

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Změny funkčních charakteristik nohy cílenou
neurofyziologickou intervencí u školních dětí**

Autoreferát disertační práce

Vedoucí disertační práce:

Prof. Ing. František Zahálka, Ph.D.

Vypracovala:

Mgr. Jitka Marenčáková

Konzultant disertační práce:

PaedDr. Tomáš Malý, Ph.D.

Praha, červen 2019

1 ÚVOD

Noha je jedinečná struktura se speciálním úkolem v rámci pohybového aparátu. Svou složitou stavbou a komplexní funkcí zajišťuje kontakt s podložkou a umožňuje tělu se bezpečně přemístit z jednoho místa na druhé. Její postura i funkce úzce souvisí s nastavením i funkcí segmentů nejen dolních končetin i vyšších etáží pohybového systému. Poruchy v oblasti nohy tak mohou vézt až ke vzniku patologických stavů a zranění pohybového aparátu.

Ontogeneze nohy je zahájena už před narozením. Klenba nohy se vytváří okolo věku 3-4 let dítěte, ale její další dotváření pokračuje do 10 let a dozrává až v dospělosti. Během fáze zrání je dětská noha náchylná na působení vnějších i vnitřních faktorů ovlivňujících její posturu a funkci. Poruchy nohy v dětském věku, nejčastěji plochá noha a pronovaná noha, zaujímají až okolo 70 % případů. Ukazuje se, že jedním z vnějších rizikových faktorů může být pohybová aktivita v závislosti na její intenzitě. V dnešní době převládají dva extrémy v přístupu pohybové aktivity u dětí. Na jedné straně je vyvíjen tlak na vrcholovou úroveň sportu a specializovaný trénink již od útlého dětství a na druhé straně se pohybová aktivita u dětí snižuje s rozvojem sedavého životního stylu. Výrazná sportovní zátěž vyvolává nadměrné přetížení a únavu a pohybová neaktivita naopak svalovou slabost a snížení výkonnosti. Ačkoli existuje názor, že se plochá noha u dětí ve většině případů samovolně s přechodem do dospělosti upraví, neexistuje evidence výskytu, vývoje a možnosti léčby poruch nohy u dětí s výraznou sportovní zátěží a u dětí nesportujících.

Cílem výzkumu bylo identifikovat funkční charakteristiky nohy a možnosti jejich ovlivnění u školních dětí vybraných na základě pohybové aktivity a její intenzity – výrazně sportující děti a nesportující děti. Na základě komplexnosti dané problematiky byl výzkum rozdělen na tři dílčí studie s těmito dílčími konkrétními cíli: cíl Studie 1 – zjistit funkční charakteristiky nohy u školních dětí pro výrazně sportující a nesportující děti; cíl Studie 2 – ozřejmit vliv dlouhodobého působení výrazné sportovní zátěže na posturu i funkci nohy během dospívání; a cíl Studie 3 – ověřit efekt cílené pohybové terapie na poruchu nohy typu pronovaná noha a plochá noha u výrazně sportujících dětí.

Práce by měla podat ucelený pohled na problematiku typologie a funkce nohy, jejich poruch a následných možností terapeutického ovlivnění u 2 specifických skupin školních dětí vybraných na základě působení prováděné pohybové aktivity výrazné intenzity a nedostatečné intenzity.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

Noha je vývojově svojí stavbou anatomickou, fyziologickou i neurofyziologickou uzpůsobena k zajištění komplexní funkce, kterou je jednak funkce statická – opěrná, tak zároveň funkce dynamická – lokomoční (Dylevský, 2009; Wright, Ivanenko, & Gurfinkel, 2011). Noha se vyvíjí v závislosti na celkovém vývoji motoriky a je integrována do postury celého těla v každém vývojovém stupni (Kolář, 2009). Základy nohy se vytváří již prenatálně. Klenba nohy se začíná dynamicky formovat s přechodem do stoje a chůze do věku 3-4 let dítěte, což pokračuje až do 10 let věku dítěte. Úplné dozrání funkce a skeletu nohy je odsazeno až s dospělostí (Onodera et al., 2008).

Statická funkce nohy spočívá v opěrné funkci. Svým držením (posturou) ovlivňuje vyšší segmenty pohybového systému (Kapandji, 1987). Klouby nohy a klouby dolní končetiny jsou ve vzájemných funkčních vztazích, které vedou ke sdruženým pohybům v rámci otevřeného i uzavřeného kinematického řetězce (Vařeka & Vařeková, 2009; Véle, 2006). Dynamická funkce nohy představuje provázané biomechanické procesy nutné k provedení chůze a běhu (Kirby, 2017; Scott, Menz, & Newcombe, 2007; Vařeka & Vařeková, 2009). Kineziologie dětské nohy se liší od té dospělé v morfologických parametrech, které souvisejí především s vývojem pohybového aparátu při dozrávání do dospělosti (osifikace, růst a remodelace kostí, zrání funkcí nervové soustavy, svalová adaptace). Tyto morfologické změny ovlivňují funkci pohybového systému a biomechaniky chůze u dětí (Honzíková, Svoboda, Janura, Rosický, & Martinasková, 2013; Kolář, 2009).

Typologie nohy je klinický koncept zjednodušující morfologickou komplexnost lidské nohy pro její popis. V současné době je známa celá řada teorií a modelů, avšak neexistuje jednotný konsensus klasifikace typů nohy a tak je interpretace a srovnávání výsledků velmi obtížné (Hillstrom et al., 2013; Ozer, 2012). Nejčastěji používanými klasifikacemi jsou klasická klinická typologie a biomechanická typologie. Klasická klinická typologie podle tripodního modelu nohy popisuje nohu podle výšky nožní klenby (normální noha, plochá noha a vysoká noha), (Dungl, 2005; Hillstrom et al., 2013). Biomechanická typologie hodnotí nohu podle pozice zánoží při neutrální pozici v subtalárním kloubu (pronovaná noha, neutrální noha a supinovaná noha), (Harradine, Lead, Bevan, & Carter, 2003).

Poruchy nohy se dají rozdělit na poruchy postury a poruchy funkce. Poruchy postury nohy představují poruchu statickou ve smyslu poruchy morfologie nohy, kterou

představuje klenba nožní. Patří sem plochá noha a vysoká noha, pronovaná noha a supinovaná noha, a deformity předonoží a prstců. Mezi nejčastěji řešené poruchy postury nohy patří plochá noha, která se vyznačuje snížením klenby nožní. U ploché nohy se rozlišuje flexibilní a rigidní forma. Flexibilní forma se vyznačuje normální výškou mediální klenby nohy při nezatížené noze, která poklesne během zatížení nohy, přičemž může být symptomatická či asymptomatická. Typickými symptomy jsou bolest mediální strany nohy, kolen a jiné. Rigidní plochá noha má pokleslý mediální oblouk v zatížení i v odlehčení (Harris et al., 2004). Pronovaná noha se vyznačuje pronačním držením nohy především v zatížení.

Poruchy funkce nohy mohou být důsledkem statických poruch, ale zároveň mohou být i jejich příčinou. Funkční poruchy nohy představují poruchy biomechanických mechanismů funkce nohy během chůze a běhu. Patří sem funkce rozložení tlaku nohy na podložku (maximální tlak), posturální stabilita (výchyly COP), odvalování chodidla (trajektorie COP), kinetické parametry (reakční síla podložky, silový impuls, ad.) a kinematické parametry nohy (časové a prostorové parametry chůze), (Buldt et al., 2018; De Cock, Vanrenterghem, Willems, Witvrouw, & De Clercq, 2008; Deschamps et al., 2013, 2017; Harrison & Littlewood, 2010; Saraswat, MacWilliams, Davis, & D'Astous, 2014; Teyhen et al., 2011; Tsai, Yu, Mercer, & Gross, 2006; Willems et al., 2006).

Etiologie poruch nohy se u jednotlivých typů liší. Příčiny vrozené ploché nohy jsou nejčastěji vrozené strukturální vady na podkladě kostně-vazivové složky, ale také na neurologickém či svalovém podkladě. Vznik získané ploché nohy závisí pak především na celkovém zdravotním stavu jedince, na tělesné hmotnosti a fyzické aktivitě, přičemž může vzniknout na podkladě poruchy kostní, vazivové, svalové či neurologické složky nebo kombinací všech těchto složek (Haendlmayer & Harris, 2009). Etiologie flexibilní ploché nohy zahrnuje strukturální poruchy, obezitu, generalizovanou laxicitu vazů, biomechanické příčiny, neurologické diagnózy, svalové dystrofie, genetické syndromy, kolagenové onemocnění a další. Příčiny rigidní formy ploché nohy jsou úrazy, iatrogenní poškození, tarzální koalice, vrozený vertikální talus, peroneální spastická plochá noha a morfologie kalkaneu (Halabchi et al., 2013; Murray, 2006; Kothari, Theologis, Bhuva, Stebbins, & Zavatsky, 2016). U pronované nohy nebo hyperpronované nohy se uvádějí spíše svalové příčiny vzniku: dysfunkce šlachy m. tibialis posterior, oslabené flexory prstců, oslabení abduktorů kyčelního kloubu,

zkrácení Achillovy šlachy, přítomnost deformit prstů (hallux valgus), genu valgum a obezita (Golightly, Hannan, Dufour, Hillstrom, & Jordan, 2014; Stovitz & Coetzee, 2010).

Prevalence výskytu ploché nohy je vysoce variabilní a ve světových údajích se pohybuje v rozmezí 0,6-77,9 % (MacKenzie, Rome, & Evans, 2012). U předškolních dětí je udávána v rozmezí 21-57 %, zatímco u školních dětí se plochá noha vyskytuje už jen v rozmezí 13,4-27,6 %, přičemž se uvádí, že až 15 % přetrvává až do dospělosti (Shih, Chen, Chen, & Lin, 2012). Mužské pohlaví má větší tendenci k výskytu ploché nohy než ženské pohlaví (MacKenzie, Rome, & Evans, 2012). Prevalence pronované nohy je udávána okolo 13,9 % (výzkumný vzorek 1466 lidí), (Golightly et al., 2014).

Rizikové faktory vzniku poruch nohy lze rozdělit na 2 kategorie: vnitřní rizikové faktory (věk, pohlaví, tělesnou hmotnost, vrozené predispozice, genetické faktory a různá onemocnění) a vnější rizikové faktory (úrazy a operace, typ pohybové aktivity, intenzita statické a dynamické zátěže, obuv a zdravý životní styl) (Bourdet, Seringe, Adamsbaum, Glorion, & Wicart, 2013; Dare & Dodwell, 2014; Dowling et al., 2015; Evans, Rome, & Peet, 2012; Headlee, Leonard, Hart, Ingersoll, & Hertel, 2008; Ridge et al., 2019). Vnitřní faktory, až na několik výjimek, nelze výrazně ovlivnit (biologicky determinované), kdežto vnější faktory většinou alespoň částečně ovlivnit lze nebo jim jde dokonce v rámci prevence předejít.

Ukazuje se, že porucha nohy statická i dynamická, resp. typ nohy, je významným rizikovým faktorem vzniku patologií a zranění nohy a dolních končetin na základě změn morfologie, mobility a biomechaniky celé nohy i dolní končetiny a z přetížení (Buldt et al., 2018; Sherman, 1999; Tong & Kong, 2013; Dowling et al., 2015).

Plochá noha je spojena se zhoršenou posturální stabilitou (Kodithuwakku, Sachini, Chander, & Knight, 2019), mění rozložení tlaku nohy na podložku (Chang et al., 2014) a vede až ke vzniku bolestí zad (Kosashvili et al., 2008). Porucha typu flexibilní plochá noha je jedním z rizikových faktorů pro zranění z přetížení dolních končetin (overuse injury), (Kaufman, Brodine, Shaffer, Johnson, & Cullison, 1999). Pronovaná noha je spojena s rizikem vzniku tzv. tibial stress syndromu (Neal et al., 2014).

U dětské populace se projevuje typicky větší náchylnost k působení negativních faktorů na vývoj nohy, protože osifikace a remodelace kostí a adaptace měkkých tkání

i nervových struktur probíhá postupně až do věku 18 let. Výzkum dokládá, že když se dítě s poruchou nohy typu plochá noha, dostane do výrazné pohybové zátěže, může mít porucha nohy výrazný vliv na vznik patologií ve vyšších etážích pohybového aparátu (Giannini et al., 2014; Kothari, Dixon, Stebbins, Zavatsky, & Theologis, 2016).

Porucha nohy je rizikovým faktorem také ve sportu (Aydog, Tetik, Demirel, & Doral, 2005; Queen, Mall, Nunley, & Chuckpaiwong, 2009). Například typ nohy pronovaná noha je v úzké korelaci ke vzniku úrazů u běžců (Pérez-Morcillo et al., 2019) a fotbalistů (Valderrabano, Barg, Paul, Pagenstert, & Wiewiorski, 2014) a zvyšuje u nich riziko bolestí kolenních kloubů (Dahle, Mueller, Delitto, & Diamond, 1991).

Existuje řada diagnostických přístupů vyšetření postury (typu nohy) a funkce nohy, které můžeme rozdělit na kvalitativní a kvantitativní, statické a dynamické, klinické a přístrojové laboratorní metody. Mezi kvalitativní metody vyšetření nohy patří klinické vyšetření skládající se z odebrání vstupní zdravotní anamnézy vztahující se k dané problematice a z vyšetření pohledem nebo pohmatem nejčastěji v rámci kineziologického rozboru (Véle, 2006).

Kvantitativní metody zahrnují antropometrické vyšetření a zjištění poměrových indexů (Valgus index, Navicular drop, Rearfoot angle, ad.), analýza inkoustových nebo digitálních otisků nohy (např. Chippaux-Šmiřák index), zobrazovací metody např. radiografické vyšetření (např. Calcaneal inclination angle), pedobarografie (rozložení tlaků na podložku, výchylky COP) a 2D a 3D analýza nohy během stoje a chůze (Billis, Katsakiori, Kapodistrias, & Kapreli, 2007; Buldt et al., 2015; Harris et al., 2004; Lee et al., 2005; Maršáková & Pavlů, 2012; Mootanah et al., 2013; Razeghi & Batt, 2002; Williams & McClay, 2000).

Statické vyšetřovací metody zahrnují statická klinická vyšetření, přístrojová vyšetření ve stoji i semi-dynamická vyšetření, kdy se odezírá změna mezi dvěma klidovými pozicemi, například mezi sedem (v nezatížení, non-weight bearing) a stojem (v zatížení, weight bearing) jako je např. Arch height change test (McPoil et al., 2008) nebo Navicular drop test (Brushøj, Langberg, Larsen, Nielsen, & Hölmich, 2007; Vinicombe, Raspovic, & Menz, 2001). Dalšími metodami jsou otisky nohy, odlitky nohy (Tsung, Zhang, Fan, & Boone, 2007) nebo sofistikovanější statická pedobarografie či 3D scanning tvaru nohy pomocí 3D scanneru (Saghazadeh, Kitano, & Okura, 2015; Witana, Xiong, Zhao, & Goonetilleke, 2006).

Dynamické vyšetřovací metody hodnotí komplexní funkci nohy během dynamických podmínek. Patří sem měření pomocí silových desek a dynamická pedobraografie, které umožňují zkoumat působící síly a rozložení tlaku plosky na podložku během chůze či běhu (Deschamps et al., 2013). Další metodou je 2D nebo 3D kinematická analýza chůze a běhu (Hillstrom et al., 2013; Marencakova et al., 2016) či novodobě rozvíjená metoda dynamického 3D scanningu nohy pomocí 3D scanneru během chůze (Van den Herrewegen et al., 2014).

Klinické vyšetření nohy je kvalitativním typem diagnostiky. Je prováděno klinickým specialistou pohledem a pohmatem, a proto se mohou výsledky různých hodnotitelů vzájemně lišit. Stále je však důležitou, dostupnou a základní součástí vyšetření v rámci klinické praxe. Klinické vyšetření se zahajuje důkladným odběrem zdravotní anamnézy a relevantních informací. U nohy by nutnou součástí měla být i vizuální kontrola obuvi a nakonec vlastní vyšetření pohybového aparátu (Cranage, Banwell, & Williams, 2016; Gross, Fetto, & Rosen, 2005; Kolář, 2009; Lewit & Lepšíková, 2008; Maršáková & Pavlů, 2012; Toro, Nester, & Farren, 2003; Véle, 2006). Vyšetření postury nohy lze doplnit vyšetřením na optickém či digitálním podoskopu (Laowattanatham, Chitsakul, Tretriluxana, & Hansasuta, 2014). Pro objektivizaci hodnocení otisku nohy se v klinické praxi využívají nejrůznější indexy nohy vypočítané z inkoustového otisku nohy, který je dnes nahrazen digitálním tlakovým otiskem získaným pomocí pedobarografie nebo 3D scanneru (Zuil-Escobar, Martínez-Cepa, Martín-Urrialde, & Gómez-Conesa, 2016).

Možnosti přístrojové diagnostiky dnes nabízejí široké možnosti 2D a 3D vyšetření nohy, dolních končetin a celého těla při stoji, chůzi i běhu. Mezi nejpoužívanější metody 2D a 3D kinematiky těla patří videoanalýzy nebo analyzátoři pohybu na principu aktivních, či pasivních markerů. Pro oblast kinetiky těla se nejčastěji používají analýzy hodnocení postury, či funkce nohy, pomocí vyšetření na silových deskách nebo tlakových deskách, které registrují silové parametry a změny silového a tlakového působení včetně středu jejich působení (COF resp. COP). Mezi často používané 3D vyšetřovací metody nohy mimo kinematické analýzy nohy během chůze patří i 3D scan nohy ve stoji (Levine et al., 2012; Richards, 2018; Van den Herrewegen et al., 2014).

Funkční charakteristiky nohy jsou parametry, které odrážejí nejen stav, ale i funkci nohy. Mezi objektivní funkční charakteristiky nohy patří indexy nohy zjišťované z inkoustových nebo digitálních otisků nohy ve stoji (např. Chippaux-Šmiřák

index), (Hillstrom et al., 2013; Ozer, 2012) nebo při chůzi (např. Centre of pressure index), (Diaz et al., 2018; Song, Hillstrom, Secord, & Levitt, 1996), indexy klinického vyšetření typu nohy (např. Foot posture index), tlakové parametry nohy (např. rozložení tlaku nohy ve stoji a při chůzi), (Xu, Wen, Huang, Shang, Cheng, et al., 2017), parametry posturální stability (výchylky COP ve stoji), (Kyvelidou, Harbourne, Haworth, Schmid, & Stergiou, 2017) a parametry kinetické a kinematické analýzy chůze (časové a prostorové parametry chůze), (Marencakova, Svoboda, Vareka, & Zahalka, 2016).

Posturální stabilita se hodnotí pomocí výchylek středu tlakového působení COP, který reprezentuje průmět výsledné vertikální složky reakční síly podložky s přesnou vymezenou pozicí v souřadnicovém systému. Jelikož stoj není statický, můžeme pomocí sledování COP výchylek usuzovat posturální stabilitu jedince (Richards, 2018). Hodnocení výchylek COP během stoje (např. celková dráha výchylek COP – total traveled way, TTW) se používá k hodnocení statické posturální stability u ortopedických a neurologických onemocnění, po úrazech, u dospělých, dětí i seniorů a sportovců (Kyvelidou et al., 2017; Rhea, Kiefer, Haran, Glass, & Warren, 2014; Wolff et al., 1998; Yeh, Cinelli, Lyons, & Lee, 2015). K tomu se využívají Rombergovy testy stoje jako je například stoj o úzké bázi s otevřenýma a zavřenýma očima, nebo stoj na jedné noze (Winter, 1995).

Během chůze se COP promítá do oblasti plosky nohy opěrné dolní končetiny. Spojením jednotlivých pozic COP během celé stojné fáze chůze vzniká trajektorie COP, tzv. Centre of pressure excursion. Normální vzorec trajektorie COP během chůze vypadá takto: při kontaktu nohy během došlapu zaujímá pozici mírně laterálně ke středové ose paty, pak pokračuje ve středové linii směrem k hlavičkám metatarsů, kde se stáčí mediálně, a během přípravy k odrazu se přesouvá k 1. nebo 2. prstci nohy (Levine, Richards, & Whittle, 2012; Perry & Burnfield, 2010; Richards, 2018). Tento vzorec je ukazatelem dynamické funkce nohy (Lugade & Kaufman, 2014), kterou lze objektivně vyjádřit například pomocí Centre of pressure excursion indexu (CPEI), kterým se zjišťuje míra konkavity křivky průběhu COP (Hillstrom et al., 2013; Song et al., 1996). Celý proces diagnostiky by měl vézt k identifikaci typu poruchy nohy, odhalení příčiny a nastavení optimální intervence.

Intervenční přístupy závisí na typu poruchy nohy, její etiologii a prognóze. Terapeutické přístupy léčby poruch nohou se dělí na operační a konzervativní. Operační

lčba je zvolena, pokud se jedná o závažné strukturální vady nejčastěji vrozené či získané při závažném onemocnění nebo po úrazech a v případech, kdy konzervativní léčba selhala (Kaplan, Aiyer, Cerrato, Jeng, & Campbell, 2018; Laurá et al., 2018).

