

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Fakulta tělesné výchovy a sportu



Autoreferát disertační práce

Kinematická analýza pohybového systému
u osob s abnormálním postavením kyčelního kloubu

Mgr. Petr Zahradník

Praha 2020

SOUHRN

Femoroacetabulární impingement syndrom (FAI) je porucha kyčelního kloubu, ke kterému dochází nejčastěji následkem opakovaného přetěžování kloubu v kombinaci s neideální orientací artikulujících ploch, které tedy nerespektují biomechanicky ideální postavení kloubu. V současné době řada odborníků považuje FAI jako významný faktor přispívající k degeneraci kyčelního kloubu s následným rozvojem koxartrózy. V našem výzkumu jsme hodnotili, jakým způsobem se FAI promítá do běžné chůze. Jako objektivizační metodu jsme k tomu využili 3D kinematickou analýzu pohybu.

Cíl práce: Cílem práce bylo objektivizovat změny základních parametrů chůze, pohybů kloubů dolních končetin a pohybů pánve v běžné chůzi u osob s FAI pomocí 3D kinematické analýzy a výsledky porovnat se skupinou zdravých osob.

Soubor: Do výzkumu bylo vybráno 21 pacientů (7 žen, 14 mužů), u kterých byl klinickým vyšetřením a pomocí RTG potvrzen FAI. Kontrolní skupinu tvořilo 18 zdravých probandů (8 žen, 10 mužů), u kterých byla vyloučena patomorfologie kyčelního kloubu pomocí MRI.

Metody: Všichni probandi absolvovali vyšetření chůze pomocí 3D kinematické analýzy pohybu systémem Qualisys. Data byla zpracována softwary Qualisys Track Manager a Visual3D. Předmětem zkoumání byly základní parametry chůze, pohyby v hlezenním a kolenním kloubu v sagitální rovině, pohyby v kyčelním kloubu ve frontální a sagitální rovině a pohyby pánve v sagitální, frontální a transverzální rovině během chůze.

Výsledky: Při porovnání skupiny FAI a kontrolní skupiny se prokázaly signifikantní změny zejména ve zkrácení krokového cyklu, v extenzi kyčelního kloubu a v extenzi kolenního kloubu. Změny se také projevíly na pohybech pánve, ale rozdíly nebyly signifikantně významné.

Závěr: Stereotyp chůze u pacientů s FAI prokazuje změny v porovnání se zdravými jedinci. Některé naše výsledky korespondují s pracemi zahraničních autorů zabývajících se funkčními změnami u pacientů s FAI. Rozšířili jsme tyto poznatky o změny v základních parametrech chůze (délka kroku, kadence) a změnu v pohybech ostatních kloubů dolní končetiny (koleno, hlezno).

Klíčová slova: femoroacetabulární impingement, FAI, kinematická analýza pohybu

SUMMARY

Femoroacetabular impingement (FAI) syndrome is a hip joint impairment, which occurs frequently as a result of repeated overloading of the joint in combination with the imperfect orientation of the articulating surfaces. Therefore, it does not respect the biomechanically optimal position of the joint. Currently, many experts consider FAI as an important factor contributing to hip degeneration with the subsequent coxarthrosis. In our research, we evaluated how the FAI translates into normal walking. We used 3D kinematic motion analysis as an objectivization method.

Objective: The study aimed to objectify changes in basic walk parameters, lower limb joint and pelvic movements in normal walking in people with FAI using 3D kinematic analysis and to compare the results with a group of healthy people.

Sample: 21 patients (7 females, 14 males) were selected for the study with the confirmed FAI by clinical examination and X-ray. The control group consisted of 18 healthy probands (8 females, 10 males) in whom the hip joint morphology by MRI was excluded.

Methods: All probands underwent walking examination using 3D kinematic motion analysis using the Qualisys system. Data were processed by the Qualisys Track Manager and the Visual3D software. The subject of the examination was the basic walk parameters, ankle and knee movements in the sagittal plane, hip joint movements in the frontal and sagittal planes, and pelvic movements in the sagittal, frontal and transversal planes during walking.

Results: While comparing the FAI group and the control group, there were significant changes particularly in the shortening of the step cycle, in the hip extension and the knee extension. The changes were also reflected in pelvic movements, but rather non-significant there.

Conclusion: The walking stereotype in patients with FAI shows changes in comparison to healthy individuals. Our results correspond to the work of foreign authors dealing with functional changes in patients with FAI in certain parameters. We extended this knowledge by changes in the basic parameters of walking (step length, cadence) and a change in the movements of other joints of the lower limb (knee, ankle).

Key words: femoroacetabular impingement, FAI, kinematic motion analysis

OBSAH

ÚVOD	5
1 FEMOROACETABULÁRNÍ IMPINGEMENT	6
1.1 Etiologie	7
1.2 Prevalence	8
1.3 Klinický obraz	8
2 Kinematická analýza	9
2.1 3D kinematická analýza u pacientů s FAI – současné studie	11
3 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY	13
3.1 Cíle práce	13
3.2 Hypotézy	13
4 METODIKA PRÁCE	14
4.1 Výzkumný soubor	14
4.1.1 Zahrnující a vylučující kritéria výzkumného souboru	15
4.2 Průběh měření	16
4.2.1 Zpracování naměřených parametrů	16
4.3 Statistické zpracování dat	16
5 VÝSLEDKY	18
6 DISKUZE	20
ZÁVĚR	22
REFERENČNÍ SEZNAM	24

ÚVOD

Věková hranice se u lidí s bolestmi kyčelního kloubu stále snižuje. Řada odborníků se přiklání k tomu, že femoroacetabulární impingement (FAI) je jednou z nejčastějších příčin bolestí kyčelního kloubu u lidí mladších 40 let (Myers, 1999). Současné studie také potvrzují skutečnost, že FAI se podílí na bolesti zad u aktivních lidí (Emary, 2010; Riviere, 2017).

FAI je charakteristický nadměrným mechanickým konfliktem mezi proximální částí stehenní kosti a jamkou kyčelního kloubu při různě náročných motorických činnostech. Dochází tím k poškození kloubní chrupavky včetně chrupavčitého labra lemujícího okraj kloubní jamky, což vede k výrazným bolestem v oblasti kyčelního kloubu. Pokud pohybové stereotypy nejsou korigovány a přetěžování trvá, může vést k nevratnému poškození kyčelního kloubu a rozvoji artrózy i v mladém věku jedince.

Z morfologicko – ortopedického pohledu se FAI stal poměrně jasnou nozologickou jednotkou, kdy její diagnostika spočívá v klinickém vyšetření a vyšetřením zobrazovacími metodami RTG, CT či MRI.

Velkým limitem však zůstávají funkční souvislosti se vznikem, diagnostikou a prevencí FAI. S tím se pojí záměr a cíl této práce. V této práci jsme se zaměřili na přiblížení vztahů pánve a kyčelního kloubu při patologickém postavení proximálního femuru či malorientaci acetabula. Zvláštní pozornost jsme věnovali morfologickému postavení, tedy anatomickým parametrům obou částí kyčelního kloubu ve vztahu k pohybům dolních končetin, pánve a páteře v kontextu FAI. Rešeršně jsme čerpali ze současných vědeckých prací a zaznamenávali jsme změny základních parametrů chůze a pohybového stereotypu při chůzi v oblasti pánve, kyčle, kolena a hlezna pomocí 3D kinematické analýzy. Porovnali jsme mezi sebou pacienty s objektivně potvrzeným FAI (pomocí RTG) se skupinou zdravých lidí, u kterých jsme pomocí MRI vyloučili strukturální poruchy kyčelních kloubů.

Souhlasně se současnými zahraničními studii věříme, že lepší pochopení pohybových stereotypů u lidí s FAI povede k přesnější diagnostice a terapii této poruchy.

