

# UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

## 1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Klinika rehabilitace



*Bakalářská práce*

### **Analýza chůze pomocí 3D videografické metody** **Application of a 3D videography in the analysis of gait**

*Bakalářská práce*

Praha 2009

Vedoucí práce :  
MUDr. Karla Kotková

Autor práce:  
Jan Jiráň

D-4540



3180094287

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracoval samostatně a použil jen uvedené prameny a literaturu. Současně dávám svolení k tomu, aby tato diplomová práce byla umístěna v Ústřední knihovně UK a používána ke studijním účelům.

V Praze dne 1.dubna 2009

Jan Jiráň

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval MUDr. Kotkové Karle za cenné rady a návrhy a za čas, který mi věnovala při vedení a zpracování bakalářské práce. Dále děkuji M.V.,L.P.,M.H. a R.P. za čas, který mi věnovali při analýze jejich chůze.

## Abstrakt

Cílem bakalářské práce bylo analyzovat chůzi pomocí 3D videografické metody. Skládá se z teoretické části, která obsahuje informace o 3D videografické metodě a také o anatomii oblasti kotníku a chůze. Praktická část popisuje moje výsledky analýzy chůze touto metodou.

The aim of the thesis was to analyze gait cycle with 3D videography method. It consist of theoretical part, which includes information about 3D videography method and also anatomy of area of ankle and gait. Practical part describes my results with analysis of gait with this method.

Klíčová slova : gait cycle, 3D videografie, gait analyze

**Cíl: Pokusit se o analýzu chůze pomocí 3D videografie.**

**Nalézt rozdílné znaky u probandů aktivně sportujících a nikoliv.**

**Hypotéza : Sportovci a v tomto případě fotbalisté mají specifický způsob chůze.**

**Pokusíme se to potvrdit pomocí 3D videografické metody při analýze jejich chůze.**

# Obsah

1. Úvod.....	1
2. Anatomie oblasti hlezenního kloubu.....	1
2.1 Kostra nohy.....	1
2.2 Klouby nohy .....	2
2.3 Klenba nožní .....	3
2.4 Svaly .....	4
2.4.1 Svaly bérce.....	4
2.4.1.1 Přední skupina bérce .....	4
2.4.1.2 Laterální skupina bérce.....	5
2.4.1.3 Zadní skupina svalů bérce.....	5
2.4.2 Svaly nohy.....	5
2.4.2.1 Dorzální skupina.....	5
2.4.2.2 Interoseální skupina.....	6
2.4.2.3 Svaly v plantě.....	6
3. Chůze.....	6
3.1 Biomechanika chůze.....	7
4. 3D videografie.....	9
4.1 Pojmy využívané při analýze pohybu lidského těla.....	10
4.1.1 Těžiště.....	11
4.1.2 Měření hmotností segmentů.....	12
4.1.3 Momenty setrvačnosti lidského těla a jeho segmentů.....	12
4.2 Markery.....	13
4.2.1 Rozdělení markerů.....	14
4.3 Umístění značek na lidské tělo.....	15
4.4 Soubory značek používané pro označení segmentů při analýze chůze.....	16
4.5 Určení středu kyčelního kloubu.....	16
4.6 Výsledky získané zpracováním videozáznamu.....	17
4.6.1 Kinogram pohybu sestavený z vybraných poloh sledované pohybové činnosti.....	17
4.6.2 Kinogram pohybu (stick figure) získaný analýzou videozáznamu.....	18
4.6.3 Kinogram pohybu vybraného segmentu nebo bodu na lidském těle.....	19

4.6.4 Kinogram pohybu doplněný o číselné údaje.....	19
4.6.5 Grafické vyjádření nebo porovnání závislostí vybraných parametrů.....	20
4.6.6 Kombinace všech předešlých možností.....	20
5. Praktická část.....	21
5.1 Vlastnosti probandů.....	21
5.2 Rozdělení jednotlivých fází krokového cyklu v tabulkách a grafech.....	21
5.3 Naměřené výsledky.....	22
5.3.1 Proband č.1.....	22
5.3.2 Proband č.2.....	24
5.3.3 Proband č.3.....	26
5.3.4 Proband č.4.....	28
5.3.5 Proband č.5.....	30
5.4 Průběh měření.....	32
5.5 Technické vybavení.....	32
5.6 Umístění markerů.....	32
5.7 Výsledky měření.....	33
5.7.1 Proband č.1.....	33
5.7.2 Proband č.2.....	33
5.7.3 Proband č.3.....	33
5.7.4 Proband č.4.....	34
5.7.5 Proband č.5.....	34
5.7.6 Závěr.....	34
6. Diskuse.....	35
Použitá literatura.....	36
Seznamy.....	37



## 1. Úvod

Mezi základní metody v biomechanickém výzkumu, které jsou založeny na principu kinematické analýzy pohybu, patří kinematografická (videografická) vyšetřovací metoda. Tato metoda je výrazně využívána při analýze jednoho ze základních projevů lidské motoriky - chůze. Nalezené odchylky od správného stereotypu chůze mohou ukazovat poruchy v pohybovém aparátu a i v dalších částech lidského organismu.

Videografická analýza je základním prostředkem pro vyšetřování pohybu z pohledu kinematické geometrie a kinematiky, pracuje s pojmy prostor a čas a s dalšími veličinami jako je dráha, rychlost, zrychlení, úhel, úhlová rychlost apod. V praxi se využívá dvou forem kinematografie: rovinná, která studuje pohyb pouze v jedné rovině a prostorová, která popisuje pohyb těla a jednotlivých tělních segmentů v prostoru

Zkoumání pohybu nám umožňuje pochopit mechanismy zranění a jejich prevenci.

Výzkum a vývoj v oblasti analýzy chůze je velmi aktivní obor s rychlým rozvojem poznání. Odborníci z oblasti fyzioterapie, ortopedie a neurologie používají analýzu chůze ke zjištění stavu pacienta a k jeho léčbě a rehabilitaci.

Chůze je základní složkou pohybu člověka a je to způsob lokomoce v celé živočišné říši zcela ojedinělý a pro každého člověka naprosto individuální. Denně ujdeme 10 -15 tisíc kroků, noha je tedy velmi důležitou částí našeho těla. Má několik základních funkcí, hlavně statickou a kinetickou. Je také tlumičem nárazů a sensorickým zařízením. Vnitřní polovina nohy hlavně nese převážně váhu těla, zevní polovina udržuje stabilitu.

## 2. Anatomie oblasti hlezenního kloubu

### 2.1 Kostra nohy

Kostra nohy se skládá z 26 kostí rozdělených do tří oddílů. Prvním oddílem jsou kosti tarzální – ossa tarzi, kterých je 7 a patří sem talus, calcaneus, os naviculare, os cuboideum a ossa cuneiformia I.-III. Do dalšího oddílu patří 5 metatarzálních kostí – ossa metatarsalia. Poslední částí je 14 článků prstů – ossa digitorum.



## 2.2 Klouby nohy

Kosti nohy jsou navzájem spojeny odpovídajícím počtem kloubních spojení, jejichž stabilitu zajišťují kloubní pouzdra a ligamenta.

- Hlezenní kloub (horní kloub zánártní - *articulatio talocruralis*) je složený kladekový kloub mezi tibií, fibulou a talem. Kloubní pouzdro je relativně tenké (vynechává kotníky) a je zesíleno postranními vazy (*lig. collaterale laterale* a *lig. collaterale mediale*). *Lig. collaterale mediale* (*lig. deltoideum*) má podobu trojúhelníku a jeho části sbíhají od mediálního kotníku na jednotlivé kosti (*pars tibiotalaris anterior et posterior*, *pars tibionavicularis* a *pars tibioclacanearis*). *Lig. collaterale laterale* se skládá ze tří pruhů (*lig. talofibulare anterius et posterius* a *lig. calcaneofibulare*). Pohyby v kloubu jsou možné ve směru plantární a dorzální flexe (v celkovém rozsahu 40-50°) sdružené s dalšími pohyby. Při plantární flexi dochází současně k inverzi nohy, při dorzální flexi k everzi.
- Dolní kloub zánártní je tvořen dvěma samostatnými oddíly, které dohromady vytváří funkční celek. Zadní část tvoří *articulatio subtalaris*. Je to kladekový kloub, jehož pouzdro je zesíleno zevními a mezikostními vazy. Přední oddíl se dělí na dvě části, a to na část mediální, *articulatio talocalcaneonavicularis*, a část laterální, *articulatio calcaneocuboidea*. Mediální část je kloub mezi hlavicí, kterou tvoří *caput tali* a dvě přední plošky na spodní ploše talu, a jamkou složenou z *os naviculare* a dvou předních plošek na kalkaneu. Kloubní pouzdro zesilují vazy *lig. calcaneonaviculare plantare* se zavzatou ploténkou *fibrocartilago navicularis* a *ligamentum talonaviculare dorsale*. Laterální část je málo pohyblivé spojení mezi sedlovitě prohnutými kloubními ploškami na kosti patní a krychlové. Kombinované pohyby probíhají kolem šikmé osy spojující mediální okraj *collum tali* a zevní okraj *tuber calcanei* – inverze a everze nohy. Jako funkční a klinická jednotka se v rámci dolního zánártního kloubu popisuje kloub Chopartův – *art. tarsi transversa*. Kloubní linie má tvar písmene S, položeného napříč mezi talem a *os naviculare* a kostí patní a *os cuboideum*. V tomto místě, na rozdíl od ostatních částí dolního zánártního kloubu, dochází relativně často k distorzím. Kloub je zpevněn řadou vazů, kdy nejmohutnějším je *lig. plantare longum*. Dále je to *lig. bifurcatum*, které je označováno jako klíč Chopartova kloubu, jehož protětí umožní otevřít kloub.
- *Articulatio metatarsalis* je tuhý kloub mezi *ossa cuneiformia* a *os naviculare*. Obdobný

kloub, art. Cuneocuboidea, spojuje os cuneiforme laterale s os cuboideum a art. intercuneiformes mezi klínovými kostmi. Mezikostní a plantární vazy pomáhají držet příčnou klenbu nožní.

- Art. tarsometatarsales jsou klouby mezi distálními plochami kostí klínovitých a I. - III. metatarzem a mezi kostí krychlovou a IV. a V. metatarzem. Tyto tuhé klouby tvoří společně s art. intermetatarsales funkční jednotku „Lisfrankův kloub“.
- Art. metatarsophalangeales mají obdobné uspořádání jako ruční klouby karpometakarpové. Pohyby jsou flexe, extenze a při extenzi i mírná dukce.
- Art. interphalangeales pedis odpovídají kladkovým kloubům s pouzdry spojujícím jednotlivé články prstů. [1]

### 2.3 Klenba nožní

Noha má dvě hlavní funkce. Nese hmotnost lidského těla a zároveň umožňuje jeho přesun, tedy lokomoci. Aby bylo jakékoliv těleso stabilní je nutné, aby mělo oporu alespoň ve třech bodech. Těžiště tohoto tělesa musí být umístěno mezi těmito body. Noha má tři opěrné body. Jsou jimi hrbol patní kosti a hlavičky I. a V. metatarzu. Mezi těmito opěrnými body jsou vytvořeny dva systémy kleneb. Klenba příčná a podélná, které chrání měkké tkáně plosky nohy a umožňují pružný nášlap. [2]

- Podélná klenba je tvořena dvěma paprsky. Mediální vyšší je spojením kosti hlezenní, os naviculare, ossa cuneiformia, I.-III. metatarz a články 1.-3. prstu. Nižší laterální paprsek je složen z os calcaneus, os cuboideum, IV. a V. metatarz a články 4.-5. prstu.
- Příčná klenba se nachází mezi hlavičkami I.-V. metatarzu a je nejvýše vyklenuta v os cuneiforme intermedium. [1]

Udržení příčné a podélné klenby je pro pružnou chůzi, stoj i další pohybové stereotypy nesmírně důležité. Pasivně jsou obě klenby udržovány tvarem a architektonikou kostí, kloubů a vazů. Aktivně jsou udržovány pomocí svalstva bérce a nohy. Příčnou klenbu udržují všechny příčně probíhající struktury. Podélnou klenbu pak spíše struktury orientované souběžně s dlouhou osou nohy. Současné studie ukazují, že svaly mají rozhodující význam pro udržení obou nožních kleneb, ale neopomenutelným předpokladem zachování klenby je uspořádání kostěných elementů a jejich zajištění. Například

elektromyografické studie ukazují, že při normálním zatížení, jako je chůze nebo stoj, nejsou svaly vůbec aktivovány, a teprve při zatížení dochází k jejich kontrakci. Stabilometrická měření ukazují, že 60% hmotnosti těla směřuje do zadní části nohy a 40% do části přední. Celý problém zřejmě spočívá v tom, že aktivně se kontrahující svaly (registrované EMG) představují dynamickou rezervu, která se uplatňuje až na noze vystavené zvýšené zátěži.[2]

Příčné i podélné sklenuť nohy způsobuje, že na otisku chodidla na podložce je zřetelné mediální vykrojení. Hmotnost těla se při stoji přenáší z hlezenního kloubu na hlavice I. a II. metatarzu a dorzálně na tuber calcanei. Tvar a výše klenby ovlivňuje nášlapovou plochu chodidla. Pokles klenby nožní oslabením svalů a vazů, které jí udržují, vede k vytvoření ploché nohy. [1]

## 2.4 Svaly

Svaly potřebné ke správné funkci nohy rozdělujeme na dvě skupiny. Jsou to svaly bérce a svaly nohy.

### 2.4.1 Svaly bérce

Bércové svaly jsou rozloženy kolem bércových kostí. Jejich svalová bříška jsou uložena proximálně a distálně přecházejí do dlouhých šlach, které se upínají na kosti nohy. Svaly dělíme do tří skupin na skupinu přední, laterální a zadní.

#### 2.4.1.1 Přední skupina bérce

Tabulka č.1

Sval	Inervace
m. tibialis anterior	n. peroneus profundus
m. extenzor hallucis longus	n. peroneus profundus
m. extenzor digitorum longus	n. peroneus profundus

### 2.4.1.2 Laterální skupina bérce

Tabulka č.2

Sval	Inervace
m. peroneus longus	n. peroneus superficialis
m. peroneus brevis	n. peroneus superficialis

### 2.4.1.3 Zadní skupina svalů bérce

Tabulka č.3

Sval	Inervace
m. triceps surae	n. tibialis
m. plantaris	n. tibialis
m. popliteus	n. tibialis
m. tibialis posterior	n. tibialis
m. flexor digitorum longus	n. tibialis
m. flexor hallucis longus	n. tibialis

## 2.4.2 Svaly nohy

Svaly nohy jsou podle uložení děleny na skupinu dorzální, plantární a interoseální.