Konzervativní přístupy můžeme rozdělit do několika kategorií. Pohybová léčba, ortopedické, ortotické a pasivní pomůcky, obuv a životospráva (Kodithuwakku et al., 2019; Ridge et al., 2019).

Pohybová léčba, kinezioterapie, zahrnuje různé terapeutické metody a koncepty. Nejvíce používané metody terapie u poruch nohy jsou cvičení krátkých svalů nohy (Mulligan & Cook, 2013; Jung et al., 2011; Kodithuwakku et al., 2019), balanční a senzomotorický trénink (Page, 2006; Rothermel, Hale, Hertel, & Denegar, 2004), metoda Spiral dynamic (Král, 2016), cvičení ve vývojových řadách například koncept Dynamické neuromuskulární stabilizace podle prof. Koláře (Kolář, 2009) a jiné.

V zahraniční literatuře je evaluace efektu pohybové terapie velmi omezená, protože podle review studií terapeutických možností existuje omezené množství studií a jen několik z nich splňuje kritéria kvalitního validního výzkumu (MacKenzie, Rome, & Evans, 2012). Jiné review uvádí 5 studií zabývajících se pohybovou léčbou a rehabilitací ploché nohy u dětí do 18 let a dodává, že byl zjištěn převládající pozitivní efekt terapie na stupeň ploché nohy, ale v závislosti na délce trvání terapie a intenzitě provedení terapie (Dordević, Jorgić, & Stanojević, 2015).

Ze zahraničních zdrojů všeobecně převládá pouze sledovací kontrolní přístup v případech nebolestivé dětské ploché nohy. U symptomatické ploché nohy (se současnou bolestí pohybového aparátu) je na prvním místě indikovaná léčba bolesti (klid, chlazení, medikamenty proti bolesti), až poté bývá doporučena jakási pohybová léčba na domácí léčení sestávající pouze z protahování Achillovy šlachy a lýtkových svalů, které byly v některých výzkumech prokázány jako účinná úleva od bolesti dolních končetin, ale evidence úspěšné pohybové terapie ploché nohy, bohužel, neexistuje. Lékaři pak nejčastěji přistupují k výběru ortopedické stélky, úpravy obuvi anebo vhodné operační léčby, která je v zahraniční literatuře bohatě zkoumaným přístupem k terapii různých forem poruch nohy, včetně ploché nohy (Carr, Yang, & Lather, 2016; Halabchi et al., 2013; Mosca, 2010).

3 AKTUÁLNÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Noha je velmi komplexní struktura jak morfologickou stavbou tak i funkcí. Je znám vliv typu nohy na biomechanické parametry chůze (Harrison & Littlewood, 2010; Gill, Keimig, Kelty-Stephen, Hung, & DeSilva, 2016; Marencakova et al., 2016). Pokud dojde k poruše postury či funkce nohy, může se to projevit vznikem patologií i na vyšších etážích pohybového aparátu (Kodithuwakku et al., 2019).

Klenba nohy se vytváří okolo věku 3-4 let dítěte, ale její další dotváření pokračuje do 10 let a dozrává až v dospělosti. Během této doby je dětská noha náchylná na působení vnějších i vnitřních faktorů ovlivňujících její posturu i funkci. Jednou z nejčastějších poruch postury nohy je plochá noha a pronovaná noha. Prevalence ploché nohy u školních dětí je v rozmezí 13,4-27,6 % (Shih et al., 2012) a pronované nohy okolo 13,9 % (Golightly et al., 2014).

Každá statická porucha nohy se projevuje následnou poruchou funkce nohy a je tak významným rizikovým faktorem vzniku patologií a zranění v oblasti nohy a dolních končetin na základě přetížení z porušené funkce nohy u běžné populace, ale také i ve sportu (Buldt et al., 2018; Kaufman et al., 1999; Neal et al., 2014; Sherman, 1999; Tong & Kong, 2013).

Ukazuje se, že jedním ze zevních rizikových faktorů pro vznik poruchy nohy je pohybová aktivita a její intenzita. V současné době převládají dva extrémy v přístupu pohybové aktivity u dětí. Na jedné straně je vyvíjen tlak na vrcholovou úroveň sportu a specializovaný trénink od útlého dětství a na druhé straně se pohybová aktivita u dětí snižuje s rozvojem sedavého životního stylu (Merkel, 2013).

Výrazná pohybová aktivita vyjádřená výraznou sportovní zátěží je typická zvýšenou únavou a přetížením pohybového aparátu (Dowling et al., 2015). Výzkum ukazuje, že únava vnitřních svalů nohy má vliv na posturu a funkci nohy, především na zvětšení rozsahu pronace nohy (Headlee et al., 2008). Pohybová neaktivita školních dětí je vyjádřená sníženou pohybovou aktivitou, která celosvětově každoročně klesá o 1-2 %. V rámci ČR byl v letech 2002-2014 zaznamenán výrazný nárůst prevalence nadváhy a obezity a výrazný pokles pohybové aktivity mládeže (Sigmund et al., 2015), což je další rizikový faktor spojený se vznikem poruch v oblasti nohy, přičemž výzkum dokládá, že snížená svalová síla a pohybová výkonnost je v úzké spojitosti se strukturou nohy (Zhao, Tsujimoto, Kim, Katayama, & Tanaka, 2018).

Fotbal, jeden z nejpůvodnějších sportů u nás i ve světě, je spojen s vysokou prevalencí úrazů a deformit v oblasti dolní končetiny a nohy, přičemž muži mají větší riziko úrazu než ženy (Sims, Hardaker, & Queen, 2008). Z příčin vzniku úrazu u fotbalistů bylo hned za přímým kontaktem mezi hráči uvedeno zranění z přetížení, a dále také zvýšená laxita vaziva (Nery, Raduan, & Baumfeld, 2016). Dalším z rizikových faktorů je funkční porucha nohy typu pronovaná noha, která u dospělých fotbalistů zvyšuje riziko vzniku úrazů dolních končetin a bolestí kolenních kloubů (Valderrabano et al., 2014; Dahle et al., 1991; Eils et al., 2004).

Existuje evidence, že dětská plochá noha se ve většině případů spontánně upraví s vyžíváním do dospělosti (Adamec, 2005). Avšak skutečný vliv pohybové aktivity ve smyslu výrazné pohybové zátěže a pohybové neaktivity na dětskou vyvíjející se nohu nebyl zjišťován.

4 FORMULACE VĚDECKÉHO PROBLÉMU

Na základě dostupných informací je nutné identifikovat vliv výrazné sportovní zátěže a pohybové neaktivity na morfologii a funkci nohy u školních dětí; zjistit dopad dlouholeté sportovní zátěže na dětskou nohu během dospívání a ověřit možnosti ovlivnění poruchy nohy u aktivně sportujících dětí pomocí cílené pohybové terapie.

Výše uvedený vědecký problém bylo nutno pro řešení rozdělit na dílčí části, pro které bylo nezbytné specifikovat dílčí vědecké otázky, hypotézy a dílčí konkrétní cíle. Po analýze vstupních dat z pilotních studií vyplynulo rozdělení na tři dílčí studie postihující celou komplexní oblast poruch nohy v souvislosti s pohybovou aktivitou.

- **Studie 1** Rozdíly funkčních charakteristik nohy mezi sportujícími dětmi a nespportujícími dětmi
- **Studie 2** Působení dlouhodobé zátěže na funkční charakteristiky nohy
- **Studie 3** Efekt cílené intervence na funkční charakteristiky nohy

Vědecká otázka 1

Existují rozdíly ve funkčních parametrech nohy pro dvě specifické skupiny vybrané z populace školních dětí na základě působení vnějšího rizikového faktoru – intenzity pohybové aktivity: skupina A) výrazná pohybová aktivita – sportující děti, a skupina B) pohybová neaktivita – nespportující děti?

Vědecká otázka 2

Jaký vliv má dlouhodobá výrazná pohybová zátěž na vybrané funkční charakteristiky nohy v populaci sportujících dětí během fáze dospívání? Může být dlouhodobá výrazná pohybová zátěž rizikovým faktorem vzniku poruchy nohy u dětí i v tomto téměř dospělém věku nebo s přechodem do dospělosti riziko vzniku a rozvoje poruch nohy u těchto dětí přirozeně klesá?

Vědecká otázka 3

Můžeme pomocí cílené pohybové intervence založené na neurofyziologickém podkladě ovlivnit funkční poruchy nohy ve smyslu zmírnění jejich závažnosti a zastavení jejich rozvoje u aktivně sportujících školních dětí? Nebo naopak další pohybová zátěž, i když terapeuticky cílená a komplexní, ještě více nohu a pohybový systém zatíží nebo dokonce přetíží a dojde ke zhoršení funkční poruchy nohy a bude pak nasnadě uvažovat o použití pasivních terapeutických přístupů?

5 CÍL, HYPOTÉZY A ÚKOLY VÝZKUMU

Cíl výzkumu

Cílem výzkumu bylo identifikovat vybrané funkční charakteristiky nohy u školních dětí vybraných na základě působení pohybové aktivity v nejvyšší intenzitě (sportující děti) a v nejnižší intenzitě (nesportující děti) a možnosti ovlivnění poruch nohy cílenou neurofyziologickou intervencí.

Studie 1: Rozdíly funkčních charakteristik nohy mezi sportujícími dětmi a nespportujícími dětmi.

Cílem studie 1 bylo identifikovat skupinově specifické rozdíly v morfologii a funkci nohy pomocí vybraných charakteristik nohy mezi organizovaně sportujícími a nespportujícími dětmi.

Studie 2: Působení dlouhodobé zátěže na funkční charakteristiky nohy.

Cílem studie 2 bylo identifikovat vliv dlouhodobé pohybové zátěže na morfologii a funkci nohy pomocí vybraných charakteristik nohy u organizovaně sportujících dětí.

Studie 3: Efekt cílené intervence na funkční charakteristiky nohy.

Cílem studie 3 bylo identifikovat vliv cílené intervence na morfologii a funkci nohy pomocí vybraných charakteristik nohy u organizovaně sportujících dětí.

Hypotézy výzkumu

Hypotéza 1 zjišťovala skupinové rozdíly ve vybraných funkčních charakteristikách nohy u sportujících a nespportujících dětí.

H1: Existují signifikantní skupinově specifické rozdíly ($p < 0,05$, $d > 0,50$, $\eta_p^2 \geq 0,06$) alespoň ve dvou parametrech z vybraných funkčních charakteristik nohy pro skupinu organizovaně sportujících a pro skupinu nespportujících dětí školního věku:

- četnost výskytu pronované a výrazně pronované nohy podle Foot posture indexu (FPI),
- četnost výskytu ploché nohy a jejich podskupin podle Chippaux-Šmiřák indexu (CSI),
- hodnota celkové dráhy výchylek (total traveled way, TTW) středu tlakového působení (COP),

- funkce nohy během chůze podle Centre of pressure excursion indexu (CPEI).

Hypotéza 2 zkoumala vliv dlouhodobé zátěže na vybrané charakteristiky nohy u sportujících dětí v období dospívání.

H2: Pomocí vybraných funkčních charakteristik nohy lze identifikovat signifikantní ($p < 0,05$, $\eta_p^2 > 0,06$) negativní vliv dlouhodobé zátěže trvajících alespoň 3 roky alespoň v jednom parametru nohy u organizovaně sportujících školních dětí – elitních fotbalistů kategorie U15-U18 s poruchou nohy typu pronovaná noha a/nebo plochá noha:

- zvýší se průměrná hodnota CSI minimálně o 2%,
- zvýší se průměrná hodnota TTW minimálně o 200 mm.

Hypotéza 3 ověřovala efekt cílené pohybové intervence na funkční charakteristiky nohy u sportujících dětí.

H3: Cílená pohybová intervence signifikantně ($p < 0,05$, $d > 0,50$) pozitivně ovlivní minimálně dva parametry z vybraných funkčních charakteristik nohy u chlapců organizovaně hrajících fotbal ve věku 9-10 let s poruchou nohy typu pronovaná a/nebo plochá noha:

- sníží se průměrná hodnota FPI alespoň o 1 jednotku,
- sníží se průměrná hodnota CSI alespoň o 2 %,
- sníží se průměrná hodnota TTW alespoň o 200 mm,
- zvýší se průměrná hodnota CPEI alespoň o 5 (%).

Úkoly výzkumu:

- Systematické review současných poznatků.
- Stanovení vědeckého problému, cíle a hypotéz.
- Výběr výzkumného vzorku.
- Organizace výzkumného měření.
- Sběr výzkumných dat.
- Zpracování a analýza výzkumných dat.
- Interpretace a diskuze výsledků výzkumu.
- Stanovení závěrů výzkumu.

6 METODIKA VÝZKUMU

Tato teoreticko-empirická práce představuje kvantitativně-kvalitativní typ výzkumu, který je členěn na tři samostatné výzkumné studie s využitím metody průřezové studie (Studie 1), prospektivní longitudinální studie (Studie 2) a kvazi-experimentu (Studie 3). Každá studie získala souhlas Etické komise UK FTVS a každý účastník výzkumu podepsal informovaný souhlas.

6.1 Charakteristika výzkumného souboru

Výzkumný soubor Studie 1

Sledovanou skupinou Studie 1 byly školní děti ve věku 9-15 let. Výzkumný soubor tvořilo 168 dětí z 2 pražských základních škol. Celkem 91 dětí (72 chlapců, tělesná výška $158,3 \pm 17,7$ cm, tělesná hmotnost $50,2 \pm 17,5$ kg, věk $12,4 \pm 2,3$ let, velikost nohy $6,8 \pm 2,7$ UK, a 19 dívek, těl. výška $157,9 \pm 8,0$ cm, těl. hmotnost $51,6 \pm 12,7$ kg, věk $12,9 \pm 1,7$ roků, velikost nohy $5,3 \pm 1,2$ UK) absolvovalo kompletně všechna výzkumná měření. Vyřazeny byly děti s akutním onemocněním, akutním bolestivým stavem, úrazem či operací na dolních končetinách, pánvi a páteři a výraznou obezitou.

Výzkumný soubor Studie 2

Sledovanou skupinu Studie 2 tvořili elitní fotbalisti mužského pohlaví mládežnických kategorií věkového rozmezí 15-18 let. Vybraný výzkumný soubor sestával ze 75 elitních fotbalistů kategorie U15-U18 tří fotbalových týmů. Celkem 35 elitních hráčů fotbalu (těl. výška $174,62 \pm 5,71$ cm, těl. hmotnost $64,11 \pm 6,16$ kg, věk $15,49 \pm 0,61$ roku, vel. nohy $8,63 \pm 1,03$ UK) splnilo vstupní podmínky výzkumu a absolvovalo všechna pravidelná výzkumná měření ve 3 po sobě jdoucích letech. Vstupní podmínky zahrnovaly nepřítomnost akutní bolesti, úrazu nebo prodělání operace dolních končetin, pánve a páteře během posledních šesti měsíců a to před začátkem výzkumného sledování i kdykoli v jeho průběhu.

Výzkumný soubor Studie 3

Sledovanou skupinou Studie 3 byli chlapci ve věku 9-10 let, organizovaně hrající fotbal minimálně jeden rok s tréninky alespoň 2x týdně. Vybraný výzkumný soubor sestával ze 75 chlapců 2 pražských fotbalových klubů. Celkem 14 chlapců (těl. výška

139,0 ± 8,9 cm, těl. hmotnost 31,5 ± 4,8, věk 9,3 ± 0,6 let, vel. nohy 3,5 ± 1,0 UK) splnilo vstupní podmínky (nepřítomnost akutní bolesti, úrazu, vrozených vad nebo prodělání operace dolních končetin, pánve a páteře během posledních 6 měsíců, nepřítomnost neurologického, psychiatrického či jiného onemocnění) a absolvovalo celý výzkum (vstupní měření, intervenci a výstupní měření).

6.2 Výzkumné metody

Ve výzkumu byla použita kombinace klinických diagnostických metod a přístrojových laboratorních diagnostických metod.

Klinické metody

Vstupní dotazník a anamnéza a zkrácený kineziologický rozbor sloužily k odebrání základních osobních informací a vyšetření nohy a segmentů dolních končetin, pánve a páteře pro zjištění a následné vyloučení patologických stavů, které mohou ovlivnit výsledky měření a efekt intervence (Gross et al., 2005; Maršáková & Pavlů, 2012; Véle, 2006).

Přístrojové laboratorní metody

Statická pedobarografie a dynamická pedobarografie je validizovaná a reliabilní metoda k měření posturální stability a rozložení tlaku nohy v kontaktu s podložkou (Milford, Sole, & Sole, 2016; Xu, Wen, Huang, Shang, Yang, et al., 2017; Xu, Wen, Huang, Shang, Cheng, et al., 2017). V této studii byla použita k získání digitálních tlakových otisků nohy a vyšetření posturální stability během stoje na jedné dolní končetině a průběhu středu tlakového působení (COPe) nohy na podložku během chůze. Měření bylo zajištěno pomocí reliabilních a validizovaných tenzometrických desek RS Footscan® (RSscan International, Belgium). Pro statická měření byl použit software Footscan® Balance 7.6 a deska o rozměrech 58x42x1,2 cm se 4096 senzory s použitou snímkovací frekvencí 10 Hz. Pro dynamická měření byl použit software Footscan® Gait 7.7 a deska o rozměrech 107x42x1,2 cm s 8192 senzory o velikosti 0,5x0,7 cm a snímkovací frekvencí 253 Hz.

Sledované parametry:

Total traveled way (TTW) – celková dráha výchylek COP v mm měřená po dobu 60 s ve stoji na jedné dolní končetině tak, že druhostranná končetina je ohnutá v 90° flexi v kolenním kloubu a v neutrálním postavení v kloubu kyčelním (Kapteyn et al., 1983).

COP excursion (COPE) – trajektorie COP při odvalování chodidla během chůze získaná ze snímku digitálního tlakového otisku nohy ve fázi středního stoje během chůze. COPe je základním ukazatelem dynamické funkce nohy a slouží k její objektivizaci pomocí indexů, např. Centre of pressure excursion index (CPEI), (Diaz et al., 2018; Song et al., 1996).

Typologie nohy:

Hodnocení postury a funkce nohy ve stoji:

Foot posture index (FPI) – index klinického vyšetření typu nohy dle validizovaného 6 položkového (6-FPI) protokolu s ověřenou reliabilitou i pro dětskou populaci a adolescenty (Evans et al., 2012; Martínez-Nova, Gijón-Noguerón, Alfageme-García, Montes-Alguacil, & Evans, 2018; Morrison & Ferrari, 2009). Protokol 6-FPI se skládá z palpace hlavice talu a hodnocení zakřivení nad a pod zevním kotníkem, pozice kalkaneu ve frontální rovině, prominence v oblasti talonavikulárního skloubení, kongruence podélné mediální klenby nohy a abdukce a addukce předonoží vůči zánoží. Po zaznamenání hodnot 6 zmíněných kritérií do záznamového archu se hodnoty sečtou a výsledné bezjednotkové číslo (v rozmezí -12 až +12) se hodnotí podle předepsaného skóre pro každou nohu zvlášť (-12 až -5 výrazně supinovaná noha; -4 až -1 supinovaná noha; 0 až +4 normální noha; +5 až +9 pronovaná noha; +10 až +12 výrazně pronovaná noha).

