

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU



**ANALÝZA ROZLOŽENÍ TLAKU NA ÚROVNI INTERAKCE
CHODIDLA A OBUVI U BĚHU PO ROVINĚ
V MINIMALISTICKÉ A SPORTOVNÍ OBUVI**

**ANALYSIS OF A PRESSURE DISTRIBUTION ON THE
LEVEL OF FOOT AND SHOE INTERACTION WHEN
RUNNING IN FLATLANDS WITH MINIMALIST AND
SPORT SHOES**

Autoreferát disertační práce

Školitel: doc. PhDr. Soňa Jandová, Ph.D.

Zpracoval: Mgr. Jan Charousek

Praha 2018

SOUHRN

- Problém:** Běh je nejrozšířenější pohybovou aktivitou. Nesprávná technika, množství tréninku, ale také vybavení běžce může výrazně ovlivnit zdravotní stav jedince a to jak kladně, tak i záporně. Z tohoto důvodu se objevují různé trendy ve využití různého typu obuvi. Zejména klasická sportovní obuv s různými druhy tlumení a minimalistická obuv, která by měla napodobovat běh „naboso“, který by měl být pro člověka mnohem přirozenější, jak tvrdí B. Nigg ve své publikaci „Born to run“ – kde člověk byl zrozen pro chůzi a běh naboso. Nevhodné využití tak může vést ke zdravotním komplikacím nejen v oblasti nohy.
- Cíl:** Zjistit, jak se mění došlap na úrovni interakce chodidla a obuvi u běhu po rovině při použití minimalistické obuvi a při použití sportovní obuvi u rekreačních běžců, a na základě zjištěných výsledků vyslovit závěry pro tréninkovou praxi.
- Metody:** Práce se zabývá během na dlouhé tratě u amatérských běžců v odlišném typu obuvi (minimalistické a sportovní). Výzkumný soubor tvořilo 14 žen (hmotnost $63,31 \pm 4,89$ kg, výška $169,69 \pm 4,71$ cm, věk $31,92 \pm 5,34$ roků, rychlost v minimalistické obuvi (MO) $3,34 \pm 0,06$ m.s⁻¹, rychlost ve sportovní obuvi (SO) $3,29 \pm 0,06$ m.s⁻¹, počet naběhaných km týdně $37,54 \pm 9,43$, velikost nohy odpovídající vložce 39-40 EU). K měření byla využita dynamografická vyšetřovací metoda s cílem analyzovat kontakt chodidla s podložkou. Pro toto měření byl využit měřicí systém Pedar® (Novel, Mnichov, Německo). Každý proband absolvoval 6 měření běhu, z toho 3 měření v minimalistické obuvi a 3 měření ve sportovní obuvi letmo rychlostí běhu ($v = 3,33 \pm 0,2$ m.s⁻¹). Měření proběhlo na padesátimetrovém úseku po rovině na umělé trávě fotbalového hřiště. Před vlastním měřením proběhlo rozcvičení a rozběhání a následná optimalizace rychlosti běhu probanda opakovaným rozběháním v dané rychlosti. Statistické zpracování bylo provedeno softwarem R a Statistica. Využita byla

analýza rozptylu (ANOVA), Wilcoxonův test, Mann-Whitney U test, Kruskal-Wallisova ANOVA a Post-hoc analýza.

Výsledky a závěry: Náš výzkum prokázal, že typ obuvi (minimalistická a sportovní) má vliv na typ došlapu při běhu po rovině na dlouhé tratě. Dochází k posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla. Výzkum prokázal statisticky signifikantní rozdíl na hladině významnosti ($\alpha = 0,05$) v síle a tlaku působícím při první kontaktu chodidla s podložkou při využití minimalistické a sportovní obuvi. Při analýze působící síly a tlaku při prvním kontaktu chodidla s podložkou byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi RFSS (běh přes zadní část chodidla ve sportovní obuvi) a RFSM (běh přes zadní část chodidla v minimalistické obuvi). Dále byl prokázán statisticky signifikantní rozdíl v síle a tlaku působícím na podložku ve střední části chodidla při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi. Statisticky signifikantní rozdíly však nenalzáme pro krokovou frekvenci běhu, dobu kontaktu s podložkou, působící sílu a tlak přední, zadní části a celého chodidla na podložku při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi. Minimalistická obuv by měla mít určité své zastoupení u běžců na dlouhé tratě. Důležité je však soustředit se na správnou techniku běhu. Můžeme také na základě této disertační práce a prostudovaných studií, které se v řadě tvrzení shodují s naší studií, určit minimalistickou obuv jako určitý mezistupeň mezi sportovní a barefoot obuvi. A tak běžci, kteří chtějí začínat s minimalizmem, by měli nejdříve využít právě tuto obuv a posléze plynule přecházet na obuv barefoot.

Klíčová slova: běh, Pedar, doba kontaktu, noha, síla, tlak, obuv, chodidlo

SUMMARY

- Problem:** Running is one of the most widespread physical activities. Incorrect running technique, training quantity but also the runner's equipment can strongly affect health condition of the individual, both positively and negatively. For that reason various trends emerge in the area of running footwear. They include classical sports shoes with different types of impact attenuation as well as the minimalist footwear made to imitate barefoot running, which should be much more natural for humans, as insisted by B. Nigg in his book "Born to Run" – where he says that man was born to walk and run barefooted. Inappropriate shoes can cause various health complications, not only in the foot area.
- Objective:** To find out how foot strike changes in the area of the foot-shoe interaction in running on flat ground when an amateur runner uses minimalist and sports footwear and to draw conclusions for training practice on the basis of the results.
- Methods:** The thesis deals with amateur endurance running in different shoe types (minimalist and sports shoes). The study specimen consisted of 14 female runners (mean body weight $63,31 \pm 4,89$ kg, height $169,69 \pm 4,71$ cm, age $31,92 \pm 5,34$ years, speed in minimalist shoes (MO) $3,34 \pm 0,06$ m.s⁻¹, speed in sports shoes (SO) $3,29 \pm 0,06$ m.s⁻¹, weekly mileage $37,54 \pm 9,43$ km, foot size corresponding to 39-40 EU insole). The measurement was performed by the dynamographic examination method aimed at the foot-ground contact analysis. The measurement was based on the Pedar® system (Novel, Munich, Germany). Every trial runner underwent 6 measured runs, of which 3 in minimalist and 3 in sports shoes with passing running speed ($v = 3,33 \pm 0,2$ m.s⁻¹). The measurements were performed on a fifty-meter flat section of artificial lawn of a football ground. Before the measurement the trial runners underwent a warm up and optimisation of their running speed by repeated warm up in the required running speed. The statistical processing was performed by R and Statistica

software. The statistical methods used included ANOVA analysis of variance, the Wilcoxon test, the Mann-Whitney U test, the Kruskal-Wallis ANOVA and the Post-hoc analysis.

Results and conclusions:

Our research showed that shoe type (minimalist and sports shoes) does affect foot strike in endurance running on flat ground. Plantar strain shifts towards the toes. The research showed a statistically significant difference ($\alpha = 0,05$) in the force and pressure acting on the foot in first contact with the ground when using minimalist and sports shoes. The force and pressure analysis of the first foot contact with the ground found a statistically significant difference between RFSS (rear foot striking in sports shoes) and RFSM (rear foot striking in minimalist shoes). A further statistically significant difference was found between the force and pressure acting on the insole in the central part of the foot running in flat ground using minimalist and sports shoes. However, no statistically significant difference was found in step frequency of the runner, time of contact with the ground, force and pressure acting on the ground from the front, rear and whole foot of the runner running on flat ground in minimalist and sports shoes. Minimalist shoes are certainly recommended to endurance runners. However, the most important thing is to concentrate on the correct running technique. On the basis of this dissertation research and the studied trials by other researchers, in many respects in agreement with the present study, a conclusion can be drawn that minimalist footwear should become a transitory stage between sports and barefoot shoes. And so runners who want to transfer to minimalism should first begin to use minimalist shoes and then continually transfer to barefoot shoes.

Keywords: run, Pedar, contact time, foot, force, pressure, footwear

ÚVOD

Z pohledu historie patří běh k nejrozšířenější pohybové aktivitě a tato skutečnost platí i v současnosti, kdy počet běžců neustále narůstá. Důvodů může být mnoho, ale faktem je skutečnost, že celá řada lidí dospívá k závěru, že bez dostatečné pohybové aktivity dochází ke zhoršení jejich zdravotního stavu a tím i kvality života. Dokladem stále se rozšiřujícího zájmu o běh je i skutečnost, že existuje stále více webových portálů věnujících se běhu, narůstá počet a zájem o běžecké závody (např. Pražský maraton) a díky tomu se dostávají běžecké závody i na obrazovky České televize. Trh nabízí řadu odborných časopisů věnujících se běhu a běžeckému vybavení, které se rovněž stále vyvíjí. Současná běžecká obuv je na vysoké úrovni a podle potřeby lze volit běžeckou obuv speciálně určenou pro typ povrchu a délku tratě. S tím se objevují i nové trendy jako minimalistická či maximalistická obuv.

Velký vliv na rozšíření běhu má také publikační činnost a stále se rozšiřující technika. Vznikají nové časopisy, webové portály, stránky na sociálních sítích, které se věnují běhání. Tyto portály pak čerpají informace z vědeckých časopisů a portálů, kde jsou zveřejňovány studie z oblasti běhu. Výzkumy týkající se běhu jsou zaměřeny například na zdravotní aspekty běhu, běžecké vybavení zejména obuv, běžecký trénink apod. Jedná se tedy především o nesprávný trénink, špatnou regeneraci, techniku běhu, používání nevhodného vybavení atd.

Jak již bylo zmíněno, běh má velký vliv na kondici a zdraví člověka. Zhruba od 70. let minulého století až po současnost byla u běžců provedena řada výzkumů. Na základě prostudované literatury bylo zjištěno, že v oblasti běhu byla díky výzkumům získána řada zajímavých poznatků, ale i přesto existuje stále mnoho nezodpovězených otázek.

Běh lze považovat za výborný prostředek k prevenci civilizačních onemocnění, mezi která patří především problémy se srdcem a krevním oběhem, dále pak nadváha, cukrovka a řada dalších onemocnění. Výzkumy dokazují, že u lidí, kteří se věnují běhu, je výskyt civilizačních onemocnění podstatně nižší. Podstatné je, aby samotný trénink byl veden správně. Jedná se zejména o optimální množství zatížení, aby nedošlo k přetrénování a přetížení organismu. Kromě jiného běh má kladný vliv i na psychiku člověka, jelikož běhající lidé uvádějí, že díky běhu odbourávají stres a snižují vnitřní napětí.

Tato disertační práce je zaměřena na analýzu rozložení tlaku na úrovni interakce chodidla a obuvi u běhu po rovině v minimalistické a sportovní obuvi. Je využita dynamografická

vyšetřovací metoda pro analýzu běhu a zaměřuje se tedy na to, jak se mění síly a tlaky chodidla na podložku (vložku boty) s využitím odlišného typu obuvi. Odlišný typ obuvi však nemá vliv pouze na změnu síly a tlaku chodidla na podložku, ale také má určitý vliv na změnu běžecké techniky, zejména ve fázi prvního kontaktu chodidla s podložkou, a dobu kontaktu s podložkou.

1. Teoretický rozbor

Běh patří mezi základní pohybové dovednosti a objevuje se v řadě sportů. Z historického hlediska se běh vyvinul z chůze. V prvních počátcích sloužil běh zejména k lovu a později také k rychlejšímu předávání informací v místech, kde nebylo možné se dostat s koňmi. Později se běh objevuje také jako sportovní disciplína a základní dovednost řady sportovních her (Neumann, Hottenrott, 2016; Tvrzník, Škorpil, Soumar, 2006). Člověk byl zrozen pro chůzi a běh bez obuvi, ale jelikož docházelo k častým poraněním nohy, začaly se vyvíjet ochranné pomůcky pro nohy. Nejdříve si lovci omotávali nohy kůží a později se z tohoto vyvinula obuv. Vývoj obuvi neustále pokračuje a v současné době existují specifické typy obuvi pro určité sporty, pracovní obuv, zdravotní obuv atd. (Hlaváček, 1994; Nigg, 2009; Strasser, Becklund, 1991).

