pádu těla ze schodů, nákresy byly vytvořeny na podkladě vlastních experimentů, strčení dobrovolníků ze schodů.

¹⁸ VÉMOLA, A, *Komplexní hodnocení podpory analýzy silničních nehod simulačním programem. Habilitační práce, ÚSI VUT Brno, 2008, s. 64.*



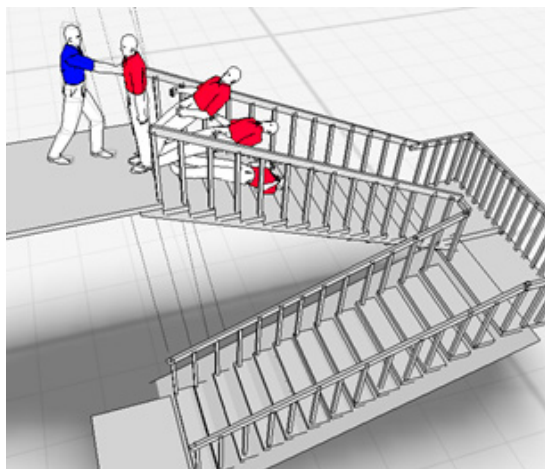
Obr. 2: Znázornění pádu těla ze schodů, nákrisy byly vytvořeny na podkladě vlastních experimentů, strčení dobrovolníků ze schodů.

Možnosti využití počítačové simulace přiblížím na dvou konkrétních případech.

Kazuistika 1

V nočních hodinách v prostoru před diskotékou došlo k fyzickému napadení. Poškozený Pavel U. uvedl, že útočník mě udeřil otevřenou dlaní na pravou část hrudníku. V té chvíli jsem stál v prostoru za vchodem za dveřmi z diskotéky asi na 30 cm širokém prostoru, než se snižuje první schod. Po tom úderu jsem letěl zády přes všechny schody, tak, že jsem se přitom pohybu dolu nedotkl žádného chodu a to ani rukou ani jinou částí těla a dopadl jsem zády celým tělem až na podestu mezi prvním a druhým schodištěm. Po tom pádu jsem ležel zády na podestě. Při pádu jsem nezavadil o žádné zábradlí ani o žádný schod. Dopadl jsem přímo na záda a zátylek hlavy na podestu. Během pádu nedošlo k žádné rotaci mého těla. Pan U. uvedl v protokolu při hlavním líčení, že byl udeřen M. V. do hrudníku, úder byl veden pod pravé prso. Při pádu *nezavadil o žádné zábradlí ani o žádný schod. Dopadl jsem přímo na záda a zátylek hlavy na podestu. Během pádu nedošlo k žádné rotaci mého těla. Po tom úderu jsem letěl zády přes všechny schody, tak, že jsem se přitom pohybu dolu nedotkl žádného chodu a to ani rukou ani jinou částí těla a dopadl jsem zády celým tělem až na podestu mezi prvním a druhým schodištěm. Po tom pádu jsem ležel zády na podestě.*

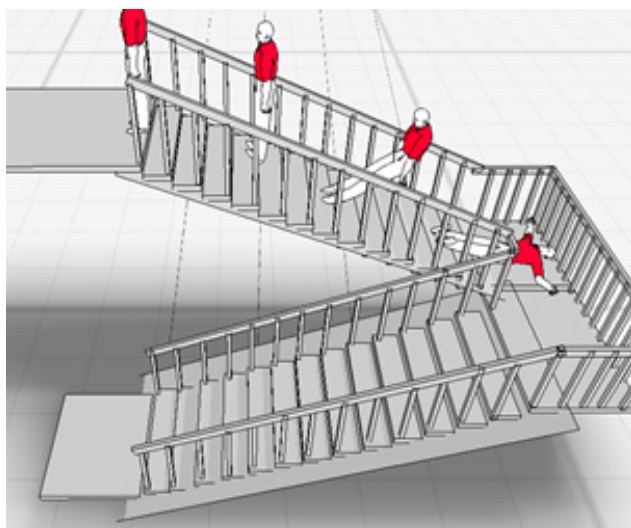
Znaleckým zkoumáním je potřeba zjistit, zda je tato situace reálná a zda je možné, aby mohlo dojít k takovému pádu při úderu druhé osoby do hrudníku poškozeného. Pohybová možnost poškozeného při presumovaném pádu byla simulována licencovaným softwarovým programem Virtual Crash (Obr. 3). Tento program využívá trojdimenzionální matematický model osoby pro tzv. simulaci dopředným výpočtem. To znamená, že vstupní údaje se mění a zadávají tak, aby vypočtená konečná poloha a vypočtený pohyb během předmětného děje co nejvíce odpovídaly skutečné konečné poloze a skutečnému pohybu. Při výpočtu srážek tato verze optimalizuje výpočet tak, aby všechny vstupní hodnoty byly jen v technicky přijatelných rozpětích. Výsledkem simulace jsou tedy vstupní hodnoty, které co nejpřesněji popisují pohyb osob během nehodového děje. Tímto programem jsou vypočítané všechny kinetické veličiny potřebné pro posouzení pádu.