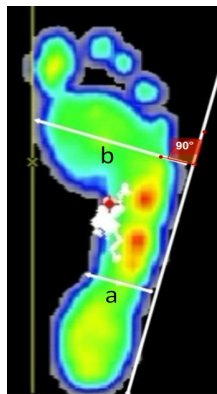
Chipaux-Šmiřák index (CSI) – index typu postury nohy, který je vypočítán ze statického otisku nohy během stoje. Jedná se o validizovanou metodu jednak pro dospělou populaci, ale také pro dětskou populaci sportujících i nesportujících dětí (Banwell et al., 2018; López, Albuquerque, Santos, Sánchez, & Domínguez, 2005). V této studii byl použit digitální tlakový otisk nohy ve stoji na jedné noze s otevřenými očima snímaného pomocí pedobarografické desky pro statická měření. Metoda použití tlakových digitálních otisků byla ověřena jako reliabilní a validní pro kalkulaci CSI (Zuil-Escobar et al., 2016). Index CSI představuje procentuální vyjádření poměru

nejúžšího místa středonoží a nejširšího místa předonoží, která jsou měřena kolmo na postranní vnější tečnu (vzorec viz níže, Obrázek 1). Základní klasifikace dle Chippauxe a Šmiřáka rozlišuje nohu normální 0-45 %, mírně plochou 45,1-50 %, středně plochou 50,1-60 % a výrazně plochou 60,1-100 % (Banwell et al., 2018; Onodera et al., 2008). Klasifikace dle Jaworského a Pucha pak dále rozděluje skupinu normální noha (0-0,45 %) na podtypy: vysoká noha 0-0,1 %, normální noha 0,1-29,9 %, přechodný typ 0,30-0,39 %, snížená klenba 0,40-0,45 % a plochá noha 0,45,1 % a více (Nikolaidou & Boudolos, 2006). V této studii byla použita kombinace obou klasifikací.

$$\text{CSI} [\%] = (a/b) * 100$$

a – nejúžší místo středonoží v plantogramu (mm)

b – nejširší místo předonoží v plantogramu (mm)



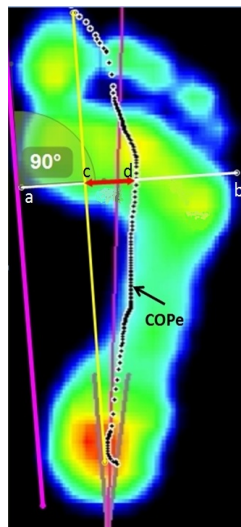
Obrázek 1 Grafické znázornění výpočtu CSI. Linie *a* je nejúžší místo středonoží a linie *b* je nejširší místo předonoží (zdroj vlastní)

Hodnocení dynamické funkce nohy během chůze:

Centre of pressure excursion index (CPEI) je spočítán z tlakového snímku dynamického pedobarografického vyšetření odvalu nohy během chůze, na kterém je graficky znázorněna trajektorie COP. Index představuje procentuální poměr (viz vzorec níže) mezi vzdáleností průběhu COPE od spojnice počátku a konce průběhu COPE (cd vzdálenost v cm) a je standardizován k šířce nohy (ab vzdálenost v cm), (Obrázek 2). CPEI je validizovaná a reliabilní metoda hodnocení dynamické funkce nohy při chůzi, přičemž nižší hodnoty ukazují na mediální posun a konkavitu trajektorie COP, tedy na výraznou pronaci až hyperpronaci u ploché nohy a pronované nohy, a vyšší hodnoty ukazují na laterální posun trajektorie COP a zvýraznění supinační funkce nohy

(Hillstrom et al., 2013; Song et al., 1996). Používá se také k hodnocení efektu intervence (Diaz et al., 2018). Pro účely tohoto výzkumu a analýzy byla získaná data CPEI na podkladě expertního posouzení rozdělena na třetiny: dolní třetina výsledků (CPEI 10-24,9 %) odpovídala pronační funkci nohy, střední třetina (CPEI 25-34,9 %) normální funkci nohy a horní třetina (CPEI nad 35 %) supinační funkci nohy.

$$\text{CPEI [\%]} = (\text{cd}/\text{ab}) * 100$$



Obrázek 2 Grafické znázornění výpočtu CPEI. *COPe* – linie průběhu COP během chůze, *ab* – šíře nohy, *cd* – rozpětí COPe (zdroj vlastní)

6.3 Intervenční metody

Sestavená intervence použitá v této výzkumné práci byla inspirována ověřenými terapeutickými metodami a koncepty, které se opírají o neurofyziologické základy, principy senzomotorického učení a vývojovou kineziologii, jako je Dynamická neuromuskulární stabilizace (Frank, Kobesova, & Kolar, 2013; Kobesova & Kolar, 2014; Kolář, 2009), senzomotorická stimulace dle Jandy (Janda & Vávrová, 1992), konceptu fyzioterapie funkce (Lewitová, 2016) a principy využití balančních pomůcek. Tyto metody byly použity a ověřeny jako účinné v rámci výzkumné intervenční studie dětské ploché nohy u dětí ve věku 4-7 let (Kinclová, 2016). V rámci našeho výzkumu byl kladen důraz na komplexnost a cílenost intervence, individuální přístup, zapojení vědomého uvědomění si pohybu a na kvalitu držení těla a kvalitu provedení.

Vlastní cílená intervence byla nastavena jako individuální 45minutová fyzioterapie vedena jedním fyzioterapeutem, 2x týdně, v délce 4 týdnů, které byly shledány jako minimální dostatečná doba efektu terapie (Rothermel, Hale, Hertel, & Denegar, 2004). Každý proband absolvoval 8 individuálních terapií. Proband byl vyřazen z výzkumu, pokud vynechal jednu terapii nebo nebyl schopen následovat instrukce fyzioterapeuta. Lekce byla koncipována tak, aby proband nejprve zvládl dané pohybové prvky správně v jednodušším provedení s následnou progresí ke ztíženému provedení. Jednotlivé dílčí cviky byly pro všechny probandy stejné a byly cvičeny vždy ve stejném pořadí, jak jsou uvedeny níže. Individualizovala se pouze intenzita provedení cviků s hlavním důrazem na kvalitní a správné provedení cviků.

Intervence obsahovala přípravnou fázi a 4 bloky cvičení. Přípravná fáze probíhala formou exteroceptivní stimulace plosky nohy (Lewitová, 2016), po které následovalo vlastní cvičení. Intervence sestávala ze 4 bloků cvičení: I) cvičení na zvýšení svalové síly krátkých svalů a zlepšení koordinace prstců nohy, II) nácvik centrovaného postavení nohy, hlezenního, kolenního a kyčelního kloubu, III) cvičení ve vývojových pozicích, a IV) nácvik nášlapu a odvalování chodidla.

6.4 Organizace výzkumu

Postup měření Studie 1

Laboratorní měření probíhalo ve školním roce od jara po začátek letních prázdnin a na podzim pro vyloučení vlivu robustní zimní obuvi a omezení volného pohybu nohy. Měření bylo zahájeno sběrem základních informací vyplněním **vstupního dotazníku a anamnézy**. Následovalo klinické vyšetření nohy dle protokolu 6-FPI za standardizovaných podmínek (normální klidný stoj zády k vyšetřujícímu, bez pohybu, s nohama na boso umístěnými na šíři pánve a špičkami směřujícími rovnoběžně dopředu, pohled směřující dopředu). Vyšetření bylo provedeno jedním zkušeným akreditovaným fyzioterapeutem.

Statické pedobarografické vyšetření posturální stability (celková dráha výchylek COP) a odebrání digitálního tlakového otisku nohy během stoje na jedné dolní končetině probíhalo podle standardizovaného postupu Rombergových testů stoje (Kapteyn et al., 1983): tiché podmínky, umístění desky ve vzdálenosti 1,7 m od stěny, stoj na boso s nohama na šíři pánve, špičkami kolmo dopředu, zvednutí a ohnutí

netestované dolní končetiny nad podložkou do pozice 90° flexe v kolenním kloubu a neutrálním postavením v kyčelním kloubu, umístění a sledování vizuálního bodu na stěně ve výši očí pro zajištění vzpřímeného držení hlavy. Test stoje na jedné noze s otevřenými očima trval 60 s a byl 3x opakován pro každou dolní končetinu. Mezi testy byl vložen odpočinkový interval přibližně 60 s.

Dynamické pedobarografické vyšetření přirozené chůze na boso po tlakové desce proběhlo ve standardizované laboratoři. Byla použita metoda „dvou kroků“, ověřená reliabilní metoda i pro dětskou populaci, kdy se měří až druhý krok po iniciaci chůze (Oladeji, Stackhouse, Gracely, & Orlin, 2008). Proto byla tlaková deska umístěna v prostoru laboratoře tak, aby byl zajištěn dostatečný prostor pro zahájení chůze před deskou a pro zakončení chůze za deskou. Před samotným měřením bylo provedeno několik zkušebních pokusů. Test byl pro každou dolní končetinu (DK) opakován tak dlouho, dokud nebyly naměřeny alespoň 3 úspěšné pokusy, dostatečné pro vědeckou analýzu výsledků (Orlin & McPoil, 2000). Nejprve se vycházelo opakovaně levou DK, poté pravou DK, přičemž pohled směřoval do dále před sebe a ruce se volně pohybovaly podél těla.

Postup měření Studie 2

Měření probíhalo ve 3 po sobě jdoucích letech 2014-2016 vždy ve stejném období, a to v letním přípravném období před začátkem sezóny daného roku. Každý hráč absolvoval celkem 3 měření: v roce 2014 (T1), v roce 2015 (T2) a v roce 2016 (T3). Sběr dat probíhal v prostorách standardizované laboratoře a sestával z vyplnění dotazníku, zdravotní anamnézy a statického pedobarografického vyšetření, které probíhalo stejným způsobem popsaným v Postupu měření Studie 1.

Postup měření Studie 3

Časový plán měření Studie 3 byl dán časovým plánem intervence a skládalo se ze dvou měření: vstupního vyšetření před započítáním intervence a kontrolního vyšetření po skončení intervence. Studie probíhala v období od začátku jara do letních prázdnin. Měření sestávalo z vyplnění dotazníku a zdravotní anamnézy, zkráceného kineziologického rozboru, vyšetření typu nohy dle FPI, a statického a dynamického pedobarografického vyšetření, které byly provedeny totožným způsobem popsaným v Postupu měření Studie 1. Na základě vstupních kritérií byly vybrány děti s přítomnou oboustrannou poruchou nohy typu pronovaná noha nebo plochá noha, které absolvovaly

cílenou pohybovou intervencí. Po absolvování cílené pohybové intervence bylo do dvou dnů provedeno výstupní kontrolní měření, shodné s postupem jako při vstupním měření, vyjma vstupního dotazníku a anamnézy.

6.5 Metody zpracování výzkumných údajů

Všechna data byla evidována, tříděná, filtrována a podrobena základním matematickým kalkulacím a deskriptivní statistické analýze v programu Excel (Microsoft Office, 2007). Pro výpočet indexů nohy CSI a CPEI byl využit volně dostupný software pro 2D video analýzu Kinovea (www.kinovea.org).

Pro výpočet CSI a CPEI byl použit digitální tlakový otisk nohy pořízený během statického pedobarografického vyšetření stoje na 1 DK. Otisk byl podroben jednoduchým grafickým operacím: kalibrace aktuální délky zkoumaného probanda, a vytvořením linií podle standardizovaného postupu daného typu indexu a pro obě nohy (Queen, Mall, Hardaker, & Nunley, 2007; Song, Hillstrom, Secord, & Levitt, 1996).

6.6 Statistická analýza dat

Výzkumná data byla podrobena základním matematicko-statistickým operacím. Z deskriptivních metod byly použity průměr a směrodatná odchylka. Pro indukční zpracování dat jednotlivých studií byly použity různé statistické metody. U všech analýz byl za signifikantní považován výsledek $p < 0,05$.

Postup analýzy dat Studie 1

Pro hodnocení rozdílů mezi sportujícími a nesportujícími dětmi pomocí 4 závislých proměnných (FPI, CSI, TTW a CPEI) byla využita one-way ANOVA s adjustací na věk probandů. Tato analýza byla provedena samostatně pro levou a pravou končetinu. Vzhledem k signifikantnímu interakčnímu efektu věku a hlavního efektu (skupina) u proměnné TTW na levé i pravé noze, byly rozdíly v TTW mezi sportujícími a nesportujícími hodnoceny ve věkových kategoriích: 9-10,9 let, 11-12,9 let, 13-14 let, 15-16 let. Velikost účinku effect size byla vypočítána pomocí Cohenova d (Cohen, 1988): malý efekt (0,20); střední efekt (0,50); a velký efekt ($\geq 0,80$).

Postup analýzy dat Studie 2

Pro ověření signifikance nezávislých proměnných (čas sledování) na závislých proměnných (CSI a TTW) byla použita RM ANOVA. Vícenásobné srovnání sledovaných proměnných bylo provedeno použitím Bonferroniho post hoc testu. Velikost účinku effect size byla vypočítána pomocí parciálního eta squared koeficientu (η_p^2) dle Cohena (Cohen, 1988; Richardson, 2011): malý efekt (0,01); střední efekt (0,06); a velký efekt (0,14 a více). Typ nohy v průběhu 3 sledovaných let byl analyzován neparametrickým Chi-square (χ^2) testem a Cramerovým V. Pro posouzení klinického významu negativního efektu dlouhodobé pohybové zátěže byl určen minimální rozdíl průměrných hodnot parametrů mezi T1 a T3 takto: CSI – zvýší se minimálně o 2 %; TTW – zvýší se minimálně o 200 mm.

Postup analýzy dat Studie 3

Změny ve 4 závislých proměnných (FPI, CSI, TTW a CPEI) po intervenčním působení u skupiny chlapců 9-10 let organizovaně hrajících fotbal jsme hodnotili vzhledem k vysokým hodnotám věcné významnosti interakčních efektů pomocí párového t-testu hodnotící rozdíl před a po intervenci samostatně na levé a pravé končetině. Velikost účinku effect size byla vypočítána pomocí Cohenova d . Pro posouzení klinického významu efektu cílené intervence byl určen minimální rozdíl průměrných hodnot parametrů mezi pre- a post-testem takto: FPI – 1 jednotka; TTW – 200 mm; CSI – 2 %; a CPEI – 5 (%).

7 VÝSLEDKY VÝZKUMU

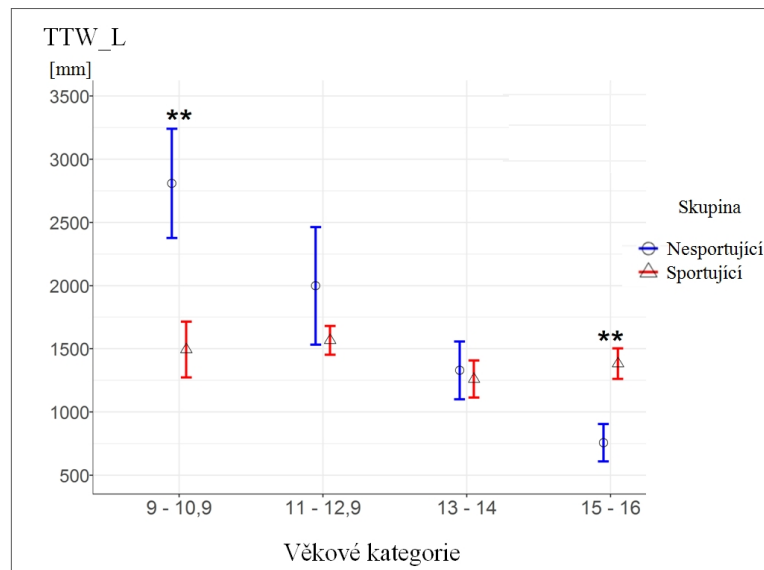
7.1 Výsledky Studie 1

Výsledky statistické analýzy dat ukázaly statisticky významný rozdíl mezi 2 skupinami školních dětí sportující děti a nesportující děti v těchto parametrech: TTW pro levou i pravou nohu u věkové kategorie 9-10,9 let (TTW_L: $t = -2,98$, $p = 0,00$, $d = 1,5$; TTW_P: $t = -3,13$, $p = 0,00$, $d = 1,6$); a věkové kategorie 15-16 let (TTW_L: $t = 2,87$, $p = 0,00$, $d = 1,4$; TTW_P: $t = 2,97$, $p = 0,00$, $d = 1,5$); CPEI pouze pro levou nohu (CPEI_L: $F_{2,1} = 5,86$, $p = 0,02$, $\eta_p^2 = 0,06$), (Tabulka 1 a 2, Obrázek 3-8).

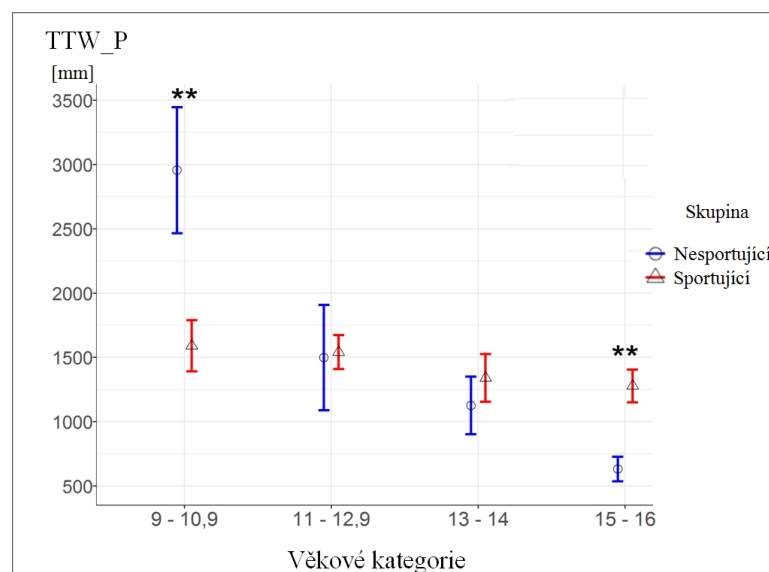
Tabulka 1 Výsledky jednoduchých t-testů 2 skupin (sportující a nesportující děti) pro parametr posturální stability TTW pro levou nohu a pravou nohu v rámci 4 věkových kategorií

TTW (mm)	Deskriptivní statistika						t-test		
	Sportující (N = 65)		Nesportující (N = 25)		95% CI interval		t	Sig. (two-tailed) p	Effect size d
	Průměr	SD	Průměr	SD	Dolní	Horní			
1. VĚK 9-10,9 let									
	n = 15		n = 6		df = 19				
L	1494,53	854,33	2809,00	1058,54	-1982,97	-152,33	-2,98	0,01**	1,5
P	1589,47	770,81	2955,83	1201,55	-2024,22	-199,34	-3,13	0,01**	1,6
2. VĚK 11-12,9 let									
	n = 20		n = 7		df = 25				
L	1567,05	508,45	1998,71	1230,55	-1573,09	709,76	-1,31	0,40	0,6
P	1541,50	586,38	1498,29	1085,27	-623,88	710,31	0,13	0,90	0,1
3. VĚK 13-14 let									
	n = 14		n = 6		df = 18				
L	1260,14	548,65	1329,33	561,16	-635,23	496,84	-0,26	0,80	0,1
P	1340,50	694,69	1126,00	547,73	-459,20	888,20	0,67	0,51	0,3
4. VĚK 15-16 let									
	n = 16		n = 6		df = 20				
L	1382,69	482,98	756,67	364,65	170,39	1081,65	2,87	0,01**	1,4
P	1277,69	505,66	632,17	233,88	192,90	1098,14	2,97	0,01**	1,5

Legenda: TTW – celková dráha výchylek COP; L – levá noha; P – pravá noha; n – četnost; CI – konfidenční interval; SD – směrodatná odchylka, df – degrees of freedom; ** – výrazně signifikantní výsledek ($p < 0,01$).



Obrázek 3 Graf rozdílů v parametru TTW mezi sportujícími dětmi ($n = 65$) a nesportujícími dětmi ($n = 26$) pro levou nohu a pro různé věkové kategorie (směrodatná odchylka je znázorněná úsečkou, výrazně signifikantní výsledek ($p < 0,01$) označují dvě hvězdičky)



Obrázek 4 Graf rozdílů v parametru TTW mezi sportujícími dětmi ($n = 65$) a nesportujícími dětmi ($n = 26$) pro pravou nohu a pro různé věkové kategorie (směrodatná odchylka je znázorněná úsečkou, výrazně signifikantní výsledek ($p < 0,01$) označují dvě hvězdičky)

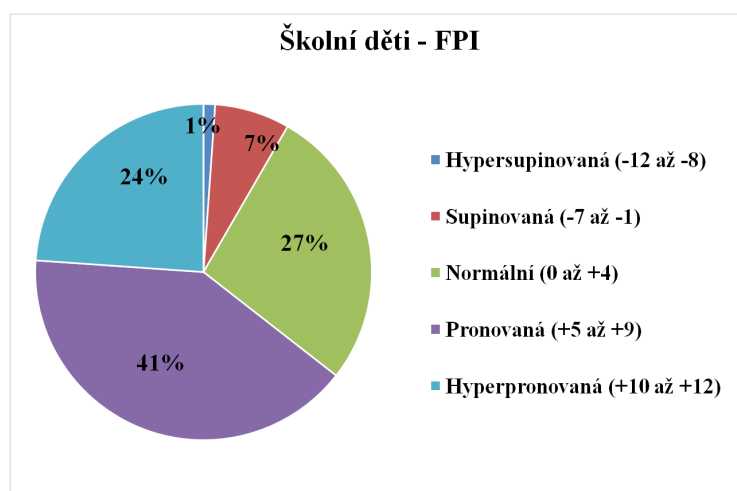
Deskriptivní charakteristiky proměnných obou skupin školních dětí (sportující děti a nespportující děti) a výsledky two-way RM ANOVY adjustované na věk pro proměnné FPI, CSI a CPEI jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tabulka 2 Výsledky analýzy dat two-way RM ANOVA u sportujících a nespportujících dětí pro proměnné FPI, CSI a CPEI pro levou a pravou nohu

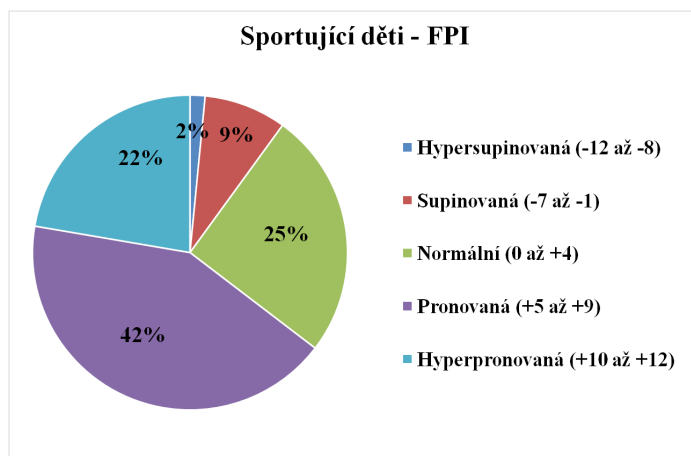
Proměnné	Deskriptivní statistika						RM ANOVA		
	Sportující (n = 65)		Nespportující (n = 25)		95% CI interval		F	Sig. (two-tailed)	Effect size
	Průměr	SD	Průměr	SD	Dolní	Horní		<i>p</i>	η_p^2
FPI_L	5,38	4,60	6,35	3,82	-1,10	2,97	1,04	0,31	0,01
FPI_P	6,00	5,00	5,92	4,23	-2,28	2,02	0,00	0,95	0,00
CSI_L (%)	48,77	8,76	48,99	7,69	-3,68	4,11	0,02	0,88	0,00
CSI_P (%)	48,95	8,61	49,46	8,23	-3,46	4,46	0,07	0,80	0,00
CPEI_L (%)	20,96	7,02	16,72	7,08	-7,47	-0,96	5,86	0,02*	0,06
CPEI_P (%)	21,86	7,00	20,06	7,56	-5,15	1,49	0,90	0,34	0,01

Legenda: L - levá noha; P – pravá noha; FPI – Foot posture index; CSI – Chippaux-Šmirák index; CPEI – centre of pressure excursion index; SD – směrodatná odchylka; CI – konfidenční interval; vs. – versus; * – **signifikantní výsledek ($p < 0,05$)**.