Běh je možné rozdělit do několika forem. Pro určitou část populace je běh využíván jako aktivita podporující zdraví, pro některé jako aktivní trávení volného času a pro některé jako sportovní disciplína a to jak na amatérské tak vrcholné úrovni. Závodní pojetí běhu je pak možné rozdělit na atletické běhy, přespolní běhy, běhy do vrchu a poté běhy, jejichž součástí je běh jako například orientační běh. Existují, ale i jiná dělení (dle obsahu, dle prostředí). Díky tomu můžeme běh rozdělit do několika forem. S těmito formami má spojitost i běžecká technika. „*Sportovní technika je určitý biomechanický způsob řešení daného pohybového úkolu člověkem na základě všeobecných anatomicko-fyziologických a psychologických předpokladů v soulase s mechanickými zákony platnými v průběhu pohybu a v soulase s mezinárodními pravidly závodění.*“ (Novák, 1965). Běžecká technika je závislá na několika faktorech (somatotyp, nervosvalové procesy, trénovanost, délka trati). Běžeckou techniku můžeme rozdělit na šlapavý a švihový běh, ale také podle typu došlapu na došlap přes zadní část chodidla, střední část chodidla a přední část chodidla. Toto dělení však není jediné a jiní autoři rozdělují došlap jiným způsobem. V souvislosti s běžeckou technickou je také nutné běh rozebrat do jednotlivých cyklů a v této souvislosti uvádíme krokový cyklus běhu. „*Cyklus je určen jako doba mezi tím,*

kdy se jedno chodidlo poprvé dotkne země, a dobou, kdy se stejné chodidlo od země oddělí.“ (Puleo a Milroy, 2014). Ve srovnání s chůzí při běhu dochází k vyřazení dvouoporového postavení. Krokový cyklus běhu tedy dělíme do pěti cyklů (první kontakt chodidla s podložkou, moment vertikály, odraz – letová fáze, ukončení letové fáze – dokrok, první kontakt chodidla s podložkou). V souvislosti s krokovým cyklem běhu se poté sledují časové parametry (step, stride, swing, stance). Dále je možné sledovat působíště reakční síly (CoP), krokovou frekvenci běhu, rozložení tlaků atd. (Bunc, 2006a; Bunc, 2006b, Cavanagh a Lafortune, 1980; Jeřábek, 2008; Novacheck, 1998, Puleo a Milroy 2014; Tvrzník, Škorpil, Soumar, 2006).

Důležitou oblastí je také anatomický rozbor nohy a zapojení svalových skupin při běhu. Ke správnému pohybu je nutné zapojení několika částí pohybového aparátu. Mezi hlavní části patří svalstvo, kostra a klouby, šlachy a vazy, ale také nervový systém. S těmito soustavami je dost často spojeno nerovnoměrné zatěžování a zapojování jednotlivých struktur. Dále dochází také ke zkracování jednotlivých svalových skupin. Pro běžce je velice důležitá znalost zapojení jednotlivých svalů v průběhu běhu a to hned z několika důvodů - prevence proti přetížení, posilování, kompenzační cvičení, strečink, ale také vztah k technice běhu (Čihák 2016, Puleo a Milroy, 2014).

Běh má na člověka kladný vliv, ale není vhodný pro všechny osoby, neboť na zdraví člověka může mít i vliv záporný. Například u osob s vysokou nadváhou by mohly vzniknout zdravotní problémy (například přetížení kloubů, problémy se srdcem apod.). Při běhu dochází k velkému působení sil na nohu. Z tohoto důvodu je nutné používat správnou běžeckou obuv, vhodně zvolit množství tréninku, správnou techniku běhu. Jednoduchý ukazatel, který určí, zda je běh vhodný pro danou osobu je výpočet BMI (body mass indexu). Pro osoby, které mají BMI do hodnoty 26, je běhání vhodné. Pro osoby s lehkou nadváhou a BMI 27 – 30 je vhodné nahradit běh chůzí, a to buď severskou, nebo kondiční. Pro osoby s vysokou nadváhou a BMI vyšším jak 30 je vhodné zpočátku volit pouze chůzi a postupně přecházet na chůzi kondiční. Osoby, u nichž se objevují závažnější zdravotní problémy, by měly vhodnost běhu vždy konzultovat s ošetřujícím lékařem. Dále má na zdraví velký vliv běžecká technika. V souvislosti s nesprávnou technickou, špatnou obuví, ale i z jiných důvodů se mohou objevit problémy a deformity nohy. Například vbočený palec, kladívkové prsty, bolest chodidel, prodloužení nohy atd. (Dubina et al., Dungl, 1989; Dungl, 2005; 1984; Gallo, 2011; Rokyta, 2016).

Běh je sledován také vědeckými pracovníky, kteří na základě provedených výzkumů vyvíjí novou obuv, snaží se zlepšit běžeckou techniku, odhalují zdravotní problémy a příčiny proč vznikají atd. Diagnostika běh se provádí terénně nebo laboratorně. Tato disertační práce je zaměřena na dynamickou plantografii s využitím speciálních stélek do bot. K realizaci tohoto výzkumu bylo využito měřicí zařízení Pedar® (Novel.de, 2017). Existují, ale i jiná zařízení například F-Scan (Tekscan, Boston, Massachusetts), Medilogic WLAN insole (Medilogic, Schönefeld, Německo), OpenGo (Moticon, Mnichov, Německo), Pedoped® a Loadsol® (Novel, Mnichov, Německo). Pedar® (Novel.de, 2017) je systém, který zaznamenává síly a tlaky působící na měřicí stélku, která se vkládá do boty. Následně je možné výsledky z měření v software, který je obsahem této sady, dále zpracovávat. Práce s tímto systémem vyžaduje určitou odbornost, jelikož obsahuje velké množství funkcí a správnost nastavení může ovlivnit výsledky měření (Robertson et al., 2017; Vařeka & Vařeková, 2009).

2. Cíl práce

Cílem práce bylo zjistit, jak se mění došlap na úrovni interakce chodidla a obuvi u běhu po rovině při použití minimalistické obuvi a při použití sportovní obuvi u rekreačních běžkyň, a na základě zjištěných výsledků vyslovit závěry pro tréninkovou praxi.

Vědecká otázka:

Je rozdíl v časových a dynamických parametrech u skupiny rekreačních běžkyň při běhu po rovině stanovenou rychlostí s použitím minimalistické a sportovní obuvi?

3. Hypotézy

- H₀₁:** Frekvence kroků při běhu v minimalistické obuvi bude vyšší než frekvence při běhu ve sportovní obuvi.
- H₀₂:** Při prvním kontaktu chodidla s podložkou při běhu v minimalistické obuvi dochází k posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla ve srovnání s během ve sportovní obuvi.
- H₀₃:** Doba kontaktu chodidla s podložkou bude s využitím minimalistické obuvi kratší než u sportovní obuvi.
- H₀₄:** Síly působící na podložku budou s využitím minimalistické obuvi vyšší než s využitím sportovní obuvi.

H₀₅: Tlaky působící na podložku budou s využitím minimalistické obuvi vyšší než s využitím sportovní obuvi.

4. Úkoly práce

V souvislosti se splněním cíle práce, zodpovězení vědecké otázky a ověření hypotéz je nutné splnit následující úkoly:

- Vypracovat rešerši odborných pramenů souvisejících s danou problematikou a stanovit teoretická východiska práce.
- Návrh designu měření.
- Provedení pilotní studie včetně zhodnocení výsledků a metodologie.
- Provedení měření v souladu s doporučeními z pilotního šetření.
- Zpracování a vyhodnocení dat.
- Posoudit vliv typu obuvi na změnu kontaktu s podložkou v iniciační fázi běžecského cyklu a vyslovit závěry pro tréninkovou praxi.

5. Metodika práce

Výzkum byl orientovaný na analýzu působení chodidla nohy na podložku (měřící stélku v botě) za využití dynamografické vyšetřovací metody (systém Pedar). Byla provedena opakovaná měření běhu na padesátimetrovém úseku stanovenou rychlostí $3,33 \pm 0,2$ m.s⁻¹, což odpovídá rychlosti amatérských běžkyň na dlouhé tratě. K měření byly využity minimalistické boty Vivobarefoot Primus a sportovní krosová bota Salomon XA PRO. Tuto obuv využily pro měření všechny probandky a u všech byl tedy požadavek i velikost nohy 39-40, dle velikosti bot a měřících stélek.

Výzkumný soubor tvořilo 14 žen (hmotnost $63,31 \pm 4,89$ kg, výška $169,69 \pm 4,71$ cm, věk $31,92 \pm 5,34$ roků, rychlost v minimalistické obuvi (MO) $3,34 \pm 0,06$ m.s⁻¹, rychlost ve sportovní obuvi (SO) $3,29 \pm 0,06$ m.s⁻¹, počet naběhaných km týdně $37,54 \pm 9,43$, velikost nohy odpovídající vložce 39-40 EU). Podmínkou byla také zkušenost s během v minimalistické a sportovní obuvi a také pravidelný běh minimálně 25 km týdně (počet naběhaných kilometrů týdně $37,5 \pm 9,4$ km).

K měření byla využita dynamografická vyšetřovací metoda za využití měřícího systému Pedar® (Novel, Mnichov, Německo) s cílem analyzovat kontakt chodidla nohy s podložkou.

Každý proband absolvoval 6 měření běhu, z toho 3 měření v minimalistické obuvi a 3 měření ve sportovní obuvi letmo rychlostí běhu ($v = 3,33 \pm 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Měření proběhlo na padesátimetrovém úseku po rovině na umělé trávě fotbalového hřiště. Měřený úsek byl jasně vyznačen za pomoci „kloboučků“. Před vlastním měřením proběhlo rozcvičení a rozběhání a následná optimalizace rychlosti běhu probanda opakovaným rozběháním v dané rychlosti.

Statistické zpracování bylo provedeno softwarem R (Verze 3.4.2, GNU General Public Licence version 2) a Statistica (Verze 12, Proprietary software). Využita byla analýza rozptylu (ANOVA), Wilcoxonův test, Mann-Whitney U test, Kruskal-Wallisova ANOVA a Post-hoc analýza. V této disertační práci byla použita hladina významnosti ($\alpha = 0,05$) – statisticky významný rozdíl.

V rámci této disertační práce bylo využito několik počítačových programů:

- Microsoft Word (verze 15.0.4745.1001, Microsoft, USA) – textová část práce
- Microsoft Excel (verze 15.0.4745.1000, Microsoft, USA) – grafy, tabulky a jednoduché výpočty
- Zoner Photo studio 15 (verze 15.0.1.3, Zoner software, Česká republika) – úprava fotografií
- Pedar-x Recorder (verze 20.3.36, Novel, Německo) – zpracování a práce s naměřenými daty
- software R (Verze 3.4.2, GNU General Public Licence version 2)
- Statistica (verze 12, Proprietary software)

6. Výsledky

a) Analýza krokové frekvence běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

Kroková frekvence běhu s využitím minimalistické a sportovní obuvi byla v průměrné hodnotě téměř totožná (MO - $176,76 \pm 8,90$ a SO – $176,69 \pm 7,29$). Z celkového počtu čtrnácti probandů jich 7 mělo vyšší krokovou frekvenci s využitím minimalistické obuvi a 7 s využitím sportovní obuvi. Nicméně u osmi probandů nebyl rozdíl v průměrných hodnotách krokové frekvence běhu ve srovnání MO a SO větší než 2 krokové cykly za minutu.

Změny v krokové frekvenci běhu pozorujeme u probandů 4, 5, 8, 10, kde byla frekvence vyšší (větší než 4 krokové cykly běhu za minutu) s využitím SO. U probandů 11 a 12 byla naopak vyšší kroková frekvence běhu s využitím MO (větší než 7 krokových cyklů běhu za minutu).

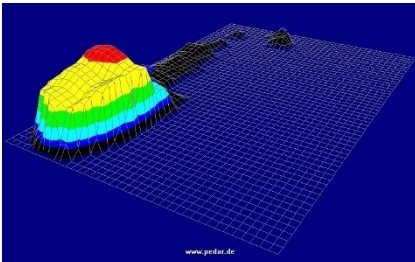
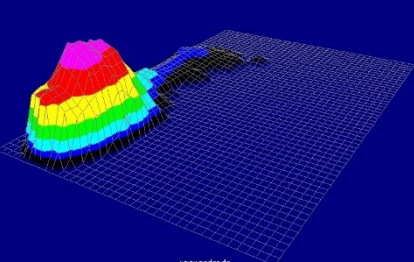
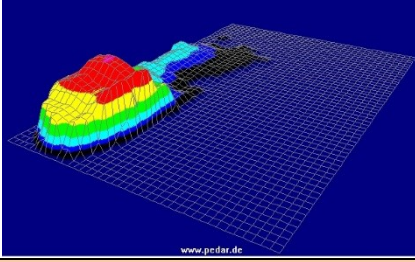
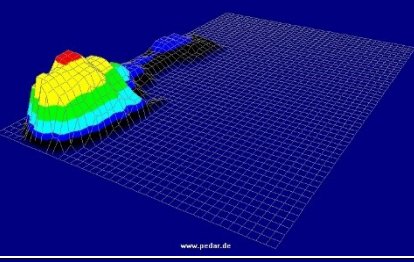
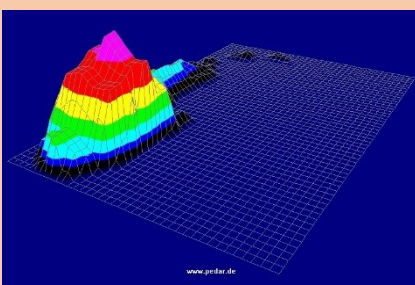
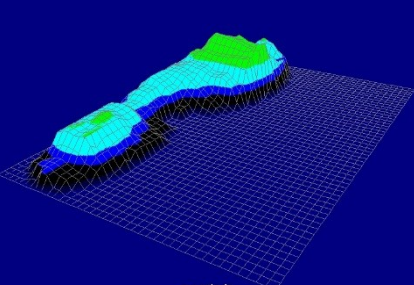
Vyjádření k hypotéze H₀₁