### 2.4.2.1 Dorzální skupina

Tabulka č.4

Sval	Inervace
m. extensor hallucis brevis	n. peroneus profundus
m. extensor digitorum brevis	n. peroneus profundus

### 2.4.2.2 Interoseální skupina

Tabulka č.5

Sval	Inervace
mm. interossei plantares I.-III.	n. plantaris lateralis
mm. interossei dorsales I.-IV.	n. plantaris lateralis

### 2.4.2.3 Svaly v plantě

Tabulka č.6

Sval	Inervace
m. abductor hallucis	n. plantaris lateralis
m. flexor hallucis brevis	n. plantaris lateralis
m. adductor hallucis	n. plantaris lateralis
m. flexor digitorum brevis	n. plantaris lateralis
m. quadratus plantae	n. plantaris lateralis
mm. lumbricales I.-IV.	n. plantaris lateralis
m. abductor digiti minimi	n. plantaris lateralis
m. flexor digiti minimi brevis	n. plantaris lateralis
m. opponens digiti minimi	n. plantaris lateralis

## 3. Chůze

Chůze je nejzákladnějším způsobem pohybu člověka. Běžný člověk chodí rychlostí 90 – 120 kroků za minutu. [3] Znamená to, že běžný člověk věnuje chůzi zhruba 2hod denně. Noha je tedy velmi důležitou částí našeho těla. Tento způsob lokomoce je v celé živočišné říši ojedinělý a u každého z nás zcela individuální. Tato individualita je natolik průkazná, že dnes ji lze využít například v kriminalistice jako důkazu při vyšetřování pachatelů zachycených při páčání trestí činnosti na kamerovém záznamu.

Pohybová aktivita souvisí přímo s činností CNS a tím i s psychikou a stavem mysli. „Srovnáním chudého pohybového projevu člověka mentálně retardovaného s bohatým pohybovým projevem herce vynikne tato závislost pohybového projevu a činnosti CNS“. [4]

Bezpečná chůze na nerovném povrchu je možná jenom při zajištění stabilizace vzpřímené polohy těla jak v klidu, tak i při pohybu. Tuto stabilizaci zajišťuje CNS pro-



střednictvím svalového aparátu a to za předpokladu pevné opory v místě kontaktu s opornou bází na zemi tak, aby mohla působit reaktivní síla vznikající působením gravitace a propulzní svalové síly. K tomu je zapotřebí přilnutí dolních končetin k oporné bázi jejím uchopením spojeným s frikcí v místě kontaktu. Za udržení polohy a pohybu při lokomoci zodpovídají antigravitační svaly. Propulzní síla produkovaná svaly odrazové končetiny zvedá trup šikmo vzhůru a vpřed. Švihová končetina brání pádu trupu podporovanému gravitací při posunu těžiště vpřed, vyvolaném odrazovou končetinou. [4]

Základní prvek lokomoce člověka je krok sestávající z fáze švihu a fáze opory. Krokový cyklus každé končetiny je programován oscilačním neuronálním okruhem v páteřní míše. Funkčními prvky činnosti těchto okruhů jsou vzájemné tlumení aktivity mezi flexory a extenzory a fixní program, který zajišťuje časově a prostorově uspořádaný sled stahů různých skupin svalů. Krokové generátory pro jednotlivé končetiny a svaly dalších oblastí těla, které se při chůzi aktivují, jsou propojeny propriospinálními a komisurálními vlákny. Mezi fázemi činnosti jednotlivých generátorů jsou pevné vzájemné vztahy.

Udržení rovnováhy při chůzi vyžaduje zpracované informace z vestibulárního aparátu a motorického centra mozkového kmene. Účast motorické kůry vyžadují určité fáze kroku jako například přesné kladení chodidel, aby pata udeřila jako první, při některých formách lokomoce je nezbytná zraková kontrola. Příkladem může být chůze do schodů.[5]

### **3.1 Biomechanika chůze**

Chůze člověka by se dala přirovnat ke kyvadlu. Na rozdíl od kyvadla však začíná v určité výchozí poloze, prochází obloukem přes nulové postavení do jedné krajní polohy a poté se nevrací jako kyvadlo, ale jde vpřed, protože se jeho upevnění mezi tím posunulo, a tím celý systém rytmicky postupuje kupředu. [4]

Pohyb vpřed je umožněn neustálým opakováním kroků v cyklu chůze, pod kterým rozumíme dvojkrok mezi opakovaným kontaktem paty stejné nohy s podložkou. Základní jednotkou chůze je tedy dvojkrok, označovaný jako jeden krok cyklu. Tento cyklus můžeme pro chůzi rozdělit na fázi statickou a dynamickou. Statickou fázi tvoří dle Hoppenfelda 60% a dynamickou 40% celého cyklu [6], Pauch udává, že poměr statické a

dynamické fáze je 62:38. [11] Moment, kdy se obě nohy dotýkají podložky, se nazývá fáze dvojí opory. Tato fáze zabírá asi 25% z celého krokového cyklu.[7]

Hlavním bodem statické fáze je přenášení těžiště. Důležité je do jaké míry musíme aktivně zvedat hmotnost druhostranné části těla k tomu, abychom přešli z bodu došlapu do bodu odrazu. Při došlapu je noha po dotyku patou v inverzi, pánev a celá dolní končetina je ve vnitřní rotaci a dotyk s podložkou je uskutečňován zevní hranou chodidla. V momentě kdy se celá ploska nohy dotýká povrch, dochází v hlezenním kloubu ke změně postavení z dorzální do plantární flexe. Během celé kontaktní fáze mezi ploskou nohy a povrchem dochází v subtalárním kloubu k postupné everzi. Tento pohyb se přenáší na fibulu a hlavně na tibií, která rotuje do vnitřní rotace, jež je podmínkou odemknutí kolenního zámku. Proto při došlapu dochází v kolenním kloubu k semiflexi. Při došlapu paty na podložku vzniká náraz způsobující mechanický stres, který zatíží kloubní struktury. Noha tuto nárazovou energii vstřebává zachycením do napínajících se svalů. V momentě iniciálního kontaktu jsou aktivní pouze svaly předního oddílu bérce. V kontaktní fázi, kdy je talus v everzním postavení, dochází také k napětí plantární fascie, která se účastní absorpce nárazové energie. Noha se uvolní a je z ní dokonale elastická struktura kopírující terén. Dochází k odemčení Chopartova a Lisfrankova skloubení a oploštění podélné klenby nohy.

Ve chvíli, kdy se pata zvedá z podložky, se mění stojná noha ve švihovou, těžiště těla dosahuje maximální elevace a pánev a celá dolní končetina se stáčí do zevní rotace. Noha přechází do everze a zátěž se přesouvá na první a druhý metatarz. V hleznu dochází k progresivní dorziflexi. Ve fázi odrazu nohy se postupně zamyká Chopartův kloub a noha se mění z elastické pružné struktury ve strukturu pevnou a tvrdou. Pata přechází v subtalárním kloubu do inverze, zvyšuje se podélná klenba nohy a prsty jsou tlačeny do dorziflexe. V této fázi jsou aktivní i svaly na zadní straně bérce a svaly předního oddílu jsou mimo funkci. Poslední část statické fáze kroku je charakterizována zvýšeným zatížením přednoží, tibiie rotuje zevně a noha je stabilizována.[8], „*Švihová fáze uvažované končetiny je ohraničena odtržením prstů stejnostranné nohy a jejím opětovným kontaktem s podložkou.*“ [8]. Dále Dungl uvádí, že „během švihové fáze přechází dolní končetina s pánví do vnitřní rotace, hlezenní kloub do dorziflexe, v činnosti je přední svalová skupina, pata se staví do everze, noha se připravuje k došlápnutí, klenba se snižuje, vnitřní stabilita



nohy se snížena.“ Klíčovou roli během pohybu hraje talus. Je totiž příjemcem, přenašečem a distributorem statických a dynamických sil zatěžujících nohy během chůze.

#### 4. 3D videografie

Hlavní podstatou videografické vyšetřovací metody je analýza pohybu důležitých bodů, vybraných segmentů nebo celého těla na základě vyhodnocení filmového záznamu nebo videozáznamu. Označením bodů na záznamu pohybové činnosti získáme jejich rovinné souřadnice, které slouží pro určení základních kinematických veličin, jako jsou dráha, úhel, rychlost a úhlová rychlost. Abychom byli schopni určit polohu jednotlivých bodů a z ní vyplývající polohu segmentů a celého těla je nezbytné definování souřadného systému. Nejčastěji používaným systémem je kartézský systém souřadnic.

Tuto metodu lze použít jak pro rovinnou 2D analýzu, tak pro prostorovou 3D analýzu. První zmíněná metoda slouží pro vyhodnocení pohybu v rovině. Využijeme zde klasické vztahy z analytické geometrie. Na těle člověka si pak označíme body a po určení jejich rovinných souřadnic můžeme vypočítat velikost segmentu a úhel mezi nimi. Pohyb musí probíhat v rovině, která je kolmá na optickou osu kamery. V ostatních případech získáme zkreslené hodnoty. V praxi je však pohyb probíhající pouze v jedné rovině spíše výjimkou. Chceme-li analyzovat a popsat třeba využití hole pro oporu při chůzi, musíme přejít od rovinného pohybu k pohybu prostorovému.

U znázornění 3D analýzy musíme provést rozšíření rovinné soustavy souřadnic. K původní dvojici os  $x$ ,  $y$  přiřadíme osu třetí  $z$ . Každý bod je tedy v tomto případě znázorněn pomocí tří souřadnic, které jednoznačně určí jeho polohu.

Kinematické vyhodnocení pohybu patří mezi základní a nejjednodušší úlohy při analýze videozáznamu. To však v žádném případě nesnižuje jeho význam, neboť je základem pro nalezení složitějších vztahů, nutných pro hodnocení pohybu tělesa a soustavy těles, tedy lidského těla a jeho jednotlivých segmentů. Určením polohy sledovaného bodu v závislosti na čase můžeme postupně odvodit další veličiny, jako jsou rychlost nebo zrychlení.

Označením důležitých bodů na lidském těle a určením jejich souřadnic můžeme stanovit například délky segmentů, velikost úhlů mezi nimi nebo polohu těžiště člověka.

Z toho pak můžeme odvodit další parametry, které nám umožní popsat námi sledovaný pohyb. Celá situace je ale ve skutečnosti mnohem složitější. Při použití filmového záznamu nebo videozáznamu je problém v tom, že každý trojrozměrný předmět, tedy i lidské tělo, se zobrazí na dvojrozměrný obraz. Použijeme-li tedy pouze jedno záznamové zařízení a označíme-li si body na záznamu z této kamery, získáme pouze 2D souřadnice. Označením stejného bodu v téže poloze na různých záznamech tak získáme několik dvojic rovinných souřadnic daného bodu. Jejich složením – transformací, vytvoříme prostorové souřadnice bodu. Z toho tedy vyplývá, že pro prostorovou analýzu pohybu musíme použít záznamy minimálně ze dvou kamer.

Ani označení vybraných bodů sloužících ke znázornění jednotlivých segmentů však samo o sobě nestačí. Důležitou součástí je i nastavení softwaru tak, aby věděl, jakým způsobem mají být jednotlivé snímky poskládány na sebe. Při převedení záznamu do PC je tedy nutné v některých případech označit v každé vyhodnocované poloze jeden bod, který je pro všechny snímky na záznamu z dané kamery stejný. To nám umožní vytvoření sekvence analyzovaných záběrů.

Znalost souřadnic sledovaných bodů nám slouží k určení základních délkových parametrů, jako jsou například délka kroku nebo délka jednotlivých segmentů. Rozměry této veličiny nebo jednotka, ve které je délka určena, souvisí se softwarem použitým k vyhodnocení. K jejich převedení na běžně používané délkové jednotky je nutné provést vyhodnocení měřítka. Tímto měřítkem je rovinný útvar pro 2D analýzu a prostorový útvar pro 3D analýzu, jehož rozměry známe. Po označení bodů na tomto útvaru, které ohraničují v rovině pohyb úsečky známé velikosti, získáme hodnoty pro převod na reálné délkové jednotky[9].

#### **4.1 Pojmy využívané při analýze pohybu lidského těla**

Lidské tělo můžeme rozdělit na několik segmentů. Tyto části lidského těla se vyznačují relativní samostatnou pohyblivostí a tvoří strukturální základ pohybového aparátu člověka. Rozeznáváme jejich relativní hmotnost a její rozložení, tedy hmotnost segmentů těla a jejich těžiště. Dále sem patří jejich tvar a vzájemná vazba. Nejčastěji se používá 14segmentový model lidského těla. Jehož součástí jsou hlava a krk, trup a párové

segmenty – nadloktí, předloktí, ruka, stehno, bérce, noha. Aby bylo vše jednodušší, tak jsou jednotlivé segmenty nahrazeny pravidelnými geometrickými tvary, které pak lze dobře charakterizovat pomocí matematických vzorců.[9]

#### 4.1.1 Těžiště

Chceme-li určit některé charakteristiky pohybové činnosti, které se vztahují k celému tělu, jako jsou například trajektorie těla v průběhu pohybu nebo rychlost těla v okamžiku odrazu nebo dopadu, musíme provést určité zjednodušení, při kterém lidské tělo nahradíme jedním hmotným bodem – „těžištěm lidského těla“. Těžiště je tedy působišťe tíhové síly, která působí na hmotné těleso. V základním anatomickém postavení se nachází v malé pánvi ve výšce druhého nebo třetího křížového obratle, asi 4-6 cm před promotoriem. Umístění lidského těžiště se mění se změnou vzájemné polohy jednotlivých segmentů. V některých polohách leží dokonce mimo lidské tělo.

Jelikož při určování těžiště nahrazujeme jednotlivé segmenty tuhými tělesy a to bez ohledu na druh a poměr tkání, ze kterých se skládají, jsou používané údaje často pouze přibližné.

Abychom byli schopni určit těžiště lidského těla, musíme nejdříve zjistit těžiště jednotlivých segmentů. Pro jednotlivé segmenty leží zpravidla na jejich ose, tedy na úsečce s krajními body ve středech kloubů, které ohraničují daný úsek. U bérce, nohy a ruky dělí těžiště segment v poměru 2:3, kdy kratší část je u proximálního konce. Pro nadloktí, předloktí a stehno je tento poměr 4:5. Jestliže je segment nohy určen kromě hlezenního kloubu a špičky také patou, je těžiště umístěno v těžišti trojúhelníku s vrcholy v těchto bodech.[9]

Pro určení těžiště lidského těla se v současné době využívá nejčastěji tzv. analytická metoda, která umožňuje využití algoritmů použitelných pro široké spektrum pohybových činností. Za předpokladu použití n-segmentového modelu vycházíme z úvahy, že součet hmotností jednotlivých segmentů je roven celkové hmotnosti těla, dále pak součet tíhových sil, které působí na segmenty, je roven tíhové síle působící na celé tělo, a že součet momentů tíhových sil, které působí na jednotlivé segmenty, je roven celkovému momentu tíhové síly. Pomocí těchto výpočtů získáme rovnici pro osu x.

Vyhodnocením sledované polohy na videozáznamu získáme pomocí tohoto algoritmu rovinné souřadnice těžiště lidského těla. Obdobným způsob zpracujeme odpovídající polohu na záznamu z další kamery a získáme další dvojici souřadnic. Jejich transformací získáme prostorové souřadnice těžiště.

V praxi je tento postup samozřejmě řešen příslušným softwarem.[9]

#### 4.1.2 Měření hmotností segmentů

První zmínky o hmotnosti segmentů pocházejí už z 19. století. Určovali se na základě vážení u zemřelých jedinců.