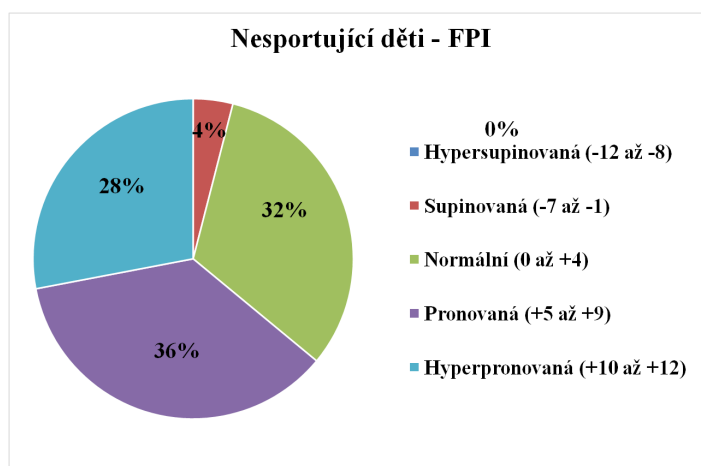
Výsledné hodnoty a distribuce četnosti výskytu Foot posture indexu (FPI) pro celý výzkumný vzorek školních dětí (n = 91, 182 nohou), a pro sportující děti (n = 65, 130 nohou) a nespportující děti (n = 26, 52 nohou) zvlášť znázorňuje Obrázek 5-8.



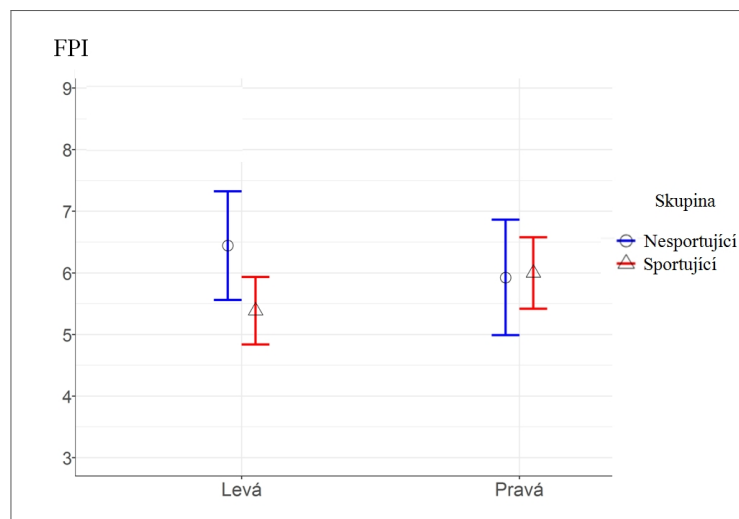
Obrázek 5 Grafické znázornění distribuce četnosti typů nohy dle FPI u školních dětí



Obrázek 6 Grafické znázornění distribuce četnosti typů nohy dle FPI u sportujících dětí

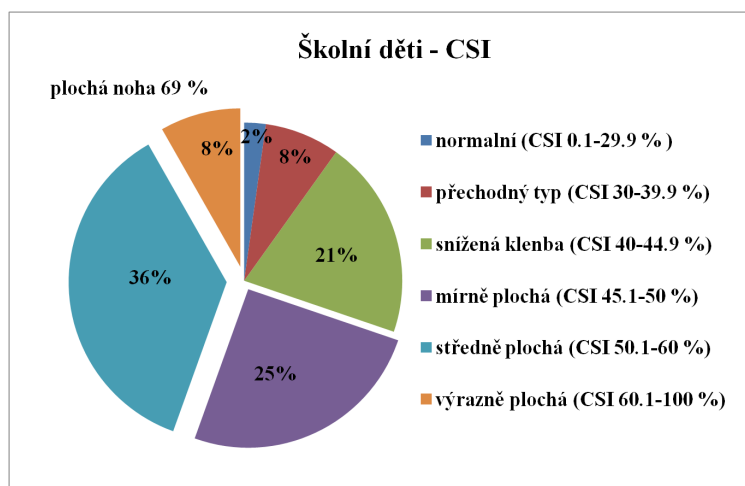


Obrázek 7 Grafické znázornění distribuce četnosti typů nohy dle FPI u nesportujících dětí (n = 26, 52 nohou)

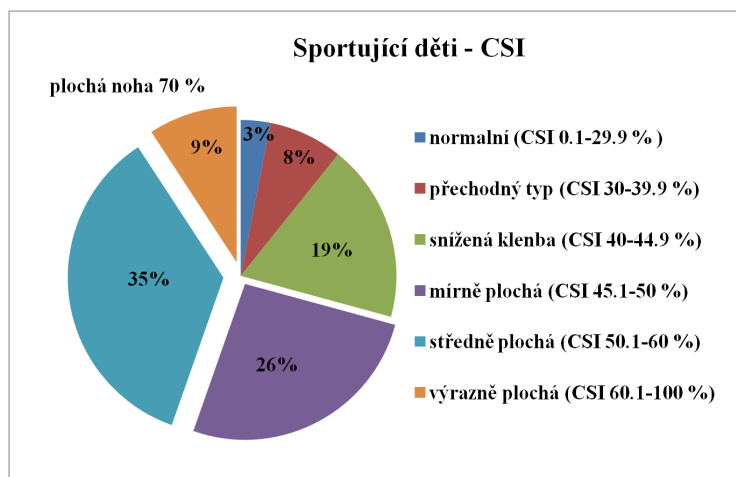


Obrázek 8 Grafické znázornění rozdílů mezi nesportujícími dětmi a sportujícími dětmi v parametru FPI pro levou a pravou nohu (směrodatná odchylka znázorněná úsečkou)

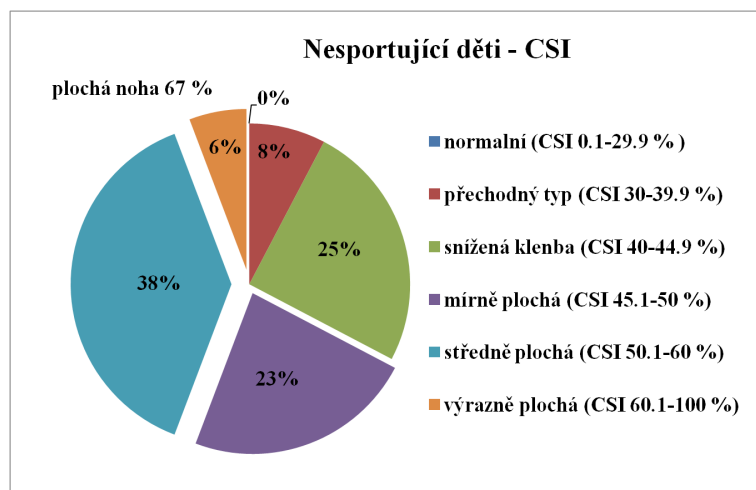
Výsledné hodnoty a distribuce četnosti typů nohy dle CSI pro celý výzkumný vzorek školních dětí (n = 91, 182 nohou), pro sportující děti (n = 65, 130 nohou) a pro nesportující děti (n = 26, 52 nohou) jsou znázorněny na Obrázku 9-12.



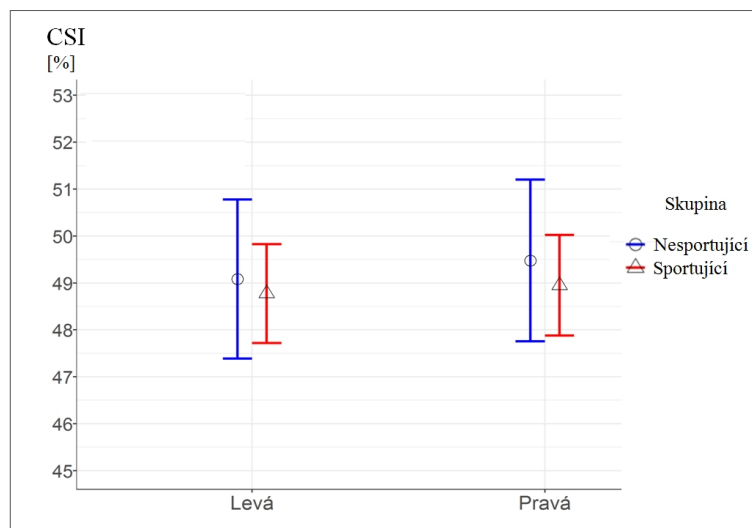
Obrázek 9 Grafické znázornění distribuce četnosti typů nohy dle CSI u školních dětí



Obrázek 10 Grafické znázornění distribuce četnosti typů nohy dle CSI u sportujících dětí

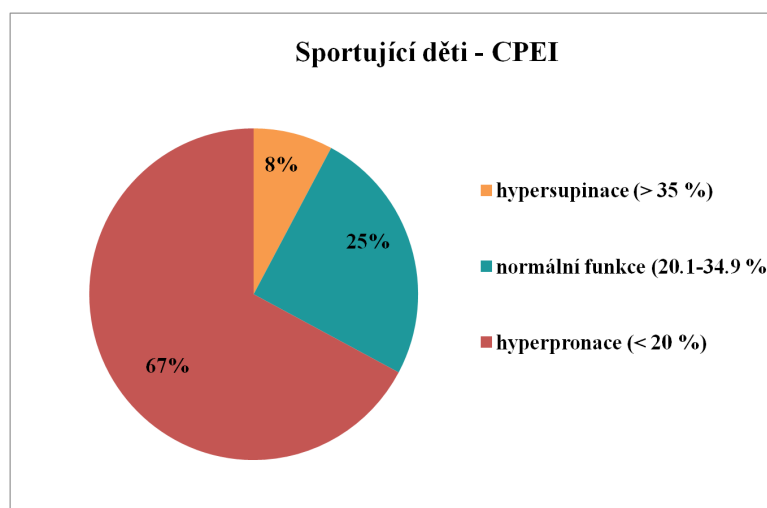


Obrázek 11 Grafické znázornění distribuce četnosti typů nohy dle CSI u nesportujících dětí

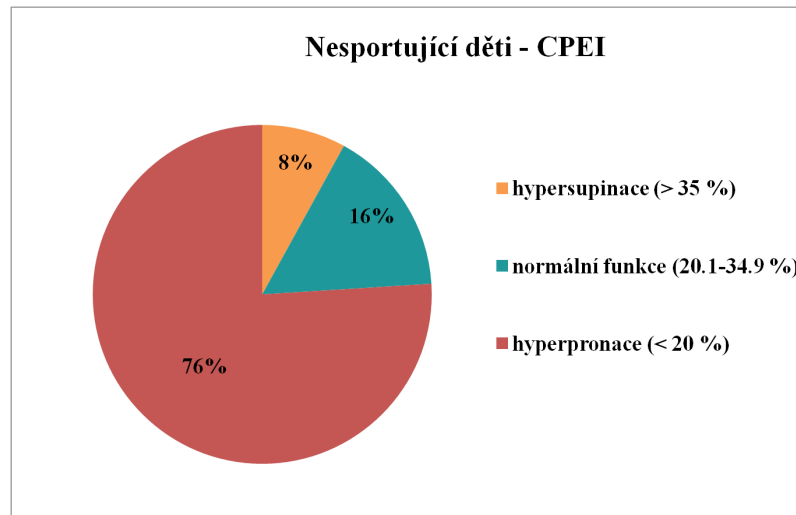


Obrázek 12 Grafické znázornění rozdílů mezi sportujícími dětmi a nesportujícími dětmi v parametru CSI pro levou a pravou nohu (směrodatná odchylka znázorněná úsečkou)

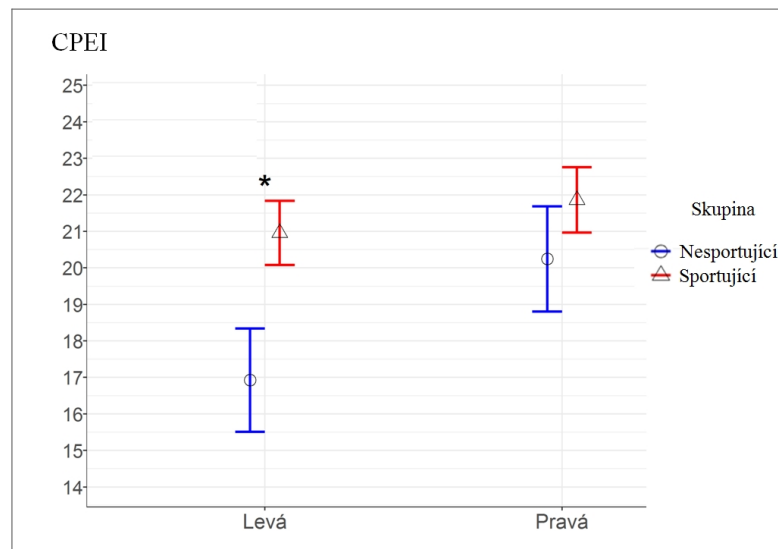
Výsledky hodnot a distribuce četnosti parametru Centre of pressure index (CPEI) pro sportující (n = 65, 130 nohou) a nesportující (n = 26, 52 nohou) děti znázorňuje Obrázek 13-15.



Obrázek 13 Grafické znázornění distribuce četnosti funkce nohy dle CPEI u sportujících dětí



Obrázek 14 Grafické znázornění distribuce četnosti funkce nohy dle CPEI u nesportujících dětí



Obrázek 15 Grafické znázornění rozdílů mezi sportujícími a nesportujícími dětmi v parametru CPEI pro levou a pravou nohu (směrodatná odchylka je znázorněná úsečkou, signifikantní rozdíl ($p < 0,05$) je označen hvězdičkou)

7.2 Výsledky Studie 2

Výsledky statistické analýzy dat ukázaly signifikantní rozdíly ve 3 po sobě jdoucích sledovaných letech (T1, T2, T3) pro oba sledované parametry (typologie nohy dle CSI a posturální stabilita, TTW) pro obě končetiny (Tabulka 3 a 4): CSI_P ($F_{2,68} = 5,08$, $p = 0,00$, $\eta_p^2 = 0,13$); CSI_L ($F_{2,68} = 10,87$, $p = 0,00$, $\eta_p^2 = 0,24$); TTW_P ($F_{2,68} = 5,07$, $p = 0,00$, $\eta_p^2 = 0,13$); TTW_L ($F_{2,68} = 3,54$, $p = 0,04$, $\eta_p^2 = 0,09$).

Tabulka 3 Základní charakteristiky výzkumného souboru (n = 70) a typologie nohy dle CSI pro levou a pravou nohu ve sledovaných letech T1, T2 a T3

Parametry	Deskriptivní statistika					RM ANOVA			Bonferroni post-hoc test
	Průměr	SD	95% CI interval		F	p	η_p^2		
			Dolní	Horní					
Těl. výška (cm)	T1	174,63	5,71	172,67	176,59	70,79	0,00**	0,68	T1 vs. T2
	T2	175,90	5,74	173,93	177,87				T1 vs. T3
	T3	177,94	5,45	176,07	179,81				T2 vs. T3
Těl. hmotnost (kg)	T1	64,11	6,17	62,01	66,23	76,32	0,00**	0,69	T1 vs. T2
	T2	65,95	6,17	63,84	68,07				T1 vs. T3
	T3	70,09	6,45	67,89	72,31				T2 vs. T3
Velikost nohy (UK)	T1	8,63	1,03	8,23	8,98	11,68	0,00**	0,26	T1 vs. T2
	T2	8,87	1,00	8,53	9,22				T1 vs. T3
	T3	8,91	1,00	8,57	9,26				
CSI_L (%)	T1	38,01	7,85	35,31	40,70	10,87	0,00**	0,24	T1 vs. T3
	T2	37,04	9,36	33,82	40,25				T2 vs. T3
	T3	41,91	8,98	38,82	44,99				
CSI_P (%)	T1	39,50	8,35	36,63	42,37	5,08	0,00**	0,13	T2 vs. T3
	T2	38,99	9,10	35,86	42,11				
	T3	42,06	8,75	39,05	45,06				

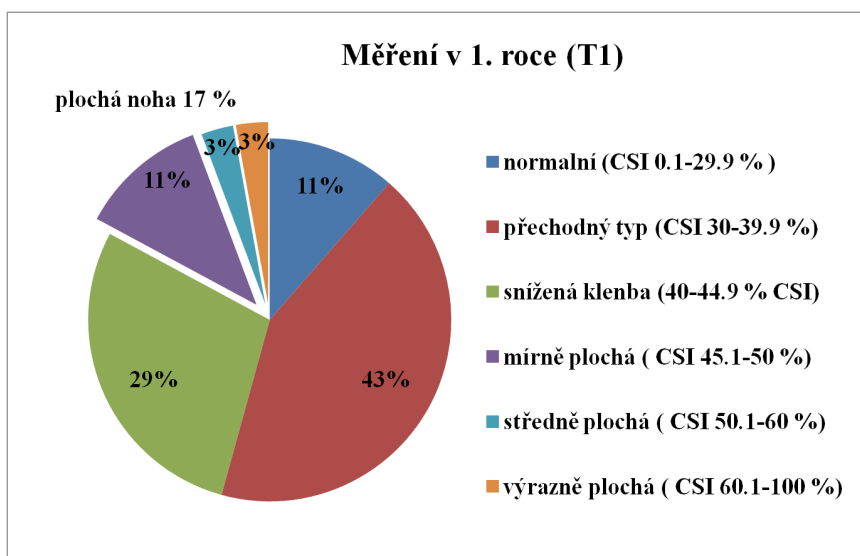
Legenda: *CSI_P* – Chippaux-Šmirák index pro pravou nohu, *CSI_L* – Chippaux-Šmirák index pro levou nohu; *SD* – směrodatná odchylka; *CI* – konfidenční interval; *T* – čas; vs. – versus; ** – signifikantní výsledek ($p < 0,01$); **tučně** – velká věcná významnost.

Tabulka 4 Celková dráha výchylek COP během stoje na jedné dolní končetině pro pravou a levou dolní končetinu a jejich rozdíl ve sledovaných letech T1, T2 a T3 (n = 70)

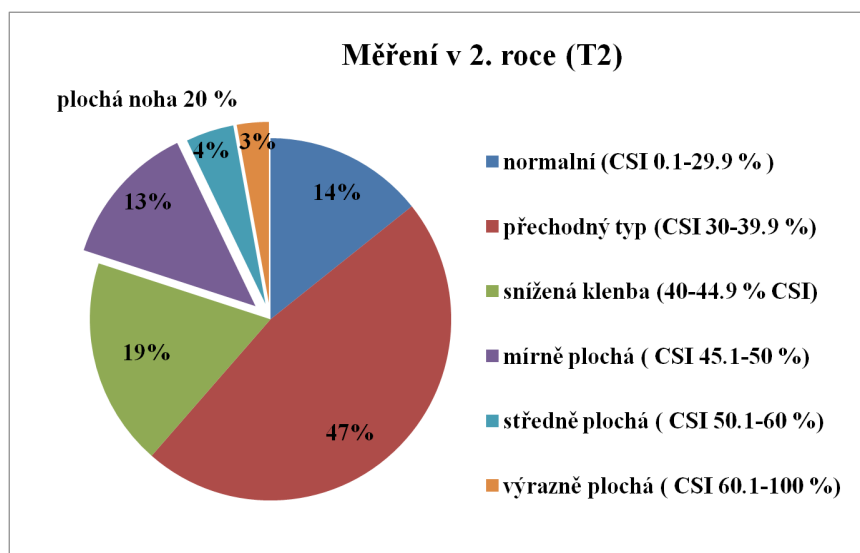
Parametry	Deskriptivní statistika					RM ANOVA			Bonferroni post-hoc test
	Průměr	SD	95% CI interval		F	p	η_p^2		
			Dolní	Horní					
TTW_P (mm)	T1	1617,11	520,22	1438,41	1795,82	5,07	0,009**	0,13	T1 vs. T2
	T2	1405,29	462,76	1246,32	1564,25				T1 vs. T3
	T3	1370,46	373,94	1242,01	1298,91				
TTW_L (mm)	T1	1661,31	460,07	1503,27	1819,36	3,54	0,04*	0,09	T1 vs. T3
	T2	1562,31	523,55	1382,47	1742,16				
	T3	1414,69	534,69	1231,01	1598,36				
TTW $_{\Delta}$ (mm)	T1	333,69	229,71	254,78	412,59	3,34	0,04*	0,09	T1 vs. T3
	T2	283,03	287,14	184,39	381,66				
	T3	196,29	172,63	136,99	255,59				

Legenda: *SD* – směrodatná odchylka; *CI* – konfidenční interval; *TTW_L* – celková dráha výchylek středu tlakového působení pro levou dolní končetinu; *TTW_P* – celková dráha středu tlakového působení pro pravou dolní končetinu; *TTW $_{\Delta}$* – absolutní rozdíl mezi končetinami; vs. – versus; mm – milimetry; * – signifikantní výsledek ($p < 0,05$); ** – výrazně signifikantní výsledek ($p < 0,01$).