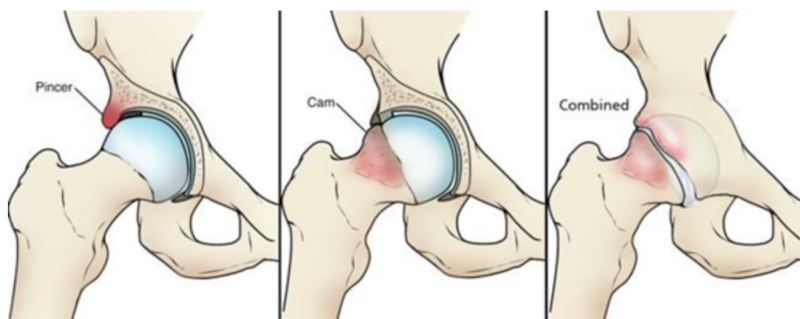
1 FEMOROACETABULÁRNÍ IMPINGEMENT

Femoroacetabulární impingement (FAI) je charakteristický předčasným kontaktem okrajů kloubních ploch kyčelního kloubu před dosažením fyziologického maxima, tedy ještě v oblasti fyziologického rozsahu pohybů. Dochází tím k mechanickému konfliktu mezi acetabulem a proximální částí femuru, kdy samotnou příčinou předčasného kontaktu je abnormální postavení artikulujících ploch či neadekvátní zatížení kyčelního kloubu.

V prvním případě je abnormalita charakteristická tím, že acetabulum nemá obvyklou hloubku a anteverzii. Může být hlubší nebo může mít na anterolaterální části nadměrně prominující okraj. Často také bývá ve větší retroverzii. Tuto anatomickou změnu (hluboké či nesprávně orientované acetabulum) označujeme „Pincer“ léze jako symbol tvaru a poškození acetabula (z angličtiny „pincer“ znamená obchvat, obklíčení, přeneseně sevření do kleští) (Ganz, 2008).

V druhém případě je abnormalita dána nadbytečnou prominující kostní tkání na okraji hlavice, tedy v místě přechodu krček – hlavice (junkce), což vede k asféricitě hlavice femuru. Junkcí v tomto smyslu nazýváme bezprostředně subkapitální část krčku kosti stehenní, která je fyziologicky konkávní a představuje prostor pro okraj acetabula při krajních exkurzích pohybů v kyčelním kloubu. Tento typ abnormality je pro jeho tvar označován jako Cam léze (z angličtiny „cam“ znamená vačka, tedy kotouč o nestejném poloměru) (Ganz, 2008).

Poměrně často se také v klinické praxi setkáváme s oběma deformitami, a proto pak hovoříme o smíšeném či kombinovaném typu FAI, která je charakteristická kombinací příznaků obou typů.



Obrázek 1: Pincer, Cam a kombinovaný typ FAI

(Zdroj: <http://orthoinfo.aaos.org/topic.cfm?topic=A00571>)

Obě dvě odchylky tvaru – jak proximálního femuru, tak acetabula vedou nejčastěji při flexi a vnitřní rotaci k předčasnému kontaktu okraje acetabula s oblastí junkce hlavice-krček. To vede postupně k degeneraci acetabulárního labra a přilehlé části chrupavky acetabula. Degenerace kloubní chrupavky pak postupuje z periferie jamky centrálně. Následně je postižena i hlavice (Ganz, 2003; Beck, 2005).

Tento patogenetický mechanismus představuje v současné době moderní koncept vzniku tzv. primární či idiopatické koxartrózy. Tomuto pohledu se věnovala i řada autorů, kteří potvrzují korelaci mezi místem nejčastějších labrálních a chondrálních lézí s místem mechanického konfliktu v případě Cam a/nebo Pincer léze (obr. 24, 25) (Beck, 2005; Ganz, 2008; Mamisch, 2011; Chládek, 2016).

Častým argumentem odpůrců tohoto přístupu je fakt, že řada Cam nebo Pincer lézí ani po desítkách let ke koxartróze nevede. Je to přičítáno individuálním a často sníženým pohybovým nárokům na kyčelní klouby. Na druhé straně je řada vrcholových sportovců s extrémními nároky na pohybový aparát, kdy i při malém stupni některé z vad dochází k rychlé progresi nálezu a rozvoji degenerativních změn nejen samotného kyčelního kloubu, ale také páteře (Chládek, 2016).

1.1 Etiologie

Etiologii FAI rozdělujeme na tzv. primární FAI, kdy pravá příčina je stále nejasná, a proto jej někdy označujeme jako idiopatický. A sekundární FAI, který vzniká na již dříve postižené kyčli.

Dříve bylo v literatuře uváděno, že nejčastěji se obtíže objeví ve třetím a čtvrtém deceniu. V současnosti se objevují obtíže u pacientů stále častěji již ve druhém deceniu (Chládek, 2016). Odborníci se přiklánějí k teorii vzniku FAI během rané adolescence, protože dosud nebyl uceleně zdokumentován výskyt některé z typických abnormalit kyčelního kloubu před desátým rokem života. Proto vznik FAI pravděpodobně souvisí se způsobem zátěže, hormonálním nastavením a také behaviorálními vlivy (zaměstnání, sed apod.). Zároveň míra a způsob zátěže hraje roli jak při definitivním tvaru kyčelního kloubu, tak se dále podílí na rozvoji případných patologických změnách (Chládek, 2016). Nedávné výzkumy poukazují na spojení FAI s nadměrnou sportovní zátěží právě v období růstu (Ghaffari et al., 2018; Nepple et al., 2015).

1.2 Prevalence

Výskyt FAI se v populaci udává v rozmezí 10–15 %. Tato čísla nejsou však zcela přesná, protože velké množství jedinců je asymptomatických. Ghaffari et al. (2018) ve své práci udává, že se patomorfologie FAI v běžné populaci vyskytuje u jednoho ze tří asymptomatických mužů a u jedné ze šesti asymptomatických žen.

1.3 Klinický obraz

Nejčastěji se obtíže spojené s FAI objevují u sekundárního FAI na podkladě větší sportovní zátěže. Zpočátku jsou obtíže přechodné, jejich nástup může být pomalý a nenápadný, ale jindy se projeví po jednorázovém přetížení či po drobném úrazu. Poměrně často si pacienti začínají stěžovat na obtíže při delší chůzi nebo dlouhém sezení. Typickými momenty, kdy se bolest objevuje je například: prudké zvednutí ze židle, nasedání či vysedání z auta, oblékání ponožek či nazouvání bot. Tyto pohyby mají společné to, že jsou v hluboké flexi a/nebo rotaci v kyčelním kloubu. Bolest se nejčastěji projevuje v třísle a méně často v hýždích. Ještě častěji pacient ukazuje bolest na svém těle „obejmutím“ svému boku z laterální strany kyčelního kloubu nad úrovní velkého trochanteru palcem a prsty (obr. 26). V zahraniční literatuře se tento projev obtíží označuje jako „C-sign“, jež je typický pro bolesti kyčelního kloubu (Byrd, 2010).



Obrázek 2: "C sign"

(Zdroj: Dick, 2018)

2 KINEMATICKÁ ANALÝZA

„Při kinematické analýze je pohyb posuzován bez ohledu na příčiny (síly), které jej způsobují. Základní posloupnost fyzikálních veličin vychází z určení závislosti dráhy na čase, ze které jsou dále odvozeny závislosti pro rychlost a zrychlení. Vzhledem k charakteru pohybu segmentů lidského těla je často využívána také analogická triáda pro úhlové veličiny, kdy ze závislosti úhlu na čase je odvozena úhlová rychlost a následně úhlové zrychlení. Z matematického hlediska se jedná o využití opakovaného derivování“ (Janura, 2011).

System 3D kinematické analýzy využívá pro záznam pohybu vysokofrekvenční kamery, které jsou okolo kamerové čočky vybaveny diodami vyzařujícími infračervené záření. Záření dopadá na pasivní markery nalepené na těle snímaného člověka. Snímkovací frekvenci lze nastavit od 1 do 1000 Hz. V ideálním případě by měly být kamery v prostoru rozmístěné takovým způsobem, aby každý marker, umístěný na snímané osobě, byl při pohybu vidět alespoň ze dvou různých kamer. Středů a velikostí markerů jsou vypočítány kamerou v téměř reálném čase (zpoždění 7 ms) s využitím interpolačního algoritmu. Výsledkem je pak zobrazení markerů s vysokou přesností v trojrozměrném prostoru (Soumar, 2011; Qualisys, 2013).