Hmotnost segmentů těla lze zjistit na základě znalosti celkové hmotnosti a výšky jedince dvěma užívanými postupy. Méně přesný postup vychází ze znalosti procentuálního vyjádření hmotnosti segmentu vzhledem k celkové hmotnosti těla, tedy relativní hmotnosti segmentu. Zvýšení přesnosti u této metody nám přinese použití údajů od více autorů.[12] Přesnější je neinvazivní radioizotopická metoda založena na výzkumu Zaciorského a Selujanova [10], kteří na základě výzkumu 100 osob touto metodou experimentálně stanovili koeficienty  $B_0$ ,  $B_1$  a  $B_2$  pro každý segment. Výhodou této metody je, že při vlastním výpočtu přihlíží také k tělesné výšce. K přesnému zjišťování hmotností konkrétního jedince je možné využít i jiných antropometrických postupů, jako například podvodní vážení, kde využijeme Archimedův zákon.

#### 4.1.3 Momenty setrvačnosti lidského těla a jeho segmentů

Při řešení pohybového úkolu, který souvisí s rotací segmentu nebo celého těla, musíme přihlížet také k rozložení hmotnosti vzhledem k ose, kolem které dochází k rotaci. Pro určení vlivu rozložení hmotnosti slouží moment setrvačnosti.

Při zvýšení momentu setrvačnosti, který je při rotačním pohybu způsoben pohybem jednotlivých segmentů vzhledem k ose otáčení, dojde ke změně velikosti rychlosti rotace těla. Při pohybu segmentu nám vzdálenost hmoty od bodu otáčení umožní určit například velikost dráhy, která je nutná k zastavení pohybu.[9]



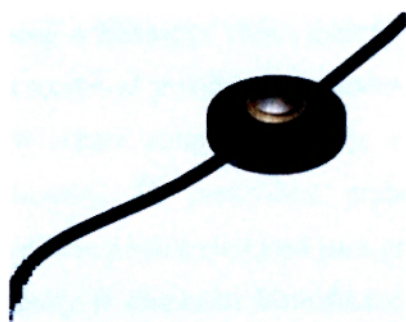
## 4.2 Markery

V prostorové analýze pohybu se ke zkvalitnění vyhodnocených údajů využívá k označení vybraných bodů na sledovaném objektu značek – tzv. markerů. Těchto značek se využívá převážně v laboratorních podmínkách. Pokud analyzujeme pohybovou činnost při sportovní aktivitě, tyto značky vynecháváme, protože by mohli nepříznivě ovlivnit provedení pohybu.

Jednotlivé značky jsou charakterizovány různými vlastnostmi. Mezi hlavní patří velikost, barva a tvar. Dle tvaru je možné se setkat s různými rovinnými i prostorovými útvary. Nejčastějším používaným tvarem při označení bodů na lidském těle jsou koule a polokoule. Důvodem je snazší určení středu značky při pohledu z různých směrů. Koule je totiž na rozdíl od jiných tvarů vnímána při jejím zobrazení do roviny stále jako kruh.

V průběhu jedné analýzy můžeme jednotlivé značky oddělit použitím různých tvarů či barev. Barva musí být viditelná vzhledem k pozadí. Tento rozdíl lze ještě zvýšit použitím podkladu, který je k dané barvě kontrastní.

Při záznamu pohybové činnosti mimo laboratorní podmínky je možné použít místo klasických značek fluorescenčních pásků, které jsou umístěné v okolí kloubů. To nám pomůže ke zvýraznění těch částí těla, které jsou důležité pro naše pozorování.



obr.1 – převzato z [http://www.lukotronic.com/index\\_e.html](http://www.lukotronic.com/index_e.html)

Další důležitou součástí měření je pomocí značek vymezit prostor, ve kterém bude pohyb probíhat. Tyto značky jsou jiné než pro označení lidského těla. Musí být dobře viditelné, ale zároveň nesmí působit rušivě a to ani na subjekt ani na okolí. Dnes se k tomuto účelu využívají terčíky o rozměrech 20x40 cm, které jsou rozdělené na černobílá pole.[9]

#### 4.2.1 Rozdělení markerů

Podle typu použitých systému a podle způsobu řešení dané úlohy můžeme markery rozdělit na:

- a) pasivní
- b) aktivní

a) Pasivní – skládají se z různých tvarů, mohou být vytvořeny z nejjednodušších materiálů. Na monitoru počítače probíhá jejich označení manuálně pomocí kurzoru. Větší kvality analýzy dosáhneme překrytím prvků reflexní páskou. V těchto případech markery odrážejí světlo a jsou používány u tzv. systémů s aktivní kamerou a pasivními markery. Elektromagnetické vlnění dopadá ze zdrojů umístěných v okolí objektivu kamery na markery. Odražený paprsek je zpracován v detektoru určeného pro jejich vyhodnocení.

Jako všechny metody má i tato své výhody a nevýhody. Výhodou je, že zde nejsou žádné spojovací kabely, které by omezovaly pohyb. Z toho vyplývá využití u pohybů velkého rozsahu nebo pohybů, které jsou prováděné velkou rychlostí. Mezi nevýhody můžeme zařadit nutnost použití složitějších specializovaných softwarů u měření s pomocí reflexní pásky.

b) Aktivní – druhou skupinou značek jsou značky aktivní. Jsou většinou infračervené LED (1W) a pracují o frekvenci 1kHz. Emitují elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou okolo 800nm. Na rozdíl od prvního typu značek se zde pracuje s pasivní kamerou a aktivními značkami. „Při určení polohy značek je vstupní signál porovnáván pixel po pixelu s referenčním pozadím. Při překročení prahové hodnoty je signál zpracován v generátoru souřadnic a pixely příslušných jasů jsou grupovány dohromady.“

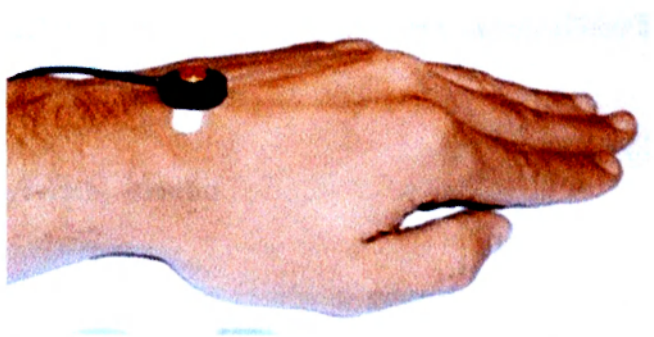
Výhodou této metody je okamžitá identifikace značek. Pokud analyzujeme menší počet značek, je možné použít vysoký vzorkovací kmitočet. Hlavními nevýhodami je skutečnost, že vyžadují vlastní zdroj energie a spojovací elementy, které ovlivňují přirozený pohyb člověka.[9]

### 4.3 Umístění značek na lidské tělo

Neméně důležitou součástí jako je výběr mezi aktivními či pasivními typy značek je i jejich správné umístění na lidské tělo. Na rozdíl od tuhých těles, kde nejsou žádná výrazná omezení, působí při označení bodů pro umístění značek na člověka několik různých faktorů.

Hlavní rozpor je v tom, že jednotlivé segmenty jsou definovány pomocí vybraných anatomických bodů. Při samotné analýze však nepracujeme s těmito body, ale s jejich projekcí na lidské kůži. Nejdříve musíme tedy provést vypalповání příslušného anatomického bodu a reprodukovat ho na povrch lidského těla. Problémem může být například množství podkožního tuku, které by ztěžovalo vyhledání daného bodu. Značky by neměly být umístěny v jedné přímce, aby mohlo dojít k reprodukci segmentu pomocí rovinného obrazce, například trojúhelníku, pohybujícího se v prostoru. Tato pozice značek je důležitá k tomu, abychom byli následně schopni určit rotaci segmentu vzhledem k jeho podélné ose.

Značky v průběhu pohybu mírně mění svou pozici, což je problém vzhledem k vymezení daného segmentu. „Měkké tkáně, které se nacházejí mezi kostí a značkou, se vlivem změn rychlosti a setrvačnosti posouvají. „Tím dochází ke změně polohy značky vzhledem k bodu na kosti. K odstranění těchto vzniklých chyb používáme algoritmické výpočty. Jejich použití je však poměrně složité.[9]



Obr.2 – převzato z [http://www.lukotronic.com/index\\_e.html](http://www.lukotronic.com/index_e.html)



#### 4.4 Soubory značek používané pro označení segmentů při analýze chůze

Pokud popisujeme jednodušší pohyby, jako například flexi nebo extenzi v loketním kloubu, je umístění značek poměrně snadné. Mnohem složitější situace nastává, pokud je výsledný pohyb složen z pohybů ve více rovinách.

Abychom mohli porovnávat výsledky různých autorů, je nutné pracovat s postupy, které jsou pro danou pohybovou činnost typické, a které využívají různá pracoviště po celém světě.

S rozvojem kvalitativní úrovně záznamové techniky a hlavně s nástupem výpočetní techniky do oblasti zpracování signálu, docházelo při analýze chůze k určitým změnám a k postupnému zpřesňování při značení projekce anatomických struktur na povrchu lidského těla.

Mezi v dnešní době nejpoužívanější soubory značek, které jsou typické pro označení dolních končetin při chůzi, patří :

- a) Kit Vaughan – původní soubor
- b) Helen Hayes Hospital – modifikovaný soubor

Žádný z těchto uvedených typů, ale ani jiné, nelze označit za zcela bezchybné. I zde lze nalézt určité nedostatky. Navíc získané výsledky nemohou zcela nahradit údaje získané například z RTG nebo z Magnetické rezonance. Tato metodika však umožňuje provádět dlouhodobější studie při sledování konkrétních pohybů a jejich stereotypů u vybraných jedinců.

Jako příklad určení konkrétního bodu uvedeme určení středu kyčelního kloubu při analýze chůze[9].

#### 4.5 Určení středu kyčelního kloubu

Při určování středu kyčelního kloubu se setkáme s problémem, kterým je, že tento bod nelze přímo určit na lidském těle pomocí projekce kostěné struktury na povrch těla. K určení jeho polohy musíme použít soustavu rovnic, které nám udají výsledné souřadnice. Pomocí jiných metod, jako například RTG vyšetření nebo Magnetická rezonance, jsme



stanovili hodnoty koeficientů pro rovnice, které nám s jeho určením pomůžou. Často jsou využívány dva postupy.

V prvním případě se jedná o využití pohybu značek, které jsou umístěné na stehně, během rotace v kyčli. „Střed kyčelního kloubu je následně určen jako střed kulové plochy. „I přesto, že tato metoda je poměrně přesná, nelze ji provádět u všech osob. Podmínkou je schopnost provést sledované rotace v kyčli v dostatečně velkém rozsahu.

Základem druhého postupu, Davisův algoritmus, je určení základních antropometrických rozměrů na pánvi. Tato metoda vychází ze znalostí délky dolní končetiny a hodnot úhlů, které jsou určeny pomocí radiografické metody.[9]

#### **4.6 Výsledky získané zpracováním videozáznamu**

Výsledky, které jsme získali zpracováním výstupů z videografické metody a jejich následnou analýzou můžeme rozdělit do několika skupin podle nejrůznějších kritérií. Může se jednat například o dobu, za kterou je potřeba poskytnout výsledné informace, požadavky příjemce, limity daného použitého systému vyhodnocování výstupních dat nebo účel jejich zpracování.

Pokud budeme přihlížet k množství informací, přejdeme od kvalitativního hodnocení ke kvantitativnímu. Typy výstupů lze rozdělit třeba takto:

##### **4.6.1 Kinogram pohybu sestavený z vybraných poloh sledované pohybové činnosti**

Výstupem je stroboskopický záznam pohybu. Výhodou je rychlost, se kterou je možné zpracovat informace a jejich následné předání do praxe. Uplatnění této metody je zejména vhodné pro sportovní trenéry. Pozorování jednotlivých pohybů sportovce umožňuje trenérovi rozpoznat chyby při provádění dané sportovní disciplíny a následně je konzultovat se sportovcem. Na základě této detailní analýze sportovec své nedostatky snáze odstraňuje. Příkladem může být záznam skokan na lyžích při jeho odrazu ze sko-

- kanského můstku nebo letová fáze skokana o tyči při překonávání laťky.



Obr.3 - převzato [http://www.ftvs.cuni.cz/eknihy/sborniky/2005-11-16/prispevky/postery/15-Kracmar\\_soubory/image030.jpg](http://www.ftvs.cuni.cz/eknihy/sborniky/2005-11-16/prispevky/postery/15-Kracmar_soubory/image030.jpg)

#### 4.6.2 Kinogram pohybu (stick figure) získaný analýzou videozáznamu

Zde je nutné provést označení bodů na záznamu pohybu. Jde o zjednodušenou verzi zobrazení, kde jsou reálné segmenty nahrazeny soustavou úseček a geometrických útvarů. Výhodou této metody je zvýšená názornost při zrakové kontrole výstupu. Naopak nevýhoda spočívá ve větší časové náročnosti při zpracování výstupu.



Obr.4 – převzato [facta.junis.ni.ac.rs/pe/pe200602/pe200602-06.pdf](http://facta.junis.ni.ac.rs/pe/pe200602/pe200602-06.pdf)



Obr.5 – Způsob provedení přesunu a bloku ve volejbale převzato z

#### 4.6.3 Kinogram pohybu vybraného segmentu nebo bodu na lidském těle

Jedná se o kvantitativní hodnocení pohybu. Tato metoda využívá vybrané body jako třeba středy kloubů nebo těžiště segmentů, tedy body, které mají pro způsob provedení pohybu stěžejní význam. Osamostatnění těchto bodů a jejich znázornění ve vybrané rovině pohybu zvyšuje názornost informace.

#### 4.6.4 Kinogram pohybu doplněný o číselné údaje

Tento výstup nám poskytuje nejen grafické, ale i numerické informace o pohybu, a to z hlediska jeho důležitých fází jako například okamžik odrazu nebo odhodu. Tato metoda umožňuje pomocí názorné vizualizace porovnání se současným kvantitativním hodnocením vybraných poloh. Číselné údaje charakterizující funkční závislost sledovaných parametrů.

Zde je hlavním významem možnost pozdějšího statistického zpracování získaných výsledků, které se dále využívají pro porovnání zkoumaných jedinců, pro dlouhodobé studie aj.

#### **4.6.5 Grafické vyjádření nebo porovnání závislostí vybraných parametrů**

Různé softwarové možnosti nám umožňují vytvářet různé výstupy. Jeden výstup může zachycovat několik různých charakteristik nebo stejné výstupy, ale od různých zkoumaných jedinců. Lze tím například zaznamenat rozdíly mezi jednotlivými sportovci nebo změny v pohybové činnosti pacientů po rehabilitaci. Závislost je nejčastěji určována s přihlédnutím k časovému průběhu pohybu, nebo také porovnání změn sousedních úhlů v kinematickém řetězci.