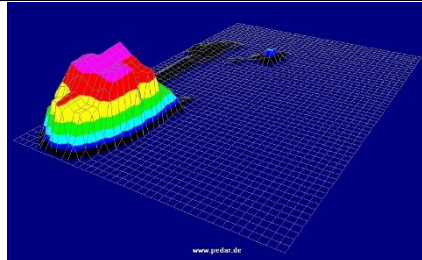
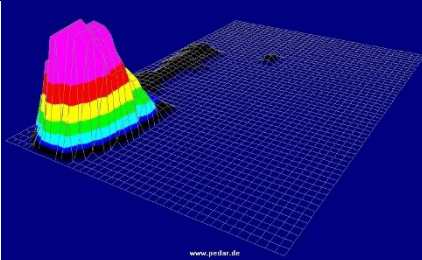
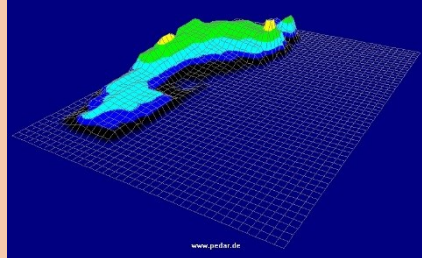
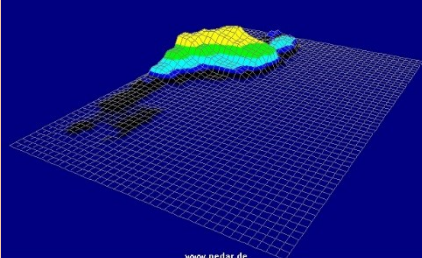
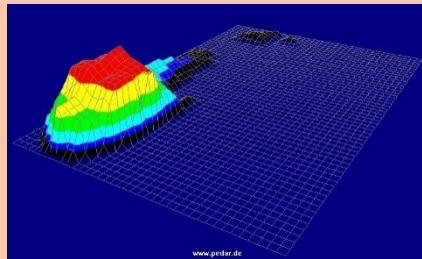
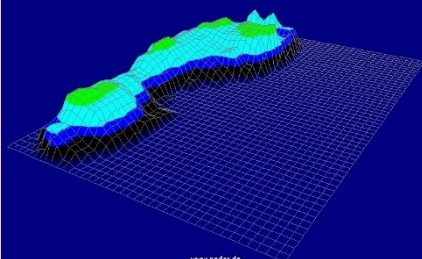
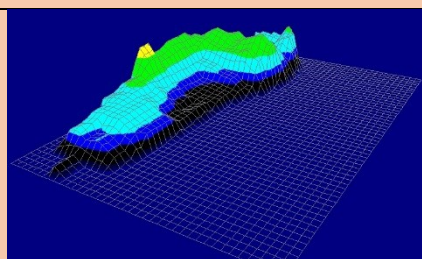
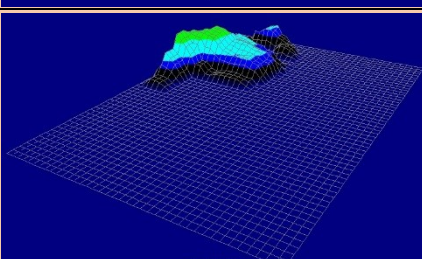
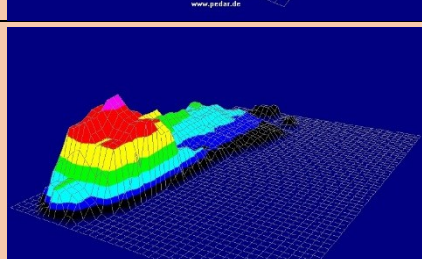
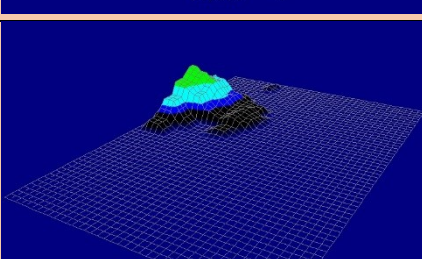
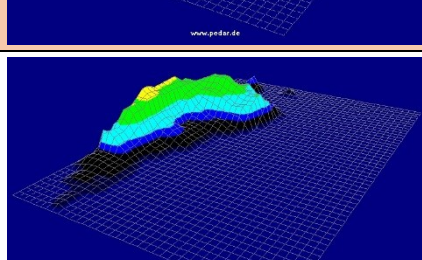
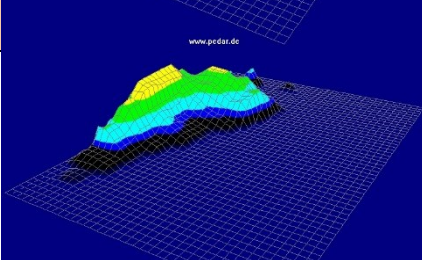
H₀₁: Frekvence kroků při běhu v minimalistické obuvi bude vyšší než frekvence při běhu ve sportovní obuvi.

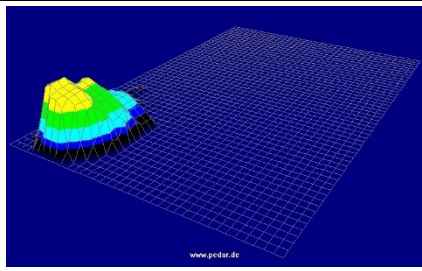
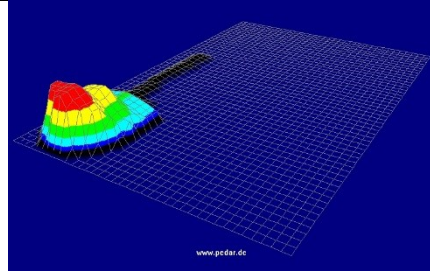
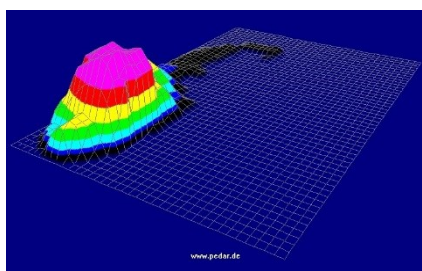
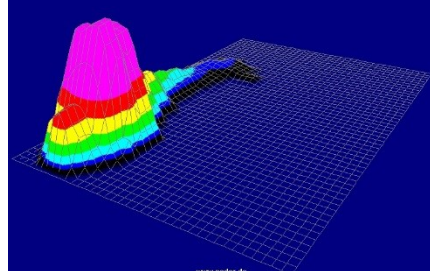
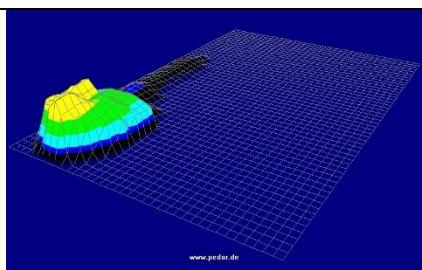
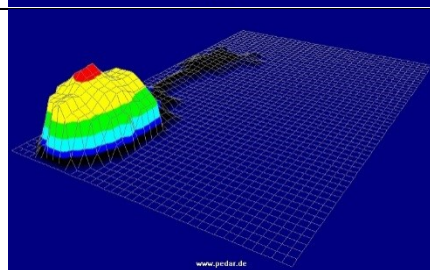
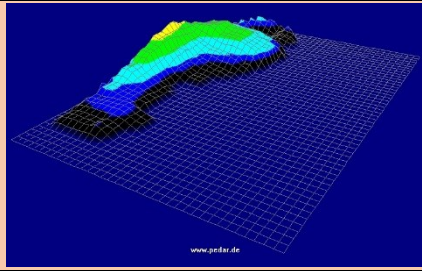
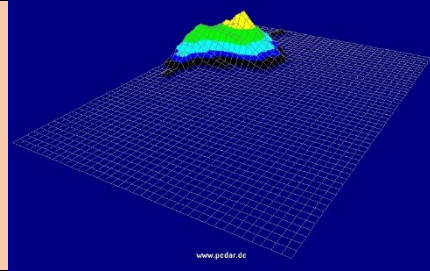
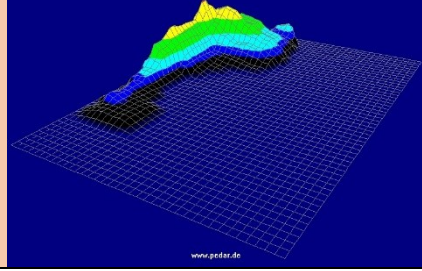
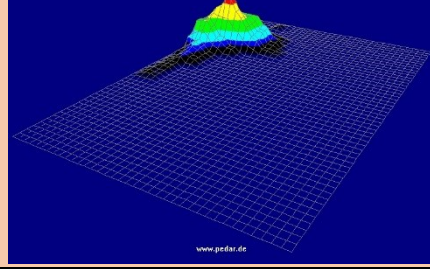
V naší studii jsme nenalezli statisticky významné rozdíly při použití minimalistické a sportovní obuvi při běhu po rovině s výslednou *p*-hodnotou 0,2881781. Hypotézu H₀₁ zamítáme, kroková frekvence běhu se při běhu v minimalistické a sportovní obuvi neliší.

b) Analýza posunu plantárních tlaků chodidla nohy s podložkou při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

Tabulka č. 1: Posuny plantárních tlaků při použití sportovní a minimalistické obuvi – levá noha

N = 14	První kontakt chodidla s podložkou – sportovní obuv		První kontakt chodidla s podložkou – minimalistická obuv	
1	RF S		RF S	
2	RF S		RF S	
3	RF S		MF S	

4	RF S		RF S	
5	MF S		FFS	
6	RF S		MF S	
7	MF S		FFS	
8	RF S		FFS	
9	MF S		MF S	

10	RF S		RF S	
11	RF S		RF S	
12	RF S		RF S	
13	MF S		FFS	
14	MF S		FFS	

Legenda: RFS – první kontaktní místo – zadní část chodidla, MFS – první kontaktní místo – střední část chodidla, FFS – první kontaktní místo – přední část chodidla

Výsledky byly vyhodnoceny na základě pozorování, ve kterých částech se objevil první kontakt chodidla s podložkou. Toto bylo zaneseno do tabulky (v jaké části chodidla byl první kontakt pro MO a pro SO a také zda byl či nebyl posun směrem k přední části chodidla) a následně byl využit Wilcoxonův test. Pro test rozdílu mezi typy obuvi je p -hodnota rovna 0,0468494. Hodnoty jsou statisticky významně vyšší pro minimalistickou obuv na hladině významnosti ($\alpha = 0,05$). Můžeme tedy konstatovat, že

s využitím minimalistické obuvi dochází k posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla ve srovnání s využitím sportovní obuvi.

Vyjádření k hypotéze H₀₂

H₀₂: Při prvním kontaktu chodidla s podložkou při běhu v minimalistické obuvi dochází k posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla ve srovnání s během ve sportovní obuvi.

Hypotézu H₀₂ nezamítáme, jelikož pro ($\alpha = 0,05$) existuje statisticky významný rozdíl, jelikož výsledná p -hodnota je 0,0468494, a z tohoto důvodu můžeme potvrdit, že při prvním kontaktu chodidla s podložkou při běhu v minimalistické obuvi dochází k posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla ve srovnání s během ve sportovní obuvi.

c) Analýza doby kontaktu chodidla s podložkou při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

Průměrné hodnoty doby kontaktu chodidla (v sekundách) s podložkou při běhu s využitím minimalistické a sportovní obuvi byly MO – $0,19 \pm 0,1$ a SO – $0,19 \pm 0,1$. U šesti probandů byla doba kontaktu chodidla s podložkou při běhu s využitím minimalistické obuvi delší. U dvou probandů byly průměrné hodnoty doby kontaktu chodidla s podložkou delší s využitím sportovní obuvi.

Porovnání doby kontaktu s podložkou podle iniciační fáze došlapu

Výsledné hodnoty jsou pro minimalistickou obuv (RFS – 0,198 s; MFS – 0,195 s a FFS – 0,188 s) a pro sportovní obuv (RFS – 0,196 s, MFS – 0,188 s a pro FFS nebyly žádné hodnoty zaznamenány). Ve srovnání běhu přes zadní část chodidla s využitím minimalistické a sportovní obuvi jsou hodnoty MO – 0,198 s a SO – 0,196 s, nicméně v oblasti střední části chodidla už dochází k nepatrným rozdílům (MO – 0,195 s a SO – 0,188 s). Pro oblast přední části chodidla nemůžeme provést srovnání, jelikož žádný z probandů neběžel ve sportovní obuvi přes přední část chodidla, nicméně je viditelné zkrácení doby kontaktu chodidla s podložkou (MO FFS – 0,188 s).

Z důvodu velikosti souboru volíme v této části neparametrické testy. Byla využita Kruskal-Wallisova ANOVA a Mann-Whitney U test.