Pravidla pro nastavení a použití kamer (Soumar, 2011):

1. Kamery musí být stacionární a po kalibraci již nesmí dojít k jejich posunutí.
2. Kamery musí zaznamenat pohyb současně.
3. Snímaný objekt musí být viditelný po celou dobu měření minimálně ze dvou kamer.
4. Musí být přesně známa frekvence snímajících kamer.
5. Kamery musí být synchronizovány.

Laboratoř, ve které náš výzkum probíhal, byla vybavena optoelektrickým systémem Qualisys. Měli jsme k dispozici 8 kamer, které byly stacionárně připevněny ke stropu. Celá laboratoř včetně rozmístění kamer byla nastavena ve spolupráci s Mgr. Soumarem, Ph.D. s ohledem na zmiňovaná pravidla nastavení a použití kamer.



Obrázek 3: Laboratoř pro analýzu pohybu

(Zdroj: Dinda, 2016)

Proces kinematické analýzy obsahuje následující fáze (Soumar, 2011):

- Kalibrace kamer a prostoru
- Sběr a digitalizace dat
- Výpočet polohy bodů v prostoru
- Identifikace markerů
- Tvorba biomechanického modelu a virtuálních markerů
- Interpretace dat

2.1 3D kinematická analýza u pacientů s FAI – současné studie

Omezení aktivního i pasivního rozsahu pohybu je obecně prokázáno u pacientů s FAI ve srovnání se zdravými. Použití moderních technologií v podobě 3D kinematické analýzy umožňuje porovnat dynamický rozsah pohybu kyčelního kloubu při činnostech jako je právě chůze (Alshameeri a Khanduja, 2014). Vědeckých prací, které se zabývají kinematickou analýzou pohybu a jeho změnou u pacientů s FAI za posledních 10 let přibýlo zejména za účelem objasnění biomechanických konsekvencí FAI na lidský pohyb. Pro náš výzkum byly inspirací práce z biomechanických laboratoří v Kanadě a Austrálii. Některé studie přibližujeme v následujícím textu jako přehled toho, co bylo předmětem jejich sledování.

Studie z biomechanické laboratoře University of Ottawa (Kennedy, 2009; Brisson, 2012) hodnotí pomocí 3D kinematické analýzy pohybu chůzi u pacientů s FAI v porovnání se zdravou kontrolní skupinou. Práce Kennedyho hodnotí změnu pohybu v kyčelním kloubu a pohyb pánevního pletence při chůzi. Bylo porovnáváno 17 pacientů s jednostranným FAI typu „cam“ s kontrolní skupinou 14 jedinců zcela zdravých. U skupiny pacientů s FAI se ukázalo signifikantní zmenšení pohybů v kyčelním kloubu zejména do flexe a abdukce. Zároveň se prokázal menší rotační pohyb pletence pánevního.

Rylander et al. (Rylander, 2011) ve své studii zkoumal rozdíly v chůzi a v chůzi do schodů u jedenácti pacientů s jednostranným FAI, těsně před artroskopickou operací kyčelního kloubu a jeden rok po zákroku. Dle jeho výsledků se zvětšil rozsah pohybu v postiženém kyčelním kloubu v sagitální rovině do flexe v průměru o 3°. Rozsah pohybu ve frontální rovině a do extenze zůstal nezměněn. Pacienti subjektivně udávali snížení bolesti a subjektivní zlepšení v běžných fyzických aktivitách. Autor dále uvádí, že tyto výsledky, ukazující abnormální pohybový vzorec v kyčelním kloubu při chůzi, korelují s výsledky výzkumu pacientů s osteoartrózou kyčelního kloubu.

Práce Brissona a kol. (Brisson, 2012) hodnotí efekt korektivní operace kyčelního kloubu u FAI jednostranných „cam“ lézí. Pro stanovení normativních dat bylo naměřeno 13 zdravých osob. Ve studii bylo hodnoceno 10 pacientů s FAI, kteří podstoupili artroskopickou operaci kyčelního kloubu. Po následném klidovém režimu a rehabilitační léčbě byli pacienti pooperativně opět změřeni a vyhodnoceni po uplynutí

doby $21,1 \pm 9,4$ měsíců. Na základě výsledků vyplynulo, že nedošlo k signifikantní změně v parametrech měřených předoperačně v porovnání s pooperačním stavem pacientů.

Hunt et al. (Hunt, 2013) zkoumal pomocí kinematické analýzy 30 jedinců se symptomatickým FAI indikovaným k chirurgickému řešení a stejný počet zdravých osob v kontrolní skupině v běžné chůzi. Z jeho výsledků vyplývá, že pacienti s FAI vykazují oproti zdravým jedincům rozdíly v biomechanice chůze. Probandi s FAI se prokazovali pomalejší chůzí, než tomu bylo u kontrolní skupiny. Dále u nich byl zjištěn signifikantně nižší rozsah pohybu do extenze, addukce a vnitřní rotace a v určité míře i flexe se zevní rotací.

Diamond a kol. (Diamond, 2015) zkoumali biomechanické odchylky v chůzi u pacientů s FAI. Porovnávali chůzi u 15 pacientů s diagnostikovaným FAI (typ Cam, nebo kombinovaný) se zdravou kontrolní skupinou. Měření pomocí 3D kinematické analýzy ukázalo na minimální odchylky, protože jediný zjištěný rozdíl byl rozsah pohybu v sagitální rovině, a to v průměru o 4° menší než u kontrolní skupiny. V ostatních parametrech byly rozdíly zanedbatelné. Se stejnou skupinou pacientů prováděli také analýzu dřepu (Diamond, 2017). U skupiny FAI se prokázalo vychýlení pánve, menší addukce a vnitřní rotace kyčelního kloubu na straně postižené dolní končetiny.

Connor a kol. (Connor, 2017) porovnávali 20 pacientů s FAI s 20 zdravými jedinci pomocí 3D kinematické analýzy v chůzi do schodů. Z jejich zjištění nevyplýnul signifikantní rozdíl v pohybech v kyčelních kloubech mezi pacienty s FAI a zdravými probandy. Došli k závěru, že určité rozdíly jsou, ale nejsou signifikantně významné.

Z předešlých výsledků studií zabývajících se biomechanickými rozdíly chůze u pacientů s FAI oproti zdravé populaci jsou poměrně nejednotné. Diamond et al. (2017) se domnívá, že do problematiky biomechanických vad pohybového aparátu u pacientů s FAI by bylo možné nahlédnout hlouběji zkoumáním dalších a složitějších pohybových úkonů. V našem výzkumu jsme vycházeli z předešlých poznatků a zaměřili jsme se tedy nejen na pohyby v kyčelním kloubu, ale také na pohyby pánve při běžné chůzi u osob s FAI.

3 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

3.1 Cíle práce

Cílem této experimentální práce bylo zjistit patologické projevy při chůzi po rovině u pacientů, kteří mají objektivizačními metodami (RTG, CT) potvrzenou morfologickou změnu acetabula či proximálního femuru (FAI typu Pincer a/nebo Cam).

Dílčím cílem této práce je detailně přiblížit morfologickou stavbu kyčelního kloubu a pánve a její dopad na funkci, resp. na pohyb lidského organismu. Záměrně jsme se detailně zaměřili na teoreticko-nozologické souvislosti, abychom mohli touto prací dále rozvinout náhled na etiopatogenezi bolestí a degenerativních změn kyčelního kloubu a páteře.

Výsledky a metodika této práce by měly posloužit k přesnější diagnostice a objektivizaci progresu postižení FAI.

3.2 Hypotézy

H0 1: Předpokládáme signifikantní rozdíl v základních parametrech chůze u osob s FAI v porovnání s kontrolní skupinou.

H0 2: Předpokládáme signifikantní rozdíl v pohybech v kyčelním kloubu při chůzi u osob s FAI v porovnání s kontrolní skupinou.

H0 3: Předpokládáme signifikantní rozdíl v pohybech pánve při chůzi u osob s FAI v porovnání s kontrolní skupinou.