#### **4.6.6 Kombinace všech předešlých možností**

Umožní nám celistvější informace o sledované pohybové činnosti. Množství získaných výstupů však nesmí být na úkor jejich přehlednosti.

## 5. Praktická část

Cíl: Pokusit se o analýzu chůze pomocí 3D videografie

Nalézt rozdílné znaky u probandů aktivně sportujících a nikoliv

Hypotéza : Sportovci a v tomto případě fotbalisté mají specifický způsob chůze.

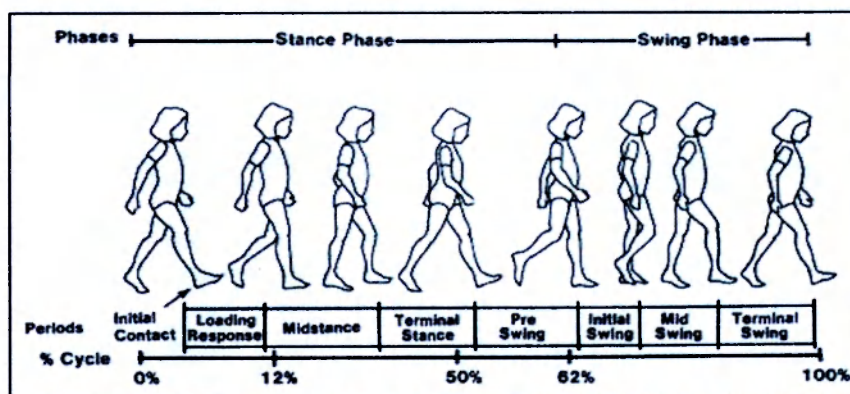
Pokusíme se to potvrdit pomocí 3D videografické metody při analýze jejich chůze

### 5.1 Vlastnosti probandů

tab.7	věk	výška [cm]	velikost chodidla [cm]	sport
proband č.1	27	178	27	ano
proband č.2	27	187	28,5	ne
proband č.3	27	183	28	ano
proband č.4	27	190	28,5	ne
proband č.5	22	180	27	ano

### 5.2 Rozdělení jednotlivých fází krokového cyklu v tabulkách a grafech

Initial contact	0%	=> 1
Loading response	00-10%	=>2
Midstance	10-30%	=>3
Terminal stance	30-50%	=>4
Preswing	50-60%	=>5
Initial swing	60-73%	=>6
Midswing	73-87%	=>7
Terminal swing	87-100%	=>8



Obr. 6 – převzato z <http://www.univie.ac.at/cga/history/22107f2.gif>



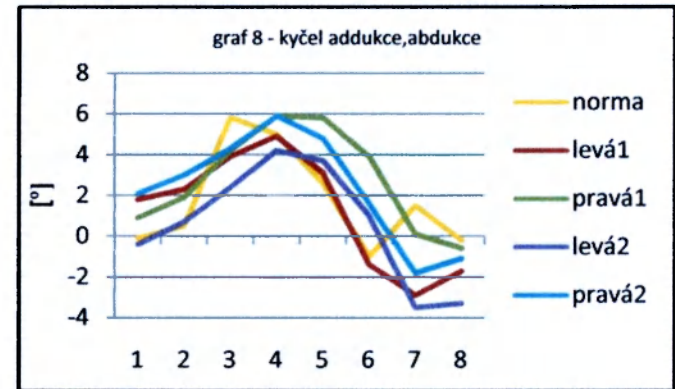
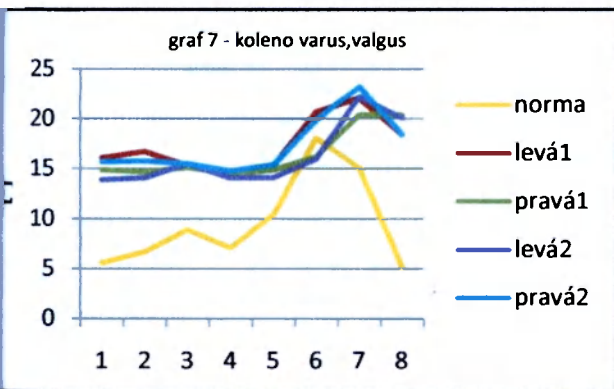
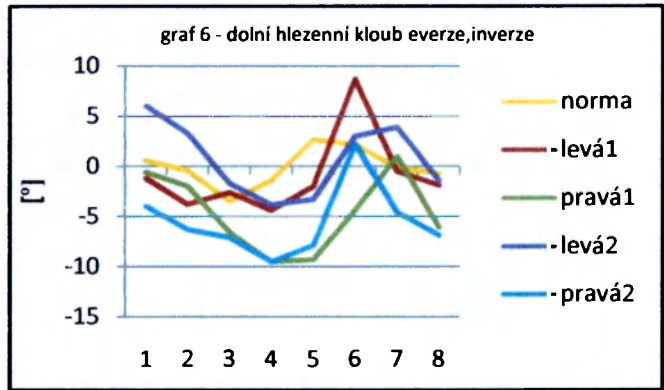
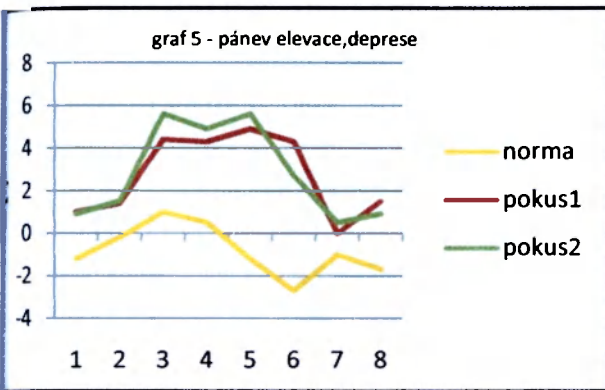
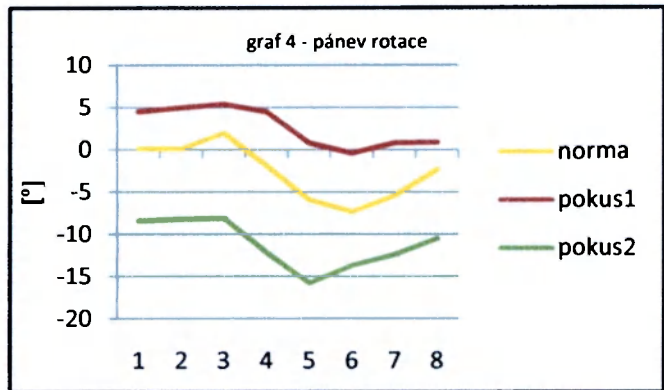
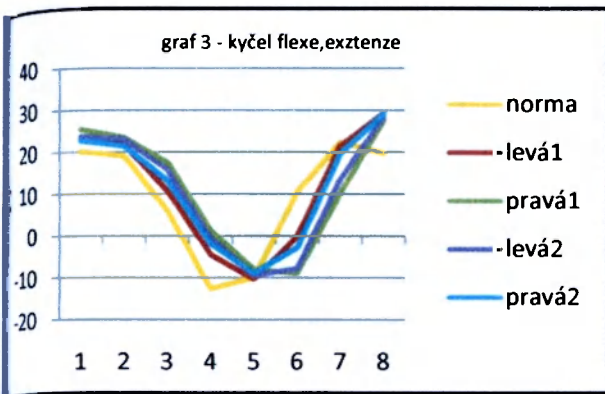
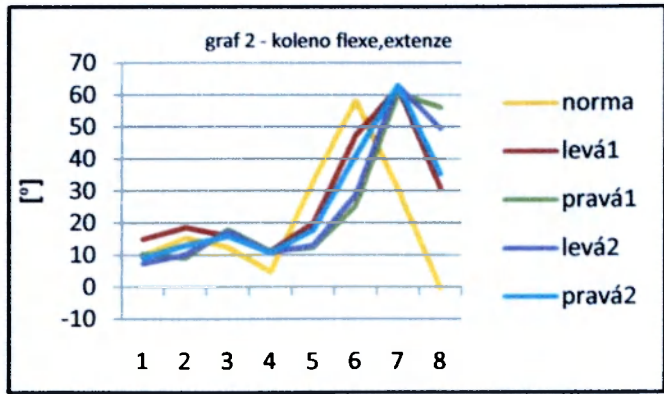
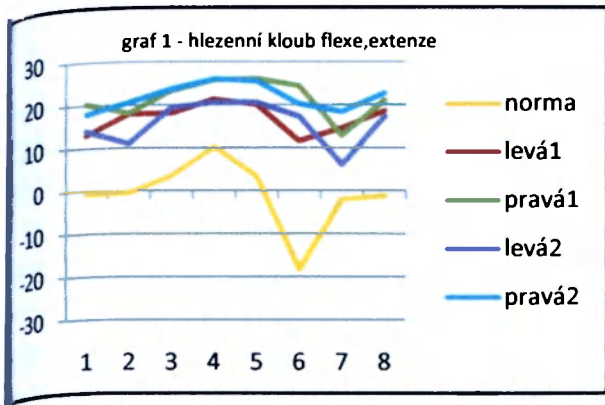
## 5.3 Naměřené výsledky

### 5.3.1 Proband č.1

Pokus č.1 – tab.8		normal
cyklus	61	
šířka kroku [cm]	7,91	
průměrná délka kroku[cm]	57,08	60-96
průměrná délka kroku vlevo [cm]	57,04	60-96
průměrná délka kroku vpravo [cm]	57,12	60-96
počet kroků/min.	107,21	108-120
rychlost [km/h]	3,67	
rychlost [m/s]	1,02	

Pokus č.2 – tab.9		normal
krokový cyklus	71	
šířka kroku [cm]	8,24	
průměrná délka kroku[cm]	56,83	60-96
průměrná délka kroku vlevo [cm]	57,04	60-96
průměrná délka kroku vpravo [cm]	56,63	60-96
počet kroků/min.	106,63	108-120
rychlost [km/h]	3,62	
rychlost [m/s]	1,01	

tab.10		strana		1	2	3	4	5	6	7	8	max.	min.	rozdíl
hlezenní kloub	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	-0,7	-0,4	3,5	10,2	3,5	-18,3	-2	-1,2	11,9	-19,8	31,7
		levá	pokus 1	13	17,9	18,1	21,3	20	11,6	14,6	18,6	21,4	6,1	15,3
		pravá	pokus 1	20,3	18,1	23,3	25,8	26,1	24,4	12,9	21,1	26,2	12,9	13,3
		levá2	pokus 2	14	11	19,4	20,6	20,6	17,3	6,1	17,3	20,8	5,6	15,2
		pravá2	pokus2	17,9	20,6	23,6	26	25,5	20,2	18,4	22,7	26	13,6	12,4
koleno	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	10	15,4	12,4	4,7	33	58,3	30,6	-0,3	58,3	-1,9	60,2
		levá	pokus 1	15	18,6	16	11,2	19,9	47,3	62,3	31	63,9	11,2	52,7
		pravá	pokus 1	10,5	9,1	17,9	11,3	12,3	25,3	60,6	56,1	65	9	56,1
		levá2	pokus 2	7,4	10,2	17,3	10,8	13	28,9	63	49,6	64,1	7,4	56,7
		pravá2	pokus2	9,2	13	15,8	10,7	17,8	41,1	63,1	35,4	63,4	7,8	55,6
kyčle	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	20,2	19,1	6	-12,6	-10	10,6	22,4	19,8	22,4	-14,8	37,2
		levá	pokus 1	23	21,8	10,7	-4,5	-10,3	0,1	21,6	29,3	29,5	-10,3	39,8
		pravá	pokus 1	25,4	23,5	17,5	1,3	-8	-8,9	10,2	27,7	29,6	-9,6	39,2
		levá2	pokus 2	23,7	23,1	15,8	-0,6	-9,4	-7,9	13,6	28,4	29,2	-10,3	39,4
		pravá2	pokus2	22,7	21,5	13,2	-1,9	-8,9	-2,7	19,7	29,2	29,2	-9	38,3
pánev	rotace	total	zadáno	0,1	0,1	2	-1,9	-5,9	-7,3	-5,4	-2,3	2,1	-7,5	9,6
		total	pokus1	4,5	5	5,4	4,5	0,8	-0,4	0,8	0,9	5,9	-0,6	6,6
		total	pokus2	-8,4	-8,2	-8,1	-12,2	-15,8	-13,7	-12,4	-10,5	-8	-15,8	7,8
pánev	elevace deprese	total	zadáno	-1,2	-0,2	1	0,5	-1,2	-2,7	-1	-1,7	2,1	-3,3	5,4
		total	pokus1	1	1,4	4,4	4,3	4,9	4,3	0	1,5	5,7	-0,1	5,8
		total	pokus2	0,9	1,5	5,6	4,9	5,6	2,7	0,5	0,9	5,9	0,1	5,8
hlezenní kloub	everze inverze	levá/pravá	zadáno	0,6	-0,4	-3,5	-1,4	2,7	2,2	-0,1	-0,7	3,1	-3,6	6,8
		levá	pokus 1	-1,2	-3,8	-2,6	-4,4	-2	8,7	-0,5	-1,9	9	-4,4	13,4
		pravá	pokus 1	-0,6	-2	-6,6	-9,5	-9,3	-4,4	1	-6,1	4,2	-9,6	13,8
		levá2	pokus 2	6	3,3	-1,7	-3,8	-3,3	3	3,9	-1,4	9,4	-3,9	13,3
		pravá2	pokus2	-4	-6,3	-7,1	-9,5	-7,9	2,2	-4,6	-6,9	3,3	-9,5	12,8
koleno	varus valgus	levá/pravá	zadáno	5,6	6,7	8,9	7,1	10,4	18,1	15,1	5,2	18,2	0	18,2
		levá	pokus 1	16,1	16,7	15,3	14,5	15,3	20,7	22,1	18,4	23	14,5	8,5
		pravá	pokus 1	14,9	14,7	15,1	14,5	14,9	16,2	20,4	20,4	22,6	14,5	8,1
		levá2	pokus 2	13,9	14,1	15,5	14,1	14,1	16	22,2	20,1	22,3	13,8	8,5
		pravá2	pokus2	15,7	15,8	15,5	14,8	15,4	19,9	23,2	18,4	23,8	14,8	9
kyčel	addukce abdukce	levá/pravá	zadáno	-0,1	0,5	5,8	5	2,6	-1	1,5	-0,2	5,8	-1,3	7,1
		levá	pokus 1	1,8	2,3	3,9	4,9	3,1	-1,4	-2,9	-1,7	4,9	-3,1	8
		pravá	pokus 1	0,9	1,9	4,2	5,9	5,8	3,9	0,1	-0,6	6,2	-0,7	6,9
		levá2	pokus 2	-0,4	0,7	2,4	4,2	3,7	1	-3,5	-3,3	4,3	-3,6	7,9
		pravá2	pokus2	2,1	3	4,3	5,9	4,8	1,6	-1,8	-1,1	5,9	-1,8	7,7
pozice chodidel	pozice chodidel	levá	pokus 1	37,1	35,5	28,7	20,1	6,2	6,7	4,6	37,8	37,8	2,1	35,7
		pravá	pokus 1	22,9	21,5	38,8	33,1	21,4	7,4	6,1	11,4	38,8	3,5	35,2
		levá2	pokus 2	30,7	32,9	30,5	23,6	11,8	4,1	1,9	17,8	37,9	1,2	36,7
		pravá2	pokus2	19,7	26,3	38,6	31,2	13,3	8,1	3,5	38,1	38,6	3,1	35,6