Vyjádření k hypotéze H₀₃

H₀₃: Doba kontaktu chodidla s podložkou bude s využitím minimalistické obuvi kratší než u sportovní obuvi.

V naší studii jsme našli statisticky vysoce významné rozdíly (výsledná p -hodnota byla 0,0042755) v době kontaktu chodidla s podložkou při běhu po rovině s použitím různého typu obuvi (minimalistické a sportovní obuvi). Hypotézu však zamítáme, jelikož jednostranná alternativa prokázala, že doba kontaktu chodidla s podložkou je kratší s využitím sportovní obuvi.

Při srovnání doby kontaktu s podložkou u běžců s odlišnou iniciační fází docházíme k závěru, že způsob došlapu nemá vliv na kontaktní čas – p -hodnota = 0,40, u minimalistické obuvi nemá způsob došlapu vliv na kontaktní čas – p -hodnota = 0,36 a ke stejnému závěru docházíme i u sportovní obuvi – p -hodnota = 0,50.

d) Analýza síly působící na podložku při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

U relativizovaných hodnot maximální síly při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi byly zjištěny rozdíly, nicméně statistická významnost byla zjištěna pouze pro střední část chodidla. Průměrné hodnoty pro celé chodidlo byly téměř totožné (MO – $2,69 \pm 0,31$ a SO – $2,68 \pm 0,28$), pro zadní část chodidla také téměř totožné (MO – $0,82 \pm 0,52$ a SO – $0,83 \pm 0,42$), pro střední část chodidla již byly zjištěny rozdíly, které byly statisticky významné (MO – $1,37 \pm 0,25$ a SO – $1,33 \pm 0,2$), a v přední části chodidla byly také zjištěny statisticky významné rozdíly (MO – $1,39 \pm 0,22$ a SO – $1,5 \pm 0,31$). Z celkového počtu čtrnácti probandů jich 7 mělo vyšší relativizované průměrné hodnoty síly na celé noze s využitím minimalistické obuvi a 7 s využitím sportovní obuvi, dále 9 mělo vyšší hodnoty v zadní části chodidla s využitím MO a 3 s využitím SO a u dvou byla shoda, ve střední části chodidla 9 s využitím MO a 5 s využitím SO a v přední části chodidla 4 s využitím MO a 10 s využitím SO.

Porovnání maximální relativizované síly při prvním kontaktu chodidla s podložkou při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

U třinácti probandů byla při prvním kontaktu chodidla s podložkou při běhu vyšší hodnota relativizované maximální síly při použití minimalistické obuvi. Srovnání bylo provedeno dle předchozí analýzy prvních kontaktů chodidla s podložkou při běhu. Při srovnání působících relativizovaných sil na podložku v jednotlivých částech chodidla jsou hodnoty vyšší při použití MO (MO RFS – 1,41 a SO RFS 1,11; MO MFS 1,43 a SO MFS – 1,33).

Z výsledných hodnot také pozorujeme, že při použití MO jsou všechny hodnoty působící relativizované síly v jednotlivých částech chodidla na podložku vyšší než při použití SO. Dále je důležité konstatovat, že byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi RFSS x RFSM, což znamená, že při běhu přes zadní část chodidla jsou vyšší hodnoty maximální relativizované síly a také že typ obuvi má vliv na sílu prvního kontaktu chodidla s podložkou (bez rozlišení kontaktního místa).

Vyjádření k hypotéze H₀₄

H₀₄: Síly působící na podložku budou s využitím minimalistické obuvi vyšší než s využitím sportovní obuvi.

V našem výzkumu jsme sledovali síly působící na podložku celého chodidla, ale také na jednotlivých částech chodidla a také v jednotlivých částech chodidla při prvním kontaktu chodidla s podložkou. Statistická významnost byla zjištěna pouze ve střední, přední části chodidla a také při působící síle při prvním kontaktu chodidla s podložkou.

Hypotézu však nezamítáme pouze pro střední část chodidla (výsledná p -hodnota byla $6,430261810^{-4}$), ale i na základě aplikace jednostranné alternativy pro přední část chodidla, kdy musíme hypotézu také zamítnout, protože v přední části chodidla byla síla statisticky významně vyšší u sportovní obuvi.

Při analýze sil působících při prvním kontaktu chodidla s podložkou můžeme potvrdit hypotézu, že síly působící na podložku budou s využitím minimalistické obuvi vyšší než s využitím sportovní obuvi. Výsledná p -hodnota byla 0,003. Hypotézu tedy v tomto případě nezamítáme. Dále při analýze prvního kontaktu chodidla s podložkou byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi RFSS a RFSM (p -hodnota byla 0,029) a také mezi RFSS a FFSM (p -hodnota byla 0,043).

e) Analýza tlaků působících na podložku při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

U relativizovaných hodnot maximálního tlaku při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi byly zjištěny rozdíly, nicméně statistická významnost byla zjištěna pouze pro střední část chodidla. Průměrné hodnoty pro celé chodidlo byly lehce odlišné (MO – $0,73 \pm 0,15$ a SO – $0,67 \pm 0,11$), pro zadní část chodidla byly téměř totožné (MO – $0,43 \pm 0,26$ a SO – $0,41 \pm 0,18$), pro střední část chodidla byly zjištěny rozdíly, které byly statisticky významné (MO – $0,57 \pm 0,16$ a SO – $0,42 \pm 0,1$), a v přední části chodidla byly hodnoty téměř totožné (MO – $0,67 \pm 0,15$ a SO – $0,65 \pm 0,13$).

Z celkového počtu čtrnácti probandů jich 7 mělo vyšší relativizované průměrné hodnoty tlaku na celé noze s využitím minimalistické obuvi a 6 s využitím sportovní obuvi, u jednoho probanda se objevila shoda, dále 8 mělo vyšší hodnoty v zadní části chodidla s využitím MO a 5 s využitím SO a u jednoho shoda, ve střední části chodidla 12 s využitím MO a 2 s využitím SO a v přední části chodidla 8 s využitím MO a 5 s využitím SO a u jednoho shoda.

Porovnání maximálního tlaku při prvním kontaktu chodidla s podložkou při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

U dvanácti probandů byla při prvním kontaktu chodidla s podložkou při běhu vyšší hodnota relativizovaného maximálního tlaku při použití minimalistické obuvi. Srovnání bylo provedeno dle předchozí analýzy prvních kontaktů chodidla s podložkou při běhu. Při srovnání působících relativizovaných tlaků na podložku v jednotlivých částech chodidla jsou hodnoty vyšší při použití MO (MO RFS – 0,70 a SO RFS 0,53; MO MFS 0,52 a SO MFS – 0,45).

Dále je důležité konstatovat, že byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi RFSS x RFSM, což znamená, že při běhu přes zadní část chodidla jsou vyšší hodnoty maximálního relativizovaného tlaku a také že typ obuvi má vliv na tlak při prvním kontaktu chodidla s podložkou (bez rozlišení kontaktního místa).

Vyjádření k hypotéze H₀₅

H₀₅: Tlaky působící na podložku budou s využitím minimalistické obuvi vyšší než s využitím sportovní obuvi.

V našem výzkumu jsme sledovali tlaky působící na podložku celého chodidla, ale také na jednotlivých částech chodidla a také v jednotlivých částech chodidla při prvním kontaktu chodidla s podložkou. Statistická významnost stejně jako u působící síly na podložku byla zjištěna pouze ve střední, přední části chodidla a také při působících silách při prvním kontaktu chodidla s podložkou. Hypotézu nezamítáme pouze pro střední část chodidla (p -hodnota byla $1,713247310^{-10}$) a pro tlak působící při prvním kontaktu chodidla s podložkou (p -hodnota byla 0,001). Opět musíme aplikovat jednostrannou alternativu a hypotézu pro přední část chodidla zamítáme, protože v přední části chodidla byl tlak statisticky významně vyšší u sportovní obuvi.

Při analýze tlaku působícího při prvním kontaktu chodidla s podložkou docházíme ke stejným závěrům jako u působící síly. Tlak působící na podložku bude s využitím

minimalistické obuvi vyšší než s využitím sportovní obuvi. Výsledná p -hodnota byla 0,0029. Hypotézu tedy v tomto případě nezamítáme. Dále při analýze prvního kontaktu chodidla s podložkou byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi RFSS a RFSM (p -hodnota byla 0,031) a také mezi MFSS a RFSM (p -hodnota byla 0,034).

7. Diskuze

a) Analýza krokové frekvence běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

Vliv odlišného typu obuvi (minimalistické a sportovní) nemá vliv na krokovou frekvenci běhu při zachování konstantní rychlosti běhu na stejném terénu. V našem výzkumu mělo 7 probandů větší krokovou frekvenci běhu při použití minimalistické obuvi a stejný počet při použití sportovní obuvi. Průměrné hodnoty byly také téměř totožné (MO – 176,76 a SO – 176,69). Nebyl tedy zjištěn signifikantní rozdíl. Při porovnání vývoje průměrné krokové frekvence nedochází k výrazným výkyvům. V našem výzkumu byl zaznamenán mírný pokles krokové frekvence běhu u obou typů obuvi, který na dvanáctém krokovém cyklu běhu narostl a pokračoval dále bez výraznějších výkyvů.

Shodu s naším výzkumem nalézáme u Bonacciho et al. (2013), který uvádí, že mezi minimalistickou obuví a závodní obuví nedochází k rozdílu krokové frekvence běhu. Nicméně rozdíl v krokové frekvenci běhu již nastává mezi minimalistickou a sportovní obuví. Velký vliv na to může mít velký rozdíl ve využívání různých typů obuvi. Shodu s naším výzkumem nalézáme také u Liebermana (2014), který také nenalezl signifikantní rozdíly mezi používáním minimalistické a sportovní obuvi.

Naopak shodu nenalézáme u B. De Wita et al. (2000), který uvádí, že existuje statisticky signifikantní rozdíl mezi krokovou frekvencí běhu v porovnání barefoot obuvi a sportovní obuvi a také že rychlost běhu má vliv na krokovou frekvenci běhu. Důležité je však konstatovat, že barefoot obuv má odlišné vlastnosti než minimalistická obuv. Další vliv na rozdílnou krokovou frekvenci běhu může mít i povrch, jelikož tento výzkum byl uskutečněn na tartanu, což je podstatně tvrdší povrch než umělá tráva, na které byl proveden náš výzkum. Dále byl tento výzkum proveden na mužích, což má také vliv na krokovou frekvenci běhu. Autor tak uvádí krokovou frekvenci běhu v barefoot obuvi – 164,4 a ve sportovní obuvi – 158,4 s tím, že kroková frekvence běhu narůstá se zvyšující se rychlostí běhu.

Můžeme tedy konstatovat, že na umělé trávě, která je vhodná pro běh v minimalistické obuvi při stejné rychlosti běhu, nedochází ke změně krokové frekvence běhu při použití minimalistické a sportovní obuvi. Ke změnám může docházet na nekvalitním terénu, který není zcela vhodný pro běžce minimálně obuté. Pro praxi to znamená, že z pohledu krokové frekvence běhu minimalistická obuv napodobuje sportovní obuv.

b) Analýza posunu plantárních tlaků a prvního kontaktu chodidla s podložkou při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

Typ prvního kontaktu chodidla s podložkou je ovlivněn typem obuvi a shodu s naším výzkumem nalézáme také u Kerra et al. (1983), Hasegawy et al. (2007), Larsona et al. (2011). Na typ prvního kontaktu chodidla s podložkou má vliv také vzdálenost, kterou má běžec uběhnout (Wöllzenmüller, 2006; Lieberman, 2014; Pontzer et al., 2014; Larson, 2014; Miller et al., 2014; Kasmer et al., 2014; Ahn et al., 2014), proto není možné srovnávat výsledky s výzkumy, které byly zaměřeny na běhy na kratší tratě.

Sportovní obuv

V našem výzkumu mělo 64 % probandů první kontakt chodidla s podložkou při využití sportovní obuvi kontakt v zadní části chodidla, 36 % probandů ve střední části chodidla a 0 % v přední části chodidla.

Střední a přední část chodidla

U běžců na dlouhé tratě by nemělo docházet ke kontaktu v přední části chodidla, jelikož pro běh na dlouhé tratě je technika běhu přes patu. Záleží také na tom, u jakých běžců se výzkum provádí, jelikož atleti, kteří běhají spíše kratší vzdálenosti, mohou běžet přes přední část chodidla. Proto je nutné, aby byly výzkumy zaměřeny právě na běžce, kteří se věnují pouze běhům na dlouhé tratě.

Podobné výsledky uvádí také Kerr et al. (1983), kdy ke shodě dochází v prvním kontaktu chodidla s podložkou v přední části chodidla a u prvního kontaktu chodidla s podložkou ve střední části bylo 18 – 21 %. Dále nalézáme shodu u Hasegawy et al. (2007), který provedl výzkum u běžců při závodě v půlmaratonu a měření provedl na 15 kilometru. Ve výzkumu rozdělil kategorie na muže a ženy a také obě kategorie dohromady. Jelikož je náš výzkum zaměřen na kategorii žen, budeme srovnávat výsledky pouze pro kategorii žen, kde z celkového počtu třiceti pěti probandů mělo 6 probandek ve střední části chodidla (17,1 %) a pouze jedna probandka v přední části chodidla (2,9 %).