H0 4: Předpokládáme signifikantní změny i v pohybech komplementárně spojených (kolenní kloub, hlezenní kloub) při chůzi u osob s FAI v porovnání s kontrolní skupinou.

4 METODIKA PRÁCE

4.1 Výzkumný soubor

Do studie bylo pro účely této disertační práce zahrnuto 39 probandů, z toho 21 osob s diagnostikovaným FAI a 18 zdravých osob jako kontrolní skupina. Všichni probandi byli před samotným vyšetřením seznámeni s průběhem výzkumu a poskytli informovaný souhlas s použitím osobních údajů pro potřeby celého výzkumu a samotné disertační práce. Sběr dat a samotný výzkum probíhal od března 2016 do listopadu 2018. Vhodný výběr probandů byl zajištěn ve spolupráci s MUDr. Petrem Chládkem, který se jako lékař – ortoped specializuje na problematiku FAI.

Zkoumaný vzorek 21 osob s FAI byl složen ze 7 žen a 14 mužů ve věku 24 až 47 let. U 16 osob byl nález FAI typu Cam, u 2 osob FAI typu Pincer a u 3 osob FAI smíšeného typu. U 13 pacientů byl FAI jednostranný (5 pravostranných, 8 levostranných) a u 7 oboustranný. Všem zkoumaným osobám byl femoroacetabulární impingement syndrom diagnostikován na základě klinického a zobrazovacího RTG či CT vyšetření. Kontrolní skupinu tvořilo 18 osob a z toho 8 žen a 10 mužů ve věku 19 až 37 let. Jednalo se o zdravé aktivní jedince, kteří byli vybráni z řad dobrovolníků a kolegů. Abychom vyloučili strukturální poruchy kyčelního kloubu u lidí v kontrolní skupině, využili jsme zobrazovací vyšetření MRI s následným vyhodnocením lékařem – specialistou.

4.1.1 Zahrnující a vylučující kritéria výzkumného souboru

Skupina FAI musela splňovat tato kritéria:

- Věk probandů mezi 18 až 50 lety
- Symptomatický obraz FAI – bolest na přední straně stehna, v třísle nebo ve střední části hýždě při aktivním či pasivním pohybu (pozitivní „impingement test“) a to chronického či intermitentního charakteru
- Potvrzený FAI zobrazovacími metodami (RTG, MRI)
- Neprodělané traumatické, operační či degenerativní postižení dolních končetin a páteře
- Absence radikulární symptomatologie
- Svalová síla svalů v oblasti kyčelního kloubu minimálně 4. stupně svalového testu dle Jandy
- Rozsah pohybu v kyčelním kloubu minimálně 90° do flexe a 10° do vnitřní rotace i extenze

Kontrolní skupina musela splňovat tato kritéria:

- Věk mezi 18 až 50 lety
- Neprodělané traumatické, operační či degenerativní postižení dolních končetin a páteře
- Absence akutních či chronických vertebrogenních a jiných subjektivních obtíží, které by mohly ovlivnit testované pohybové vzory
- Absence operačních zákroků na páteři či dolních končetinách
- Absence subjektivních obtíží typických pro FAI
- Negativní klinický „impingement test“
- Fyziologický rozsah pohybu v kyčelním kloubu
- Objektivní vyloučení strukturálních patologií pomocí MRI

4.2 Průběh měření

Příprava laboratoře pro měření a samotné měření bylo provedeno dle zmíněného postupu v kapitole 2.

Po označení markery byl proband poučen o průběhu provedení samotného měření. Byl instruován, aby chůze po rovině byla provedena přirozeně a obvyklou rychlostí s pohledem před sebe. Během měření nebylo žádným způsobem zasahováno do pohybových projevů probanda.

Nejdříve si každý proband vyzkoušel chůzi po chodníku bez zaznamenávání pohybu, až poté bylo provedeno měření. Chůze po rovině byla měřena 3 - 6x s prvním výkrokem levou nohou a 3 - 6x s prvním výkrokem pravou nohou. Chůzi po rovině provedl proband po rovném 5 metrů dlouhém chodníku z dřevěných panelů pokrytých PVC, který ležel ve zkalibrovaném prostoru.

4.2.1 Zpracování naměřených parametrů

Naměřená data byla nejprve zpracována v programu Qualisys Track Manager, kde byly definovány jednotlivé markery a korigovány světelné artefakty, které by mohl program pokládat za skutečné markery, což by mělo negativní vliv na výsledky měření. Takovýmto způsobem upravená data byla exportována do formátu .c3d.

V programu Visual3D následně proběhlo definování jednotlivých tělesných segmentů. Poté bylo možné ve Visual 3D přejít k samotnému vyhodnocení výsledků. U chůze po rovině bylo předmětem výzkumu:

- základní parametry chůze
- rozsah pohybu v kyčelním kloubu v sagitální a frontální rovině
- pohyby pánve v sagitální, frontální a transverzální rovině
- rozsah pohybu v kolenním a hlezenním kloubu v sagitální rovině

4.3 Statistické zpracování dat

U každého probanda bylo hodnoceno 3 až 6 jednotlivých kroků dané končetiny. Počet měřených kroků závisel na úspěšnosti měřících pokusů. V programu Visual3D byly vypočteny časové průběhy zkoumaných veličin (úhly v kyčelním kloubu, koleni a kotníku, natočení pánve) a získány i ostatní srovnávané parametry chůze (rychlost

a kadence chůze, délka kroku). Pro možnost srovnání probandů a skupin mezi sebou byly časové průběhy převedeny na procenta krokového cyklu. Parametry chůze byly normalizovány na délku končetiny a rychlost chůze. Pro další srovnání ve skupinách byly dosažené hodnoty parametrů každého probanda zprůměrovány. Průměrné průběhy jednotlivých parametrů jsou znázorněny v následujících grafech a z nich jsou vytipované nosné hodnotící parametry – maxima, minima a rozsahy úhlů a jejich lokální extrémy, normalizované i nenormalizované délky kroku, rychlosti a kadence chůze. Tyto parametry pak byly statisticky porovnány pro potvrzení daných hypotéz.

Při analýze výsledků byl u každého parametru vypočítán průměr a směrodatná odchylka z celé skupiny probandů s FAI a z celé kontrolní skupiny. Dále byl proveden Shapiro-Wilkoxonův test normality, který měl prokázat platnost výběru z normálního rozdělení. Pro určení platnosti rozdílu výsledků byl proveden výpočet intervalů spolehlivosti na hladině významnosti 0,05. Statistická významnost rozdílů mezi skupinami zdravých a nemocných, tedy potvrzení daných hypotéz, byla stanovena parametrickým T – testem středních hodnot se zvolenou hladinou významnosti $p < 0,05$. Pro hodnocení parametrů, které se nechovaly jako výběr z normálního rozdělení, byl použit neparametrický Mann-Whitneyho test. Cohenovo d uvádím pro možnost srovnání mezi studii zkoumajícími tutéž výzkumnou otázku pomocí různě zvolených proměnných. Pro popis významnosti výsledků byla použita Cohen-Sawilovského tabulka.

Chybu výpočtu parametrů (úhlů v prostoru) lze odhadnout z kalibrace měřícího systému. Stanovení polohy jednotlivých markerů nebylo nikdy s větší chybou než 0,5 mm (dáno směrodatnou odchylkou při kalibraci). Úhel byl v nejhorším případě vypočítán pouze ze dvou bodů vzdálených minimálně 15 cm, všechny ostatní případy jsou přesnější. Maximální chyba měření úhlů daným systémem je tedy $0,8^\circ$. Takže rozdíly výsledků pod hranicí cca 1° , nelze brát jako směrodatné, jelikož jsou pod možnou rozlišovací schopností přístroje. Chyba stanovení rychlosti a kadence chůze a délky kroku je při použití systému Qualisys a Visual3D je hluboko pod jedno procento. Ostatní chyby, jako přesnost lepení markerů, pohyby kůže a další, jsem nebyl schopen odhadnout a pro platnost výsledků jsem nucen odkázat se pouze na statistické zpracování.