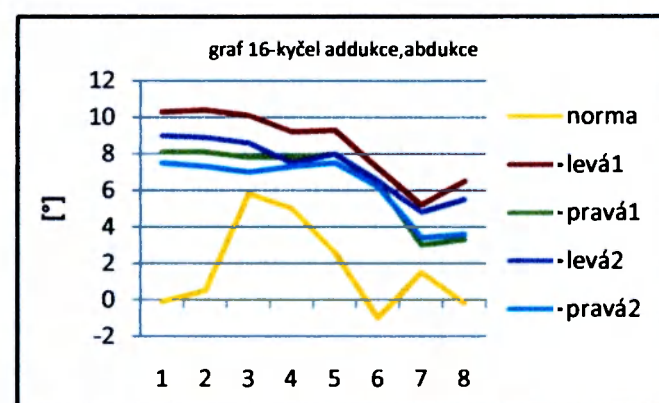
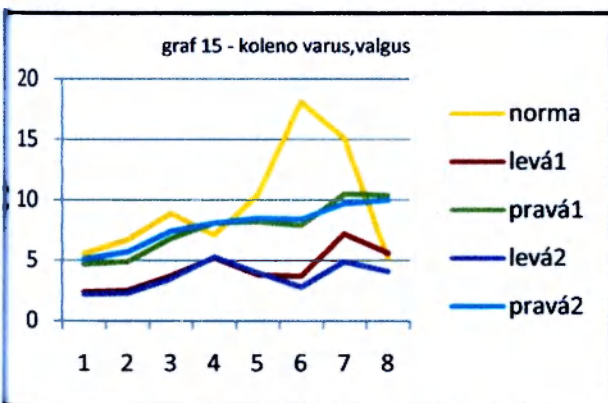
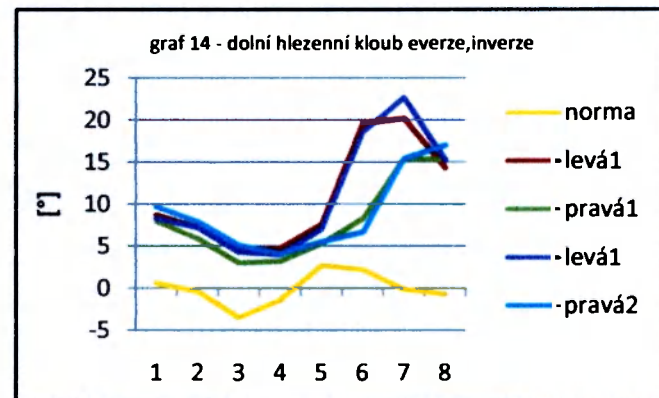
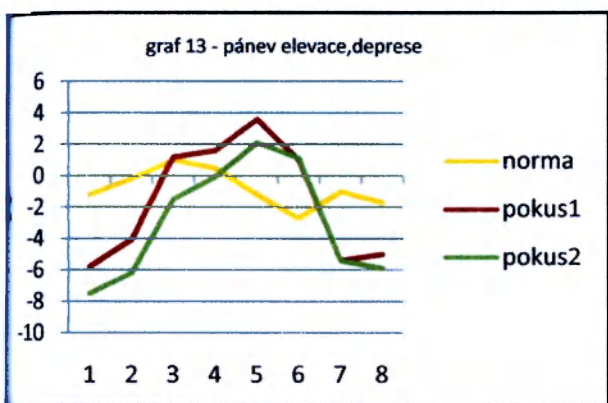
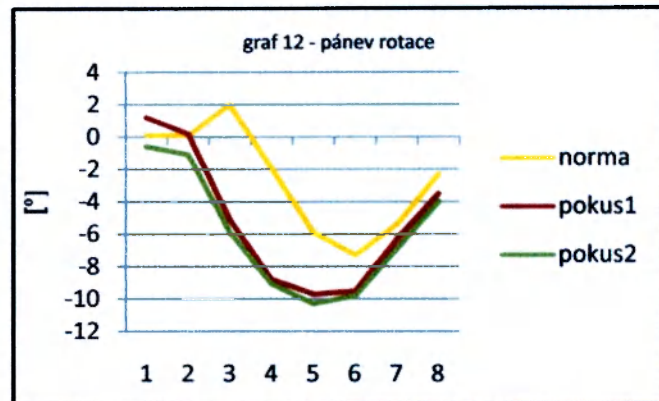
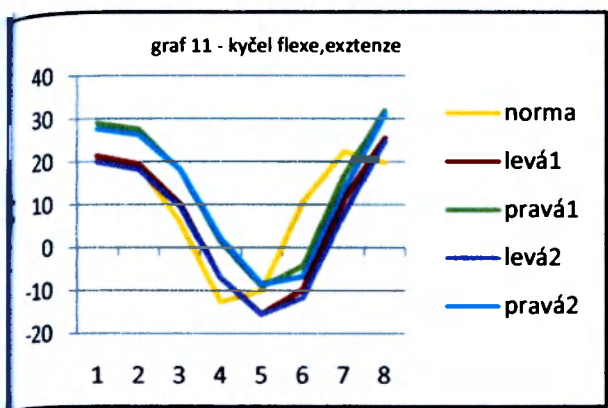
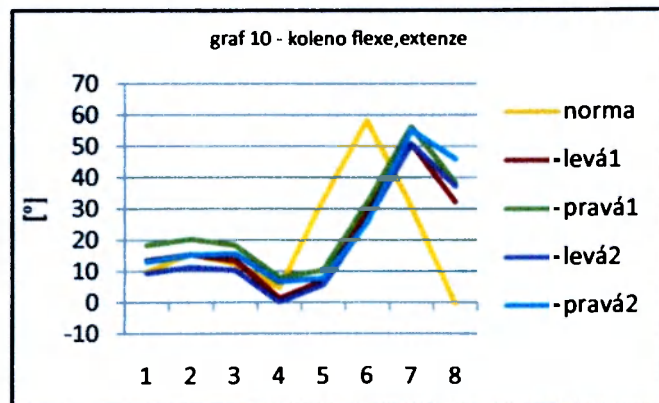
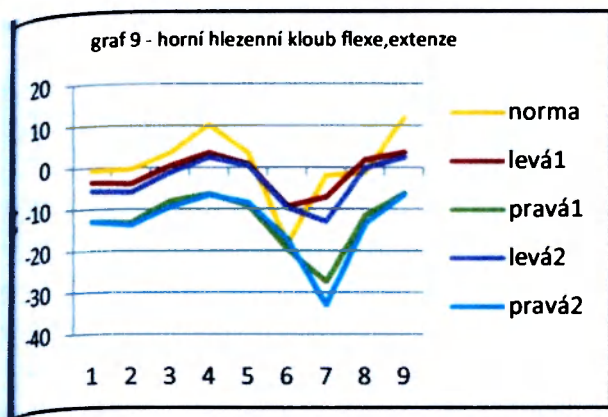
### 5.3.2 Proband č.2

Pokus č.1 – tab.11		normal
cyklus	71	
šířka kroku [cm]	9,74	
průměrná délka kroku [cm]	63,43	60-96
průměrná délka kroku vlevo [cm]	65,55	60-96
průměrná délka kroku vpravo [cm]	61,45	60-96
počet kroků/min.	97,43	108-120
rychlost [km/h]	3,71	
rychlost [m/s]	1,03	

Pokus č.2 – tab.12		normal
krokový cyklus	67	
šířka kroku [cm]	9,99	
průměrná délka kroku [cm]	62,98	60-96
průměrná délka kroku vlevo [cm]	65,92	60-96
průměrná délka kroku vpravo [cm]	60,04	60-96
počet kroků/min.	97,17	108-120
rychlost [km/h]	3,68	
rychlost [m/s]	1,02	

tab.13		strana		1	2	3	4	5	6	7	8	max.	min.	rozdíl
hlezenní kloub	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	-0,7	-0,4	3,5	10,2	3,5	-18,3	-2	-1,2	11,9	-19,8	31,7
		levá	pokus 1	-3,5	-3,9	0,4	3,5	0,8	-9,3	-7,1	1,8	3,6	-15,2	18,8
		pravá	pokus 1	-12,8	-13,1	-8	-6,3	-9,1	-19,6	-27,4	-11,6	-6,2	-31,8	25,5
		levá2	pokus 2	-5,6	-5,9	-1,3	2,4	0,5	-9,7	-13	0,2	2,4	-19,7	22,1
		pravá2	pokus2	-13	-13,8	-9,4	-6,6	-8,4	-17,3	-33	-13,5	-6,5	-34,5	27,9
koleno	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	10	15,4	12,4	4,7	33	58,3	30,6	-0,3	58,3	-1,9	60,2
		levá	pokus 1	13,5	15,3	13,4	1,3	7	29,5	50,8	32,2	50,8	0,2	50,6
		pravá	pokus 1	18,3	20,3	18,3	8	10,4	32	56,3	38,4	56,3	6,1	50,2
		levá2	pokus 2	9,4	11,3	10,3	0,1	5,6	26,1	50,7	37,2	51,2	-0,7	51,9
		pravá2	pokus2	13,1	15,2	15,5	6,7	7,7	25,7	55,2	45,9	57,2	4,7	52,5
kyčle	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	20,2	19,1	6	-12,6	-10	10,6	22,4	19,8	22,4	-14,8	37,2
		levá	pokus 1	21,3	19,5	10,3	-7	-15,4	-9,7	11,2	25,5	26,7	-15,5	42,2
		pravá	pokus 1	28,9	27,6	18,1	1,4	9	-4,3	16,9	31,9	33,1	-9,3	42,4
		levá2	pokus 2	19,9	18,2	9,6	-7	-15,6	-11,7	7,9	24,7	26,7	-15,8	42,5
		pravá2	pokus2	27,6	26,3	18,2	2,1	-8,5	-6,7	13,6	31,1	33,3	-9,3	42,7
pánev	rotace	total	zadáno	0,1	0,1	2	-1,9	-5,9	-7,3	-5,4	-2,3	2,1	-7,5	9,6
		total	pokus1	1,2	0,2	-5,1	8,8	-9,7	-9,5	-6,3	-3,5	1,4	-10,1	11,5
		total	pokus2	-0,6	-1,1	-5,9	-9,1	-10,3	-9,8	6,9	4	-0,6	-10,5	9,9
pánev	zvýšení snížení	total	zadáno	-1,2	-0,2	1	0,5	-1,2	-2,7	-1	-1,7	2,1	-3,3	5,4
		total	pokus1	-5,8	-4,1	1,2	1,6	3,6	1	-5,4	-5	3,9	-6,4	10,3
		total	pokus2	-7,5	-6,2	-1,5	-0,1	2,1	1,1	-5,4	-5,9	2,9	-8	10,9
hlezenní kloub	everze inverze	levá/pravá	zadáno	0,6	-0,4	-3,5	-1,4	2,7	2,2	-0,1	-0,7	3,1	-3,6	6,8
		levá	pokus 1	8,7	7,2	4,6	4,7	7,6	19,6	20,2	14,3	23,2	4	19,2
		pravá	pokus 1	7,9	5,9	3	3,2	5,3	8,3	15,4	15,3	16,4	2,7	13,7
		levá2	pokus 2	8,3	7,2	4,3	4	7,1	18,6	22,7	15,2	25,2	3,4	21,8
		pravá2	pokus2	9,7	7,9	5,1	4,1	5,5	6,7	15,4	17	17,6	4	13,6
koleno	varus valgus	levá/pravá	zadáno	5,6	6,7	8,9	7,1	10,4	18,1	15,1	5,2	18,2	0	18,2
		levá	pokus 1	2,4	2,5	3,7	5,2	3,8	3,7	7,2	5,6	7,2	2,4	4,8
		pravá	pokus 1	4,7	4,9	6,8	8,1	8,2	7,9	10,5	10,4	11	4,6	6,4
		levá2	pokus 2	2,2	2,3	3,5	5,3	4	2,8	4,9	4,1	5,3	2,2	3,2
		pravá2	pokus2	5,1	5,7	7,4	8,1	8,5	8,4	9,7	10	10,1	4,7	5,4
kyčel	addukce abdukce	levá/pravá	zadáno	-0,1	0,5	5,8	5	2,6	-1	1,5	-0,2	5,8	-1,3	7,1
		levá	pokus 1	10,3	10,4	10,1	9,2	9,3	7,2	5,2	6,5	10,4	5,2	5,2
		pravá	pokus 1	8,1	8,1	7,8	7,8	8	6,4	3	3,3	8,2	2,7	5,6
		levá2	pokus 2	9	8,9	8,6	7,5	8	6,5	4,8	5,5	9	4,7	4,2
		pravá2	pokus2	7,5	7,3	7	7,3	7,5	6,2	3,4	3,6	7,7	3,2	4,6
pozice chodidel	pozice chodidel	levá	pokus 1	20,9	15,2	8,3	7,2	4,6	2,5	10,5	17	23,9	2,1	21,8
		pravá	pokus 1	13,4	9,1	-0,7	-0,8	-1	-3,4	4,6	6,4	15,5	-3,4	18,9
		levá2	pokus 2	23,8	19	6,3	3,7	3,4	-0,6	6,9	9,5	25,3	-0,9	26,2
		pravá2	pokus2	16,2	12	2,4	0,6	-0,2	-3,7	4,7	6,6	17,3	-4,1	21,4