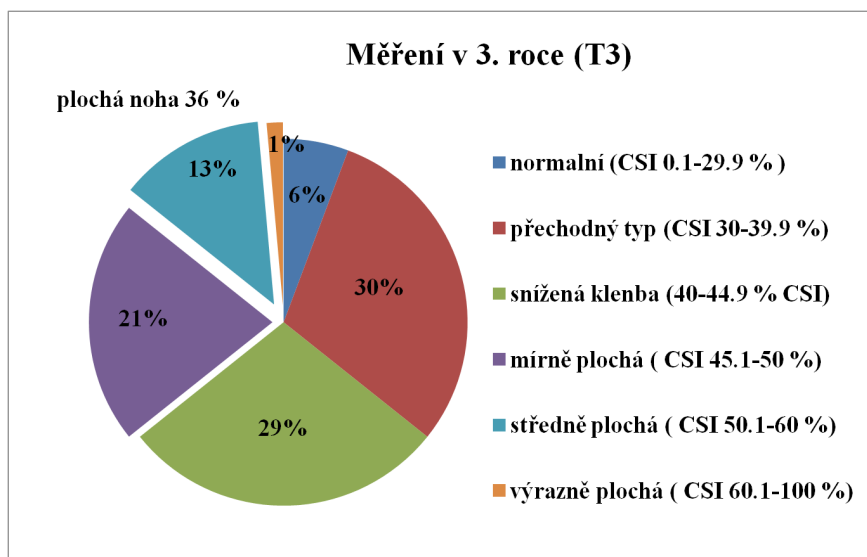
Distribuci četnosti a změny jednotlivých typů nohy ve výzkumném vzorku (n = 35, 70 nohou) v čase T1, T2 a T3 ukazuje Obrázek 16-19.



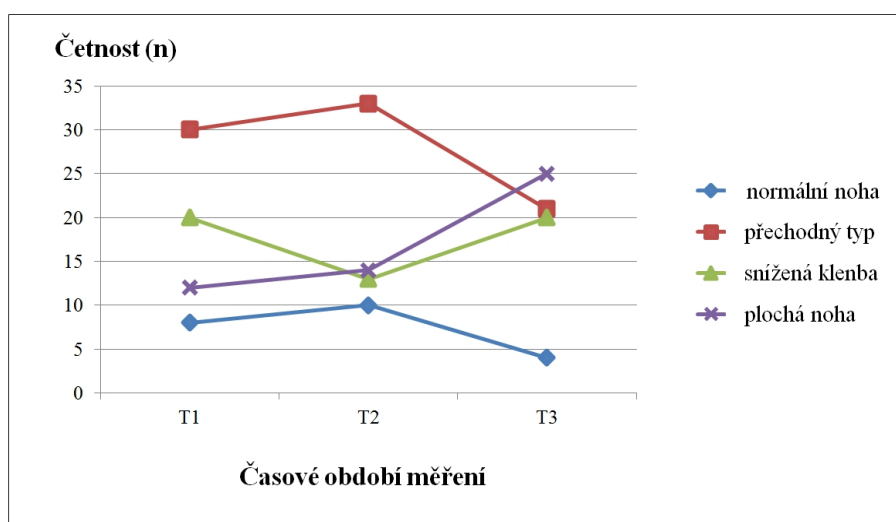
Obrázek 16 Grafické znázornění distribuce četnosti typů nohy dle CSI v čase T1



Obrázek 17 Grafické znázornění distribuce četnosti typů nohy dle CSI v čase T2



Obrázek 18 Grafické znázornění distribuce četnosti typů nohy dle CSI v čase T3



Obrázek 19 Změny distribuce četnosti jednotlivých typů nohy dle CSI v časech T1, T2 a T3

7.3 Výsledky Studie 3

Deskriptivní charakteristiky a výsledky statistické analýzy dat ukázaly statisticky významný rozdíl mezi průměrnými hodnotami vybraných charakteristik nohy před a po absolvování cílené intervence pro každou končetinu zvláště pro tyto parametry (Tabulka 5): FPI pro levou nohu (FPI_L: snížení o $0,86 \pm 1,46$, $t = 2,20$, $p = 0,047$, $d = 0,59$); FPI pro pravou nohu (FPI_P: snížení o $1,86 \pm 1,96$, $t = 3,55$, $p = 0,00$, $d = 0,95$); CSI pro

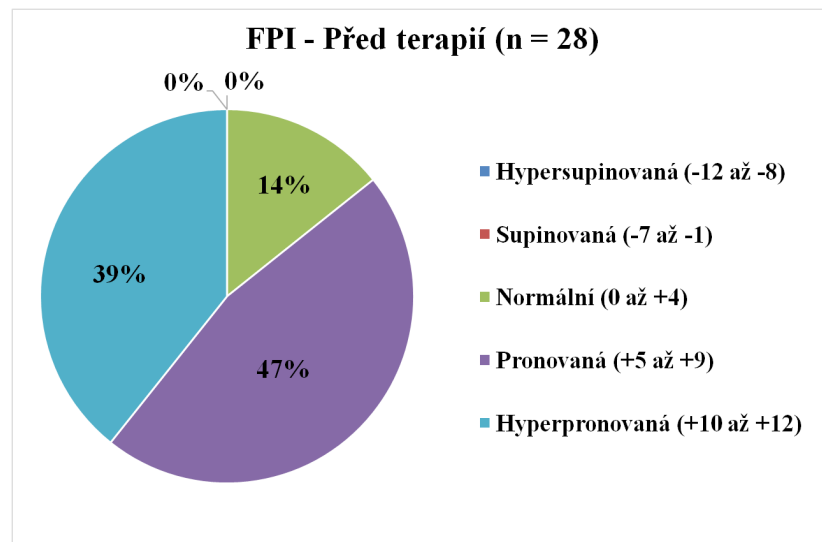
pravou nohu (CSI_P: snížení o $3,16 \pm 4,99$ %, $t = 2,37$, $p = 0,03$, $d = 0,63$); CPEI pro levou nohu (CPEI_L: zvýšení o $8,89 \pm 5,65$ %, $t = -5,89$, $p = 0,00$, $d = 1,57$); a CEPI pro pravou nohu (CPEI_P: zvýšení o $8,03 \pm 9,61$ %, $t = -3,13$, $p = 0,00$, $d = 0,84$).

Tabulka 5 Deskriptivní párové charakteristiky a výsledky párových t-testů zkoumaných proměnných před a po absolvování intervence u chlapců 9-10 let ($n = 14$)

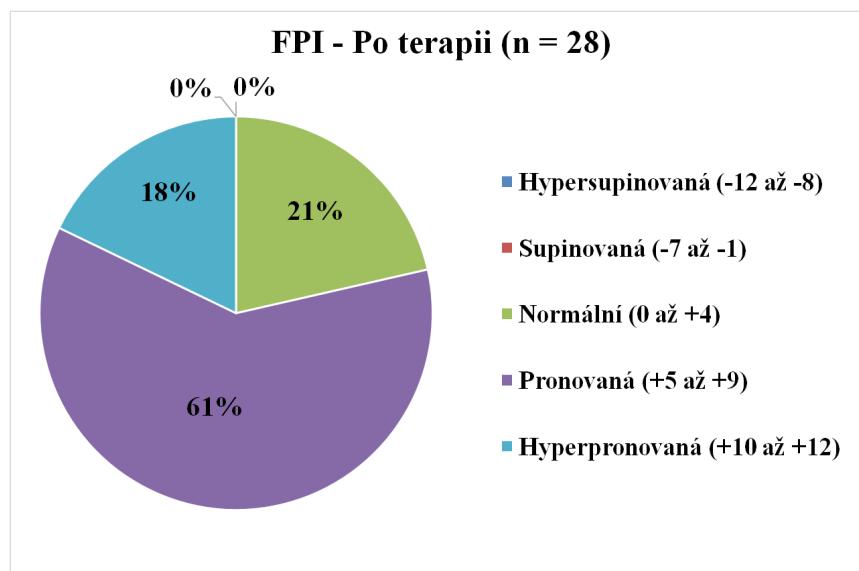
PŘED - PO	Deskriptivní statistika párových proměnných					t-test			
	Průměr	SD	SEM	95% CI interval		t	df	Sig. (two-tailed)	Effect size
				Dolní	Horní			<i>p</i>	<i>d</i>
FPI_L	0,86	1,46	0,39	0,01	1,70	2,20	13	0,047*	0,59
FPI_P	1,86	1,96	0,52	0,73	2,99	3,55	13	0,00**	0,95
CSI_L (%)	1,19	5,27	1,41	-1,86	4,23	0,84	13	0,41	0,23
CSI_P (%)	3,16	4,99	1,33	0,28	6,04	2,37	13	0,03*	0,63
TTW_L (mm)	-229,79	418,99	111,98	-471,70	12,13	-2,05	13	0,06	0,55
TTW_P (mm)	-9,29	542,06	144,87	-322,26	303,69	-0,06	13	0,95	0,02
CPEI_L (%)	-8,89	5,65	1,51	-12,15	-5,63	-5,89	13	0,00**	1,57
CPEI_P (%)	-8,03	9,61	2,57	-13,58	-2,49	-3,13	13	0,00**	0,84

Legenda: *FPI* – foot posture index; *CSI* – Chippaux-Šmirák index; *TTW* – total traveled way; *CPEI* – Centre of pressure excursion index; *SD* – směrodatná odchylka; *SEM* – standardní chyba průměru; * – **signifikantní výsledek** ($p < 0,05$); ** – **výrazně signifikantní výsledek** ($p < 0,01$).

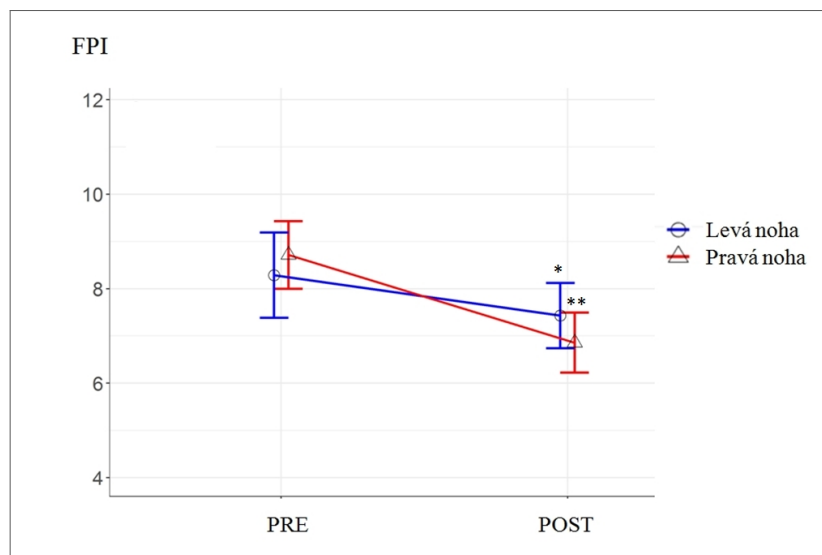
Distribuce četnosti typu nohy dle Foot posture indexu (FPI) a její změny průměrné hodnoty před a po terapii pro výzkumný vzorek (n = 14, 28 nohou) jsou znázorněny na Obrázku 20-22.



Obrázek 20 Grafické znázornění distribuce typu nohy dle FPI před terapií

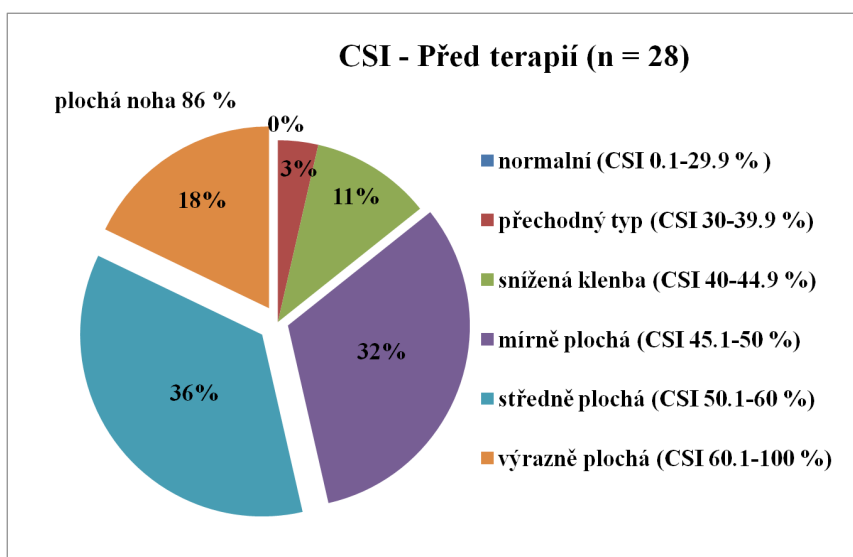


Obrázek 21 Grafické znázornění distribuce typu nohy dle FPI po terapii

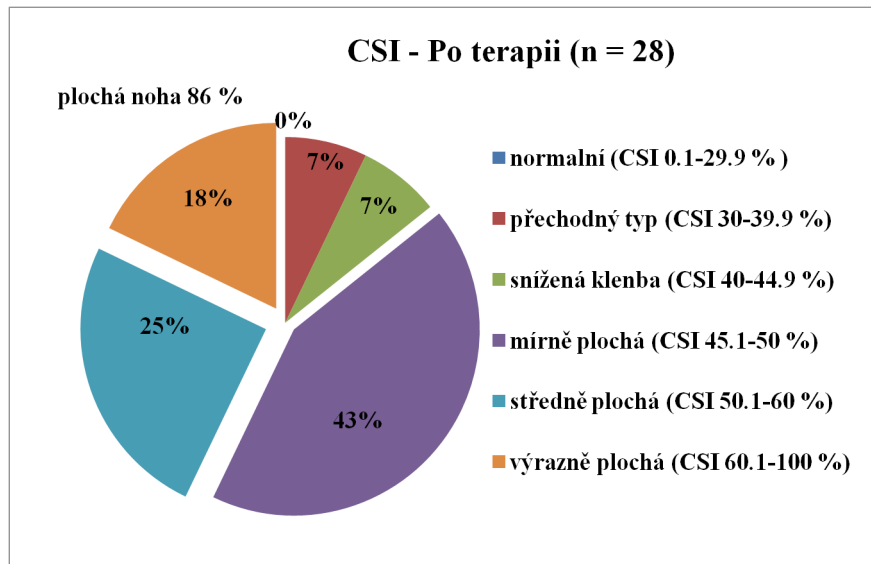


Obrázek 22 Grafické znázornění změn parametru FPI před (PRE) a po (POST) intervenci pro levou a pravou nohu (směrodatná odchylka je znázorněná úsečkou, signifikantní výsledek ($p < 0,05$) je označen hvězdičkou, výrazně signifikantní výsledek ($p < 0,01$) dvěma hvězdičkami)

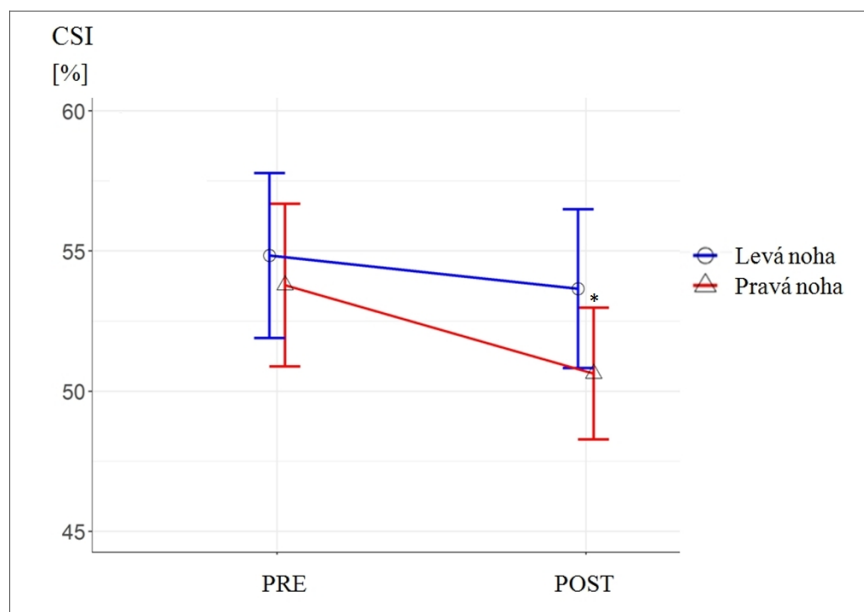
Distribuce četnosti typu nohy dle Chippaux-Šmiřák indexu (CSI) a změny průměrných hodnot před a po terapii je znázorněna na obrázku 23-25.



Obrázek 23 Grafické znázornění distribuce typu nohy dle CSI před terapií

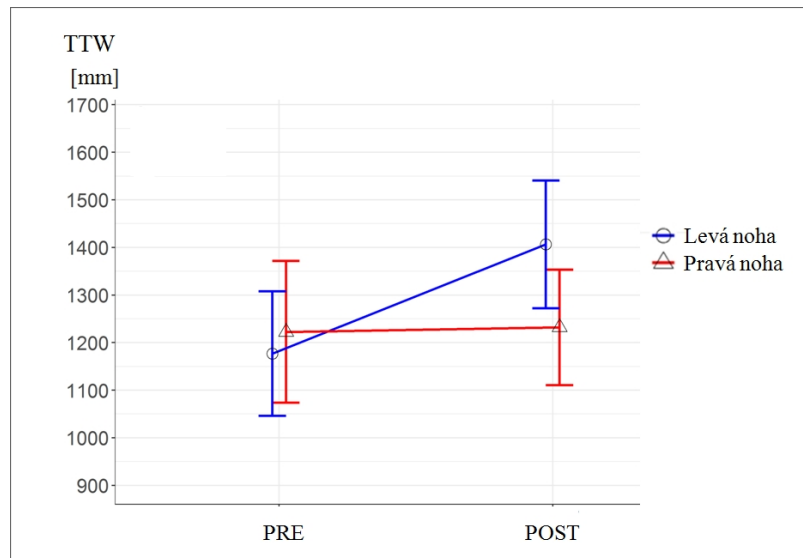


Obrázek 24 Grafické znázornění distribuce typu nohy dle CSI po terapii



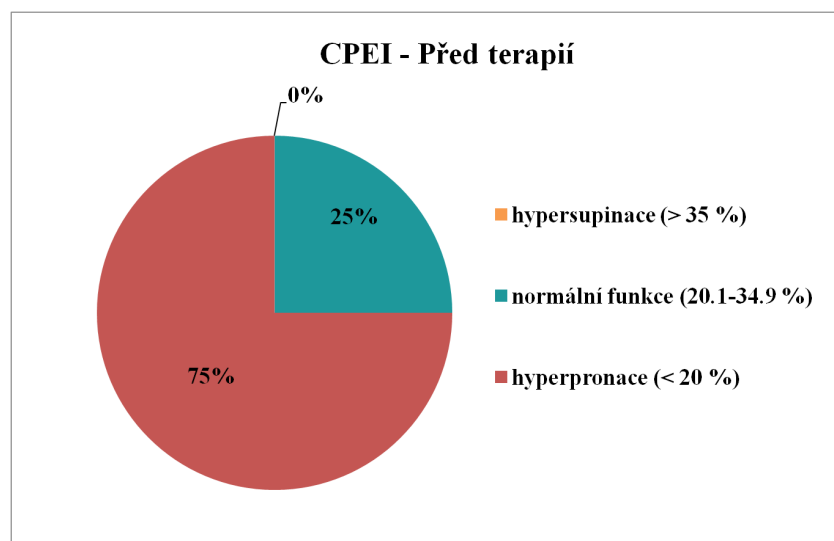
Obrázek 25 Grafické znázornění změn parametru CSI před (PRE) a po (POST) intervenci pro levou a pravou nohu (směrodatná odchylka je znázorněná úsečkou, signifikantní výsledek ($p < 0,05$) hvězdičkou)

Změny průměrných hodnot parametru posturální stability TTW před a po absolvování terapie pro levou a pravou nohu (n = 14, 28 nohou) znázorňuje Obrázek 26.