5 VÝSLEDKY

Výsledky experimentální části práce nám potvrdily, že u základních parametrů chůze u skupiny FAI se signifikantně zmenšila délka kroku (- 9 %, $p = 0,004$), a to i v případě normalizace parametru na délku nohy (-13 %, $p = 0,000$), a také při normalizaci parametru na délku nohy a rychlost chůze (-31 %, $p = 0,006$). Statisticky významný rozdíl se projevil zvýšením normalizované kadence kroků při chůzi u FAI skupiny oproti kontrolní skupině (+ 19 %, $p = 0,034$). Jelikož se rychlost chůze signifikantně nezměnila (+ 8 %, $p = 0,096$), potvrdili jsme tím hypotézu HO 1. Rychlost chůze, která se signifikantně nemění je kompenzována zmenšenou délkou kroku a zvýšenou kadencí kroků.

Při hodnocení pohybů v kyčelním kloubu se signifikantní změny projevíly v sagitální rovině zmenšením v průběhu celého krokového cyklu (flexe-extenze) (- 6,27°, - 15 %, $p = 0,001$) a nejvíce při extenzi v koncové fázi krokového cyklu (-5,57°, -44 %, $p = 0,009$). Ve frontální rovině se prokázalo signifikantní zvětšení addukce během švihové fáze krokového cyklu (+ 4,67°, + 33 %, $p = 0,05$). Potvrdili jsme tímto hypotézu HO 2 a HO 3.

V rámci kinematické analýzy a komplexnosti měření jsme hodnotili také pohyby v kolenním kloubu (flexe – extenze) a v hlezenním kloubu (plantární flexe – dorzální flexe) pro potvrzení či vyloučení kompenzačních mechanismů stereotypu chůze u osob s FAI. U pohybů kolenního kloubu se potvrdilo signifikantní zmenšení extenze ve střední fázi krokového cyklu (- 3,61°, 109 %). V kolenním kloubu je tedy i ve stejné fázi přetrvávající mírná flexe. V hlezenním kloubu došlo k signifikantnímu zmenšení plantární flexe ve fázi předšvihy (- 5,82°, 9 %, $p = 0,005$).

Analýza a následné vyhodnocení pohybů pánve prokázalo signifikantní zmenšení průměrných maximálních hodnot antevertze pánve (- 0,96°, - 11 %, $p = 0,057$). Toto je však pod hranicí rozlišovací schopnosti měřicího systému. Došlo také k nesignifikantnímu zmenšení ventro-dorzálních exkurzí pánve během celého krokového cyklu (- 2,30 °, 26 %, $p = 0,469$). Ve frontální rovině se nesignifikantně změnilo postavení pánve (sešikmení) směrem k postižené DK při stejné fázi (0,52°, 10 %, $p = 0,463$). Současně se ukázaly i nesignifikantní změny ve smyslu snížených exkurzí pohybů pánve v transverzální rovině směrem k postižené DK při koncové fázi kroku (- 2,53°, 167 %, $p = 0,372$). Pohyby pánve kolem všech tří os jsou však obecně při chůzi velmi malé a jsou

na hranici rozlišovací schopnosti námi použité metody. Pro potvrzení hypotézy HO 4 bychom potřebovali zpřesnit způsob měření, anebo změnit charakter prováděného pohybu.

6 DISKUZE

Z výše uvedených výsledků můžeme usuzovat, že omezená extenze v kyčelním kloubu může vést k omezené extenzi v kolenním kloubu a plantární flexi v hlezenním kloubu. Tím se zkracuje fáze předšvihů, tedy fáze dvojí opory, a noha se rychleji odvaluje od podložky. Výsledkem je zkrácený krokový cyklus postižené dolní končetiny a zvýšená kadence chůze. Dále jsme mohli pozorovat, že postižená dolní končetina je permanentně v mírně addukčním postavení. Toto zjištění koresponduje s obvyklým zkratem a zvýšeným napětím svalů adduktorů kyčelního kloubu při poruchách kyčelního kloubu.

U pohybů pánve v sagitální rovině se změna pohybu projevila zejména mírně anteverzním postavením pánve po celou dobu krokového cyklu u skupiny FAI. Můžeme říci, že pohyby pánve byly „tužší“ a nedochází k plynulému přechodu anteverze – retroverze. To může vést k přetěžování SI kloubu a následně bederní páteře. Toto naše zjištění sice není signifikantní, ale potvrzuje ho svou prací i P. M. Morgan (Morgan, 2013). Právě omezení pohybů pánve v sagitální rovině můžeme hodnotit jako výsledek strukturálního omezení rozsahu pohybu v kyčelním kloubu díky FAI. Ve frontální rovině se ukázalo větší sešikmení pánve na stranu postižení dolní končetiny. Toto zjištění koresponduje s klinickým obrazem chůze u pacientů s degenerativním postižením kyčelního kloubu, a také to potvrzuje Laura Diamondová ve své práci (Diamond L., 2017). V transverzální rovině je pohyb pánve mírně omezený („tuhý“) po celou dobu krokového cyklu. Z výsledků také vychází, že po celou dobu krokového cyklu je pánev mírně natočená k postižené dolní končetině. To může korespondovat se zkrácenými adduktory kyčelního kloubu upínající se na pánev. Naše zjištění ohledně pohybu pánve nejsou sice statisticky pevně prokázána, ale naznačují, že při zvýšení počtu probandů a zpřesnění měřicí metody jsou v souladu s předchozími studiemi. Naše práce tedy měla některé podobné parametry s pracemi L. Diamondové (2017), M.A. Hunta (2013), a M.J. Kennedyho (2009), se kterými jsme konfrontovali naše výsledky. Tito autoři se také zabývali funkčními dopady FAI na pohyb člověka za využití 3D kinematické analýzy.

Porovnávání výsledků časoprostorových parametrů v naší práci odpovídalo práci M.A. Hunta, který stejně jako my potvrdil u osob s FAI, avšak nesignifikantně, kratší délku kroku v průměrných hodnotách (FAI = 0,67 m; kontrolní skupina = 0,68 m). V naší práci jsme však ještě zpřesnili hodnoty pro délku kroku normalizací na délku nohy

a normalizací na délku nohy a rychlost chůze. Ostatní práce rozdílly v časoprostorových parametrech neuváděly.

Výsledky prokázané kinematickou analýzou v naší práci se v oblasti kyčelního kloubu shodují s pracemi M.A. Hunta, L. Diamondové a M.J. Kennedyho. Autoři se shodují na omezení celkového rozsahu pohybu v kyčelním kloubu v sagitální rovině nebo přímo extenzi v kyčelním kloubu. M.A. Hunt dokonce potvrzuje i větší addukci během krokového cyklu. Výsledné hodnoty u pohybů pánve se potvrdily s autorem M.J. Kennedym, který shodně uvádí změnu v postavení pánve ve frontální rovině (sešikmení) směrem k postižené DK u skupiny FAI při stojné fázi.

Z výše uvedených zjištění můžeme tvrdit, že v naší práci byla vhodně zvolena metodika a celkový charakter práce. Největšími objevy této práce můžeme zmínit signifikantně menší délku kroku (i normalizovanou), signifikantně menší extenzi v kyčelním kloubu a menší exkurze pánevního pletence související s FAI. Veškeré výsledky a závěry této práce musíme však prezentovat s obezřetností, protože některé naměřené hodnoty jsou na hraně rozlišovací schopnosti měřící techniky.

Chůze se tedy jeví jako pohyb nenáročný na rozsah pohybu v kyčelním kloubu ve vztahu k FAI. Přesto v naší studii byla prokázána omezení, která při takto frekventovaném pohybu mohou vést dlouhodobě k strukturálním změnám. Z klinické praxe pozorujeme, že FAI nalézáme často u výkonnostních či vrcholně sportujících jedinců nebo naopak u dlouhodobě sedících lidí. Z tohoto pohledu vnímáme jako určitý limit této práce nevyhodnocení pohybů vyžadujících větší rozsah pohybu v oblasti kyčelního kloubu a pánve. V další výzkumné práci bychom proto rádi vyhodnotili například chůzi do schodů a zaměřili se i na osový orgán a jeho funkci s ohledem na FAI.