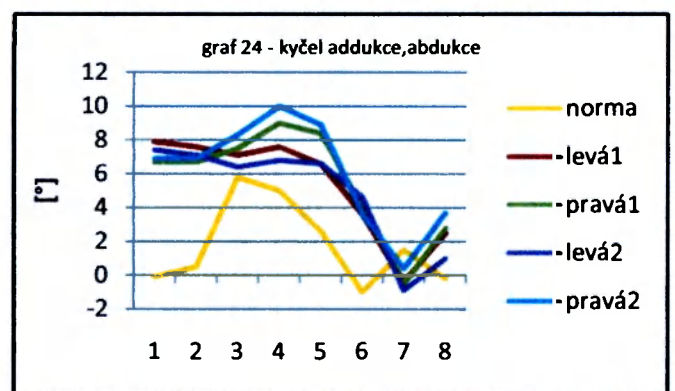
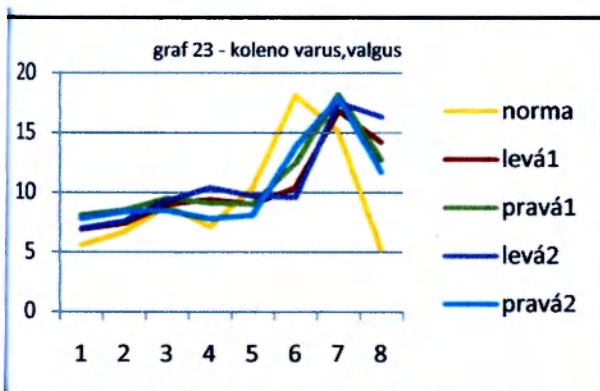
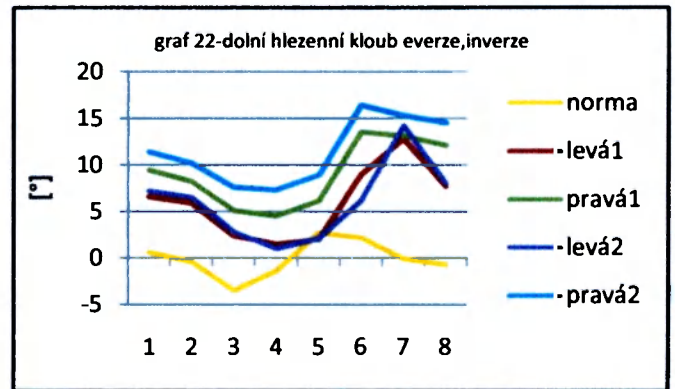
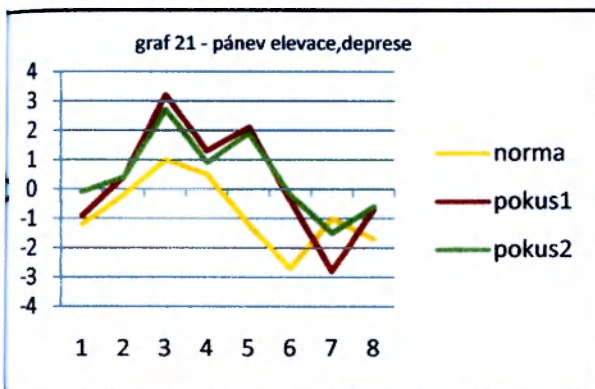
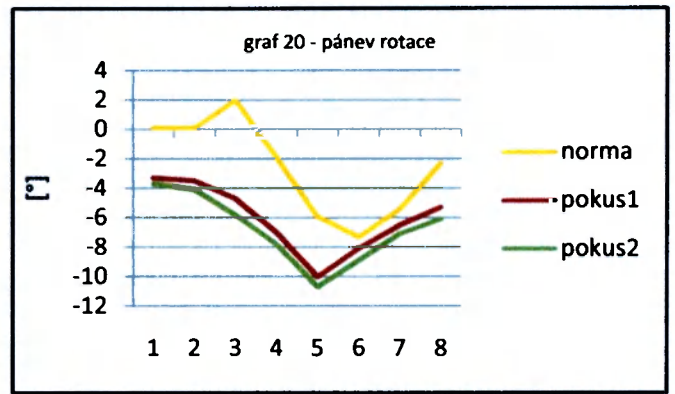
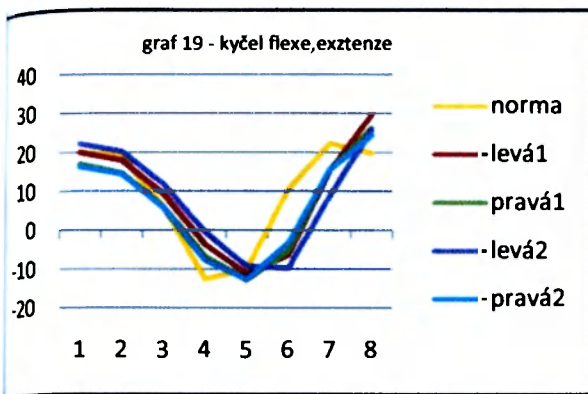
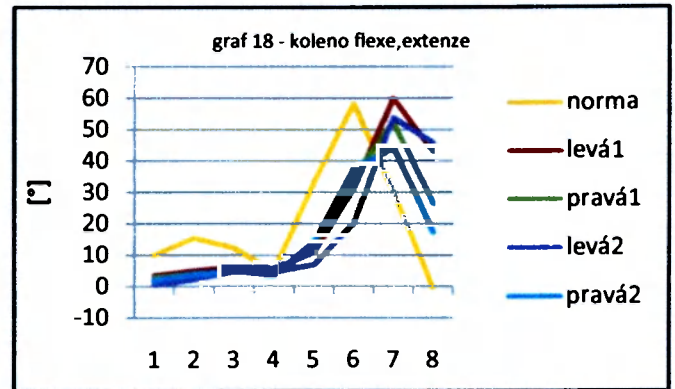
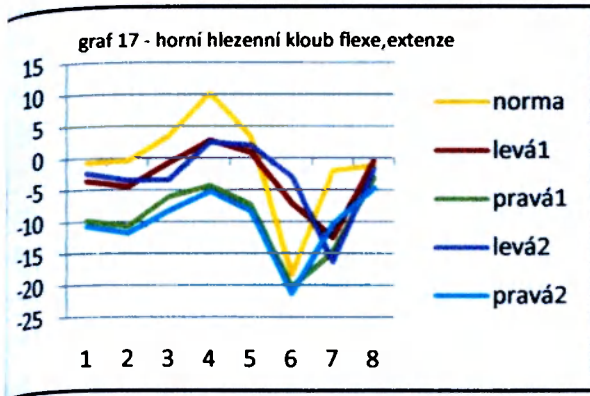
### 5.3.3 Proband č.3

Pokus č.1 – tab.14		normal
krokový cyklus	62	
šířka kroku [cm]	7,17	
průměrná délka kroku[cm]	57,55	60-96
průměrná délka kroku vlevo [cm]	58,33	60-96
průměrná délka kroku vpravo [cm]	56,74	60-96
počet kroků/min.	100,42	108-120
rychlost [km/h]	3,68	
rychlost [m/s]	1,02	

Pokus č.2 – tab.15		normal
krokový cyklus	64	
šířka kroku [cm]	7,47	
průměrná délka kroku[cm]	57,65	60-96
průměrná délka kroku vlevo [cm]	59	60-96
průměrná délka kroku vpravo [cm]	56,32	60-96
počet kroků/min.	105,11	108-120
rychlost [km/h]	3,62	
rychlost [m/s]	1,01	

tab.16		strana		1	2	3	4	5	6	7	8	max.	min.	rozdíl
hlezenní kloub	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	-0,7	-0,4	3,5	10,2	3,5	-18,3	-2	-1,2	11,9	-19,8	31,7
		levá	pokus 1	-3,6	-4,5	-0,8	2,8	0,9	-7,1	-12,5	0,5	2,9	-17,6	20,6
		pravá	pokus 1	-9,8	-10,7	-6,1	4,3	-7,3	-20,3	-14,8	-3,1	-3,1	-26,1	23
		levá2	pokus 2	-2,4	-3,5	-3,4	2,5	2	-2,9	-16,3	-1,8	2,8	-17,2	20
		pravá2	pokus2	-10,7	-11,8	8,3	-5,2	-8,3	-21,3	-10,4	4,7	4,4	-22,7	18,2
koleno	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	10	15,4	12,4	4,7	33	58,3	30,6	-0,3	58,3	-1,9	60,2
		levá	pokus 1	3,6	5	6,3	5,4	10,8	31,5	60	43,1	60	2,7	57,3
		pravá	pokus 1	2,9	4	4,7	4	12,6	35,5	52,5	26,4	53,1	2,3	50,8
		levá2	pokus 2	0,5	2,1	4,8	4,6	6,9	20,2	53,8	45,8	56,4	0,4	56,1
		pravá2	pokus2	2	3,8	4,9	3,4	14,1	37,5	44,2	17,4	47,3	1,3	45,9
kyčle	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	20,2	19,1	6	-12,6	-10	10,6	22,4	19,8	22,4	-14,8	37,2
		levá	pokus 1	20	18	9,3	-3,6	-11,2	-6,4	15,4	29,7	30,9	-11,4	42,4
		pravá	pokus 1	17	14,8	6	-6,6	-12,8	-5,5	15,7	26,2	26,6	-12,8	39,4
		levá2	pokus 2	22,2	20,3	11,9	0,5	-9,2	-9,8	8,9	25,8	28,4	-10,9	39,3
		pravá2	pokus2	16,3	14,4	5,8	-7,7	-12,6	-3,4	15,6	24,4	24,5	-12,6	37,2
pánev	rotace	total	zadáno	0,1	0,1	2	-1,9	-5,9	-7,3	-5,4	-2,3	2,1	-7,5	9,6
		total	pokus1	-3,3	-3,5	-4,7	-7	-10	-8,1	-6,5	-5,3	-3,3	-10	6,7
		total	pokus2	-3,7	-4,1	-5,8	-7,8	-10,7	-8,9	-7,1	-6,1	-3,6	-10,7	7
pánev	elevace deprese	total	zadáno	-1,2	-0,2	1	0,5	-1,2	-2,7	-1	-1,7	2,1	-3,3	5,4
		total	pokus1	-0,9	0,4	3,2	1,3	2,1	-0,4	-2,8	-0,7	3,2	-3	6,1
		total	pokus2	-0,1	0,4	2,7	0,9	1,9	-0,2	-1,5	-0,6	2,7	-2,2	4,9
hlezenní kloub	everze inverze	levá/pravá	zadáno	0,6	-0,4	-3,5	-1,4	2,7	2,2	-0,1	-0,7	3,1	-3,6	6,8
		levá	pokus 1	6,6	5,9	2,4	1,5	2	9	12,8	7,7	14,7	0,6	14,1
		pravá	pokus 1	9,4	8,2	5,1	4,5	6,1	13,5	13,1	12,1	14,7	4	10,7
		levá2	pokus 2	7,2	6,5	2,8	1	2,1	6,2	14,2	8	14,3	0,5	13,8
		pravá2	pokus2	11,4	10,2	7,6	7,3	8,9	16,4	15,3	14,5	17,5	6,8	10,7
koleno	varus valgus	levá/pravá	zadáno	5,6	6,7	8,9	7,1	10,4	18,1	15,1	5,2	18,2	0	18,2
		levá	pokus 1	6,9	7,4	9	9,4	9	10,4	16,8	14,2	16,9	6,6	10,2
		pravá	pokus 1	8,1	8,5	9,5	9,1	9	12,4	18,2	12,7	18,4	7,9	10,4
		levá2	pokus 2	7	7,6	9,3	10,4	9,7	9,6	17,5	16,3	18,7	7	11,7
		pravá2	pokus2	7,8	8,4	8,5	7,8	8,1	13,8	17,9	11,7	18,8	7,5	11,3
kyčel	addukce abdukce	levá/pravá	zadáno	-0,1	0,5	5,8	5	2,6	-1	1,5	-0,2	5,8	-1,3	7,1
		levá	pokus 1	7,9	7,6	7,1	7,6	6,6	3,6	-0,4	2,5	8,1	-0,4	8,4
		pravá	pokus 1	6,7	6,7	7,5	9	8,4	4	-0,5	2,8	9	-0,5	9,5
		levá2	pokus 2	7,4	7,1	6,4	6,8	6,6	4,6	-0,9	1	7,4	-1,2	8,6
		pravá2	pokus2	6,9	6,9	8,3	10	8,9	3,6	0,4	3,7	10	0	10
pozice chodidel	pozice chodidel	levá	pokus 1	23,7	19,4	8,7	3,7	-1	-4,1	4,7	2,4	24,8	-4,4	29,2
		pravá	pokus 1	16,6	12	6,6	2,6	0,1	3,9	7,6	12,5	19,3	-0,3	19,7
		levá2	pokus 2	26,5	25,7	10,3	4,4	1,7	-3,7	2,7	4	26,7	-4,1	30,8
		pravá2	pokus2	17,4	13,2	8,3	5,1	1,7	8	11	17	20,1	1,5	18,6





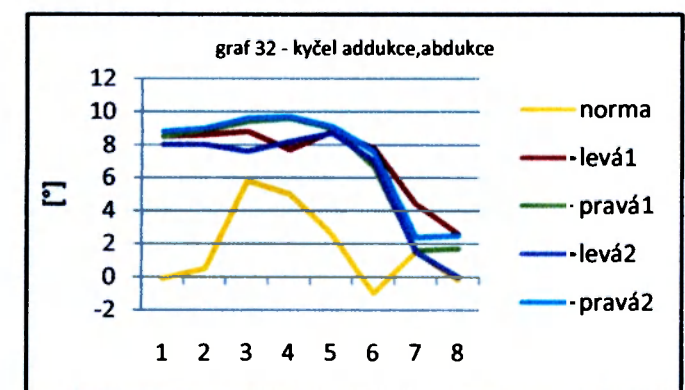
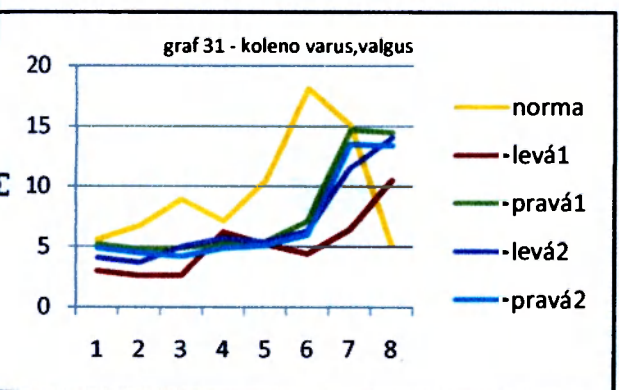
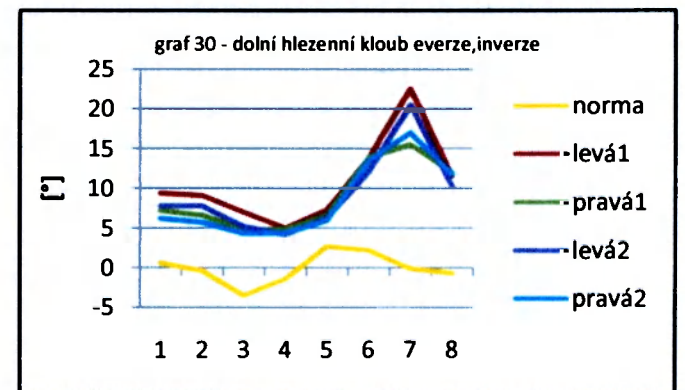
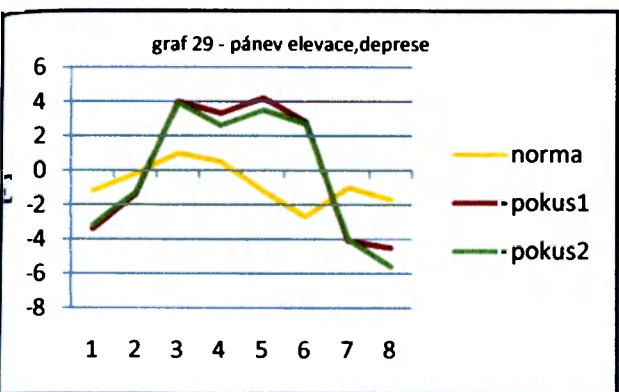
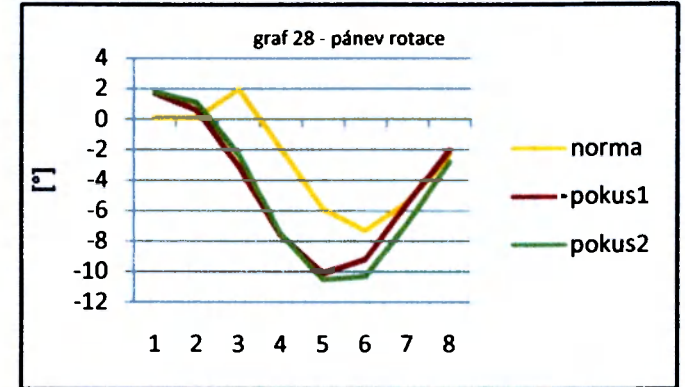
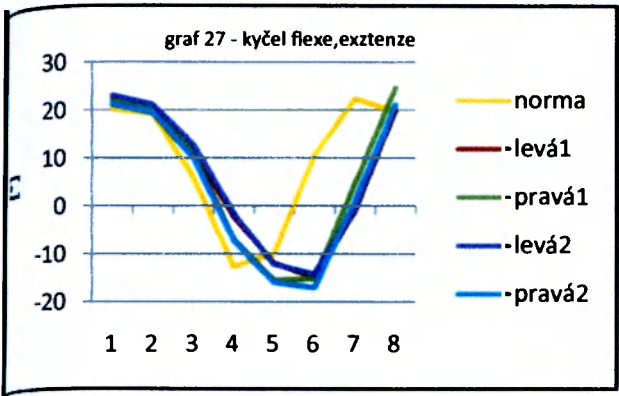
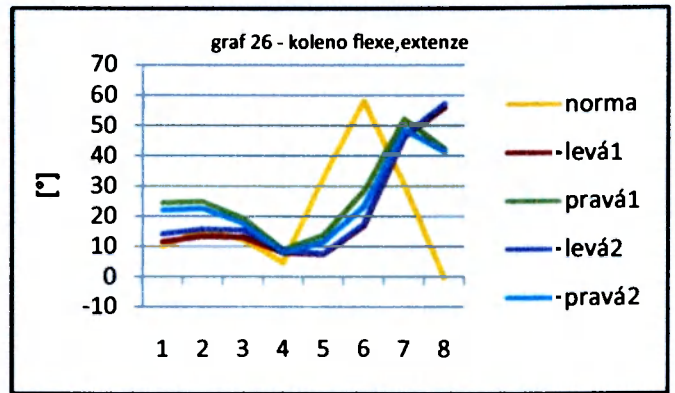
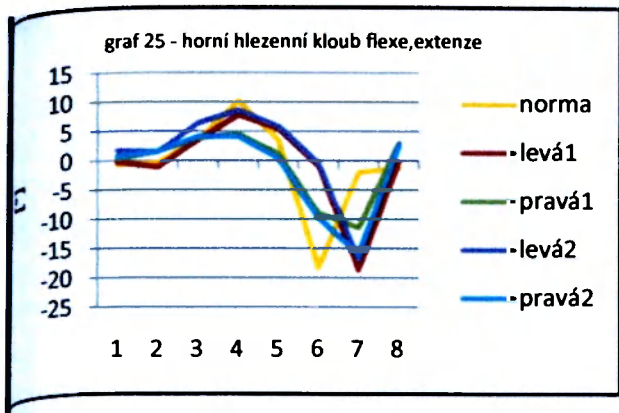
### 5.3.4 Proband č.4