Obr. 3: Znáznornění úderu do hrudníku osoby podle výpovědi P. U. Výpočet s podporou simulačního programu Virtual Crash.

Situaci jsem simuloval podle rozměrů dokumentace na místě události. Podle získaných podkladů jsem provedl výpočet s podporou simulačního programu Virtual Crash, varioval jsem jednotlivé varianty tak aby konečná poloha odpovídala parametrům místa činu, a pádu obou osob Simulaci jsem provedl podle výpovědi

Pokud by útočník udeřil do hrudníku Pavla U., pak by pád poškozeného probíhal podle znázornění na obr. 1. Nutně by došlo ke kontaktu zad a hlavy s hranou schodů. Nemohlo by dojít k tak dlouhému pádu, aby poškozený dopadl bez jakéhokoliv kontaktu na podestu schodiště.



Obr. 4: Varianta, při které by došlo k pohybu poškozeného Pavla U. přes celé schodiště a dopad na podestu, pak by se tělo muselo pohybovat rychlostí 18 km/hod. Výpočet s podporou simulačního programu Virtual Crash.

Jen pro srovnání uvádím variantu (znázorněnou na obr. 4), při které by došlo k pohybu poškozeného Urbana přes celé schodiště a dopad na podestu, pak by se tělo muselo pohybovat rychlostí 18 km/hod. I při této variantě dochází ke krátkému kontaktu nohou s hranou schodiště. Tato varianta není biomechanicky přijatelná a lze jí hodnotit jako verzi, kterou lze s velmi vysokou pravděpodobností, hraničící s jistotou vyloučit.

Varianta úderu do hrudníku poškozeného je simulována na obr. 3. Pokud by došlo ke strčení či úderu vedený útočníkem tak, jak jej popsal ve svém výslechu při hlavním líčení poškozený Pavel U., pak poškozená osoby dopadne na horní část schodiště. Nemůže dojít k dopadu strčené osoby na podestu.

Poškozený Pavel U. při hlavním líčení u soudu uvedl: Po tom úderu jsem letěl zády přes všechny schody, tak, že jsem se přitom pohybu dolů nedotkl žádného schodu a to ani rukou ani jinou částí těla a dopadl jsem zády celým tělem až na podestu mezi prvním a druhým schodištěm. Po tom pádu jsem ležel zády na podestě. Tato verze je vysoce nepravděpodobná, aby k ní došlo strčením druhé osoby do hrudníku.

Pokud by mělo dojít k dopadu poškozeného přes celé schodiště a dopad na podestu, pak by se tělo muselo pohybovat rychlostí 18 km/hod. I při této variantě dochází ke krátkému kontaktu nohou s hranou schodiště. Tato varianta není biomechanicky přijatelná a lze jí hodnotit jako verzi, kterou lze s velmi vysokou pravděpodobností, hraničící s jistotou vyloučit.

Kazuistika 2

Další případ, ve kterém rozřešení přinesla počítačová simulace, byl případ, kdy mělo dojít věci ublížení na zdraví, k napadení otce svým synem. K fyzickému napadení mělo dojít tak, že syn měl shodit ze schůdků ke stavební buňce, svého otce, následkem čehož došlo u poškozeného (otce) k poranění ramene, které si vyžádalo dlouhodobou léčbu s možnými trvalými následky. Skutku byly přítomny celkem tři svědci, přítelkyně otce a manželka syna a jejich syn (vnuk otce). Svědecké výpovědi byly rozděleny na dvě skupiny s diametrálně odlišným svědectvím.