K rozdílným výsledkům ve srovnání s naším výzkumem dochází Larson et al. (2011) a Kasmer et al. (2014). Autoři těchto studií uvádějí rozdíly při prvním kontaktu chodidla s podložkou ve střední a přední části chodidla. Jelikož v jejich výzkumech mělo pouze 3,4 – 3,6 % (Larson et al., 2011) a 6,2 % (Kasmer et al., 2014) probandů kontakt ve střední části chodidla, což je méně než u našeho výzkumu (naš výzkum 36 %), byl také u některých probandů zaznamenán kontakt v přední části chodidla 0 – 1,9 % (Larson et al., 2011) a 0,6 % (Kasmer et al., 2014), což se v našem výzkumu neobjevilo. Toto je dáno tím, že Kasmer et al. (2014) měřil své výsledky na 8,1 kilometrů z maratonského závodu a zde je možné, že někteří běžci běží ještě přes přední část chodidla, než přejdou čistě na techniku přes zadní část chodidla. Obdobně je to u výzkumu Larsona et al. (2011), který své výsledky měřil na 10 kilometrů z půlmaratonu a na 10 kilometrů z maratonu. U obou případů se objevuje kontakt v přední části chodidla, což je opět dáno tím, že některý z běžců ještě nezměnil techniku běhu na dlouhé tratě – čili přes zadní část chodidla. Tuto skutečnost potvrzuje stejný výzkum, kdy Larson et al. (2011) měřil výsledky i na 32 kilometru maratonského závodu a zde se již běh přes přední část chodidla neobjevuje.

Zadní část chodidla

První kontakt chodidla s podložkou je u běžců na dlouhé tratě v zadní části chodidla s využitím sportovní obuvi. Ke stejnému závěru došlo i několik autorů (Kerr et al., 1983; Hasegawa et al., 2007; Larson et al., 2011). Běžci, kteří mají uběhnout vzdálenost 10 kilometrů a delší z necelých 75% a více mají první kontakt chodidla s podložkou v zadní části chodidla s využitím sportovní obuvi. Tyto výsledky se shodují s naší studií, kdy u 64 % byl první kontakt chodidla s podložkou v zadní části chodidla.

Při rozboru a hodnocení prvních kontaktů chodidla s podložkou je nutné zohlednit i techniku a rychlost běhu na dlouhé tratě, která je odlišná s běhy na kratší vzdálenosti. Tuto skutečnost potvrzují také Wöllzenmüller (2006), Lieberman (2014), Pontzer et al. (2014), Larson (2014), Miller et al. (2014), Kasmer et al. (2014), Ahn et al. (2014) a výzkum Hayese a Caplana (2012). Autoři uvádějí první kontakty chodidla s podložkou pro běhy na 800 a 1500 metrů pro muže a ženy. U běhů na 800 metrů pro muže (RFS – 15 %, MFS – 50 %, FFS – 35 %), pro ženy (RFS – 32 %, MFS – 41 %, FFS – 27 %). U běhů na 1500 metrů pro muže (RFS – 26 %, MFS – 37 %, FFS – 37 %), pro ženy (RFS – 33 %, MFS – 42 %, FFS – 25 %). I díky tomuto výzkumu je zřejmé, že s narůstající vzdáleností běhu dochází k posunu prvního kontaktu chodidla s podložkou směrem

k zadní části chodidla s využitím sportovní obuvi. Dále je zřejmý i vliv pohlaví, kdy u žen se více objevuje první kontakt chodidla s podložkou směrem k zadní části chodidla. Tuto skutečnost musíme zohlednit při srovnávání výsledků.

Minimalistická obuv

Náš výzkum ukázal první kontakt chodidla s podložkou při použití minimalistické obuvi následovně (RFS – 43 %, MFS – 21 %, FFS – 36 %). Když naše výsledky srovnáme s Larsonem (2014), který uvádí první kontakty chodidla s podložkou s využitím barefoot obuvi (RFS – 20,7, MFS – 20,1, FFS – 59,2), docházíme k podobným výsledkům ve střední části chodidla a vyšším údajům u zadní části chodidla a nižším u přední části chodidla. Autor svůj výzkum však provedl jinou metodou – využil vysokorychlostní kameru při běžeckém závodě. Když však srovnáme dosažené výsledky se sportovní obuví, je zřejmý posun plantárních tlaků směrem k přední části chodidla.

Srovnání minimalistické a sportovní obuvi

V naší studii se potvrdil posun plantárních tlaků s využitím sportovní a minimalistické obuvi směrem k přední části chodidla. U 50 % probandů došlo k posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla a u žádného nedošlo k opačnému posunu.

Je tedy zřejmé, že typ obuvi, zejména tedy výška podrážky, má vliv na první kontakt chodidla s podložkou a dochází ke zřejmému posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla v porovnání se sportovní obuví. Je to ovlivněno menší vrstvou tlumení pod patou, kdy běh přes zadní část chodidla může být bolestivý. U běžců, kteří mají zkušenost s během v minimalistické obuvi, bylo z 50 % prokázáno toto tvrzení a můžeme konstatovat, že minimalistická obuv napodobuje barefoot obuv, u které dle zmíněných studií je posun prokázán u většího procenta probandů. Otázkou je, jaký by byl první kontakt chodidla s podložkou u probandů, kteří nemají s minimalismem zkušenost.

c) Analýza doby kontaktu chodidla s podložkou při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

Dle našeho výzkumu má typ obuvi (minimalistická a sportovní) vliv na dobu kontaktu chodidla s podložkou. V našem výzkumu byl zjištěn statisticky významný rozdíl v době kontaktu chodidla s podložkou při běhu s využitím minimalistické a sportovní obuvi. Nepotvrdila se však naše hypotéza, že doba kontaktu bude kratší s využitím MO, ale bylo statisticky prokázáno, že doba kontaktu s využitím SO je delší než s využitím MO.

V naší studii docházíme k průměrným hodnotám 0,19 s pro oba typy obuvi při rychlosti běhu $3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ale B. De Wit et al. (2000) uvedl dobu kontaktu pro barefoot obuv 0,24 s a pro sportovní obuv 0,25 s při rychlosti běhu $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. K podobným výsledkům také docházejí Divert et al. (2005), který uvádí hodnoty 0,251 s pro barefoot obuv a 0,257 s pro sportovní obuv a Francis et al. (2016) uvádí pro barefoot obuv 0,220 s a pro sportovní obuv 0,226 s. Autor se však zaměřil na kategorii mužů a z předchozích uvedených výzkumů je zřejmé, že i pohlaví má vliv na techniku běhu a také minimalistická obuv není zcela srovnatelná s barefoot obuví ve vztahu k technice běhu.

Za shodu s naším výzkumem můžeme považovat také výsledky Paquetta et al. (2013), který rozlišuje barefoot, minimalistickou a sportovní obuv a dále rozděluje výsledky na další dvě skupiny (běžce přes zadní část chodidla a přes přední část chodidla). U běžců přes přední část chodidla nebyly zjištěny významné rozdíly mezi typem obuvi a dobou kontaktu, u běžců přes zadní část chodidla k drobným rozdílům dochází, ale také nejsou statisticky významné. Autor však uvádí statistickou významnost mezi skupinami běžců přes zadní část chodidla a přes přední část chodidla, kdy u běžců přes zadní část chodidla je doba kontaktu delší (RFS – barefoot obuv – 0,242 s, minimalistická 0,245 s a sportovní 0,253 s; FFS – barefoot obuv – 0,221 s, minimalistická 0,223 s a sportovní 0,225 s).

TenBroek et al. (2012) uvádí také podobné výsledky s naším výzkumem, kdy srovnává barefoot obuv a obuv určenou pro běh s odlišnou výškou podrážky. A na základě tohoto výzkumu můžeme konstatovat, že rozdíl je pouze mezi barefoot obuví a sportovní obuví se střední a vyšší výškou podpatku v době kontaktu s podložkou, ale jinak není rozdíl v minimalistické obuvi a sportovní obuvi se střední a vyšší výškou podpatku. Autor však uvádí delší doby kontaktu než v našem výzkumu (barefoot 0,285 s, minimalistická 0,290 s, střední výška podrážky 0,293 s a vysoká výška podrážky 0,296 s). Ke shodě s našimi výsledky (typ obuvi má vliv na dobu kontaktu s podložkou) dochází také Squadrone et al. (2009), který také uvádí, že doba kontaktu je delší ve sportovní obuvi než v barefoot obuvi, ale rozdíl nebyl statisticky významný (barefoot obuv 0,245 s a sportovní obuv 0,255 s).

Fellin et al. (2010) uvádí dobu kontaktu chodidla s podložkou při využití sportovní obuvi 0,26 s při rychlosti $3,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, což je delší než v našem výzkumu. Všichni probandi z tohoto výzkumu běhali technikou přes zadní část chodidla (RFS), což může mít na dobu kontaktu chodidla s podložkou také vliv, což je zřejmé i z našeho výzkumu, ve kterém probandi, kteří měli první kontakt v zadní části chodidla, měli dobu kontaktu delší než ti,

co měli první kontakt ve střední nebo přední části chodidla. Toto tvrzení potvrzuje i Deflandre et al. (2016), který srovnával běžce přes zadní a přední části chodidla a doba kontaktu s podložkou byla odlišná a u běžců přes patu byla doba delší. Odlišnost našeho výzkumu s ostatními výzkumy je také ovlivněna využitím jiných měřících zařízení. Deflandre et al. (2016) uvádí odlišnosti ve výsledcích při použití různých měřících zařízení. Využil 6 metod 3D analýzy, Myotest Run (Sion, Švýcarsko) a OptoGait (Microgate Italy, Bolzano-Bozen, Itálie), z čehož je jasné, že každé zařízení zaznamenává různě. Odlišné výsledky však uvádí Sinclair et al. (2013), který uvádí, že je signifikantní rozdíl mezi obuví barefoot a minimalistickou v porovnání s klasickou sportovní obuví (barefoot 0,193 s, minimalistická 0,196 s a sportovní 0,207 s).

Rozdíly mohou být částečně způsobeny tím, že při použití SO dochází primárně k prvnímu kontaktu chodidla s podložkou v zadní nebo střední části chodidla. Při použití MO dochází k posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla, což má vliv na dobu kontaktu s podložkou (Wöllzenmüller, 2006; Lieberman, 2014; Pontzer et al., 2014; Larson, 2014; Miller et al., 2014; Kasmer et al., 2014; Ahn et al., 2014).

Je zřejmé, že technika běhu, zejména iniciační fáze kontaktu chodidla s podložkou, má vliv na dobu kontaktu s podložkou. Běžci, kteří běhají přes přední část chodidla, mají kratší dobu kontaktu s podložkou a běžci běhající přes zadní část chodidla mají dobu kontaktu s podložkou delší. Obuv již takový výrazný vliv na dobu kontaktu nemá, ale díky tomu, že obuv ovlivňuje první kontakt chodidla s podložkou, tak má v tomto směru vliv i na dobu kontaktu s podložkou. Toto tvrzení plně potvrzuje předchozí diskuzi o tom, že minimalistická obuv u běžců vyvolává posun plantárních tlaků směrem k přední části chodidla a díky tomu dochází ke zkrácení doby kontaktu s podložkou. Konkrétní doba kontaktu s podložkou však není zcela dobře srovnatelná s ostatními výzkumy, jak již bylo zmíněno, má na tuto skutečnost vliv měřící zařízení a zvolená metoda měření (Deflandre et al., 2016).

d) Analýza síly působící na podložku při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

Analýza síly působící na podložku v průběhu běhu

V našem výzkumu byly výsledné hodnoty 2,69 pro minimalistickou obuv a 2,68 pro sportovní obuv při rychlosti běhu $3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dle statistického zpracování se také potvrdilo, že síly působící na celé noze s využitím minimalistické a sportovní obuvi nejsou

statisticky významné. Ke stejným závěrům jako v našem výzkumu a De Wita et al. (2000) dochází také Squadrone et al. (2009), Komi et al. (1987), Paquette et al. (2012) a Nilsson et al. (1989), na druhé straně Divert et al. (2005) uvádí, že je signifikantní rozdíl mezi silou působící na podložku při využití barefoot obuvi a klasické sportovní obuvi, ale při nižší rychlosti běhu ($3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Divert et al. (2005) také označuje výzkumy Komihho et al. (1987) a Nilssona et al. (1989) jako nekonzistentní. Squadrone et al. (2009) dále rozděluje chodidlo na 5 částí. V našem výzkumu se zaměřujeme na 3 části dle původních dělení, která se shodují s Henningem et al. (1995). K rozdělení na 5 částí dochází zejména zmenšením střední části chodidla, kdy přední část chodidla byla rozdělena na 3 sektory, kde se zvlášť sledovala oblast palce, ostatních prstů a zbytek přední části chodidla. Statistická významnost byla pouze pro oblast střední části chodidla. V ostatních částech nebyly výsledky statisticky významné.