tab.17		normal
cyklus	63	
širka kroku [cm]	9,48	
průměrná délka kroku[cm]	67,69	60-96
průměrná délka kroku vlevo [cm]	66,88	60-96
průměrná délka kroku vpravo [cm]	68,47	60-96
počet kroků/min.	90,41	108-120
rychlost [km/h]	3,68	
rychlost [m/s]	1,02	

Pokus č.2 – tab.18		normal
krokový cyklus	69	
širka kroku [cm]	9,58	
průměrná délka kroku[cm]	69,73	60-96
průměrná délka kroku vlevo [cm]	69,22	60-96
průměrná délka kroku vpravo [cm]	70,22	60-96
počet kroků/min.	86,91	108-120
rychlost [km/h]	3,62	
rychlost [m/s]	1,01	

tab.19	strana		1	2	3	4	5	6	7	8	max.	min.	rozdíl	
hlezenní kloub	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	-0,7	-0,4	3,5	10,2	3,5	-18,3	-2	-1,2	11,9	-19,8	31,7
		levá	pokus 1	0,2	-1,1	3,6	7,8	5,5	-0,8	-18,6	-0,2	7,8	18,6	26,4
		pravá	pokus 1	0,4	1,6	3,9	4,5	1,2	-8,9	-11,4	3	4,7	17,4	22,1
		levá2	pokus 2	1,7	1,5	6,4	8,6	5,9	-0,4	-16,8	2,7	8,9	-17,3	26,2
		pravá2	pokus2	0,7	1,6	4,1	4,1	0,5	-9,7	-15,9	2,4	4,3	-20,8	25,1
koleno	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	10	15,4	12,4	4,7	33	58,3	30,6	-0,3	58,3	-1,9	60,2
		levá	pokus 1	11,5	13,4	13,1	7,9	7,4	16,6	46,3	56	57,6	6,4	51,2
		pravá	pokus 1	24,5	24,9	19,4	9	13,9	28,3	52,3	42,4	53,2	8,8	44,5
		levá2	pokus 2	14,2	15,8	15,5	8,8	7,7	17,5	46,7	57,3	58,3	6,4	52
		pravá2	pokus2	22,1	22,6	17,7	8,1	11,6	23,3	48,7	41,5	50,5	7,8	42,7
kyčle	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	20,2	19,1	6	-12,6	-10	10,6	22,4	19,8	22,4	-14,8	37,2
		levá	pokus 1	22,3	20,7	12	-2,1	-11,9	-14,7	-1	20,1	24	14,7	38,7
		pravá	pokus 1	22,4	20,7	10,9	-6,9	-15,4	-15,1	4,7	24,7	27,7	16,8	44,5
		levá2	pokus 2	23,1	21,2	12,9	-1,6	-12,1	-14,2	-0,7	20,9	25,3	-14,3	39,6
		pravá2	pokus2	21,2	19,5	10	-7,2	-15,9	-17	1	21,1	24,2	-17,8	42
pánev	rotace	total	zadáno	0,1	0,1	2	-1,9	-5,9	-7,3	-5,4	-2,3	2,1	-7,5	9,6
		total	pokus1	1,7	0,6	-3,1	-7,6	-10,1	-9,2	-5,5	-2	2,2	-10,4	12,6
		total	pokus2	1,8	1,1	-2,3	-7,5	-10,5	-10,3	-6,8	-2,8	2,1	-11	13,1
pánev	elevace deprese	total	zadáno	-1,2	-0,2	1	0,5	-1,2	-2,7	-1	-1,7	2,1	-3,3	5,4
		total	pokus1	-3,4	-1,4	4	3,3	4,2	2,8	-4,1	-4,5	4,6	-6,3	10,8
		total	pokus2	-3,2	-1,3	3,9	2,6	3,5	2,7	4	-5,6	4	6,7	10,7
hlezenní kloub	everze inverze	levá/pravá	zadáno	0,6	-0,4	-3,5	-1,4	2,7	2,2	-0,1	-0,7	3,1	-3,6	6,8
		levá	pokus 1	9,4	9,1	7	5	7,3	13,8	22,6	11,6	23,6	4,8	18,9
		pravá	pokus 1	7,2	6,6	4,8	4,8	6,6	13,9	15,5	12	17,5	4,7	12,8
		levá2	pokus 2	7,8	7,8	5,2	4,2	6,3	12,1	20,5	10,3	21,6	3,8	17,8
		pravá2	pokus2	6,2	5,7	4,3	4,4	6	13,5	17	11,8	18,9	4,2	14,6
koleno	varus valgus	levá/pravá	zadáno	5,6	6,7	8,9	7,1	10,4	18,1	15,1	5,2	18,2	0	18,2
		levá	pokus 1	3	2,6	2,6	6,2	5,2	4,4	6,4	10,5	10,5	2,3	8,2
		pravá	pokus 1	5,2	4,8	4,9	5,2	5,4	7,1	14,7	14,5	15,8	4,5	11,3
		levá2	pokus 2	4,1	3,7	5	5,7	5,4	6,3	11,5	14,1	14,5	3,6	10,9
		pravá2	pokus2	4,9	4,5	4,2	4,9	5,1	6	13,5	13,4	14,5	4,1	10,5
kyčel	addukce abdukce	levá/pravá	zadáno	-0,1	0,5	5,8	5	2,6	-1	1,5	-0,2	5,8	-1,3	7,1
		levá	pokus 1	8,5	8,6	8,8	7,7	8,8	7,8	4,4	2,6	8,9	2,4	6,5
		pravá	pokus 1	8,5	8,9	9,4	9,6	9	6,7	1,6	1,7	9,7	1,1	8,6
		levá2	pokus 2	8	8	7,6	8,2	8,7	7	1,5	0	9,1	-0,3	9,5
		pravá2	pokus2	8,8	9	9,6	9,7	9,1	7,6	2,4	2,5	9,7	1,9	7,8
pozice chodidel	pozice chodidel	levá	pokus 1	35,7	37,6	21,5	12,3	9,7	8,1	3,3	8,7	37,7	3	34,6
		pravá	pokus 1	30,6	26,5	10,8	6,2	4,4	1,5	1,3	9,7	32,1	-0,2	32,4
		levá2	pokus 2	37,5	38,2	21,2	12	8,9	7,4	2,8	7,9	38,2	2,5	35,8
		pravá2	pokus2	29,8	25,6	11,4	6,1	3,9	0,9	0,3	11,2	31,2	-1,2	32,4





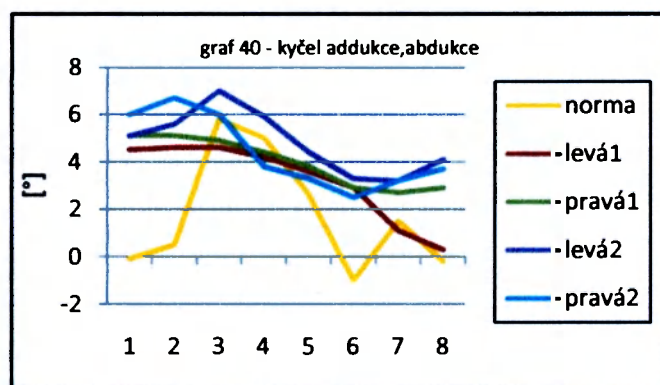
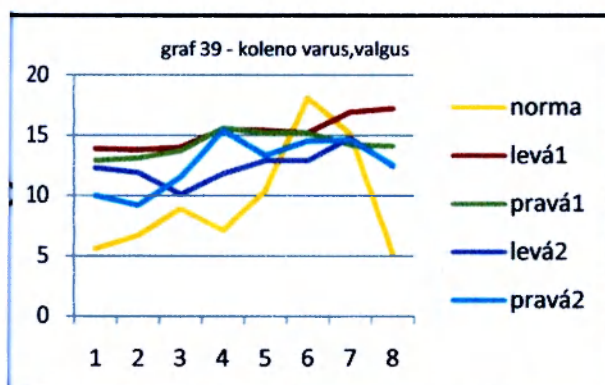
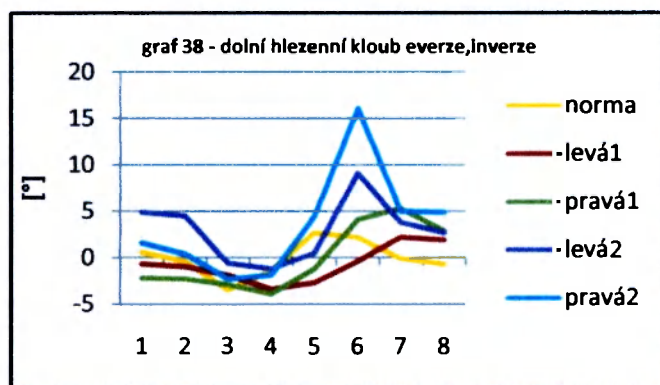
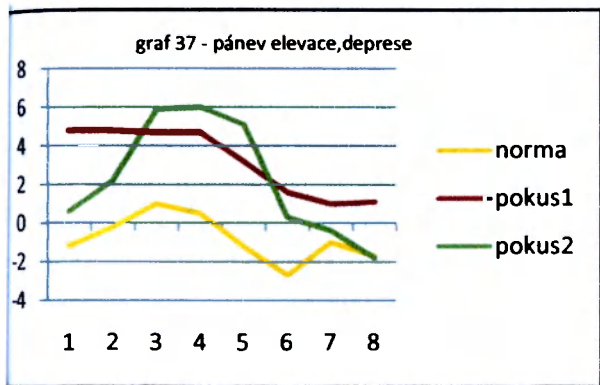
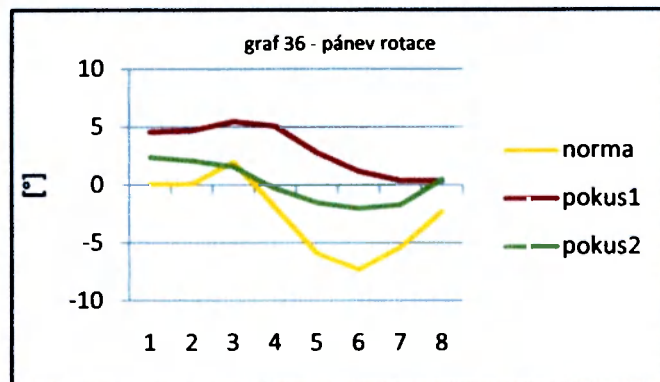
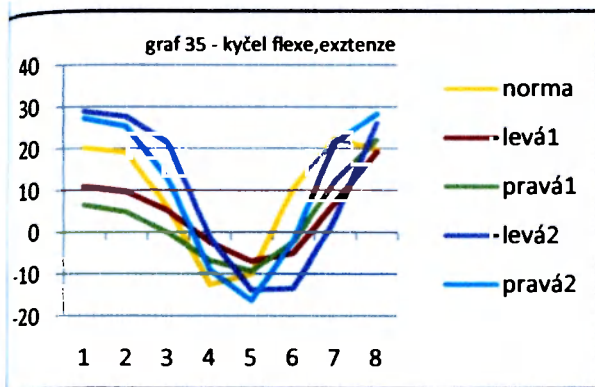
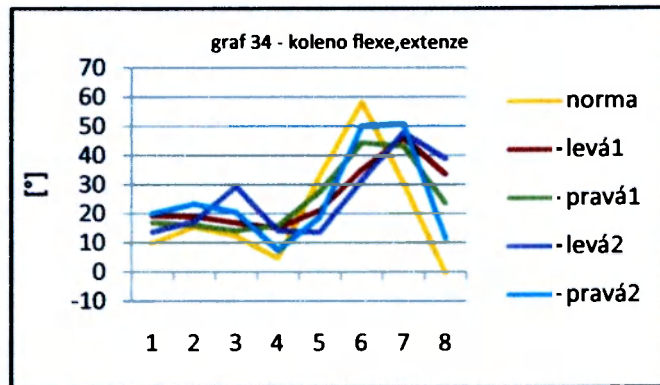
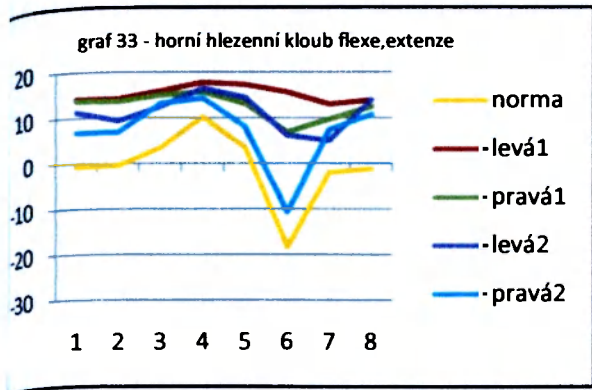
### 5.3.5 Proband č.5