Poškozený (otec) uvedl, že vystoupal po schodech k buňce, vystoupal jsem až na čtvrtý schod, váhu těla jsem už měl na podestě, jednou nohou jsem zvedal ze třetího schodu na podestu, když syn přiběhl cestičkou ze záhonu na podestu a seshora mě srazil, domnívám se že asi pravou rukou, ze shora dolů pod schody, kde jsem spadl na záda na kaskádovité tvárnice a poté jsem se silou nárazu ještě překulil pod kaskádovité tvárnice..., celou dobu jsem v ruce držel kufr, kterého jsem se podvědomě držel..., útok jsem naprosto nečekal..., po překulení na zámkovou dlažbu jsem rychle vstal, neboť jsem očekával další útok syna. V tu chvíli mi krvácel levý loket, bolest jsem si díky šoku zprvu neuvědomoval..., byl to velmi neočekávaný a silný náraz.

Obviněný naopak uvedl jinou verzi, vypověděl, že stal po celou dobu čelem do zahradní buňky, na slova otce jsem nijak nereagoval, ani jsem se neotočil. Čekal jsem, až toho nechá a odejde. To, že se ke mně přiblížil, jsem poznal tak, že zesiloval jeho hlas a pak po chvíli přišel ten úder do ramene. Abych to upřesnil, tak jsem cítil úder do levého ramena

a současně ihned poté tah za to rameno ven. Jako když mě chce vyrvat ven ze dveří. Já jsem byl levým ramenem blíže futer. Tak jsem rozhodil ruce, podařilo se mi zachytit levou rukou a pravá mi po chvíli sklouzla. Tak jsem se otočil kolem levých futer zády na buňku a obličejem ven o 180 stupňů. Při tom točení jsem pocítil, že to sevření za rameno povolilo a já jsem byl rád, že jsem to ustál. Když jsem se zorientoval, tak jsem viděl otce, jak jde po schodech nahoru na dvorek. Neviděl otce spadnout, byl jsem k němu zády.

V uvedeném případě byl proveden znalecký experiment (obr. 5, 6) a byl zpracován znalecký posudek z oboru forenzní biomechanika, výsledná počítačová simulace je uvedena na obr. 7.

Z důvodu zjištění biomechanické přijatelnosti vedených variant byla provedena počítačová simulace s podporou simulačního výpočetního programu Virtual Crash. V počítačové simulaci byly zohledněny všechny rozměrové charakteristiky místa střetu, podle dokumentace, tělesná výška a hmotnost obou osob. Při počítačové simulaci byly uvažovány všechny možné a v úvahu přicházející varianty.

Podle biomechanického hodnocení jsou teoreticky možné obě dvě verze. Jednak dopad poškozeného na záda a jednak pohyb se schodů bez dopadu, tj. pouhé seběhnutí po schodech. Pád se schodů s iniciací druhé osoby byl popsán podle verze otce (poškozeného) a jeho přítelkyně. Druhá varianta podle popisu syna (obviněného) a jeho manželky byla popsána bez dopadu na zem, poškozený pouze seběhl schody. Dopadové místo je značně nerovné s vyčnívajícími okraji a při eventuálním dopadu na záda by bylo vysoce pravděpodobné, že by poškozený utrpěl zranění na zádech. Podle lékařské dokumentace nebylo zjištěno zranění na zádech. Absence poranění zad svědčí pro variantu uváděnou obviněným synem. Pokud by došlo k úderu do hrudníku poškozeného a jeho následný pád, jak popsal poškozený, došlo by s velkou pravděpodobností k dopadu na místo tvárníc (ostré hrany, vývěska, nerovnosti) a s velkou pravděpodobností by se dala předpokládat viditelná zranění na zádech.