ZÁVĚR

Předmětem této disertační práce byl výzkum zaměřený na hodnocení lidského pohybu pomocí 3D kinematické analýzy. Zaznamenávali a porovnávali jsme běžnou chůzi u zdravých jedinců se skupinou osob, u kterých byl prokázán FAI. Stanovené hypotézy byly prokázány následovně:

- Délka kroku je statisticky významně nižší u postižených končetin, a to i v případě normalizace parametru na délku nohy a normalizace parametru na délku nohy a rychlost chůze.
- Statisticky významně se projevilo zvýšení normalizované kadence kroků při chůzi u skupiny s FAI.
- Extenze v kyčelním kloubu je signifikantně nižší při stejné fázi postižené DK než u zdravých jedinců.
- Addukce v kyčelním kloubu během chůze u skupiny FAI se signifikantně zvětšila v průměrných minimálních hodnotách uprostřed švihové fáze postižené DK.
- Extenze v kolenním kloubu se signifikantně zmenšila ve fázi koncového stoje postižené DK.
- Plantární flexe v hlezenním kloubu se signifikantně zmenšila v koncové fázi krokového cyklu u postižené DK.
- Pohyby pánve v sagitální rovině byly signifikantně menší v průměrných maximálních hodnotách u skupiny FAI.
- Pohyby pánve ve frontální (sešikmení) a transversální rovině (rotace) k postižené DK byly prokázány při stejné, resp. koncové fázi krokového cyklu, avšak rozdíly byly statisticky nevýznamné.

Naše práce prokázala určité společné rysy se zjištěním některých autorů z renomovaných zahraničních laboratoří pohybu, kteří se také zabývají funkčními dopady FAI na lidský pohyb. Rozšířili jsme tyto poznatky o změny v základních parametrech chůze (délka kroku, kadence) a změnu v pohybech ostatních kloubů dolní končetiny (koleno, hlezno). Analýzou pohybů pletence pánevního se naše práce stála komplexnější a tyto poznatky mohou zpřesnit funkční diagnostiku pacientů s bolestmi dolních končetin či páteře.

Pro přesnější pochopení vzniku FAI je bezesporu důležitým aspektem popsání vztahů páteř-pánevní-kyčel (v anglické literatuře spine-hip relations, SHR). Riviére a kol. (Riviére, 2017) pomocí RTG popsal tvar pánve a páteře ve vztahu k FAI při změně polohy těla. Dosud však není práce, která by tyto vztahy potvrdila zaznamenáním pohybu v reálném čase, tedy například v kombinaci s 3D kinematickou analýzou. Zde vidíme prostor pro naši další výzkumnou práci.

REFERENČNÍ SEZNAM

- ANDRIACCHI, T. P., E. J. ALEXANDER. Studies of human locomotion: past, present and future. *Journal of Biomechanics*. 2000, 10., 33(10), 1217–1224.
- ARBIB, M. A. *The handbook of brain theory and neural networks*. 2nd ed. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2003.
- ASAY, J.L., MÜNDERMANN, A. a ANDRIACCHI, T.P. Adaptive patterns of movement during stair climbing in patients with knee osteoarthritis. *Journal of orthopaedic research: official publication of the Orthopaedic Research Society*. 2009, 27, 325–9.
- AYENI, O.R., CHAN, K., AL-ASIRI, J., CHIEN, T., SPRAGUE, S., LIEW, S., BHANDARI, M. Sources and quality of literature addressing femoroacetabular impingement. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2013, 21, 2, 415-419.
- BAGWELL, J.J., SNIBBE, J., GERHARDT, M., POWERS, C.M. Hip kinematics and kinetics in persons with and without cam femoroacetabular impingement during a deep squat task. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*. 2016, 31, 87–92.
- BANDY W, REESE N. *Joint Range of Motion and Muscle Length Testing*. St Louis, MS:Saunders Elsevier; 2010.
- BANERJEE, P., MCLEAN, CH.R., BRIGGS, K., KUPPERSMITH, D., WATANABE, D., MANDELBAUM, B.R. Femoroacetabular impingement: a review of diagnosis and management. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. 2011, 4, 23-32.
- BECK M., KALHOR M., LEUNIG M., GANZ R. Hip morphology influences the pattern of damage to the acetabular cartilage. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*. 2005 87-B:7, 1012-1018.
- BECK, M.: Groin pain after open FAI surgery: the role of intraarticular adhesions. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2009, 467, 769–774.
- BEDI, A., ZBEDA, R. M., BUENO, V. F., DOWNIE, B., DOLAN, M., KELLY, B. T.: The incidence of heterotopic ossification after hip arthroscopy. *Amercan. Journal of Sports Medicine*. 2012, 40, 854–863.
- BELLAMY, N., BUCHANAN, W. W., GOLDSMITH, C. H., CAMPBELL, J., STITT, L. W.: Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *The Journal of Rheumatology*. 1988, 15, 1833–1840.
- BEN-GALIM, P. et al. Hip-spine syndrome: the effect of total hip replacement surgery on low back pain in severe osteoarthritis of the hip. *The Spine Journal*. 2007, 32, 2099–102.
- BOULAY, C., TARDIEU, C., HECQUET, J., BENAÏM, C., MOUILLESEAU, B., MARTY, C., PRAT-PRADAL, D., LEGAYE, J., DUVAL-BEAUPÈRE, G., PÉLISSIER, J. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *European spine journal*. 2006, 15, 415–22.
- BURNETT, R.S., DELLA ROCCA, G.J., PRATHER, H., CURRY, M., MALONEY, W.J., CLOHISY, J.C. Clinical presentation of patients with tears of the acetabular labrum. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 2006. 88, 1448–57.

- CLOHISY, J. C, ST. JOHN, L. C., SCHUTZ, A. L.: Surgical treatment of femoroacetabular impingement: a systematic review of the literature. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2010, 468, 555–564.
- CLOHISY, J. C. *et al.* Clinical presentation of patients with symptomatic anterior hip impingement. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2010, 467, 638–44.
- CZUBAK, J., SIONEK, A., CZWOJDZIŃSKI, A.: New concepts in the aetiology of primary osteoarthritis of the hip caused by femoroacetabular impingement. *Journal of Orthopedic, Traumatology and Rehabilitation*. 2010, 12: 479–492.
- DEWBERRY, M. J., *et al.* Pelvic and femoral contributions to bilateral hip flexion by subjects suspended from a bar. *Clinical Biomechanics*. 2003, 18:494–499.
- DEYO, R. A., MIRZA, S. K. & MARTIN, B. I. Back pain prevalence and visit rates: estimates from U.S. national surveys. *The Spine Journal*. 2006, 31, 2724–7.
- DIAMOND, L.E., DOBSON, F.L., BENNELL, K.L., WRIGLEY, T.V., HODGES, P.W., HINMAN, R.S. Physical impairments and activity limitations in people with femoroacetabular impingement: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*. 2015, 49, 230–242.
- DIAMOND L.E., WRIGLEY T.V., BENNELL K.L., HINMAN R.S., O'DONNELL J, HODGES P.W. Hip joint biomechanics during gait in people with and without symptomatic femoroacetabular impingement. *Gait Posture*. 2016, 5;43:198–203.
- DICK, ALASTAIR G, *et al.* “An Approach to Hip Pain in a Young Adult.” *British Medical Journal*. 2018, 10, 86–89.
- DINDA, O. *Kinematická analýza pacientů s femoroacetabulárním impingement syndromem*. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2017. s. 82.
- DINDO, D., DEMARTINES, N., CLAVIEN, P. A.: Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Annals of Surgery*. 2004, 240, 205–213.
- DINDO, D., DEMARTINES, N., CLAVIEN, P. A.: Multicenter study of complications following surgical dislocation of the hip. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2011, 93-A: 1132–1136.
- DOOLEY, P. J. Femoroacetabular impingement syndrome: Nonarthritic hip pain in young adults. *Canadian Family Physician*. 2008, 54, 42–7.
- DURING, J., GOUDFROOIJ, H., KEESSEN, W., BEEKER, T.W., CROWE, A. 1985. Toward standards for posture. Postural characteristics of the lower back system in normal and pathologic conditions. *The Spine Journal*. 1985, 10, 83–7.
- EMARY, P. Femoroacetabular impingement syndrome: a narrative review for the chiropractor. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*. 2010, 54, 164–76.
- ENDO, K., SUZUKI, H., NISHIMURA, H., TANAKA, H., SHISHIDO, T., YAMAMOTO, K. Characteristics of sagittal spino-pelvic alignment in Japanese young adults. *Asian spine journal*. 2014, 8, 599–604.
- FETTO, J. F. & AUSTIN, K. S. A missing link in the evolution of THR: ‘discovery’ of the lateral femur. *Journal of Orthopedics*. 1994, 17, 347–51.