Je zřejmé, že při použití barefoot/minimalistické obuvi se dosahuje nepatrně nižších nebo stejných hodnot síly na celém chodidle než při použití sportovní obuvi s tím, že při zvyšující se rychlosti dochází také k většímu silovému působení na podložku (De Wit et al., 2000). Relativizované průměrné hodnoty De Wita et al. (2000) při rychlosti běhu $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ jsou 2,6 pro barefoot obuv a 2,8 pro sportovní obuv. Opět je nutné zdůraznit předchozí tvrzení, že každé zařízení zaznamenává trochu odlišně (Deflandre et al., 2016).

Analýza působící síly na podložku při prvním kontaktu chodidla s podložkou

Pro hodnocení sil působících na podložku při prvním kontaktu chodidla vycházíme z publikací Breineho et al. (2016), Monaghana et al. (2014) a Stöggl et al. (2016), kdy bylo nutné definovat první kontakt chodidla s podložkou. Následně docházíme k průměrným relativizovaným hodnotám pro MO (RFS – 1,41; MFS – 1,43; FFS – 1,65) a pro SO (RFS – 1,11 a MFS – 1,33; FFS – nebylo zaznamenáno). Byla zjištěna statistická významnost na hladině významnosti ($\alpha = 0,05$). Při hodnocení sil působících na podložku při prvním kontaktu chodidla s podložkou docházíme k závěru, že jsou síly vyšší s využitím minimalistické obuvi.

e) Analýza tlaků působících na podložku při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

Dle stanovené hypotézy měly být tlaky působící na podložku vyšší při využití minimalistické obuvi. Tato hypotéza pro celé chodidlo, přední a zadní část se nepotvrdila, a proto ji zamítáme. Hypotézu tak můžeme potvrdit pouze pro střední část chodidla.

Squadrone (2009), sledoval tlak chodidla, kterou měl však rozdělenou odlišně na 5 částí, a také srovnával barefoot a sportovní obuv, která má také určité odlišnosti. Výsledky našich studií se značně rozcházejí, jelikož Squadrone uvádí signifikantní rozdíly pro oblast zadní části chodidla, střední části chodidla a oblasti prstů a palce. Autor uvádí, že nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly pouze pro oblast bříšek metatarzů. Dochází k závěrům, že tlak je vyšší ve sportovní obuvi. Rozhodně by však bylo zajímavé se v budoucnosti pokusit porovnat naše výsledky po přerozdělení sektorů chodidla s výsledky Squadrona. Dále je také nutné konstatovat, že autor měl pro oblast zadní části chodidla mnohem menší plochu, a tak i z tohoto důvodu může docházet k rozdílným výsledkům. Porovnání bylo provedeno na stejné hladině významnosti ($\alpha = 0,05$). Důležité je také konstatovat, že výzkum Squadrona byl proveden v laboratorním prostředí a měl omezený počet kroků, ve srovnání s naším výzkumem, který byl proveden při běhu na padesátimetrovém úseku, což může značně ovlivnit výsledky. Ke stejnému názoru se přiklání i Divert et al. (2005). Squadrone (2009) k výzkumu používal běžce, kteří nemají zkušenost s během v minimalistické obuvi, což výsledky může značně ovlivnit, jelikož běžec se naučí správně běhat v minimalistické obuvi až po několika týdnech (Squadrone, 2009). Ke shodnému názoru dochází i Robbins et al. (1987; 1993). Běžci na základě odlišného typu obuvi mají tendenci měnit techniku běhu. Toto tvrzení potvrzuje i Henning et al. (1996). Ke shodě docházíme také se Siclarem et al. (2013), který také nenalezl signifikantní rozdíl mezi sportovní a minimalistickou obuví pro celé chodidlo. Výsledky byly odlišné, ale nepotvrdily se na ($\alpha = 0,05$).

Analýza působících tlaků na podložku při prvním kontaktu chodidla s podložkou při běhu po rovině s využitím minimalistické a sportovní obuvi

Při vyhodnocení analýzy tlaků působících při prvním kontaktu chodidla s podložkou docházíme k názoru, že dochází k vyšším hodnotám působícího tlaku, jelikož byl nalezen statisticky významný rozdíl na hladině významnosti ($\alpha = 0,05$). Shodu nalézáme také u Henninga et al. (1996). Stanovení úseku prvního kontaktu chodidla s podložkou opět vychází z publikací Breineho et al. (2016), Monaghana et al. (2014) a Stöggl et al. (2016). Následně docházíme k průměrným relativizovaným hodnotám tlaku pro MO (RFS – 0,7; MFS – 0,52; FFS – 0,78) a pro SO (RFS – 0,52 a MFS – 0,45; FFS – nebylo zaznamenáno).

Můžeme tedy konstatovat, že při běhu v minimalistické a sportovní obuvi nedochází k rozdílům vrcholného tlaku a síly pro oblast zadní a přední části chodidla, ale také celého

chodidla. Minimalistická obuv tak plně napodobuje vlastnosti klasické sportovní obuvi z pohledu působícího tlaku a síly na podložku, a je tedy vhodná pro běžce na dlouhé tratě, kteří však mají s tímto typem obuvi zkušenost. Běžci, kteří s tímto typem obuvi zkušenost nemají, by měli začínat postupným zapojováním tohoto typu obuvi do svého tréninku, jelikož dochází k výrazně vyšším hodnotám působícího tlaku a síly na podložku při prvním kontaktu chodidla. Toto by mohlo mít špatný vliv na zdraví člověka, zejména při nadměrném používání MO. Tato skutečnost je však otázkou pro další zkoumání.

8. Závěr

Disertační práce byla věnována analýze běhu v odlišném typu obuvi. Cíle a úkoly práce, kterým je věnována vlastní kapitola, byly splněny. Snahou bylo nalézt rozdíly při běhu v minimalistické a sportovní obuvi a určit, jaký má vliv na techniku běžce a následně dle tlakových a silových charakteristik stanovit i možná zdravotní rizika. Mezi základní sledované proměnné patřila změna prvního kontaktu chodidla s podložkou, která měla být s využitím minimalistické obuvi posunuta směrem k přední části chodidla. Tato hypotéza byla potvrzena, a je tedy možné říci, že s využitím minimalistické obuvi dochází k posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla.

Další sledovanou proměnnou této disertační práce byla změna krokové frekvence běhu tak, že s využitím minimalistické obuvi bude kroková frekvence běhu vyšší. Tuto hypotézu však nemůžeme potvrdit, jelikož nedochází k rozdílu krokové frekvence běhu s využitím minimalistické a sportovní obuvi.

Mezi velice sledovanou problematiku patří doba kontaktu chodidla s podložkou s využitím různého typu obuvi. V našem výzkumu se nepotvrdila hypotéza, že doba kontaktu bude kratší s využitím minimalistické obuvi. Byl zjištěn signifikantní rozdíl u doby kontaktu s využitím různého typu obuvi (minimalistická a sportovní), ale ne pro jednostrannou alternativu, tedy že bude doba kontaktu s podložkou kratší s využitím minimalistické obuvi. Doba kontaktu je však odlišná při rozdílném typu došlapu, na který má velký vliv typ obuvi. Díky minimalistické obuvi dochází k posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla a běžci využívající odlišnou iniciační fázi chodidla mají kratší dobu kontaktu s podložkou než běžci využívající běh přes zadní část chodidla, ne však statisticky významně.

V neposlední řadě bylo součástí této disertační práce hodnocení působících sil a tlaků při běhu. Statisticky signifikantní rozdíly byly zjištěny pouze u sil a tlaků ve střední části

chodidla. Nicméně výrazné rozdíly se objevují v silách a tlacích při prvním kontaktu chodidla s podložkou. Tento ukazatel potvrzuje předpoklad, že nárazy dolní končetiny na podložku jsou mnohem větší. Na základě této skutečnosti je nutné, aby se začínající běžci v minimalistické obuvi soustředili na správné technické provedení běhu, jelikož by při pravidelných prvních kontaktech v zadní části chodidla mohlo dojít ke zdravotním problémům. Proto také běžci minimálně obutí dosahují posunu plantárních tlaků směrem k přední části chodidla, což jim umožní lépe tlumit nárazy. Nezkušený běžec by měl z počátku využívat minimalistickou obuv pro chůzi a následně kratší vzdálenosti běhu. Poté je dobré začínat i s barefoot obutím. Můžeme tedy uvést, že u sil a tlaků dochází k významným rozdílům při prvním kontaktu chodidla s podložkou.

Minimalistická obuv by tak měla mít určité své zastoupení u běžců na dlouhé tratě. Důležité je však soustředit se na správnou techniku běhu. Můžeme také na základě této disertační práce a prostudovaných studií, které se v řadě tvrzení shodují s naší studií, určit minimalistickou obuv jako určitý mezistupeň mezi sportovní a barefoot obuví. A tak běžci, kteří chtějí začínat s minimalizmem, by měli nejdříve využít právě tuto obuv a posléze plynule přecházet na obuv barefoot. Dle ostatních studií, které zde byly uvedeny, mají také běžci minimálně obutí pevnější klenbu a méně ploché nohy. Pro vědu a praxi je možné považovat výzkum za zdařený, a můžeme tak potvrdit předchozí výzkumy s rozdílem, že náš výzkum byl realizován na skupině rekreačních běžkyň a do budoucna je možné na něho navázat v dalším pozorování a srovnávání například v oblasti maximalizmu či srovnávání nezkušených a zkušených běžců v oblasti minimalismu.

9. Seznam použité literatury

1. AHN, A. N., C. BRAYTON, T. BHATIA a P. MARTIN. Muscle activity and kinematics of forefoot and rearfoot strike runners. *Journal of Sport and Health Science*. 2014, 3(2), 102-112 [cit. 2017-05-06]. DOI: 10.1016/j.jshs.2014.03.007. ISSN 20952546.
2. BENNO M. NIGG. Biomechanics of sport shoes. Calgary, Alta: University of Calgary, 2010. ISBN 978-098-6742-101.
3. BONACCI, Jason, Philo U SAUNDERS, Amy HICKS, Timo RANTALAINEN, Bill (Guglielmo) T VICENZINO a Wayne SPRATFORD. Running in a minimalist and lightweight shoe is not the same as running barefoot: a biomechanical study. *British Journal of Sports Medicine*. 2013, 47(6), 387-392, [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/biomechanical-study-is-not-the-same-as-running-%3A-a-Bonacci-Saunders/0e4eb27d8226c90709edd5d91dceaf04c51c05f2>
4. BORGIS. Koktejl [online]. © 2003-2018 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/koktejl/202870-jeskyne-v-armenii-skryvala-zrejme-nejstarsi-botu-na-svete-i-s-tkanickou.html>
5. BREINE, Bastiaan, Philippe MALCOLM, Ine VAN CAEKENBERGHE, Pieter FIERS, Edward C. FREDERICK a Dirk DE CLERCQ. Initial foot contact and related kinematics affect impact loading rate in running. *Journal of Sports Sciences*. 2016, 35(15), 1556-1564. [cit. 2017-04-10]. DOI: 10.1080/02640414.2016.1225970. ISSN 0264-0414.
6. BUNC, Václav. Body composition as a determinant factor of aerobic fitness and physical performance. *Isokinetics and Exercise Science*. 2006, 14(2), 142-143.
7. BUNC, Václav. Energetická náročnost pohybových aktivit a její využití pro ovlivňování tělesné hmotnosti. VOBR, R. (ed). *Disportare 2006*. České Budějovice: Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity, 2006b.
8. BUNC, Václav. Zvláštnosti kondiční přípravy žen. Fit programy pro ženy: průvodce kondiční přípravou: 258 ilustrovaných cviků: 12 komplexních pohybových programů. Praha: Grada, 2006. Fitness, síla, kondice. ISBN 80-247-1191-5.
9. CAVANAGH, Peter R. a Mario A. LAFORTUNE. Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*. 1980, 13, 397-406, [cit. 2017-03-15].