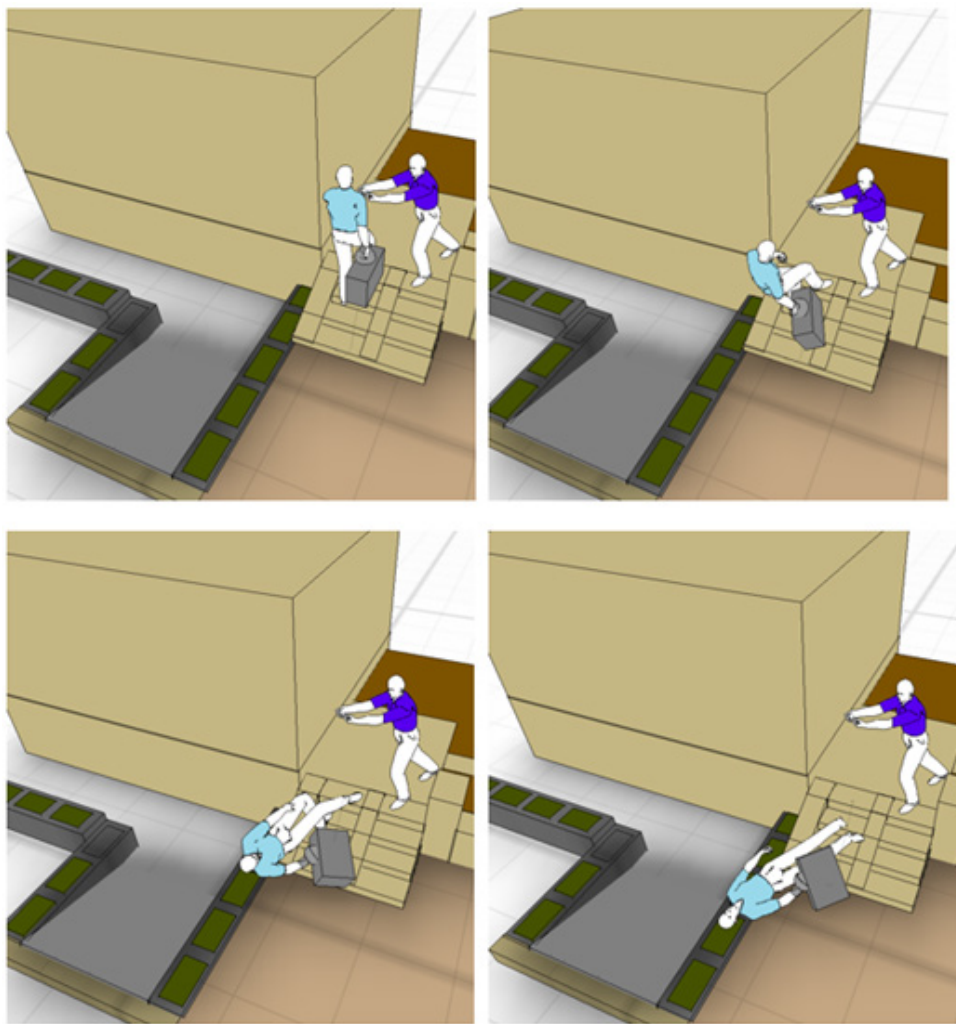


Rozběh k figuríně Strčení do hrudníku figuríny Dopad figuríny, konečná poloha
Obr. 5: Fotografická dokumentace vyšetřovacího pokusu.



Obr. 6: Dopad figuríny, konečná poloha.

Vyhodnocením vstupních informací a celkovým hodnocením považují za více pravděpodobnou variantu, že v průběhu incidentu nedošlo k pádu poškozeného otce na zem. Rozhodnutí, zda pohyb otce byl vyvolán přímým působením syna podle verze poškozeného, nebo sklouznutím ruky poškozeného z ramene jeho syna, který se v průběhu úchopu otáčel (ať už úmyslně nebo v důsledku toho úchopu) nelze jednoznačně rozlišit, ale jako pravděpodobná varianta se jeví takový průběh, že k pádu poškozeného na záda do míst pod schody nedošlo. Na následujícím obrázku (obr. 7) je varianta strčení do hrudníku podle výpovědi poškozeného.



Obr. 7: Varianta strčení do hrudníku podle výpovědi poškozeného.

4 Diskuse

Využití počítačového modelu je výhodná pro řešení pohybových situací při vyšetřování trestné činnosti ve forenzně biomechanických aplikacích. Metoda přináší lepší výsledky než pokusné variování s figurínou. V počítači je možné simulovat velké množství variant, které v praxi nelze realizovat. Přesnost výsledku je závislý na množství vstupních informací a dokonalosti počítačové simulace.

Využití počítačové simulace poskytuje několik výhod, ale i nevýhod. Výhoda spočívá v poměrně rychlém řešení úlohy, simulovaná situace vysoce odpovídá realitě a lze velmi

přesně rekonstruovat podmínky na místě činu. Modely osob jsou validované a jedná se o dokonale tuhá tělesa. Obecným problémem je fakt, že do modelů nelze zavést vnitřní aktivní síly, jakou jsou např. aktivity svalů. To je ovšem problém všech dosavadních simulačních programů. Hlavní výhodou výpočtu s podporou počítačové simulace je její objektivita, kvantitativní charakter analýzy, kvalitní vizualizace umožňující rychle pochopit problémy i laikům a v neposlední řadě i možnost vytvářet nepřeborné množství variací.