- GANZ, R., KLAUE, K., VINH, T. S., MAST, J. W.: A new periacetabular osteotomy for the treatment of hip dysplasias. Technique and preliminary results. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1988, 232: 26–36.
- GANZ, R., LEUNIG, M., LEUNIG-GANZ, K., HARRIS, W. H.: The etiology of osteoarthritis of the hip: an integrated mechanical concept. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2008, 466, 264–272.
- GANZ, R., PARVIZI, J., BECK, M., et al. Femoroacetabular Impingement: a Cause for Osteoarthritis of the Hip. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2003, 417, 112-120.
- GANZ, R., PARVIZI, J., BECK, M., LEUNIG, M., NOTZLI, H., SIEBENROCK, K. A.: Femoroacetabular impingement: a cause for osteoarthritis of the hip. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2003, 417, 112–120.
- GANZ, R., PARVIZI, J., BECK, M., LEUNIG, M., NOTZLI, H., SIEBENROCK, K. A.: Femoroacetabular Impingement: a Cause for Osteoarthritis of the Hip. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2003, 424, 112–120.
- GANZ, R., T. J. GILL, E. GAUTIER, K. GANZ, N. KRÜGEL a U. BERLEMANN. Surgical dislocation of the adult hip: arthroscopy or open surgery? *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2012, 83, 1119-1124.
- GASC, J.P. Comparative aspects of gait, scaling and mechanics in mammals. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 2001, 131: 121-133.
- GAUTIER, E., GANZ, K., KRUEGEL, N., GILL, T., GANZ, R.: Anatomy of the medial circumflex artery and its surgical implications. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2000, 82-B, 679–683.
- GERHARDT, B., ROMERO, A., SILVERS, H. J., HARRIS, D., J., WATANABE, D., MANDELBAUM, B., R. The prevalence of radiographic hip abnormalities in elite soccer players. *The American Journal of Sports Medicine*. 2012, 3., 584–588.
- GHAFFARI, A., DAVIS, I., STOREY, T. et al. Current Concepts of Femoroacetabular Impingement. *Radiologic Clinics of North America*. 2018, 56(6), 965-982.
- GRIMALDI, A. Assessing lateral stability of the hip and pelvis. *Manual Therapy*. 2011, 16, 26–32.
- GRANT, A. D., SALA, D. A. & SCHWARZKOPF, R. Femoro-acetabular impingement: the diagnosis-a review. *Journal of Children 's Orthopaedics*. 2012, 6, 1–12.
- HARM, J., Severe spondylolisthesis. Heidelberg: Steinkopff Darmstadt, 2013.
- HARRIS, WH. Etiology of osteoarthritis of the hip. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1986, 213, 20-33
- HARRISON, D. E., CAILLIET, R., HARRISON, D. D. & JANIK, T. J. How do anterior/posterior translations of the thoracic cage affect the sagittal lumbar spine, pelvic tilt, and thoracic kyphosis? *European Spine Journal*. 2002, 11, 287–93.
- HENEBRY, A., GASKILL, T. The effect of pelvic tilt on radiographic markers of acetabular coverage. *The American journal of sports medicine*. 2013, 41, 2599–603.

- HOGERVORST, T., EILANDER, W., FIKKERS, J. T., MEULENBELT, I. Hip Ontogenesis: How Evolution, Genes, and Load History Shape Hip Morphotype and Cartilotype. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2012, 470, 3284-3296.
- HUNT M.A., GUENTHER J.R., GILBART M.K. Kinematic and kinetic differences during walking in patients with and without symptomatic femoroacetabular impingement. *Clinical Biomechanics* (Bristol, Avon). 2013, 28, 519–23.
- CHLÁDEK, P. *Femoroacetabulární impingement syndrom*. Praha: Galén, 2016.
- CHLÁDEK, P., TRČ, T., SCHEJBALOVÁ, A., ŘEHÁČEK, V.: Ganzova periacetabulární osteotomie pánve – první zkušenosti. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Čechoslovaca*. 2007, 74: 354–358,.
- CHLÁDEK, P., TRČ, T.: Femoroacetabulární impingement syndrom – preartróza kyčelního kloubu. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Čechoslovaca*. 2009, 76, 295–301.
- CHRISTENSEN, C. P., ALTHAUSEN, P. L., MITTLEMAN, M. A., LEE, J. A., MCCARTHY, J. C.: The nonarthritic hip score: reliable and validated. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2003, 406, 75–83.
- IVANENKO Y., GRASSO R., ZAGO M., MOLINARI M., SCIVOLETTO G., CASTELLANO V., MACELLARI V. & LACQUANITI F. Temporal components of the motor patterns expressed by the human spinal cord reflect foot kinematics. *Journal of Neurophysiology*. 2003, 90(5), 3555-65.
- JACKSON, R. P., PHIPPS, T., HALES, CH., SURBER, J.: Pelvic lordosis and alignment in spondylolisthesis. *The Spine Journal*. 2003, 28, 151-160.
- JAMES, S. L. *et al.* MRI findings of femoroacetabular impingement. *American journal of roentgenology*, 2006, 187, 1412–9.
- JANURA, M., ZAHÁLKA, F. *Kinematická analýza pohybu člověka*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2004.
- JOHNSON, A. C., M. A. SHAMAN, T. G. RYAN, K. GANZ, N. KRÜGEL, U. BERLEMANN. Femoroacetabular Impingement in Former High-Level Youth Soccer Players: FEMOROACETABULAR IMPINGEMENT AS A CAUSE OF EARLY OSTEOARTHRITIS OF THE HIP. *The American Journal of Sports Medicine*. 2012, 40,1342-1346.
- KADABA, M.P., RAMAKRISHNAN, H.K., WOOTTEN, M.E. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *Journal of orthopaedic research: official publication of the Orthopaedic Research Society*. 1990, 8, 383–92.
- KAUTZNER, J., V. HAVLAS a T. TRČ. Femoroacetabulární impingement a možnosti jeho řešení. *Časopis Lékařů Českých*. 2016, 155(8), 413-416.
- KENNEDY M.J., LAMONTAGNE M., BEAULÉ P.E. Femoroacetabular impingement alters hip and pelvic biomechanics during gait Walking biomechanics of FAI. *Gait Posture*. 2009, 30, 41–4.
- KRUEGER, A., LEUNIG, M., SIEBENROCK, K. A., BECK, M.: Hip arthroscopy after previous surgical hip dislocation for femoroacetabularimpingement. *Arthroscopy*. 2007, 23, 1285–1289.
- LAMOTH, C. J. *et al.* Pelvis-thorax coordination in the transverse plane during walking in persons with nonspecific low back pain. *The Spine Journal*. 2002, 27, E92–9.