- Dostupné z: <http://wwweb.uta.edu/faculty/ricard/Classes/KINE-5350/Cavanagh%20%281980%29%20Ground%20reaction%20forces%20in%20distance%20running%20.pdf>
10. CAVANAGH, Peter R. Biomechanics of distance running. Champaign, IL: Human Kinetics Books, c1990. ISBN 08-732-2268-7.
 11. ČIHÁK, Radomír. Anatomie. Třetí, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-3817-8.
 12. DE WIT, Brigit, Dirk DE CLERCQ a Peter AERTS. Biomechanical analysis of the stance phase during barefoot and shod running. *Journal of Biomechanics*. 2000, 33, 269-278, [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.6137&rep=rep1&type=pdf>
 13. DIVERT, C., G. MORNIEUX, H. BAUR, F. MAYER a A. BELLI. Mechanical Comparison of Barefoot and Shod Running. *International Journal of Sports Medicine*. 2005, 26(7), 593-598, [cit. 2018-04-15]. DOI: 10.1055/s-2004-821327. ISSN 0172-4622.
 14. DUBINA, T. L., A.Ya. MINTS a E. V. ZHUK. Biological age and its estimation. III. Introduction of a correction to the multiple regression model of biological age and assessment of biological age in cross-sectional and longitudinal studies. *Experimental Gerontology*. 1984, 19(2), 133-143. [cit. 2018-03-20]. DOI: 10.1016/0531-5565(84)90016-0. ISSN 05315565.
 15. DUNGL, Pavel. Ortopedie a traumatologie nohy. 1. Praha: Avicenum, 1989, 285 s.
 16. DUNGL, Pavel. Ortopedie. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0550-8.
 17. DORIAN DEFLANDRE, CÉDRIC SCHWARTZ, JEAN-PIERRE WEERTS, JEAN-LOUIS CROISIER a THIERRY BURY, 2016. A Comparison of 3D Methods for Identifying the Stance Phase in Treadmill Running for Both Rearfoot and Forefoot Runners. *Journal of Sports Science*. 4(3), [cit. 2018-04-04]. DOI: 10.17265/2332-7839/2016.03.002. ISSN 23327839.
 18. ELLIOT, Bruce a Tim ACKLAND. Biomechanical Effects of Fatigue on 10,000 Meter Running Technique. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 1981, 52(2), 160-166, [cit. 2018-04-07]. DOI: 10.1080/02701367.1981.10607853. ISSN 0270-1367.
 19. ENOKA, Roger M. Neuromechanics of human movement. Fifth edition. Champaign, IL: Human Kinetics, 2015. ISBN 978-145-0458-801.

20. FELLIN, Rebecca E., William C. ROSE, Todd D. ROYER a Irene S. DAVIS, 2010. Comparison of methods for kinematic identification of footstrike and toe-off during overground and treadmill running. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 13(6), 646-650, [cit. 2018-03-10]. DOI: 10.1016/j.jsams.2010.03.006. ISSN 14402440.
21. FINN, Adharanand. Běhání s Keňany: cesta za tajemstvím nejrychlejších lidí planety. Praha: Mladá fronta, 2012. ISBN 978-80-204-2778-6.
22. FIXX, James F. The complete book of running. New York: Random House, c1977. ISBN 03-944-1159-5.
23. FORNER CORDERO, A., H. J. F. M. KOOPMAN a F. C. T. VAN DER HELM. Use of pressure insoles to calculate the complete ground reaction forces. *Journal of Biomechanics*. 2004, 37(9), 1427-1432, [cit. 2017-06-10]. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2003.12.016. ISSN 00219290.
24. FRANCIS, Peter, James LEDINGHAM, Sarah CLARKE, DJ COLLINS a Philip JAKEMAN. A Comparison of Stride Length and Lower Extremity Kinematics during Barefoot and Shod Running in Well Trained Distance Runners. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2016, 15(3), 417-423, [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4974854/>
25. FTVS UK. Aktivita podporující zdraví [online]. Praha, ©2017 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: https://www.ftvs.cuni.cz/FTVS-1887-version1-ftvs_987_version1_aktualita5.pdf.
26. GALLO, Jiří. Ortopedie pro studenty lékařských a zdravotnických fakult. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 978-80-244-2486-6.
27. GOSKE, Steven, Ahmet ERDEMIR, Marc PETRE, Sachin BUDHABHATTI a Peter R. CAVANAGH. Reduction of plantar heel pressures: Insole design using finite element analysis. *Journal of Biomechanics*. 2006, 39(13), 2363-2370, [cit. 2016-10-11]. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2005.08.006. ISSN 00219290.
28. GOTAAS, Thor. Running: a global history. London: Reaktion, 2012. ISBN 978-186-1899-132.
29. GRANT, Sandra, K. CORBETT, AM. AMJAD a T. AITCHISON. A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*. 1995, 29(3), 147-152, [cit. 2017-09-20]. Dostupné z: <http://bjsm.bmj.com/content/29/3/147.long>
30. GRIGG, NICOLE L., SCOTT C. WEARING, JOHN M. O'TOOLE a JAMES E. SMEATHERS. Achilles Tendinopathy Modulates Force Frequency Characteristics

- of Eccentric Exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2013, 45(3), 520-526, [cit. 2018-03-01]. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31827795a7. ISSN 0195-9131.
31. HASEGAWA, Hiroshi, Takeshi YAMAUCHI a William J. KRAEMER. Foot Strike Patterns of Runners at the 15-km Point During an Elite-Level Half Marathon. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2007, 21(3), 888-93, [cit. 2018-05-01]. DOI: 10.1519/R-22096.1. ISSN 1064-8011.
 32. HAYES, Phil a Nicholas CAPLAN. Foot strike patterns and ground contact times during high-calibre middle-distance races. *Journal of Sports Sciences*. 2012, 30(12), 1275-1283, [cit. 2018-04-11]. DOI: 10.1080/02640414.2012.707326. ISSN 0264-0414.
 33. HEIN, Tobias a Stefan GRAU. Can minimal running shoes imitate barefoot heel-toe running patterns? A comparison of lower leg kinematics. *Journal of Sport and Health Science*. 2014, 3(2), 67-73, [cit. 2017-09-25]. DOI: 10.1016/j.jshs.2014.03.002. ISSN 20952546.
 34. HEINRICH, Bernd. *Why we run: a natural history*. New York: Ecco, 2002. ISBN 00-609-5870-7.
 35. HENDERSON, Joe. *Marathon training*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, c2004. ISBN 07-360-5191-0.
 36. HENNIG, E. M., P. R. CAVANAGH, H. T. ALBERT a N. H. MACMILLAN. A piezoelectric method of measuring the vertical contact stress beneath the human foot. *Journal of Biomedical Engineering*. 1982, 4(3), 213-222, [cit. 2017-11-12]. DOI: 10.1016/0141-5425(82)90005-X. ISSN 01415425.
 37. HENNIG, Ewald M. a Thomas L. MILANI. In-Shoe Pressure Distribution for Running in Various Types of Footwear. *Journal of Applied Biomechanics*. 1995, 11(3), 299-310, [cit. 2016-12-01]. DOI: 10.1123/jab.11.3.299. ISSN 1065-8483.
 38. HENNIG, Ewald M., Gordon A. VALIANT a Qi LIU. Biomechanical Variables and the Perception of Cushioning for Running in Various Types of Footwear. *Journal of Applied Biomechanics*. 1996, 12(2), 143-150, [cit. 2018-03-01]. DOI: 10.1123/jab.12.2.143. ISSN 1065-8483.
 39. HLAVÁČEK, Petr. Nejstarší zachovalá evropská obuv. In: *Sborník materiálů z 1. Mezinárodní konference Obuv v historii 1994*. Zlín: Muzeum jhv Moravy ve Zlíně, 1994.

40. HRYVNIAK, David, Jay DICHARRY a Robert WILDER. Barefoot running survey: Evidence from the field. *Journal of Sport and Health Science*. 2014, 3(2), 131-136, [cit. 2017-10-13]. DOI: 10.1016/j.jshs.2014.03.008. ISSN 20952546.
41. HURKMANS, H. L. P., J. B. J. BUSSMANN, E. BENDA, J. A. N. VERHAAR a H. J. STAM. Accuracy and repeatability of the Pedar Mobile system in long-term vertical force measurements. *Gait & Posture*. 2006, 23(1), 118-125, [cit. 2017-07-20]. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2005.05.008. ISSN 09666362.
42. JANDAČKA, Daniel. *Kinetická analýza lidského pohybu*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2011. ISBN 978-80-7464-103-9.
43. JANURA, Miroslav. *Úvod do biomechaniky pohybového systému člověka*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2003. ISBN 80-244-0644-6.
44. JANURA, Miroslav a František ZAHÁLKA. *Kinematická analýza pohybu člověka*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2004. ISBN 80-244-0930-5.
45. JEŘÁBEK, Petr. *Atletická příprava: děti a dorost*. Praha: Grada, 2008. *Děti a sport*. ISBN 978-80-247-0797-6.
46. KASMER, Mark E., Nicholas C. KETCHUM a Xue-Cheng LIU. The effect of shoe type on gait in forefoot strike runners during a 50-km run. *Journal of Sport and Health Science*. 2014, 3, 122-130, [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095254614000301>
47. KASMER, Mark E., Xue-cheng LIU, Kyle G. ROBERTS a Jason M. VALADAO. Foot-Strike Pattern and Performance in a Marathon. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2013, 8(3), 286-292, [cit. 2017-11-23]. DOI: 10.1123/ijsp.8.3.286. ISSN 1555-0265.
48. KERR, Barry A. a Benno NIGG. *Biochemical aspects of sport shoes and playing surfaces: proceedings of the International Symposium on Biomechanical Aspects of Sport Shoes and Playing Surfaces*. Calgary [Alta.]: Univ. of Calgary, 1983. ISBN 08-895-3050-5.
49. KOMI, P., A. GOLLHOFER, D. SCHMIDTBLEICHER a U. FRICK. Interaction Between Man and Shoe in Running: Considerations for a More Comprehensive Measurement Approach. *International Journal of Sports Medicine*. 1987, 08(03), 196-202, [cit. 2017-06-23]. DOI: 10.1055/s-2008-1025655. ISSN 0172-4622.
50. KŘEN, Jiří, Josef ROSENBERG a Přemysl JANÍČEK. *Biomechanika*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-708-2792-0.

51. KUČERA, Vladimír a Zdeněk TRUKSA. Běhy na střední a dlouhé tratě. Praha: Olympia, 2000. Atletika. ISBN 80-703-3324-3.
52. KÜNZEL, Dolf. Lidský organismus ve zdraví a nemoci. Praha: Avicenum, 1990. ISBN 80-201-0000-8.
53. LARSON, Peter. Comparison of foot strike patterns of barefoot and minimally shod runners in a recreational road race. *Journal of Sport and Health Science*. 2014, 3(2), 137-142, [cit. 2018-01-23]. DOI: 10.1016/j.jshs.2014.03.003. ISSN 20952546.
54. LARSON, Peter, Erin HIGGINS, Justin KAMINSKI, Tamara DECKER, Janine PREBLE, Daniela LYONS, Kevin MCINTYRE a Adam NORMILE. Foot strike patterns of recreational and sub-elite runners in a long-distance road race. *Journal of Sports Sciences*. 2011, 29(15), 1665-1673, [cit. 2018-01-23]. DOI: 10.1080/02640414.2011.610347. ISSN 0264-0414.
55. LIEBERMAN, Daniel E. Strike type variation among Tarahumara Indians in minimal sandals versus conventional running shoes. *Journal of Sport and Health Science*. 2014, 3(2), 86-94, [cit. 2018-01-22]. DOI: 10.1016/j.jshs.2014.03.009. ISSN 20952546.
56. LIMA-SILVA, Adriano E., Romulo C. M. BERTUZZI, Flavio O. PIRES, Ronaldo V. BARROS, João F. GAGLIARDI, John HAMMOND, Maria A. KISS a David J. BISHOP. Effect of performance level on pacing strategy during a 10-km running race. *European Journal of Applied Physiology*. 2010, 108(5), 1045-1053, [cit. 2018-01-22]. DOI: 10.1007/s00421-009-1300-6. ISSN 1439-6319.
57. MALINA, Robert M., Claude. BOUCHARD a Oded. BAR-OR. Growth, maturation, and physical activity. 2nd ed. Champaign, Ill: Human Kinetics, c2004. ISBN 08-801-1882-2.
58. MANFRED GROSSER, Stephan Starischka a Ferdinand Tusker UNTER MITARBEIT VON ANDREA EISENHUT. Das neue Konditionstraining: für alle Sportarten, für Kinder, Jugendliche und Aktive. 8. überarbeitete Auflage. München: BLV Verlagsgesellschaft, 2001. ISBN 34-051-6033-2.
59. Marathon running: physiology, psychology, nutrition and training aspects. 1. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2016. ISBN 978-3-319-29726-2.
60. MARQUARDT, Matthias. Die Laufbibel Das Standardwerk zum gesunden Laufen. 10., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Hamburg: spomedis, 2011. ISBN 978-393-6376-500.