Díky možnostem jak výpočetním, tak vizualizačním lze pak dokonce laikům v oboru biomechaniky poskytnout jasnou představu o události, aby lépe porozuměli podstatným okolnostem případu. Rovněž lze lehce měnit nastavení vstupních parametrů a výsledky jsou pak objektivní v tom smyslu, že pohyb a interakce jsou řízeny zákony mechaniky a tedy nezávislé na osobních zkušenostech nebo názoru experta. Další velkou výhodou představuje schopnost poskytnout kvantitativní data časová, prostorová a dokonce, pokud to model dovoluje, i dynamická¹⁹.

Metody forenzní biomechaniky budou využívat stále více možností počítačové simulace a ukazuje se, že jsou vhodným nástrojem pro forenzní biomechanické aplikace (zejména Virtual Crash). Jsou to metody rychlejší, přesnější, lacinější a přináší zcela jasně širší možnosti experimentální práce. Pro další využití prezentované metody počítačové simulace bude vhodné komparovat výsledky kriminalistických experimentů s výsledky počítačového modelování.

5 Závěr

Experiment je v kriminalistice praxi vědecky opodstatněná, procesně přípustná a praxí ověřená metoda sloužící jako prostředek k poznání a dokazování objektivní pravdy. I přes některé specifické prvky dané specifickým předmětem zkoumání (událost trestného činu) si zachovává základní principy vědecké experimentální metody poznání.

vyvolávat jevy analogické poznávanému jevu, měnit podmínky, za kterých jev probíhá nebo izolovat jednotlivé podmínky, prokazovat jejich prioritu významu pro vyvolaný jev atp.²⁰. Zvláštnosti kriminalistického experimentu lze spatřovat v tom, že kriminalistický experiment probíhá za podmínek, za kterých proběhla kriminalisticky relevantní událost a jeho výsledky jsou zřejmé, registrovatelné pouhými smysly, bez potřeby přístrojů, složité analýzy nebo zvláštních znalostí. Objektem experimentu jsou jednotlivé okolnosti kriminalisticky významné události (např. trestného činu).

Pronikání vědy a techniky do kriminalistiky zlepšuje, zkvalitňuje a urychluje objasňování trestné činnosti. V kriminalistické praxi se často stává, že je potřeba analyzovat jednotlivé reálné varianty průběhu pohybové činnosti. Požívají se jak figuranti, tak figuríny. To ale

19 ADAMEC, J. et al. *Forensic biomechanical analysis of falls from height using numerical human body models. J Forensic Sci.* 2010; 55(6), s. 1615-23.

20 KONRÁD, Z., PORADA, V., STRAUS, J., SUCHÁNEK, J. *Kriminalistika – Kriminalistická taktika a metodiky vyšetřování. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015.*

přináší komplikace, velmi často není možné „odehrát“ celý děj, tak jak uvádějí jednotliví účastníci, vzniká tak v pohybové činnosti interval pohybu, který je neurčitý. Na něj mohou mít jednotliví zainteresovaní účastníci různý názor, představivost. I když se použijí figuríny, např. při objasňování pádu těla z výšky, vznikají nedokonalosti a neurčitost pohybu těla. Počítačové simulování vhodnými softwarovými programy přibližuje realitu děje co nej přesněji. Lze v počítači variovat všechny reálné varianty pohybu a vyjádřit tak biomechanickou přijatelnost nebo nepřijatelnost pohybu člověka. Uvedený simulační program je podle mého názoru velmi vhodný pro biomechanické modelování pohybové akce, umožňuje velmi reálně simulovat pohyb člověka.

Počítačová simulace s použitím modelů lidského těla poskytuje vysvětlení mnoha do té doby nejasných aspektů případu. Tato metoda poskytuje objektivní a kvantitativní informace umožňující daleko přesnější analýzu studovaného jevu nebo události – kinematické i dynamické parametry lidského těla a jeho interakce s okolními strukturami. Dokonce je možné zjišťovat i síly působící uvnitř organismu a díky tomu přesněji predikovat trauma. Všechny důležité neznámé parametry (počáteční podmínky numerické simulace, jako pozice těla a jeho jednotlivých segmentů, jeho orientace v prostoru, počáteční rychlost atp.) lze parametrizovat a obsáhnout tak všechny možné konstelace. Další velmi důležitou předností této metody je propracovaná a efektivní vizualizace výsledků výpočtů, která usnadňuje pochopení studovaných událostí a jevů pro soudce, státní zástupce, advokáty a policii, kteří nemusí mít hluboké biomechanické znalosti.