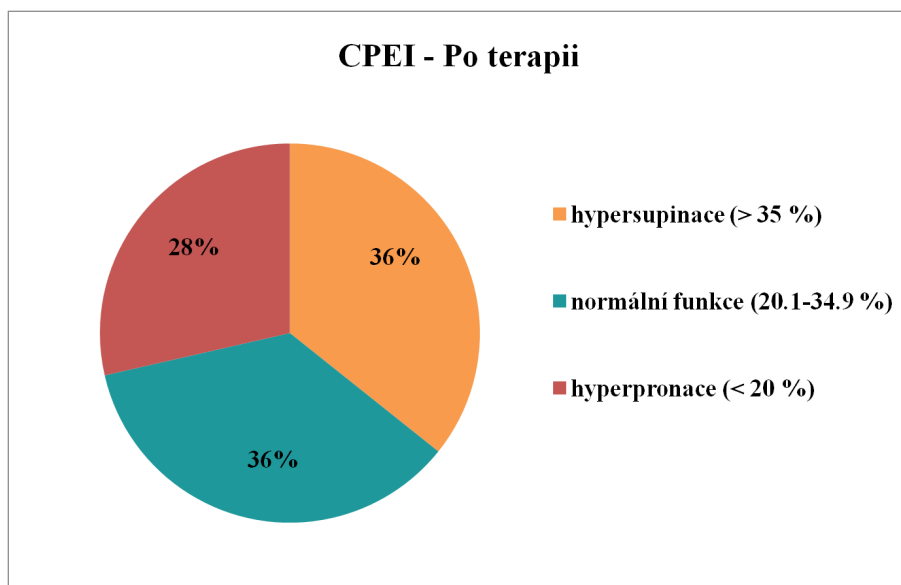


Obrázek 26 Grafické znázornění změn parametru TTW před (PRE) a po (POST) intervenci pro levou a pravou nohu (směrodatná odchylka znázorněná úsečkou)

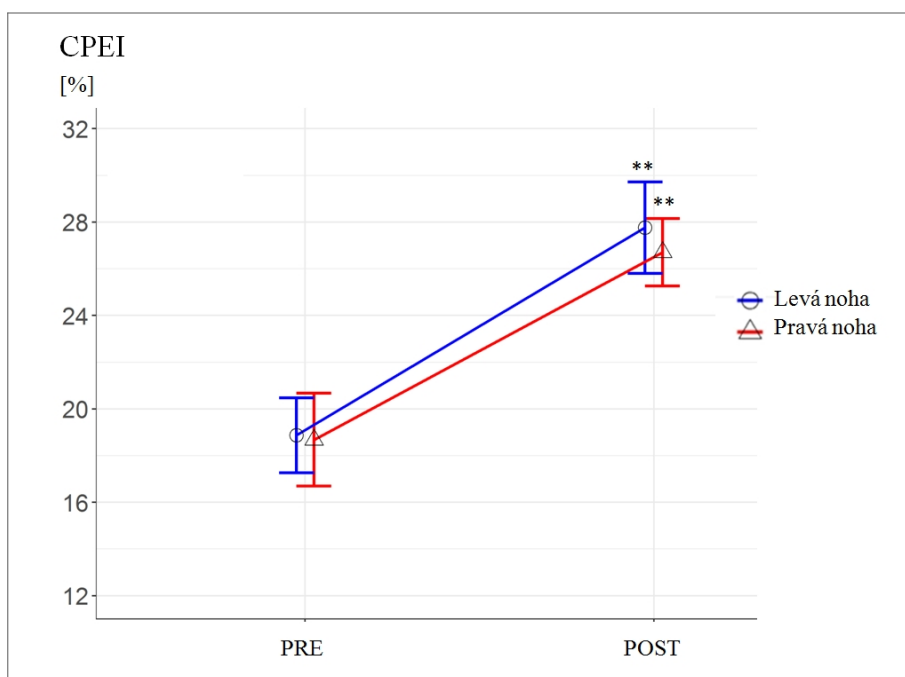
Distribuce četnosti dynamické funkce nohy a změny průměrných hodnot Centre of pressure excursion index (CPEI) před a po terapii (n = 14, 28 nohou) jsou znázorněny na obrázku 27-29.



Obrázek 27 Grafické znázornění distribuce četnosti funkce nohy dle CPEI před terapií



Obrázek 28 Grafické znázornění distribuce četnosti funkce nohy dle CPEI po terapii



Obrázek 29 Grafické znázornění změn v parametru CPEI před (PRE) a po (POST) intervenci pro levou a pravou nohu (směrodatná odchylka je znázorněná úsečkou, výrazně signifikantní výsledek ($p < 0,01$) dvěma hvězdičkami)

8 DISKUZE

Výzkumná práce se zabývala charakteristikou nohy u školních dětí a působením zevního faktoru pohybové aktivity a její intenzity ve smyslu dvou extrémních případů – výrazná pohybová aktivita a pohybová neaktivita na morfologii a funkci dětské vyvíjející se nohy.

8.1 Diskuze k hypotéze H1

Studie 1 zkoumala skupinově specifické rozdíly ve funkčních charakteristikách nohy hodnotících typologií nohy, posturální stabilitu a dynamickou funkci nohy u školních dětí ve vztahu k intenzitě pohybové aktivity – sportující děti a nespportující děti. Obě skupiny prokázaly vysoký výskyt poruch nohy. Výsledky statistické analýzy dat ukázaly statisticky významné rozdíly mezi 2 skupinami dětí v posturální stabilitě (TTW) a dynamické funkci nohy (CPEI) při chůzi, přičemž nespportující děti měli horší výsledky kromě jedné výjimky – TTW u dětí ve věku 9-10 let. Ostatní funkční charakteristiky nohy (FPI a CSI) nebyly mezi skupinami signifikantně odlišné, ale i u nich byly hodnoty horší pro nespportující děti.

Naším předpokladem bylo, že sportující děti budou mít horší hodnoty funkčních charakteristik nohy než nespportující děti vzhledem k působení výrazné sportovní zátěže. To se nepotvrdilo. Sportující děti měly významně lepší výsledky ve srovnání s nespportujícími dětmi až na jednu výjimku. Sportující děti měly lepší funkci posturální stability ve věkové kategorii 9-10,9 let než nespportující vrstevníci, avšak ve starší věkové kategorii 15-16 let sportující děti vykazaly horší funkci posturální stability než nespportující vrstevníci. V nejmladší věkové kategorii 9-10,9 let byly hodnoty TTW signifikantně vyšší pro nespportující děti v porovnání se sportujícími dětmi. U obou skupin dětí byla průměrná hodnota TTW pro levou končetinu nižší než pro pravou končetinu. Výsledky ukazují, že ve věku 9-10,9 let mají sportující děti signifikantně lepší kvalitu funkce posturální stability, tzn. nižší hodnoty TTW, než jejich vrstevníci, kteří nespportují. Toto tvrzení však v závislosti na rostoucím věku dětí neplatí. V rámci nejstarší zkoumané věkové kategorie 15-16 let byl tento jev analogicky opačný: sportující děti měly signifikantně vyšší hodnoty TTW pro obě končetiny. To znamená, že ve věku 15-16 let mají nespportující děti signifikantně lepší kvalitu funkce posturální stability (nižší hodnoty TTW) než jejich vrstevníci, kteří sportují. Výzkum přitom uvádí, že posturální stabilita není ovlivněna věkem u běžné populace dětí ve věku

7-18 let (Lebiedowska & Syczewska, 2000). Jiné studie oproti tomu vliv věku na výchylky COP, prokázaly. Referují, že výchylky COP se s věkem u školních dětí zmenšují, čímž tedy s rostoucím věkem dochází k dozrání kvality posturální stability (Nolan, Grigorenko, & Thorstensson, 2005; Rival, Ceyte, & Olivier, 2005). Výsledky naší studie na to ukazují také a ozřejmují vliv faktoru výrazné pohybové aktivity a pohybové neaktivity během vývoje posturální stability u dětí. Ostatní věkové skupiny neprokázaly signifikantní rozdíly v parametru posturální stability mezi sportujícími a nespportujícími dětmi. Hodnoty TTW se mezi sportujícími a nespportujícími dětmi v rámci jedné věkové kategorie lišily jinak pro levou a pro pravou končetinu, přičemž platilo, že pro levou končetinu byly hodnoty TTW vyšší pro nespportující děti. Ačkoli nebyla lateralita v rámci výzkumu evidovaná, můžeme při předpokladu pravostranné lateralitity dětí usuzovat, že u nespportujících dětí je horší stabilita (vyšší hodnoty TTW) na levé končetině způsobená tím, že je u nich opěrná funkce netrénovaná v rámci sportovních aktivit tak, jako u sportujících dětí, které jí více využívají během sportovních aktivit pro odraz. Naproti tomu pak je horší posturální stabilita (vyšší hodnoty TTW) u sportujících dětí na pravé končetině způsobená tím, že ji využívají preferovaně ke kopu do míče a k jiné fázičké činnosti (oproti levé opěrné končetině) a výraznou sportovní aktivitou tuto asymetrii více prohlubují (Mala, Maly, & Zahalka, 2017; Maly, Zahalka, Mala, & Cech, 2015).

Sportující děti bez ohledu na věk měly signifikantně lepší výsledky také v dynamické funkci nohy v porovnání se skupinou nespportujících dětí, přičemž obě skupiny prezentovaly vysokou četnost pronační poruchy funkce nohy. Výzkum ukázal signifikantní skupinový rozdíl pro hodnotu CPEI pouze pro levou končetinu, kde měly sportující děti oproti nespportujícím dětem vyšší hodnotu, tzn. lepší dynamickou funkci nohy. Pro pravou dolní končetinu však rozdíl v hodnotě CPEI mezi sledovanými skupinami dětí signifikantní nebyl, přičemž u sportujících dětí byla hodnota CPEI pro pravou nohu také vyšší než u nespportujících.

U skupiny sportujících dětí převažovala pronační až hyperpronační funkce nohy (67 % nohou). Normální funkci mělo 25 % nohou a 8 % nohou mělo supinační až hypersupinační funkci. U skupiny nespportujících dětí ($n = 26$) byla pronační a hyperpronační funkce ve větším zastoupení než u sportujících (76 % nohou), přičemž normální funkci mělo naopak méně nohou (16 %) v porovnání se sportujícími dětmi.

Supinační až hypersupinační funkci měl shodný počet nohou nespportujících dětí jako ve sportující skupině (8 %).

Vysoká četnost pronační funkce nohy u obou skupin dětí může vyznívat jako alarmující, vzhledem ke známým negativním vlivům poruchy funkce nohy. Na jednu stranu to může být dáno specifickostí vybraných dětí – v podstatě se jedná o dva extrémní případy pohybově aktivních, resp. neaktivních dětí, a ne o běžnou populaci dětí. Na druhou stranu vysoká míra pronační funkce v dětském věku může být přirozenou součástí vývoje dětské nohy v dospělou, plně vyvinutou a funkční.

Studie CPEI ve vztahu s typem nohy (plochá, normální a vysoká) autorů Hillstrom et al. (2013) uvádí průměrné hodnoty CPEI u ploché nohy $18,57 \pm 4,97$ % a pro normální nohu $21,65 \pm 5,47$ %. Jiná studie uvádí podobné průměrné hodnoty CPEI pro plochou nohu 16,23 % a pro normální nohu 20,17 % (Ledoux & Hillstrom, 2002). Tyto hodnoty však nemůžeme přesně porovnávat s výsledky naší studie, jelikož se jednalo o dospělou populaci. Můžeme vidět, že u dospělé populace jsou nižší hodnoty směrodatné odchylky než u našich výsledků pro školní děti. To ukazuje na vyšší variabilitu vzoru kroku v odvalování chodidla při chůzi u dětí v porovnání s dospělými. Je známo, že chůze u dětí dozrává okolo 7 let věku (Sutherland, Olsen, Cooper, Woo, & Diego, 1980), ale vzory jednotlivých kroků prezentují velkou variabilitu ještě v období okolo 11-12 let věku dítěte, ve kterém bylo zjištěno, že pouze 33 % kroků dítěte vykazuje stejný vzor odvalování chodidla při chůzi u sledovaného parametru CPEI (Latour, Latour, Arlet, Adach, & Bohatyrewicz, 2011).

Typologický výzkum nohy podle klasifikace FPI pro sportující a nespportující děti neprokázal signifikantní rozdíly mezi sledovanými skupinami. Průměrná hodnota FPI typu nohy pro celou zkoumanou skupinu školních dětí byla v naší studii $+6 \pm 5$, což klinicky znamená, že 68 % dětí bude mít buď normální nohu (+1 až +5) nebo pronovanou nohu (+6 až +9) anebo až hyperpronovanou nohu (+10 až +11). To odpovídá převaze pronační postury nohy v našem vzorku, která byla v porovnání s jiným výzkumem (4 ± 3) vyšší (Martínez-Nova et al., 2018). Jiná studie referuje průměrnou hodnotu pro FPI u 140 školních dětí 7-10 let pro levou nohu $4,12 \pm 2,23$ a pro pravou nohu $3,74 \pm 2,34$ (Evans, 2011). To může být dáno tím, že náš vzorek je věkově rozsáhlejší (9-16 let) a specificky výběrový ve vztahu k pohybové aktivitě. Pronovaná noha byla přítomna u 64 % nohou v obou sledovaných skupinách. Toto

vysoké zastoupení pronované nohy ve srovnání s výskytem normální nohy mezi 25-32 % vypovídá o převládající pronační poruše u vybraných školních dětí na základě specifické intenzity pohybové aktivity. Na druhou stranu se objevuje názor, že pronovaná noha u běžné populace dětí může být brána jako normální projev během vývoje nohy v dětství, především u mladších dětí okolo 10 let (Martínez-Nova et al., 2018). Nutno ale podotknout, že tato porucha nohy je spojená se zvýšeným rizikem vzniku úrazu u běžeckých sportů (Pérez-Morcillo et al., 2019). V této studii typologie nohy u dospělých sportovců – běžců (n = 600) byla nejpočetnějším typem nohy normální noha (74,9 %). Po ní následovala supinovaná (39,9 %) a pronovaná noha (40 %). Ve skupině běžců s prodělaným úrazem ve zdravotní anamnéze byla převaha pronovaných (60,8 %) a supinovaných nohou (60 %), oproti normální noze (25,1 %). Můžeme tedy říci, že dětská vyvíjející se noha se dá vzdáleně připodobnit dospělé noze, která prodělala úraz a je tak náchylnější k výskytu poruchy nohy. Když porovnáme sportující děti a nespportující děti, tak větší výskyt poruchy pronované nohy byl u nespportujících dětí.

Typologický výzkum nohy podle klasifikace CSI pro sportující a nespportující děti také neprokázal signifikantní rozdíly mezi sledovanými skupinami. Četnost typu nohy dle CSI pro výzkumný vzorek školních dětí byla největší u typu nohy středně plochá noha – 36 % nohou, a nejmenší u typu normální noha – 2 % nohou. Druhým nejpočetnějším typem nohy byla mírně plochá noha (25 %), dále pak snížená klenba (21 %), přechodný typ nohy (8 %) a výrazně plochá noha (8 %).

Výskyt ploché nohy (bez rozdělení na její podtypy) v rámci celého výzkumného vzorku školních dětí byl 69 %, což je v rámci rozmezí, které uvádí světová literatura (0,6-77,9 %), (MacKenzie et al., 2012). Podle studie Shih et al. (2012) však byla prevalence ploché nohy u školních dětí evidována v rozmezí 13,4-27,6 %. Musíme však podotknout, že výzkum byl proveden na populaci thaiwanských dětí a výsledky se proto mohou výrazně lišit. Studie postury nohy u 1676 španělských dětí 3-17 let autorů Forriol a Pascual (1991) uvádí výsledky u chlapců 9-17 let v rozmezí 4,25-6,73 % pro pravou i levou nohu, přičemž s věkem měla hodnota CSI klesající trend. Onodera a kol. (2008) uvádí průměrné hodnoty četnosti ploché nohy u dětí ve věku 9-10 let v rozmezí 42,9-56,6 % a četnost pro normální nohu v rozmezí 34,3-52,9 %. Literatura bohužel neuvádí hodnoty CSI pro školní děti na základě pohybové aktivity.

8.2 Diskuze k hypotéze H2

Cílem Studie 2 bylo longitudinální sledování změn typologie nohy dle CSI a TTW parametru posturální stability u 35 elitních sportovců – hráčů fotbalu, po dobu 3 let v období dospívání (15-18 let). Výsledky statistické analýzy dat ukázaly signifikantní rozdíly v typologii nohy i v posturální stabilitě v závislosti na čase (rok T1, rok T2, rok T3).

Významné rozdíly v typologii nohy, která byla charakterizována četností výskytu jednotlivých typů nohy, jsme našli mezi druhým (T2) a třetím (T3) rokem a prvním (T1) a třetím (T3) rokem měření. Pro levou nohu byly průměrné hodnoty CSI v jednotlivých letech následující: $38,01 \pm 7,85 \%$ v T1, $37,04 \pm 9,36 \%$ v T2 a $41,91 \pm 8,98 \%$ v T3. Pro pravou nohu byly hodnoty velmi podobné: $39,50 \pm 8,35 \%$ v T1, $39,50 \pm 8,35 \%$ v T2 a $38,99 \pm 9,10 \%$ v T3.

Z výsledků typologie nohy můžeme říci, že poruchy nohy typu plochá noha u elitních fotbalistů se automaticky neupraví s dospíváním a vyzríváním tělesné morfologie, jak bylo sledováno u běžné populace dětí (Adamec, 2005), ale naopak s dlouhodobým a opakovaným působením výrazné sportovní zátěže dochází k novému vzniku ploché nohy, který navíc stoupá s narůstající dobou působení sportovní zátěže, tedy s trváním přetěžování v neoptimálním postavení a funkci nohy, kterou statická porucha nohy vyvolává. Toto zjištění je ve shodě s teorií Tissue stress theory, která definuje zátěž (z angl. stress) jako sílu aplikovanou na materiál. Odezvou materiálu na cyklicky se opakující dlouhodobý stress je únava materiálu (Niek Van Dijk et al., 2017). Teorie vysvětluje, že zatížení tkání musí být pro jedince tolerovatelné, jinak dochází k mechanickému přetížení, které se projevuje poruchou postury a funkce nohy, např. hyperpronace nohy (Earls, 2014; Haendlmayer & Harris, 2009; Harradine et al., 2003), která je přítomná u ploché nohy středního a výrazného stupně. Další výzkum potvrzuje, že hyperpronace nohy je rizikovým faktorem pro vznik tendinopatií, které jsou v úzké spojitosti s postupným narůstajícím zatížením šlachy a úponu (úraz na podkladě opakující se zátěže, z angl. repetitive strain injury), (Niek Van Dijk et al., 2017). To podporuje tvrzení autorů Nery, Raduan a Baumfeld (2016), kteří referují, že přetížení je hned na druhém místě z nejčastějších mechanismů vzniku zranění dolních končetin u fotbalistů. Novodobé paradigma naproti tomu ukazuje impaktivní síly při zátěži jako pozitivní a nutný input pro tonizaci svalů a šlach. Tyto impaktivní síly působící na nohu

a dolní končetinu během chůze a především běhu však mohou být změněny geometrií (resp. morfologií) nohy, ztuhlostí kotníku a kolene nebo funkční změnou – zřetěžením měkkých a kostních struktur končetiny (Nigg, 2001).

Sledovaným parametrem posturální stability byla celková dráha (TTW) středu tlakového působení ve stoji na 1 DK. Výsledky studie ukázaly signifikantní rozdíly v TTW parametru pro obě dolní končetiny a pro rozdíl mezi dolními končetinami (TTW_{Δ}), přičemž TTW hodnoty pro levou dolní končetinu byly vyšší se signifikantním rozdílem mezi roky T1 vs. T3. Pro pravou DK byl nalezen signifikantní rozdíl mezi měřeními T1 vs. T2 a T1 vs. T3. S rostoucím časem a potažmo věkem se průměrná hodnota TTW u obou dolních končetin i rozdíl TTW_{Δ} mezi končetinami snižovaly, přičemž signifikantní rozdíl v TTW_{Δ} byl zaznamenán mezi měřením T1 vs. T3. Toto snížení hodnot TTW v průběhu sledování svědčí o pozitivním vlivu dospívání a zrání tělesných funkcí na funkce posturální stability, které zároveň s výraznou sportovní zátěží trénují posturální stabilitu do vyšší úrovně kvality. To dokládá i studie (Paillard et al., 2006), podle které snížení hodnoty TTW_{Δ} reflektuje úpravu stranové asymetrie posturální stability v rámci stoje na jedné noze, která může být dána například snížením asymetrie svalové síly dolních končetin v součinnosti s dobou v profesionálním sportovním tréninku (Fousekis, Tsepis, & Vagenas, 2010). Čím delší dobu je hráč v profesionálním sportovním tréninku a ve vyšší úrovni, tím je zlepšení úrovně posturální stability markantnější (Paillard et al., 2006).