61. MCDOUGALL, Christopher. Born to run: Zrození k běhu: zapomenutý národ a tajemství nejlepších a nejtřásnějších běžců světa. Praha: Mladá fronta, 2011. ISBN 978-80-204-2433-4.
62. MEDILOGIC. Medilogic insole sport - medilogic GmbH [online]. © 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.medilogic.com/en/products-human/footpressure-measurement/medilogic-insole-sport/>
63. MENZ, Hylton B. a Meg E. MORRIS. Clinical determinants of plantar forces and pressures during walking in older people. *Gait & Posture*. 2006, 24(2), 229-236, [cit. 2017-07-22]. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2005.09.002. ISSN 09666362.
64. MILLER, Elizabeth E., Katherine K. WHITCOME, Daniel E. LIEBERMAN, Heather L. NORTON a Rachael E. DYER. The effect of minimal shoes on arch structure and intrinsic foot muscle strength. *Journal of Sport and Health Science*. 2014, 3(2), 74-85, [cit. 2018-02-15]. DOI: 10.1016/j.jshs.2014.03.011. ISSN 20952546.
65. MOHAMED, Olfat, Kay CERNY, Wendy JONES a Judy M. BURNFIELD. The Effect of Terrain on Foot Pressures During Walking. *Foot & Ankle International*. 2016, 26(10), 859-869, [cit. 2018-02-15]. DOI: 10.1177/107110070502601012. ISSN 1071-1007.
66. MONAGHAN, Gail M., Wen-Hao HSU, Cara L. LEWIS, Elliot SALTZMAN, Joseph HAMILL a Kenneth G. HOLT. Forefoot angle at initial contact determines the amplitude of forefoot and rearfoot eversion during running. *Clinical Biomechanics*. 2014, 29(8), 936-942, [cit. 2018-03-05]. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2014.06.011. ISSN 02680033.
67. MOTICON. Physio & Pro Sports - Moticon [online]. © 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.moticon.de/products/physio-pro-sports>
68. MOUNTAIN DESIGNS. Women's Salomon XA Pro 3D Trail Running Shoes [online]. © 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://www.mountaindesigns.com/store/products/170423/salomon-xa-pro-3d-w>
69. NEUBAUER, Jiří, Marek SEDLAČÍK a Oldřich KRŽIŽ. Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech. 2., rozšířené vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5786-5.
70. NEUMANN, Georg. Das grosse Buch vom Triathlon. 2., überarb. Aufl. Aachen: Meyer und Meyer, 2010. ISBN 978-389-8995-955.

71. NEUMANN, Georg, Arndt PFÜTZNER a Kuno HOTTENROTT. Trénink pod kontrolou: metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku. Praha: Grada, 2005. Fitness, síla, kondice. ISBN 80-247-0947-3.
72. NIGG, Benno. Biomechanical considerations on barefoot movement and barefoot shoe concepts. *Footwear Science*. 2009, 1(2), 73-79, [cit. 2017-07-29]. DOI: 10.1080/19424280903204036. ISSN 1942-4280.
73. NILSSON, J. a A. THORSTENSSON. Ground reaction forces at different speeds of human walking and running. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1989, 136(2), 217-227, [cit. 2018-03-28]. DOI: 10.1111/j.1748-1716.1989.tb08655.x. ISSN 00016772.
74. NOAKES, Timothy. *Lore of running*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics, c2003. ISBN 08-732-2959-2.
75. NOVACHEK, Tom F. The biomechanics of running. *Gait & Posture*. 1998, 7(1), 77-95, [cit. 2017-05-22]. DOI: 10.1016/S0966-6362(97)00038-6. ISSN 09666362.
76. NOVÁK, Arne. *Biomechanika tělesných cvičení*. 1. Praha: SPN, 1965.
77. NOVEL.DE. Pedar-x system. 20. Mnichov, 2011, 122 s.
78. NOVEL.DE. Pedoped [online]. © 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://novel.de/novelcontent/pedoped-mobile-forces-sensors>
79. NSCA. *Posilování od A do Z*. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-2122-1.
80. ORTHOTIC BIOMECHANICAL SOLUTIONS. Vertical force and stance timings [online]. © 2010 [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://www.orthoticbiomechanicalsolutions.com/verticalforce.htm>
81. PAQUETTE, Max Robert, Songning ZHANG a Lucas Dahl BAUMGARTNER. Acute effects of barefoot, minimal shoes and running shoes on lower limb mechanics in rear and forefoot strike runners. *Footwear Science*. 2013, 5(1), 9-18, [cit. 2017-10-10]. DOI: 10.1080/19424280.2012.692724. ISSN 1942-4280.
82. PERIČ, Tomáš a Josef DOVALIL. *Sportovní trénink*. Praha: Grada, 2010. Fitness, síla, kondice. ISBN 978-80-247-2118-7.
83. PERL, DANIEL P., ADAM I. DAOUD a DANIEL E. LIEBERMAN. Effects of Footwear and Strike Type on Running Economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2012, 44(7), 1335-1343, [cit. 2017-10-11]. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318247989e. ISSN 0195-9131.

84. PETRAČIĆ, B., F.-J. RÖTTGERMANN a K.-Ch. TRAENCKNER. *Optimiertes Laufen: medizinische Tips zur biologischen Leistungsverbesserung*. 3. Aufl. Aachen, 2000. ISBN 978-389-1243-909.
85. PLACHETA, Zdeněk. *Zátěžová diagnostika v ambulantní a klinické praxi*. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-716-9271-9.
86. PONTZER, Herman, Kelly SUCHMAN, David A. RAICHLEN, Brian M. WOOD, Audax Z. P. MABULLA a Frank W. MARLOWE. Foot strike patterns and hind limb joint angles during running in Hadza hunter-gatherers. *Journal of Sport and Health Science*. 2014, 3(2), 95-101, [cit. 2017-11-22]. DOI: 10.1016/j.jshs.2014.03.010. ISSN 20952546.
87. PULEO, Joe a Patrick MILROY. *Běhání - anatomie*. Brno: CPress, 2014. ISBN 978-80-264-0358-6.
88. PUTTI, A. B., G. P. ARNOLD, L. COCHRANE a R. J. ABBOUD. The Pedar® in-shoe system: Repeatability and normal pressure values. *Gait & Posture*. 2007, 25(3), 401-405, [cit. 2017-11-07]. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2006.05.010. ISSN 09666362.
89. RAMANATHAN, A. K., P. KIRAN, G. P. ARNOLD, W. WANG a R. J. ABBOUD. Repeatability of the Pedar-X® in-shoe pressure measuring system. *Foot and Ankle Surgery*. 2010, 16(2), 70-73, [cit. 2017-11-07]. DOI: 10.1016/j.fas.2009.05.006. ISSN 12687731.
90. ROBBINS, Steven E. a Adel M. HANNA. Running-related injury prevention through barefoot adaptations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1987, 19(2), 148-156, [cit. 2017-05-08].
91. ROBBINS, Steven, Gerard J. GOUW, Jacqueline MCCLARAN a Edward WAKED. Protective Sensation of the Plantar Aspect of the Foot. *Foot & ankle*. 1993, 14(6), 347-352, [cit. 2017-12-05]. DOI: 10.1177/107110079301400608. ISSN 0198-0211.
92. ROBERTSON, D. Gordon E., Graham E. CALDWELL, Joseph HAMILL, Gary KAMEN a Saunders N. WHITTLESEY. *Research methods in biomechanics*. Second edition. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2014. ISBN 978-073-6093-408.
93. ROKYTA, Richard. *Fyziologie*. Třetí, přepracované vydání (první vydání v nakladatelství Galén). Praha: Galén, 2016. ISBN 978-80-7492-238-1.

94. SANASPORT. VIVOBAREFOOT TRAIL FREAK L 3M Mesh Pink/Teal [online]. © 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://www.sanasport.cz/vivobarefoot-trail-freak-l-3m-mesh-pink-teal>
95. SANDERSON, David J a Philip E MARTIN. Lower extremity kinematic and kinetic adaptations in unilateral below-knee amputees during walking. *Gait & Posture*. 1997, 6(2), 126-136, [cit. 2017-12-05]. DOI: 10.1016/S0966-6362(97)01112-0. ISSN 09666362.
96. SANDLER, Michael a Jessica LEE. *Bosé běhání*. Praha: Mladá fronta, 2015. ISBN 978-80-204-3533-0.
97. SCOTT, Genevieve, Hylton B. MENZ a Lesley NEWCOMBE. Age-related differences in foot structure and function. *Gait & Posture*. 2007, 26(1), 68-75, [cit. 2017-09-22]. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2006.07.009. ISSN 09666362.
98. SINCLAIR, Jonathan, Andrew GREENHALGH, Darrell BROOKS, Christopher James EDMUNDSON a Sarah Jane HOBBS. The influence of barefoot and barefoot-inspired footwear on the kinetics and kinematics of running in comparison to conventional running shoes. *Footwear Science*. 2013, 5(1), 45-53, [cit. 2018-04-22]. DOI: 10.1080/19424280.2012.693543. ISSN 1942-4280.
99. SMIDT, Gary L. *Gait in rehabilitation*. New York: Churchill Livingstone, 1990. ISBN 04-430-8663-X.
100. SMITH, Douglas G., John W. MICHAEL a John H. BOWKER. *Atlas of amputations and limb deficiencies: surgical, prosthetic, and rehabilitation principles*. 3rd ed. Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2004. ISBN 08-920-3313-4.
101. SOUMAR, Libor. *Kinematická analýza* [online]. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem: Pokrok, 2011 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: http://pokrok.ujep.cz/elektronicka_knihovna/Kinematicka_analyza.pdf
102. SQUADRONE, Roberto a C. GALLOZZI. Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2009, 49(1), 6-13, [cit. 2018-03-21].
103. STEFFNY, Herbert. *Das große Laufbuch: Vom richtigen Einstieg bis zum Marathon*. Aktualisierte und erw. Aufl. München: Südwest Verlag, 2010. ISBN 978-351-7086-422.

104. STÖGGL, Thomas a Tobias WUNSCH. Biomechanics of Marathon Running. Marathon Running: Physiology, Psychology, Nutrition and Training Aspects. Cham: Springer International Publishing, 2016, 13-45, [cit. 2017-12-03]. DOI: 10.1007/978-3-319-29728-6_2. ISBN 978-3-319-29726-2.
105. STRASSER, J. B. a Laurie. BECKLUND. Swoosh: the unauthorized story of Nike, and the men who played there. San Diego, CA: Harcourt Brace Jovanovich, 1991. ISBN 01-518-7430-1.
106. SUCHOMEL, Aleš. Tělesně nezdatné děti školního věku: (motorické hodnocení, hlavní činitelé výskytu, kondiční programy). Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-708-3140-6.
107. TEKSCAN. F-Scan system. [online]. © 2014 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <https://www.tekscan.com/>
108. TENBROEK, Trampas M., Pedro RODRIGUES, Edward C. FREDERICK a Joseph HAMILL. Effects of unknown footwear midsole thickness on running kinematics within the initial six minutes of running. Footwear Science. 2013, 5(1), 27-37, [cit. 2018-04-29]. DOI: 10.1080/19424280.2012.744360. ISSN 1942-4280.
109. TVRZNÍK, Aleš a David GERYCH. Velká kniha běhání. Praha: Grada, 2014. Sport extra. ISBN 978-80-247-4872-6.
110. TVRZNÍK, Aleš a Libor SOUMAR. Běhání: od joggingu po maraton. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-716-9858-X.
111. TVRZNÍK, Aleš, Miloš ŠKORPIL a Libor SOUMAR. Běhání: od joggingu po maraton. Praha: Grada, 2006. Sport extra. ISBN 80-247-1220-2.
112. VALTER, Ladislav a Martin NOSEK. Vybrané kapitoly z atletiky. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2007. ISBN 978-80-7044-940-0.
113. VAUGHAN, Christopher L. Biomechanics of running gait. Critical Reviews in Biomedical Engineering. 1984, 12(1), 1-48, [cit. 2017-11-01]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6394212>
114. VAŘEKA, Ivan a Renata VAŘEKOVÁ. Kineziologie nohy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2432-3.
115. VINDUŠKOVÁ, Jitka. Repetitorium - specializace atletika [online]. Praha: Trenérský institut (ESF), 2007, 36 s. Dostupné z: http://www.ftvs.cuni.cz/katedry/ka/Repetitoriumatletika_text.pdf
116. VIVOBAREFOOT. BAREFOOT OBUV VS MINIMALISTICKÁ OBUV [online]. © 2012-2018 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z:

<https://www.vivobarefoot.cz/vice-o-znacce-vivobarefoot/barefoot-obuv-vs-minimalisticka-obuv>

117. VRCHOVECKÁ, Pavlína a Vendula ŠKEŘÍKOVÁ. Kondiční výuka s netradičním gymnastickým náčiním a nářadím: inovace výuky tělesné výchovy a sportu na fakultách TUL v rámci konceptu aktivního životního stylu. Liberec: TUL, 2014. ISBN 978-80-7494-119-1.
118. WATERS, Robert L., Jacquelin PERRY, Daniel ANTONELLI a Helen HISLOP. Energy cost of walking of amputees: the influence of level of amputation. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1976, 58(1), 42-46, [cit. 2017-03-24]. Dostupné z:
<https://pdfs.semanticscholar.org/9d6f/f8917e238b65755cb13e73f85482eb4dd9b1.pdf>
119. WESSINGHAGE, Thomas. *Laufen: der Ratgeber für Ausrüstung, Technik, Training, Ernährung und Laufmedizin*. 4. Aufl. München [u.a.]: BLV-Verl.-Ges, 1999. ISBN 978-340-5147-648.
120. WÖLLZENMÜLLER, Franz. *Běhání*. České Budějovice: Kopp, 2006. Průvodce sportem. ISBN 80-723-2282-6.
121. XU, Hong, Masami AKAI, Shuichi KAKURAI, Kazuhiko YOKOTA a Hideo KANEKO. EFFECT OF SHOE MODIFICATIONS ON CENTER OF PRESSURE AND IN-SHOE PLANTAR PRESSURES¹. *America Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1999, 78(6), 516-524, [cit. 2018-04-29]. DOI: 10.1097/00002060-199911000-00005. ISSN 0894-9115.