Literatura

- ACKERMANS, H., FRANCKSEN, N., LEES, C., PAPATZIKA, F., ARAMPATZIS, A., BALZPOPOULOS, V., LISBOA, P., HOLLANDS, M., O'BRIEN, T., MAGANARIS, C. Prediction of Balance Perturbations and Falls on Stairs in Older People Using a Biomechanical Profiling Approach: A 12-Month Longitudinal Study, *The Journals of Gerontology: Series A*, Volume 76, Issue 4, April 2021.
- ADAMEC, J. et al. Forensic biomechanical analysis of falls from height using numerical human body models. *J Forensic Sci.* 2010; 55(6), s. 1615-23. .
- ADAMEC, J., GRAW, M., PRAXL, N. Numerical Simulation in Biomechanics – *A Forensic. Acta Univ. Palacki. Olomuc, Gymn.* 2006, vol. 36, no. 4, s. 33.
- AVDĚJEV, A.I. *Об определении механизма повреждения при падении с лестницы* [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.forens-med.ru/book.php?id=3443>
- FRIEDLAND, D., BRUNTON, I., POTTS, J. Falls and traumatic brain injury in adults under sixty years of age. *Community Health*, 39 (2014), s. 148-150.
- GHODSI, S. M. et al. Fall-related injuries in the elderly in Tehran. *Injury* 34,11, 2003: 809-814.
- JACOBS, V. A review of stairway falls and stair negotiation: Lessons learned and future needs to reduce injury, *Gait & Posture*, Volume 49, 2016, Pages 159-167, ISSN 0966-6362.
- KONRÁD, Z., PORADA, V., STRAUS, J., SUCHÁNEK, J. *Kriminalistika – Kriminalistická taktika a metodiky vyšetřování*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015.
- MAÑAS, J., KOVÁŘ, L., PETŘÍK, J., ČECHOVÁ, H., ŠPIRK, S. Validation of Human Body Model VIRTHUMAN and its Implementation in Crash Scenarios. In: Beran J., Bílek M., Hejnova M., Zabka P. (eds) *Advances in Mechanisms Design. Mechanisms and Machine Science*, vol. 8. Springer, Dordrecht, 2012.

NICOLE, D.A., MATTACE-RASO, D., VAN DER VELDE, N., VAN LIESHOUT, E.M., DE VRIES, O., HARTHOLT, K.A., KERVER, A-J., BRUIJNINCKX, M., VAN DER CAMMEN, T.J., VAN BEECK, P. Circumstances leading to injurious falls in older men and women in the Netherlands, *Injury*, Volume 45, Issue 8, 2014, pages 1224-1230.

PAVLATA, P., VYCHYTIL, J. Simulace dopravní nehody kloubového autobusu se zaměřením na ohodnocení biomechanické zátěže cestujících. *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2018*. VUT USI Brno, 2018, ISBN 978-80-214-5600-6, s. 194-206.

TALBOT, L. A., MUSIOL, R. J., WITHAM, E. K. & METTER, E. J. Falls in young, middle-aged and older community dwelling adults: perceived cause, environmental factors and injury. *BMC public health*, 5, 2005, 1-9.

TINETTI, M. E., SPEECHLEY, M., GINTER, S. F. Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *New England journal of medicine*, 319(26), 1988, 701-1707.

STARTZELL, J. K., OWENS, D. A., MULFINGER, L. M. & CAVANAGH, P. R. Stair negotiation in older people: a review. *Journal of the American Geriatrics Society*, 48(5), 2000, 567-580.

VALERIAN, L. *Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí*. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.

VÉMOLA, A. *Komplexní hodnocení podpory analýzy silničních nehod simulačním programem*. Habilitační práce, ÚSI VUT Brno, 2008, s. 12-18.

WACH, W., UNARSKI, J. Fall from Height in a stairwell – mechanics and simulation analysis. *Forensic Science International*. 244, 2014, s. 136-151.

<https://www.youtube.com/watch?v=894peo9Wpuo>

<http://www.vcrashusa.com/demobiomechanics2>