Pokud se podíváme na vztah mezi úrovní posturální stability a typologie nohy, byla u populace zdravých mladých lidí nalezena excelentní korelace mezi plochou nohou a úrovní posturální stability v tomto smyslu (Harrison & Littlewood, 2010): čím závažnější úroveň ploché nohy, resp. čím vyšší hodnota CSI pro plochou nohu, tím vyšší hodnota TTW, resp. horší úroveň posturální stability. Avšak naše výsledky ukázaly opačný trend znázorněný zvýšením úrovně posturální stability, tedy snížením hodnoty TTW, současně s nárůstem hodnoty CSI pro plochou nohu. To ukazuje, že sportující populace školních dětí (elitních fotbalistů) specificky reaguje na enormní zátěž. Pomocí dlouhodobého tréninku se u nich projevuje výrazný nárůst kvality posturální stability, ale zároveň se přetížením z působení dlouhodobé opakované výrazné zátěže mohou rozvinout poruchy nohy, či může dojít ke zhoršení již přítomných poruch nohy.

8.3 Diskuze k hypotéze H3

Cílem studie 3 bylo ověřit efekt cílené pohybové intervence u výrazně sportujících dětí – chlapců fotbalistů ve věku 9-10 let s přítomnou poruchou nohy typu pronovaná noha a/nebo plochá noha pomocí vybraných funkčních charakteristik nohy hodnotících typologii nohy, posturální stabilitu a dynamickou funkci nohy.

Výsledky statistické analýzy dat ukázaly statisticky významné rozdíly před a po absolvování terapie v parametrech typologie nohy (FPI a CSI) a dynamické funkce nohy (CPEI). Konkrétně se jednalo o pozitivní efekt terapie formou zlepšení hodnot těchto parametrů. Výsledky pro parametr posturální stability (TTW) neprokázaly signifikantní efekt intervence, ale z porovnání hodnot před a po terapii došlo ke zhoršení funkce posturální stability, tedy k negativnímu efektu terapie na kvalitu posturálních funkcí pro levou končetinu.

Typologický výzkum nohy podle klasifikace FPI prokázal signifikantní rozdíly mezi hodnotami před absolvováním a po absolvování terapie pro obě nohy. Průměrná hodnota FPI pro levou nohu byla po terapii nižší ($7,43 \pm 2,59$) průměrně o $0,86 \pm 1,46$ v porovnání s hodnotou před terapií ($8,29 \pm 3,38$). FPI pro pravou nohu měla před terapií vyšší hodnotu ($8,71 \pm 2,67$) v porovnání s levou nohou, ale po terapii se snížila výrazněji (o $1,86 \pm 1,96$) na hodnotu $6,86 \pm 2,38$. Klasifikace FPI pro tyto hodnoty odpovídá typu nohy pronovaná noha (+5 až +9). Podle velikosti hodnoty rozdílu pro pravou nohu můžeme říci, že pravá noha reagovala na terapii v parametru FPI lépe v porovnání s levou nohou. Normální asymetrický rozdíl v FPI mezi pravou a levou nohou byl v literatuře stanoven na rozmezí $\pm 1SD$ (směrodatná odchylka), (Rokkedal-Lausch, Lykke, Hansen, & Nielsen, 2013), což naše výsledky splňují.

Podle procentuálních četností rozložení typů nohy dle FPI byla u výzkumného vzorku před terapií nejčastěji zastoupena pronovaná noha (47 %), dále hyperpronovaná noha (39 %) a normální noha (14 %). Po terapii byla četnost pronované nohy vyšší (61 %) než před terapií, ale došlo k signifikantnímu snížení četnosti hyperpronované nohy (18 %) a navýšení počtu typu normální noha (21 %). Supinované formy typu nohy se ve výzkumném vzorku nevyskytovaly před terapií ani po terapii, neboť nebyly součástí výzkumu.

Typologický výzkum nohy podle CSI také prokázal pozitivní vliv cílené terapie u sportujících chlapců s poruchou nohy plochá noha a pronovaná noha. Výsledky ukázaly signifikantní snížení v průměrné hodnotě CSI mezi měřeními před a po absolvování terapie pro pravou nohu. U pravé nohy došlo k průměrné změně v CSI o $3,16 \pm 4,99$ %, zatímco u levé nohy o pouhých $1,19 \pm 5,27$ %. Hodnota CSI byla před zahájením intervence pro levou nohu vyšší ($54,84 \pm 11,01$ %) než pro pravou ($53,79 \pm 10,86$ %). Po absolvování terapie klesla hodnota CSI pro obě nohy ($CSI_L = 53,66 \pm 10,62$ %; $CSI_P = 50,63 \pm 8,81$ %), ale signifikantně pouze pro pravou.

Na základě procentuálních četností rozložení typů nohy podle CSI klasifikace byla nejpočetnějším typem nohy před terapií noha středně plochá (36 %), dále mírně plochá (32 %), výrazně plochá (18 %), snížená klenba (11 %), přechodný typ nohy (3 %) a normální noha (0 %). Po terapii se rozložení změnilo. Nejpočetnějším typem nohy byl typ mírně plochá noha, u které došlo k nárůstu četnosti (43 %). Na druhé straně však významně klesla četnost středně ploché nohy (25 %). Výrazně plochá noha zůstala ve stejném počtu jako před terapií (18 %). U snížené klenby došlo k mírnému poklesu četnosti (7 %) a u přechodného typu nohy došlo k nárůstu četnosti (7 %). Nulový výskyt normální nohy se vlivem terapie nezměnil. Z toho vyplývá, že cílená terapie má pozitivní vliv pouze na mírnější formy ploché nohy (mírně a středně plochá noha) a může upravit snížený typ klenby na typ přechodný, který má nejbližší k normální noze. Cílená neurofyziologická intervence tedy může ovlivnit morfologii nohy (typ nohy), čímž má potažmo vliv i na funkci nohy.

Naše studie obsahovala podstatné prvky a progresivní charakter senzomotorického tréninku v kombinaci se specifickým cvičením krátkých vnitřních svalů nohy inspirovaného cvičením velké nohy dle Lewitové (2016) a cvičení v pozicích z vývojové kineziologie, které byly již v podobném složení prezentovány studií Kinclové (2016) jako efektivní v terapii dětské ploché nohy. Studie však na rozdíl od naší zkoumala obecnou skupinu mladších dětí ve věku 4-7 let, chlapce i dívky dohromady, s přítomnou poruchou nohy flexibilní plochá noha po absolvování 5 týdnů trvající individuální terapie 2x týdně. K hodnocení efektu terapie využívala parametry hodnotící posturu nohy CSI a FPI, dále navicular drop test a pro dynamickou funkci nohy hodnotila tlakové parametry distribuce tlaku nohy na podložku ve stoji a při chůzi. Ve srovnání s našimi výsledky jsou hodnoty před terapií i po terapii u mladších dětí vyšší než u námi zkoumaných výrazně sportujících dětí. To potvrzuje poznatky

výzkumu poruch nohy, které uvádějí pokles hodnot CSI i FPI s věkem dítěte (Evans, 2011; Forriol & Pascual, 1990). Studie na sebe navazují a doplňují informace chybějící ve výzkumu funkčních poruch nohy u dětí.

Výzkum vlivu cílené terapie na funkce posturální stability pomocí parametru TTW neukázal signifikantní rozdíl v hodnotě TTW před a po absolvování terapie. Průměrná hodnota TTW byla před zahájením intervence pro levou končetinu nižší než pro pravou končetinu. Po absolvování intervence se průměrná hodnota TTW pro levou končetinu zvýšila, avšak nesignifikantně. U pravé končetiny zůstala průměrná hodnota téměř beze změny.

Zvýšení hodnoty TTW pro levou končetinu po intervenci znamená zhoršení funkce posturální stability. Což je v rozporu s výsledky studie Harrison a Littlewood (2010), kteří uvádějí, že čím je horší stupeň ploché nohy (vyšší CSI), tím je vyšší hodnota posturálních výchylek. Jiný výzkum uvádí okamžitý pozitivní efekt terapie krátkých svalů na dynamickou posturální stabilitu u typu nohy pronovaná noha měřenou dosahy do různých směrů, které se po terapii okamžitě pozitivně zvětšily (Moon, Kim, & Lee, 2014). Námi zjištěné mírné zhoršení hodnot parametru posturální stability TTW pro levou končetinu mohla zapříčinit například krátká délka intervence, která v naší studii byla pouze 4 týdny, ačkoli jsme se inspirovali jinými podobnými intervenčními studii, které tuto délku terapie potvrdily jako dostatečnou pro projevení efektu terapie. Je známo, že adaptace pohybového systému na zátěž probíhá až okolo 6 týdnů, přičemž jako normální fyziologický proces reakce na zátěž může být počáteční zhoršení funkcí.

Výzkum dynamické funkce nohy pomocí parametru Centre of pressure excursion indexu (CPEI) při chůzi před a po absolvování terapie ukázal signifikantní zvýšení hodnoty CPEI pro obě nohy, což znamená pozitivní efekt terapie na funkci nohy.

Průměrná hodnota CPEI před zahájením intervence byla pro levou nohu nepatrně vyšší ($18,87 \pm 6,00$ %) než pro pravou nohu ($18,68 \pm 7,43$ %) a po intervenci se hodnota CPEI pro levou nohu zvýšila výrazněji ($27,76 \pm 7,30$ %) než pro pravou nohu ($26,71 \pm 5,41$ %). Jedná se ale o fyziologickou asymetrii dolních končetin. Naše výsledky se shodují s výsledky studie autorů Hillstrom et al. (2013), kteří uvádí průměrné hodnoty CPEI u ploché nohy $18,57 \pm 4,97$ %, i když pro dospělé populaci.

Analýza rozložení četnosti typů nohou před terapií ukázala 75% zastoupení pronované až hyperpronované funkce nohy a 25% zastoupení normální funkce nohy. Nebyly přítomny žádné nohy s poruchou supinační funkce nohy, jelikož se jednalo o výběr probandů pouze s pronovanou nohou a/nebo plochou nohou.

Po terapii se četnost pronované až hyperpronované funkce nohy snížila o 47 % a četnost normální funkce nohy se zvýšila o 11 %. Po terapii byla dokonce zjištěna přítomnost supinované až hypersupinované funkce nohy a to ve 36 % nohou. Toto zajímavé zjištění může ukazovat na vysoký efekt cvičení. Jiným vysvětlením může být také klasifikační stupnice, která byla u výzkumného vzorku po inspiraci jinou výzkumnou studií určena expertně na základě rozdělení škály výsledků na třetiny. Spodní třetina výsledků (CPEI 10-24,9 %) odpovídala pronáční funkci nohy, střední třetina (CPEI 25-34,9 %) normální funkci nohy a horní třetina (CPEI nad 35 %) supinační funkci nohy. Množství výzkumných studií používajících CPEI je omezené a výzkumné studie, které CPEI použily, uvádí buďto kvalitativní hodnocení výsledků trajektorie COP anebo průměrné hodnoty pro jednotlivé typy nohou pouze pro dospělou populaci. Například Ledoux a Hillstrom (2002) uvádí průměrnou hodnotu CPEI pro normální nohu 20,17 % a pozdější výzkum Hillstrom et al. (2013) o něco vyšší hodnotu CPEI pro normální nohu $21,65 \pm 5,47$ %. Vzhledem k vysoké variabilitě vzoru kroku u dětí (Latour et al., 2011) nelze tyto hodnoty s dospělými porovnávat. I přes nejasnost příčiny přítomnosti supinační funkce nohy po absolvování terapie, naše výsledky prokázaly pozitivní efekt cílené intervence na dynamickou funkci nohy.

Intervence použitá v této výzkumné práci kombinovala nejpoužívanější přístupy v terapii nohy, dolních končetin a potažmo celého pohybového systému v originálním spojení. Přesto, že terapie trvala pouze 4 týdny, tedy nejkratší možnou dobu s prokázaným efektem terapie, která je v rámci intervenčních výzkumných studií evidovaná, byl prokázán její signifikantně pozitivní vliv na poruchy nohou u výrazně sportujících dětí.

9 ZÁVĚRY VÝZKUMU

Pohybová aktivita a její intenzita je jedním ze zevních faktorů působících na morfologii a funkci nohy. Naše studie prokázala, že působení pohybové aktivity v její nejvyšší intenzitě (výrazná sportovní zátěž) a naopak v její nejnižší intenzitě (pohybová neaktivita) je rizikovým faktorem vzniku poruch morfologie a funkce nohy u školních dětí ve věku 9-18 let.

Obě skupiny prokázaly vysoký výskyt poruch nohy oproti výsledkům obecné populace školních dětí uvedených v dostupné literatuře. Byly identifikovány významné rozdíly mezi sportujícími a nespportujícími dětmi. Předpoklad, že sportující děti budou mít v porovnání s nespportujícími horší funkční charakteristiky nohy z hlediska působení výrazné sportovní zátěže, se naplnil pouze pro starší děti věku 15-16 let a pouze pro funkci posturální stability. V ostatních parametrech typologie nohy, posturální stability i dynamické funkce nohy měly sportující děti bez ohledu na věk výsledky lepší než děti nespportující. Z toho vyplývá, že nespportující děti jsou obecně o něco více náchylnější k výskytu poruch nohy na základě působení nedostatku pohybové aktivity než sportující děti k výskytu poruch nohy na základě působení výrazné sportovní zátěže.

Situace se mění, pokud výrazná sportovní zátěž působí dlouhodobě a v období dospívání. Na základě výsledků dlouholetého sledování parametrů typologie nohy a posturální stability můžeme konstatovat, že sportující děti, resp. elitní hráči fotbalu ve věku 15-18 let jsou vystaveni riziku vzniku a zhoršení statických poruch nohy, které s sebou nesou negativní vliv na celkovou funkci nohy v zátěži a tím zvýšené riziko vzniku dalších poruch v oblasti pohybového aparátu z přetížení. Pouze funkce posturální stability s přechodem do dospělosti vyžívá a dlouhodobým tréninkem dále zlepšuje kvalitu své funkce i u výrazně sportujících dětí.

Pomocí cílené neurofyziologické intervence lze pozitivně ovlivnit poruchy nohy typu pronovaná noha a plochá noha u dětí výrazně sportujících ve věku 9-10 let, aniž by přidáním této pohybové intervence k výrazné sportovní zátěži, které jsou vystaveny, došlo k přetížení dětí. Naše studie prokázala, že aplikovaná krátkodobá, ale komplexní pohybová intervence může pozitivně ovlivnit parametry morfologie nohy i dynamické funkce nohy, avšak ne funkce posturální stability, u které se kvalita funkce mírně zhoršila. Intervence na ovlivnění posturální stability s největší pravděpodobností vyžaduje delší trvání než pouhé 4 týdny. Cílená komplexní intervence na

neurofyziologickém základu nabízí vhodné řešení ke zmírnění stupně již vzniklých poruch nohy u výrazně sportujících dětí.

Vzhledem k našim výsledkům vyvstává doporučení důrazné prevence ve sledování postury a funkce nohy u dětí, především u dětí nesportujících a výrazně sportujících, které jsou prokazatelně náchylné na základě působení výrazně pohybové zátěže či deprivace pohybové aktivity k výskytu a vzniku funkčních poruch v oblasti nohy a tím zvýšenému riziku zranění z přetížení a únavy.

Sportovní či kondiční trenéři a sportovní zdravotníci by měli kontrolovat a brát v úvahu typ nohy u adolescentních elitních hráčů fotbalu a preventivně kompenzačně zasáhnout tak, aby se předešlo vzniku ploché nohy či zhoršení její úrovně a tím minimalizovat riziko vzniku návazných muskulo-skeletálních dysfunkcí na různých etážích pohybového aparátu, zvýšení únavy nohou a následnému riziku vzniku zranění.

Další výzkum by měl směřovat ke studiu větších výzkumných vzorků dětí pro možnost generalizace výsledků, s důkladnou evidencí typu a délky trvání sportovní zátěže a pohybové neaktivity u školních dětí. Dále by se výzkum mohl věnovat porovnání sportujících a nesportujících dětí s normálním vzorkem dětí pro přesnější definici normálního výskytu poruch nohy u vyvíjející se dětské nohy. V neposlední řadě by bylo vhodné identifikovat specifické funkční charakteristiky nohy také vzhledem k jednotlivým sportovním odvětvím.

REFERENČNÍ SEZNAM

- Adamec, O. (2005). Plochá noha v dětském věku – diagnostika a terapie. *Pediatric pro Praxi*, 4, 194–196.
- Aydog, S. T., Tetik, O., Demirel, A. H., & Doral, M. N. (2005). Differences in sole arch indices in various sports. *British Journal of Sports Medicine*, 39(2), 1–3.
- Banwell, H. A., Paris, M. E., Mackintosh, S., & Williams, C. M. (2018). Paediatric flexible flat foot: How are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *Journal of Foot & Ankle Research*, 11(1), 1–13.
- Billis, E., Katsakiori, E., Kapodistrias, C., & Kapreli, E. (2007). Assessment of foot posture: Correlation between different clinical techniques. *The Foot*, 17(2), 65–72.
- Bourdet, C., Seringe, R., Adamsbaum, C., Glorion, C., & Wicart, P. (2013). Flatfoot in children and adolescents. Analysis of imaging findings and therapeutic implications. *Orthopaedics and Traumatology: Surgery & Research*, 99(1), 80–87.
- Brushøj, C., Langberg, H., Larsen, K., Nielsen, M. B., & Hölmich, P. (2007). Reliability and normative values of the foot line test: A Technique to assess foot posture. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 37(11), 703–707.
- Buldt, A. K., Forghany, S., Landorf, K. B., Levinger, P., Murley, G. S., & Menz, H. B. (2018). Foot posture is associated with plantar pressure during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait & Posture*, 62, 235–240.
- Buldt, A. K., Levinger, P., Murley, G. S., Menz, H. B., Nester, C. J., & Landorf, K. B. (2015). Foot posture is associated with kinematics of the foot during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait & Posture*, 42(1), 42–48.
- Carr, J. B., Yang, S., & Lather, L. A. (2016). Pediatric pes planus: A state-of-the-art review. *Pediatrics*, 137(3).
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cranage, S., Banwell, H., & Williams, C. M. (2016). Gait and lower limb observation of paediatrics (GALLOP): Development of a consensus based paediatric podiatry and physiotherapy standardised recording proforma. *Journal of Foot & Ankle Research*, 9(1), 1–10.

- Dahle, K., Mueller, M., Delitto, A., & Diamond, E. (1991). Visual assessment of foot type and relationship of foot type to lower extremity injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 14(2), 70–75.
- Dare, D. M., & Dodwell, E. R. (2014). Pediatric flatfoot. *Current Opinion in Pediatrics*, 26(1), 93–100.
- De Cock, A., Vanrenterghem, J., Willems, T., Witvrouw, E., & De Clercq, D. (2008). The trajectory of the centre of pressure during barefoot running as a potential measure for foot function. *Gait & Posture*, 27(4), 669–675.
- Deschamps, K., Roosen, P., Bruyninckx, H., Desloovere, K., Deleu, P.-A., Matricali, G. A., ... Staes, F. (2013). Pattern description and reliability parameters of six force–time related indices measured with plantar pressure measurements. *Gait & Posture*, 38(4), 824–829.
- Deschamps, K., Staes, F., Peerlinck, K., Van Geet, C., Hermans, C., Matricali, G. A., & Lobet, S. (2017). 3D Multi-segment foot kinematics in children: A developmental study in typically developing boys. *Gait & Posture*, 52, 40–44.
- Diaz, M. A., Gibbons, M. W., Song, J., Hillstrom, H. J., Choe, K. H., & Pasquale, M. R. (2018). Concurrent validity of an automated algorithm for computing the center of pressure excursion index (CPEI). *Gait & Posture*, 59, 7–10.
- Dordević, S., Jorgić, B., & Stanojević, I. (2015). Effects of exercise programs on pes planus in children under 18 years of age: a systematic review. *Acta Kinesiologica*, 9(2), 7–11.
- Dowling, G. J., Murley, G. S., Munteanu, S. E., Franettovich Smith, M. M., Neal, B. S., Griffiths, I. B., ... Collins, N. J. (2015). Dynamic foot function as a risk factor for lower limb overuse injury: A systematic review. *Journal of Foot & Ankle Research*, 7(1), 1–13.
- Dungl, P. (2005). *Ortopedie*. Praha: Grada.
- Dylevský, I. (2009). *Speciální kineziologie* (1. vyd.). Praha: Grada.
- Earls, J. (2014). *Born to walk*. Berkeley, California: North Atlantic Books.
- Evans, A. M. (2011). The paediatric flat foot and general anthropometry in 140 Australian school children aged 7 - 10 years. *Journal of Foot & Ankle Research*,

4(1), 12.