- LAUDE, F., SARIALI, E.: Treatment of FAI via a minimally invasive ventral approach with arthroscopic assistance. Technique and midterm results. *Orthopade*. 2009, 38, 419–28.
- LAZENNEC, J.-Y.Y., BRUSSON, A., ROUSSEAU, M.-A.A. Hip-spine relations and sagittal balance clinical consequences. *European spine journal*. 2011, 20, 686–98.
- LEUNIG, M., BEAULÉ, P. E., GANZ, R.: The concept of femoroacetabular impingement: current status and future perspectives. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2009, 467, 616–622.
- LEUNIG, M., BECK, M., DORA, C., GANZ, R.: *Femoroacetabular impingement: trigger for the development of coxarthrosis*. *Orthopade*, 2006, 35, 77–84.
- LONNER, B.S., AUERBACH, J.D., SPONSELLER, P., RAJADHYAKSHA, A.D., NEWTON, P.O. Variations in pelvic and other sagittal spinal parameters as a function of race in adolescent idiopathic scoliosis. *The Spine Journal*. 2010, 35, E374–7.
- MATSUYAMA, Y. *et al*. Hip-spine syndrome: total sagittal alignment of the spine and clinical symptoms in patients with bilateral congenital hip dislocation. *The Spine Journal*. 2004, 29, 2432–7.
- MITCHELL, B. *et al*. Hip joint pathology: clinical presentation and correlation between magnetic resonance arthrography, ultrasound, and arthroscopic findings in 25 consecutive cases. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2003, 13, 152–6.
- MORGAN, P. M., ANDERSON, A. W., SWIONTKOWSKI, M., F.: Symptomatic sacroiliac joint disease and radiographic evidence of femoroacetabular impingement. *Hip International*. 2013, 23, 212–217.
- MORRIS, W.Z., FOWERS, C.A., YUH, R.T., GEBHART, J.J., SALATA, M.J., LIU, R.W. Decreasing pelvic incidence is associated with greater risk of cam morphology. *Bone & joint research*. 2016, 5, 387–92.
- MÜNDERMANN, L., CORAZZA, S., ANDRIACCHI, T. The evolution of methods for the capture of human movement leading to markerless motion capture for biomechanical applications. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2006, 6.
- MURRAY, R., *et al*. Pelvifemoral rhythm during unilateral hip flexion in standing. *Clinical Biomechanics*. 2002, 17, 147–151.
- MURRAY, R. O. The aetiology of primary osteoarthritis of the hip. *The British Journal of Radiology*. 1965, 38, 810–24.
- NEPPLE, J. J., RIGGS, C. N., ROSS, J. R. & CLOHISY, J. C. Clinical presentation and disease characteristics of femoroacetabular impingement are sex-dependent. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2014, 96, 1683–9.
- NG, K.C., LAMONTAGNE, M., ADAMCZYK, A.P., RAKHRA, K.S., RAHKRA, K.S., BEAULÉ, P.E. Patient-specific anatomical and functional parameters provide new insights into the pathomechanism of cam FAI. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2015, 473, 1289–96.
- NORTON, B. J., SAHRMANN, S. A. & VAN DILLEN, F. L. Differences in measurements of lumbar curvature related to gender and low back pain. *The Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2004, 34, 524–34.
- OFFIERSKI, C. M. & MACNAB, I. Hip-spine syndrome. *The Spine Journal*. 1983, 8, 316–21.

- PARVIZI, J., LEUNIG, M. & GANZ, R. Femoroacetabular impingement. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2007, 15, 561–70.
- PIERANNUNZII, L. Pelvic posture and kinematics in femoroacetabular impingement: a systematic review. *Journal of orthopaedics and traumatology: official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology*. 2017, 18, 187–196.
- RAJNICS, P., TEMPLIER, A., SKALLI, W., LAVASTE, F. & ILLES, T. The importance of spinopelvic parameters in patients with lumbar disc lesions. *International Orthopaedics*. 2002, 26, 104–8.
- RIVIÈRE, C., HARDIJZER, A., LAZENNEC, J.-Y.Y., BEAULÉ, P., MUIRHEAD-ALLWOOD, S., COBB, J. Spine-hip relations add understandings to the pathophysiology of femoro-acetabular impingement: A systematic review. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research: OTSR*. 2017, 103, 549–557.
- ROUSSOULY, P. & PINHEIRO-FRANCO, J. L. L. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology. *European Spine Journal*. 2011, 20, 609–18.
- RYLANDER, J., SHU, B., FAVRE, J., SAFRAN, M., ANDRIACCHI, T. Functional Testing Provides Unique Insights Into the Pathomechanics of Femoroacetabular Impingement and an Objective Basis for Evaluating Treatment Outcome. *Journal of Orthopaedic Research*. 2013, 31, 1461-1468.
- SEAY, J. F., VAN EMMERIK, R. E. & HAMILL, J. Low back pain status affects pelvis-trunk coordination and variability during walking and running. *Clinical Biomechanics*. 2011, 26, 572–8.
- SEMBRANO, J. N. & POLLY, D. W. How often is low back pain not coming from the back? *The Spine Journal*. 2009, 34, E27–32.
- SCHACHE, A. G., et al. Relation of anterior pelvic tilt during running to clinical and kinematic measures of hip extension. *British Journal of Sports Medicine*. 2000, 34, 279-283.
- SCHACHE, A. G., BLANCH, P., RATH, D., WRIGLEY, T. & BENNELL, K. Three-dimensional angular kinematics of the lumbar spine and pelvis during running. *Human Movement Science*. 2002, 21, 273–93.
- SCHWARZER, A. C., APRILL, C. N. & BOGDUK, N. The sacroiliac joint in chronic low back pain. *The Spine Journal*. 1995, 20, 31–7.
- SIMON, S., R. Quantification of human motion: gait analysis-benefits and limitations to its application to clinical problems. *Journal of Biomechanics*. 2004, 12, 1869–1880.
- SOUMAR, L.: *Kinematická analýza. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem*, 2011.
- TANNAST, M. & SIEBENROCK, K. A. Conventional radiographs to assess femoroacetabular impingement. *Instructional Course Lectures*. 2009, 58, 203–12.
- TANNAST, M., SIEBENROCK, K. A. & ANDERSON, S. E. Femoroacetabular impingement: radiographic diagnosis-what the radiologist should know. *American Journal of Roentgenology*. 2007, 188, 1540–52,.
- TIZIANI, S., GAUTIER, L., FAREI-CAMPAGNA, J., OSTERHOFF, G., JENTZSCH, T., NGUYEN-KIM, T.D., WERNER, C.M.M. Correlation of pelvic incidence with radiographical parameters for acetabular retroversion: a retrospective radiological study. *BMC Medical Imaging*. 2015, 15, 39.

- TÖNNIS, D., LEGAL, H. a GRAF, R. *Congenital dysplasia and dislocation of the hip in children and adults*. New York: Springer-Verlag, 1987.
- VAN HOUCKE, J., SCHOUTEN, A., STEENACKERS, G., VANDERMEULEN, D., PATTYN, C., AUDENAERT, E.A. Computer-based estimation of the hip joint reaction force and hip flexion angle in three different sitting configurations. *Applied ergonomics*. 2017, 63, 99–105.
- VAUGHAN, C. L., DAVIS, B.NL., & O’CONNOR, J. C. *Dynamics of Human Gait*. Pennsylvania: Human Kinetics Publishers. 1992.
- VRTOVEC, T., JANSSEN, M.M., PERNUŠ, F., CASTELEIN, R.M.M., VIERGEVER, M.A. Analysis of pelvic incidence from 3-dimensional images of a normal population. *The Spine Journal*. 2012, 37, E479–85.
- WENG, W. J. J. *et al.* Characteristics of sagittal spine-pelvis-leg alignment in patients with severe hip osteoarthritis. *European Spine Journal*. 2015, 24, 1228–36.
- WHITTINGHAM-JONES, P., BEAULÉ, P.E. The Bony Morphology of Femoroacetabular Impingement. In: MCCARTHY, Joseph C. *et al.* *Hip Joint Restoration*. New York, NY: Springer New York, 2017.
- WHITTLE, M. W. *Gait Analysis an introduction*. Elsevier. 2007.
- YOSHIMOTO, H. *et al.* Spinopelvic alignment in patients with osteoarthrosis of the hip: a radiographic comparison to patients with low back pain. *The Spine Journal*. 2005, 30, 1650–7.
- ZEBALA, L. P., SCHOENECKER, P. L. & CLOHISY, J. C. Anterior femoroacetabular impingement: a diverse disease with evolving treatment options. *Iowa Orthopedic Journal*. 2007, 27, 71–81.