- Evans, A. M., Rome, K., & Peet, L. (2012). The foot posture index, ankle lunge test, Beighton scale and the lower limb assessment score in healthy children: A reliability study. *Journal of Foot & Ankle Research*, 5(1), 1–5.
- Forriol, F., & Pascual, J. (1990). Footprint analysis between three and seventeen years of age. *Foot & Ankle*, 11(2), 101–104.
- Fousekis, K., Tsepis, E., & Vagenas, G. (2010). Lower limb strength in professional soccer players: profile, asymmetry, and training age. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9, 364–373.
- Frank, C., Kobesova, A., & Kolar, P. (2013). Dynamic neuromuscular stabilization & sports rehabilitation. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 8(1), 62–73.
- Giannini, S., Buda, R. E., Parma, A., Ramponi, L., Mazzotti, A., & Vannini, F. (2014). Ankle and foot: Foot abnormalities and pathologies. In *Pediatric and Adolescent Sports Traumatology*, (pp. 223–235). Milano: Springer.
- Gill, S. V., Keimig, S., Kelty-Stephen, D., Hung, Y. C., & DeSilva, J. M. (2016). The relationship between foot arch measurements and walking parameters in children. *BMC Pediatrics*, 16(1), 2.
- Golightly, Y. M., Hannan, M. T., Dufour, A. B., Hillstrom, H. J., & Jordan, J. M. (2014). Foot disorders associated with overpronated and oversupinated foot Function: The Johnston county osteoarthritis project. *Foot & Ankle International*, 35(11), 1159–1165.
- Gross, J. M., Fetto, J., & Rosen, E. (2005). *Vyšetření pohybového aparátu*. Praha: TRITON.
- Haendlmayer, K. T., & Harris, N. J. (2009). Flatfoot deformity: an overview. *Orthopaedics & Trauma*, 23(6), 395–403.
- Halabchi, F., Mazaheri, R., Mirshahi, M., & Abbasian, L. (2013). Pediatric flexible flatfoot; clinical aspects and algorithmic approach. *Iranian Journal of Pediatrics*, 23(3), 247–260.
- Harradine, P. D., Lead, C., Bevan, L. S., & Carter, N. (2003). Gait dysfunction and

- podiatric therapy – Part 1: Foot-based models and orthotic management. *British Journal of Podiatry*, 6(1), 5–11.
- Harris, E. J., Vanore, J. V., Thomas, J. L., Kravitz, S. R., Mendelson, S. A., Mendicino, R. W., ... Gassen, S. C. (2004). Diagnosis and treatment of pediatric flatfoot. *Journal of Foot & Ankle Surgery*, 43(6), 341–373.
- Harrison, P.-L., & Littlewood, C. (2010). Relationship between pes planus foot type and postural stability. *Indian Journal of Physiotherapy & Occupational Therapy*, 4(3), 21–24.
- Headlee, D. L., Leonard, J. L., Hart, J. M., Ingersoll, C. D., & Hertel, J. (2008). Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *Journal of Electromyography & Kinesiology*, 18(3), 420–425.
- Hillstrom, H. J., Song, J., Kraszewski, A. P., Hafer, J. F., Mootanah, R., Dufour, A. B., ... Deland, J. T. (2013). Foot type biomechanics part 1: Structure and function of the asymptomatic foot. *Gait & Posture*, 37(3), 445–451.
- Honzíková, L., Svoboda, Z., Janura, M., Rosický, J., & Martinasková, E. (2013). Vztah valgozity paty, typologie a biomechaniky nohy u dětí. *Rehabilitace a Fyzikální Lékařství*, 20(2), 71–76.
- Janda, V., & Vávrová, M. (1992). Senzomotorická stimulace. *Rehabilitácia*, 25(3), 14–34.
- Jung, D. Y., Koh, E. K., & Kwon, O. Y. (2011). Effect of foot orthoses and short-foot exercise on the cross-sectional area of the abductor hallucis muscle in subjects with pes planus: A randomized controlled trial. *Journal of Back & Musculoskeletal Rehabilitation*, 24(4), 225–231.
- Kapandji, I. A. (1987). *The physiology of the joints: lower limb, volume 2*. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Kaplan, J. R. M., Aiyer, A., Cerrato, R. A., Jeng, C. L., & Campbell, J. T. (2018, November 1). Operative treatment of the cavovarus foot. *Foot & Ankle International*, Vol. 39, pp. 1370–1382.
- Kapteyn, T. S., Bles, W., Njiokiktjien, C. J., Kodde, L., Massen, C. H., & Mol, J. M. (1983). Standardization in platform stabilometry being a part of posturography. *Agressologie: Revue Internationale de Physio-Biologie et de Pharmacologie*

- Appliquees Aux Effets de l'agression*, 24(7), 321–326.
- Kaufman, K. R., Brodine, S. K., Shaffer, R. A., Johnson, C. W., & Cullison, T. R. (1999). The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 27(5), 585–593.
- Kazmarová, L. (2014). *Odborný kurz Noha - aktivní a zdravá*. Praha.
- Kinclová, L. (2016). *Diagnostika a terapie dětské ploché nohy*. (Disertační práce, Masarykova Univerzita, Brno, Česká republika). Dostupné z https://is.muni.cz/th/bticf/Disertace_Kinclova.pdf
- Kirby, K. A. (2017). Longitudinal arch load-sharing system of the foot. *Revista Española de Podología*, 28(1), 18–26.
- Kobesova, A., & Kolar, P. (2014). Developmental kinesiology: Three levels of motor control in the assessment and treatment of the motor system. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 18(1), 23–33.
- Kodithuwakku, A., Sachini, N. K., Chander, H., & Knight, A. (2019, March). Flat feet: Biomechanical implications, assessment and management. *The Foot*, 38, 81–85.
- Kolář, P. (2009). *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén.
- Kothari, A., Dixon, P. C., Stebbins, J., Zavatsky, A. B., & Theologis, T. (2016). Are flexible flat feet associated with proximal joint problems in children? *Gait & Posture*, 45, 204–210.
- Kothari, A., Theologis, T., Bhuvu, S., Stebbins, J., & Zavatsky, A. B. (2016). An investigation into the aetiology of flexible flat feet: The role of subtalar joint morphology. *Bone & Joint Journal*, 98B(4), 564–568.
- Král, M. (2016). *Odborný kurz O nohách*. Praha.
- Kyvelidou, A., Harbourne, R. T., Haworth, J., Schmid, K. K., & Stergiou, N. (2017). Children with moderate to severe cerebral palsy may not benefit from stochastic vibration when developing independent sitting. *Developmental Neurorehabilitation*, 21(6), 362–370.
- Laowattanatham, N., Chitsakul, K., Tretriluxana, S., & Hansasuta, C. (2014). Smart digital podoscope for foot deformity assessment. *BMEiCON 2014 - 7th Biomedical Engineering International Conference*, 1–5.

- Latour, E., Latour, M., Arlet, J., Adach, Z., & Bohatyrewicz, A. (2011). Gait functional assessment: Spatio-temporal analysis and classification of barefoot plantar pressure in a group of 11–12-year-old children. *Gait & Posture*, *34*(3), 415–420.
- Laurá, M., Singh, D., Ramdharry, G., Morrow, J., Skorupinska, M., Pareyson, D., ... Reilly, M. M. (2018). Prevalence and orthopedic management of foot and ankle deformities in Charcot–Marie–Tooth disease. *Muscle & Nerve*, *57*(2), 255–259.
- Lebiedowska, M. K., & Syczewska, M. (2000). Invariant sway properties in children. *Gait & Posture*, *12*(3), 200–204.
- Ledoux, W. R., & Hillstrom, H. J. (2002). The distributed plantar vertical force of neutrally aligned and pes planus feet. *Gait & Posture*, *15*(1), 1–9.
- Lee, M. S., Vanore, J. V., Thomas, J. L., Catanzariti, A. R., Kogler, G., Kravitz, S. R., ... Gassen, S. C. (2005). Diagnosis and treatment of adult flatfoot. *Journal of Foot & Ankle Surgery*, *44*(2), 78–113.
- Levine, D., Richards, J., & Whittle, M. (2012). *Whittle's gait analysis* (5th ed.). London: Elsevier Health Science.
- Lewit, K., & Lepšíková, M. (2008). Chodidlo–významná část stabilizačního systému. *Rehabilitace a Fyzikální Lékařství*, *15*(3), 99–104.
- Lewitová, C. H. (2016). O dospělých nohách. *Umění Fyzioterapie*, *2*, 5–8.
- López, N., Albuquerque, F., Santos, M., Sánchez, M., & Domínguez, R. (2005). Evaluation and analysis of the footprint of young individuals. A comparative study between football players and non-players. *European Journal of Anatomy*, *9*(3), 135–142.
- Lugade, V., & Kaufman, K. (2014). Center of pressure trajectory during gait: A comparison of four foot positions. *Gait & Posture*, *40*(4), 719–722.
- MacKenzie, A. J., Rome, K., & Evans, A. M. (2012). The efficacy of nonsurgical interventions for pediatric flexible flat foot: A critical review. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, *32*(8), 830–834.
- Mala, L., Maly, T., & Zahalka, F. (2017). Postural performance in the bipedal and unipedal stance of elite soccer players in different age categories. *Acta Kinesiologica*, *11*, 101–105.

- Maly, T., Zahalka, F., Mala, L., & Cech, P. (2015). The bilateral strength and power asymmetries in untrained boys. *Open Medicine*, *10*(1), 224–232.
- Marencakova, J., Svoboda, Z., Vareka, I., & Zahalka, F. (2016). Functional clinical typology of the foot and kinematic gait parameters. *Acta Gymnica*, *46*(2), 74–81.
- Maršáková, K., & Pavlů, D. (2012). Diagnostika funkce nohy v denní praxi. *Rehabilitace a Fyzikální Lékařství*, *19*(4), 177–180.
- Martínez-Nova, A., Gijón-Noguerón, G., Alfageme-García, P., Montes-Alguacil, J., & Evans, A. M. (2018). Foot posture development in children aged 5 to 11 years: A three-year prospective study. *Gait & Posture*, *62*, 280–284.
- McPoil, T. G., Cornwall, M. W., Medoff, L., Vicenzino, B., Forsberg, K., & Hiltz, D. (2008). Arch height change during sit-to-stand: An alternative for the navicular drop test. *Journal of Foot & Ankle Research*, *1*(1), 1–11.
- Merkel, D. (2013). Youth sport: positive and negative impact on young athletes. *Open Access Journal of Sports Medicine*, *4*, 151–160.
- Milford, J., Sole, C. C., & Sole, G. (2016). Plantar pressure profiles of athletes with and without ankle sprains while walking barefoot and in sport shoes. *Footwear Science*, *8*(1), 41–48.
- Moon, D.-C., Kim, K., & Lee, S.-K. (2014). Immediate effect of short-foot exercise on dynamic balance of subjects with excessively pronated feet. *Journal of Physical Therapy Science*, *26*(1), 117–119.
- Mootanah, R., Song, J., Lenhoff, M. W., Hafer, J. F., Backus, S. I., Gagnon, D., ... Hillstrom, H. J. (2013). Foot Type Biomechanics Part 2: Are structure and anthropometrics related to function? *Gait & Posture*, *37*(3), 452–456.
- Morrison, S. C., & Ferrari, J. (2009). Inter-rater reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) in the assessment of the paediatric foot. *Journal of Foot & Ankle Research*, *2*(1), 1–5.
- Mosca, V. S. (2010). Flexible flatfoot in children and adolescents. *Journal of Children's Orthopaedics*, *4*(2), 1–15.
- Murray, K. J. (2006, April). Hypermobility disorders in children and adolescents. *Best Practice & Research: Clinical Rheumatology*, *20*, 329–351.

- Neal, B. S., Griffiths, I. B., Dowling, G. J., Murley, G. S., Munteanu, S. E., Franettovich Smith, M. M., ... Barton, C. J. (2014). Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Foot & Ankle Research*, 7(1), 55.
- Nery, C., Raduan, F., & Baumfeld, D. (2016). Foot and ankle injuries in professional soccer players. diagnosis, treatment, and expectations. *Foot & Ankle Clinics*, 21(2), 391–403.
- Niek Van Dijk, C., Neyret, P., Cohen, M., Della Villa, S., Pereira, H., & Oliveira, J. M. (2017). *Injuries and health problems in football. What everyone should know*. Berlin: Springer. Dostupné z <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-53924-8.pdf>
- Nigg, B. M. (2001). The role of impact forces and foot pronation: A new paradigm. *Clinical Journal of Sport Medicine.*, 11(1), 2–9.
- Nikolaidou, M. E., & Boudolos, K. D. (2006). A footprint-based approach for the rational classification of foot types in young schoolchildren. *The Foot*, 16(2), 82–90.
- Nolan, L., Grigorenko, A., & Thorstensson, A. (2005). Balance control: sex and age differences in 9-to 16-year-olds. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 47(2005), 449–454.
- Oladeji, O., Stackhouse, C., Gracely, E., & Orlin, M. (2008). Comparison of the two-step and midgait methods of plantar pressure measurement in children. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 98(4), 268–277.
- Onodera, A. N., Sacco, I. C. N., Morioka, E. H., Souza, P. S., Sá, M. R. de, & Amadio, A. C. (2008). What is the best method for child longitudinal plantar arch assessment and when does arch maturation occur? *The Foot*, 18(3), 142–149.
- Orlin, M. N., & McPoil, T. G. (2000). Plantar pressure assessment. *Physical Therapy*, 80(4), 399–409.
- Ozer, C. M. (2012). Evaluation of the sole morphology of professional football players. *International Sport Medicine Journal*, 13(1), 8–17.
- Paillard, T., Noe, F., Riviere, T., Marion, V., Montoya, R., & Dupui, P. (2006). Postural performance and strategy in the unipedal stance of soccer players at different levels

- of competition. *Journal of Athletic Training*, 41(2), 172–176.
- Pérez-Morcillo, A., Gómez-Bernal, A., Gil-Guillen, V. F., Alfaro-Santafé, J., Alfaro-Santafé, J. V., Quesada, J. A., ... Carratalá-Munuera, C. (2019). Association between the Foot Posture Index and running related injuries: A case-control study. *Clinical Biomechanics*, 61, 217–221.
- Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait analysis. Normal and pathological function* (2nd ed.). Thorofare: SLACK Incorporated, USA.
- Queen, R. M., Mall, N. A., Hardaker, W. M., & Nunley, J. A. (2007). Describing the medial longitudinal arch using footprint indices and a clinical grading system. *Foot & Ankle International*, 28(4), 456–462.
- Queen, R. M., Mall, N. A., Nunley, J. A., & Chuckpaiwong, B. (2009). Differences in plantar loading between flat and normal feet during different athletic tasks. *Gait & Posture*, 29(4), 582–586.
- Razeghi, M., & Batt, M. E. (2002). Foot type classification: A critical review of current methods. *Gait & Posture*, 15(3), 282–291.
- Rhea, C. K., Kiefer, A. W., Haran, F. J., Glass, S. M., & Warren, W. H. (2014). A new measure of the CoP trajectory in postural sway: Dynamics of heading change. *Medical Engineering and Physics*, 36(11), 1473–1479.
- Richards, Jim. (2018). *The comprehensive textbook of clinical biomechanics* (2nd ed.). Elsevier Health Sciences.
- Richardson, J. T. E. (2011). Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educational Research Review*, 6, 135–147.
- Ridge, S. T., Olsen, M. T., Bruening, D. A., Jurgensmeier, K., Griffin, D., Davis, I. S., & Johnson, A. W. (2019). Walking in minimalist shoes is effective for strengthening foot muscles. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 51(1), 104–113.
- Rival, C., Ceyte, H., & Olivier, I. (2005). Developmental changes of static standing balance in children. *Neuroscience Letters*, 376(2), 133–136.
- Rokkedal-Lausch, T., Lykke, M., Hansen, M. S., & Nielsen, R. O. (2013). Normative values for the foot posture index between right and left foot: A descriptive study.

- Gait & Posture*, 38(4), 843–846.
- Rothermel, S. A., Hale, S. A., Hertel, J., & Denegar, C. R. (2004). Effect of active foot positioning on the outcome of a balance training program. *Physical Therapy in Sport*, 5(2), 98–103.
- Saghazadeh, M., Kitano, N., & Okura, T. (2015). Gender differences of foot characteristics in older Japanese adults using a 3D foot scanner. *Journal of Foot & Ankle Research*, 8(29), 1–7.
- Saraswat, P., MacWilliams, B. A., Davis, R. B., & D'Astous, J. L. (2014). Kinematics and kinetics of normal and planovalgus feet during walking. *Gait & Posture*, 39(1), 339–345.
- Scott, G., Menz, H. B., & Newcombe, L. (2007). Age-related differences in foot structure and function. *Gait & Posture*, 26, 68–75.
- Sherman, K. P. (1999). The foot in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 33(1), 6–13.
- Shih, Y. F., Chen, C. Y., Chen, W. Y., & Lin, H. C. (2012). Lower extremity kinematics in children with and without flexible flatfoot: A comparative study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 13, 1–9.
- Sims, E. L., Hardaker, W. M., & Queen, R. M. (2008). Gender differences in plantar loading during three soccer-specific tasks. *British Journal of Sports Medicine*, 42(4), 272–277.
- Song, J., Hillstrom, H., Secord, D., & Levitt, J. (1996). Foot type biomechanics — comparison of planus and rectus foot types. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 86(1), 16–23.
- Stovitz, S. D., & Coetzee, J. C. (2010). Hyperpronation and foot pain. *The Physician & Sportsmedicine*, 32(8), 19–26.
- Sutherland, D., Olsen, R., Cooper, L., Woo, S., & Diego, S. (1980). The development of mature gait. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 62(3), 336–337.
- Teyhen, D. S., Stoltenberg, B. E., Eckard, T. G., Doyle, P. M., Boland, D. M., Feldtmann, J. J., ... Goffar, S. L. (2011). Static Foot Posture Associated With Dynamic Plantar Pressure Parameters. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical*

- Therapy*, 41(2), 100–107.
- Tong, J. W. K., & Kong, P. W. (2013). Association between foot type and lower extremity injuries: systematic literature review with meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43(10), 700–714.
- Toro, B., Nester, C. J., & Farren, P. C. (2003). The Status of gait Assessment among physiotherapists in the United Kingdom. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 84(12), 1878–1884.
- Tsai, L.-C., Yu, B., Mercer, V. S., & Gross, M. T. (2006). Comparison of different structural foot types for measures of standing postural control. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(12), 942–953.
- Tsung, B. Y. S., Zhang, M., Fan, Y. B., & Boone, D. A. (2007). Quantitative comparison of plantar foot shapes under different weight-bearing conditions. *The Journal of Rehabilitation Research & Development*, 40(6), 517.
- Valderrabano, V., Barg, A., Paul, J., Pagenstert, G., & Wiewiorski, M. (2014). Foot and ankle injuries in professional soccer players. *Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie*, 30(2), 98–105.
- Van den Herrewegen, I., Cuppens, K., Broeckx, M., Barisch-Fritz, B., Vander Sloten, J., Leardini, A., & Peeraer, L. (2014). Dynamic 3D scanning as a markerless method to calculate multi-segment foot kinematics during stance phase: Methodology and first application. *Journal of Biomechanics*, 47(11), 2531–2539.
- Vařeka, I., & Vařeková, R. (2009). *Kineziologie nohy* (1. vyd). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Véle, F. (2006). *Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. (2. Vyd.). Praha: TRITON.
- Vinicombe, A., Raspovic, A., & Menz, H. B. (2001). Reliability of navicular displacement measurement as a clinical indicator of foot posture. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 91(15), 262–268.
- Willems, T. M., De Clercq, D., Delbaere, K., Vanderstraeten, G., De Cock, A., & Witvrouw, E. (2006). A prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg pain. *Gait & Posture*, 23(1), 91–98.

- Williams, D. S., & McClay, I. S. (2000). Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Physical Therapy, 80*(9), 864–871.
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture, 3*(4), 193–214.
- Witana, C. P., Xiong, S., Zhao, J., & Goonetilleke, R. S. (2006). Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different methods. *International Journal of Industrial Ergonomics, 36*(9), 789–807.
- Wolff, D. R., Rose, J., Jones, V. K., Bloch, D. A., Oehlert, J. W., & Gamble, J. G. (1998). Postural balance measurements for children and adolescents. *Journal of Orthopaedic Research, 16*(2), 271–275.
- Wright, W. G., Ivanenko, Y. P., & Gurfinkel, V. S. (2011). Foot anatomy specialization for postural sensation and control. *Journal of Neurophysiology, 107*(5), 1513–1521.
- Xu, C., Wen, X.-X., Huang, L.-Y., Shang, L., Yang, Z., Yan, Y.-B., & Lei, W. (2017). Reliability of the Footscan® Platform System in Healthy Subjects: A Comparison of without Top-Layer and with Top-Layer Protocols. *BioMed Research International, 1*, 1–9.
- Xu, C., Wen, X. X., Huang, L. Y., Shang, L., Cheng, X. X., Yan, Y. B., & Lei, W. (2017). Normal foot loading parameters and repeatability of the Footscan® platform system. *Journal of Foot & Ankle Research, 10*(1), 1–10.
- Yeh, T. T., Cinelli, M. E., Lyons, J. L., & Lee, T. D. (2015). Age-related changes in postural control to the demands of a precision task. *Human Movement Science, 44*, 134–142.
- Zhao, X., Tsujimoto, T., Kim, B., Katayama, Y., & Tanaka, K. (2018). Association of foot structure with the strength of muscles that move the ankle and physical performance. *Journal of Foot & Ankle Surgery, 57*(6), 1143–1147.
- Zuil-Escobar, J. C., Martínez-Cepa, C. B., Martín-Urrialde, J. A., & Gómez-Conesa, A. (2016). Reliability and accuracy of static parameters obtained from ink and pressure platform footprints. *Journal of Manipulative & Physiological Therapeutics, 39*(7), 510–517.