č.1 – tab.20		normal
cyklus	63	
řeka kroku [cm]	7,53	
ěrná délka kroku[cm]	67,93	60-96
ěrná délka kroku vlevo [cm]	67,52	60-96
ěrná délka kroku vpravo [cm]	68,33	60-96
čet kroků/min.	90	108-120
ychlost [km/h]	3,67	
ychlost [m/s]	1,02	

Pokus č.2 – tab.21		normal
krokový cyklus	64	
řířka kroku [cm]	7,81	
řrněrná délka kroku[cm]	67,43	60-96
řrněrná délka kroku vlevo [cm]	66,5	60-96
řrněrná délka kroku vpravo [cm]	68,39	60-96
počet kroků/min.	91,65	108-120
ychlost [km/h]	3,71	
ychlost [m/s]	1,03	

tab.22		strana		1	2	3	4	5	6	7	8	max.	min.	rozdíl
hlezenní kloub	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	-0,7	-0,4	3,5	10,2	3,5	-18,3	-2	-1,2	11,9	-19,8	31,7
		levá	pokus 1	14,1	14,2	15,9	17,8	17,3	15,7	13	13,9	17,9	12,3	5,6
		pravá	pokus 1	13,7	13,6	15	15,7	13,1	6,9	9,7	12,5	15,9	5,3	10,6
		levá2	pokus 2	11,3	9,4	12,5	16,5	14,5	6,2	5	14	16,6	-4,1	20,6
		pravá2	pokus2	6,8	6,9	13,2	14,3	8,1	-10,7	7,4	10,8	14,7	-11,5	26,2
koleno	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	10	15,4	12,4	4,7	33	58,3	30,6	-0,3	58,3	-1,9	60,2
		levá	pokus 1	19,4	19,1	17	15,1	21,2	35,1	46,1	33,6	46,3	15	31,3
		pravá	pokus 1	17	16,1	14,2	15,9	27,5	44,4	43,2	23,6	47,8	13,9	33,9
		levá2	pokus 2	13,7	17,2	29,4	14,2	13,6	31,4	47,9	38,9	49,3	11,1	38,2
		pravá2	pokus2	20	23,3	20,6	7,5	18,8	49,9	50,7	11,7	58,3	6,1	52,3
kyčle	flexe extenze	levá/pravá	zadáno	20,2	19,1	6	-12,6	-10	10,6	22,4	19,8	22,4	-14,8	37,2
		levá	pokus 1	10,9	9,7	5,2	-2,4	-6,9	-5	7	19,2	21,7	-7,2	28,9
		pravá	pokus 1	6,5	4,9	-0,2	-6,8	-9,3	-2,3	12,2	22,1	23,5	-9,5	33
		levá2	pokus 2	28,9	27,7	21,5	-1,3	-13,8	-13,4	3,1	26	29,3	-15,4	44,7
		pravá2	pokus2	27,2	25,3	12,8	-9	-16,3	-2	21,4	28,3	28,4	-16,3	44,7
pánev	rotace	total	zadáno	0,1	0,1	2	-1,9	-5,9	-7,3	-5,4	-2,3	2,1	-7,5	9,6
		total	pokus1	4,6	4,7	5,5	5,1	2,8	1,2	0,4	0,4	5,6	0,3	5,2
		total	pokus2	2,4	2,1	1,6	-0,3	-1,5	-2	-1,7	0,5	2,5	-2	4,5
pánev	elevace deprese	total	zadáno	-1,2	-0,2	1	0,5	-1,2	-2,7	-1	-1,7	2,1	-3,3	5,4
		total	pokus1	4,8	4,8	4,7	4,7	3,2	1,6	1	1,1	4,9	0,8	4,1
		total	pokus2	0,6	2,2	5,9	6	5,1	0,3	-0,4	-1,8	6,5	-2,2	8,7
hlezenní kloub	everze inverze	levá/pravá	zadáno	0,6	-0,4	-3,5	-1,4	2,7	2,2	-0,1	-0,7	3,1	-3,6	6,8
		levá	pokus 1	-0,7	-1	-1,9	-3,4	-2,7	-0,4	2,2	1,9	2,6	-3,4	6
		pravá	pokus 1	-2,2	-2,3	-2,9	-3,9	-1,2	4,1	5,3	2,9	6,1	-4	10,1
		levá2	pokus 2	4,9	4,5	-0,6	-1,2	0,5	9,1	3,8	2,7	12,8	-1,3	14,1
		pravá2	pokus2	1,6	0,4	-2,3	-1,9	4,5	16,1	5	4,9	16,1	-2,7	18,8
koleno	varus valgus	levá/pravá	zadáno	5,6	6,7	8,9	7,1	10,4	18,1	15,1	5,2	18,2	0	18,2
		levá	pokus 1	13,9	13,8	14	15,5	15,4	15,2	16,9	17,2	17,3	13,7	3,6
		pravá	pokus 1	12,9	13,1	13,7	15,6	15,2	15,2	14,2	14,1	15,6	12,9	2,8
		levá2	pokus 2	12,3	11,9	10,1	11,8	12,9	12,9	14,8	12,4	14,9	10	4,9
		pravá2	pokus2	10	9,2	11,5	15,4	13,3	14,5	14,6	12,5	16,1	9,2	6,9
kyčel	addukce abdukce	levá/pravá	zadáno	-0,1	0,5	5,8	5	2,6	-1	1,5	-0,2	5,8	-1,3	7,1
		levá	pokus 1	4,5	4,6	4,6	4,2	3,6	2,9	1,1	0,3	4,7	0,3	4,4
		pravá	pokus 1	5,1	5,1	4,9	4,4	3,8	2,9	2,7	2,9	5,1	2,6	2,5
		levá2	pokus 2	5,1	5,6	7	5,9	4,4	3,3	3,2	4,1	7	3,2	3,8
		pravá2	pokus2	6	6,7	6	3,8	3,3	2,5	3,2	3,7	6,9	2,3	4,6
pozice chodidel	pozice chodidel	levá	pokus 1	20,9	19,9	15,8	11,2	5,6	4,4	7,6	20,3	23,9	4,1	19,8
		pravá	pokus 1	8,4	8,1	6,4	2	-1,2	1,6	9,4	26,7	28,8	-1,3	30,1
		levá2	pokus 2	37,6	30,4	16	11,5	3,3	1,8	0	21,4	37,6	-0,3	37,9
		pravá2	pokus2	15,3	11,6	8,6	4,7	-1,2	8	7,6	38,4	38,4	-1,6	40





## 5.4 Průběh měření

K tomuto měření bylo postupně přizváno 5 dobrovolníků. Ve všech případech se jednalo o muže téměř stejného věku. Všichni byli předem informováni o průběhu měření a se vším souhlasili.

Měření probíhalo na běhátku s nastavenou rychlostí 4 km/h a nastaveným 5° zvýšením plošiny. Probandé byli snímáni kamerou ze vzdálenosti 2,5 m. Bylo provedeno několik měření a z těch vybrány dva pokusy. Poté bylo nutné v softwaru manuálně vybrat krokový cyklus bez artefaktů, aby bylo možné s výsledky dále pracovat a potvrdit nebo vyvrátit na nich svoji hypotézu. Číselné hodnoty v tabulkách jsou uváděny ve stupních.

## 5.5 Technické vybavení

- Systém 3D infrakamer LUKOtronic – AS 200 na rozkládacím rameni s anténou pro WL přenos
- 3 kabely z celkem 10ti markery
- Externí baterie se 3mi vstupy/výstupy (RJ11)
- USB kabel pro připojení k PC
- Notebook se sowlfarovým vybavením
- Software Gaitlab
- Běhátka

## 5.6 Umístění markerů

Oboustranně na :

- Trochanter major
- Epycondylus lateralis femori
- 3mm distálně a 8mmventrálně od malleolus lateralis
- Tuber calcanei
- SIPS



## 5.7 Výsledky měření

Při analýze chůze z výsledných grafů a tabulek jsme se zaměřil na pohyby v sagitální a frontální rovině v kyčelním, kolenním a hlezenním kloubu,

### 5.7.1 Proband č.1

V rovině sagitální probíhá během celé fáze krokového cyklu (dále KC) v hlezenním kloubu větší flexe na obou DK, kdy na pravé DK je ještě výraznější. Flexe zde přetrvává v průběhu celého pohybu, ani v jedné z fází KC zde není extenze. V kolenním kloubu je nejvýraznější flexe v KC posunuta z fáze IS do MS. V kyčelním kloubu je patrný opět mírný posun, tentokrát v pohybu do extenze, ke kterému dochází až ve fázi PS, namísto TS.

V rovině frontální je vidět výraznější inverze v hlezenním kloubu na PDK. V kloubu kolenním je výraznější varozita. Kloub kyčelní téměř kopíruje přednastavený vzor. (viz tab. 10)

### 5.7.2 Proband č.2

Zde je v sagitální rovině v hlezenním kloubu větší extenze než flexe, výraznější je pak na PDK. V kolenním kloubu je patrný opět posun nejvyšší flexe z fáze IS do MS. V kyčelním kloubu je na obou končetinách posunutá nejvýraznější extenze z TS do PS oproti vzoru. LDK je v celém pohybu více extendovaná.

Ve frontální rovině převažuje everzní postavení v hlezenním kloubu. Na LDK je výraznější. Současně převládá valgózní postavení v kolenním kloubu opět více na LDK. V kyčli převládá abdukce nad addukcí. (viz tab.13)

### 5.7.3 Proband č.3

V sagitální rovině je v hlezenním kloubu větší pohyb do extenze v průběhu KC z výraznější extenzí na PDK. V kolenním kloubu je patrný opět posun nejvyšší flexe z fáze IS do MS. Stejně jako u předchozích dvou probandů je zde v kyčelním kloubu extenze posunutá z fáze TS do PS. LDK je na začátku pohybu více flektovaná než PDK.

V rovině frontální je everzní postavení v hlezenním kloubu, zvýrazněné na PDK. V kolenním kloubu jsou hodnoty podobné přednastavenému vzoru je zde vidět posun varozity z fáze IS do MS. V kyčelním kloubu jsou větší rozsahy pohybu do addukce. (viz tab.16)

#### **5.7.4 Proband č.4**

V sagitální rovině je vidět posun maximální extenze z fáze IS do fáze MS KC na LDK. V kolenním kloubu je posun maximální flexe až do poslední fáze KC.I u tohoto probanda se objevuje v kyčelním kloubu posun maximální extenze z fáze TS do PS.

V rovině frontální převládá everzní postavení v hlezenním kloubu. V kolenním kloubu je mírně valgoznější postavení na LDK. V kyčelních kloubech převládá addukce. (viz tab.19)

#### **5.7.5 Proband č.5**

V sagitální rovině je výraznější flexe v hlazením kloubu. V kolenním kloubu je zde opět posun maximální flexe z fáze IS do MS. Kyčelní kloub byl na začátku pohybu v prvním pokusu méně flektován. U druhého pokusu došlo k výraznějším pohybům do flexe i extenze.

Ve frontální rovině bylo v hlezenním kloubu výraznější everzní postavení ve druhém pokusu. Více varózní postavení v kolenním kloubu. V kyčelním kloubu tak velké rozdíly oproti vzoru nejsou. (viz tab.22)

#### **5.7.6 Závěr**

U všech probandů se v rovině sagitální vyskytuje maximální flexe v kolenním kloubu až ve fázi MS. V kyčelním kloubu se u prvních čtyř probandů vyskytuje maximální extenze až ve fázi PS. Ve frontální rovině u probandů 2,3,4,5 převládá everzní postavení v hlezenním kloubu. Varozita v kolenním kloubu je u probandů 1 a 5. U probandů 2 a 4 je zase kolenní kloub spíše ve valgózním postavení.

## 6. Diskuse

3D videografická metoda je zatím na naší klinice poměrně krátkou dobu. Proto jsme se z počátku nevyvarovali drobných chyb, které se nám nakonec podařilo odstranit. Jako každá metoda má svá pro a proti. Tato metoda je rychlejší než například EMG, je to metoda neinvazivní a její výsledky nejsou zkresleny subjektivním pohledem. Nevýhody vidím v nutnosti manuální úpravy krokového cyklu v softwaru, jelikož program nebyl schopen sám data zpracovat. Další nevýhodou je i posun markerů, ke kterému může dojít z důvodu posunlivosti měkkých tkání. V našem případě byl i problém v nedostatečném vybavení. Měli jsme k dispozici pouze markery na DK. Analýza chůze pouze ze znalosti výsledků na DK není tak zcela plnohodnotná, jako by byla z markerů i pro trup a HK.

Výsledky, které jsme měřením získali, jsou u všech probandů mírně odlišné od naprogramovaného vzoru v softwaru, se kterým jsme pracovali. Ukazuje to tedy na nějakou patologii? Podle mého názoru jsou tyto odlišnosti pořád dosti mírné na to, aby se o patologii dalo mluvit. Navíc všichni z měřených jsou vesměs zdraví jedinci, kteří za sebou nemají žádné výraznější operace, které by se mohli na jejich chůzi nějak projevit. Posun maximální flexe v kolenním kloubu by se podle mého názoru dal vysvětlit zvýšením běhátka.

Závěry mohou být navíc zkresleny několika vlivy, které měření ovlivnily. Posun markerů jsem již zmiňoval, dále nelze opomenout ani vliv psychický. Přílišné soustředění určité velké přirozenosti chůze nesvědčilo. Hypotéza, kterou jsme se pokoušeli ověřit, se zcela nepotvrdila, i když varozita v kolenním kloubu u probandů 1 a 5 bývá typická u tohoto typu sportovců, tedy fotbalistů. U probanda č. 3 jsme tuto varozitu nezpozorovali navzdory tomu, že fotbalu se věnuje také. Předpoklad, že u jedinců, kteří se dlouhodobě aktivně věnují nějakému sportu bude ve výsledcích patrná nějaká deformace se nepotvrdil. Na druhou stranu jsem si vědom toho, že vzorek zkoumaných jedinců nebyl početný, což mělo zásadní vliv na potvrzení či vyvrácení hypotézy. Určité zklamání z takto nepotvrzené hypotézy nám na druhou stranu vyrovnává vědomí, že stále platí „Sportem ku zdraví“.

## Použitá literatura

1. Grim, M. – Druga, R. et al. *Základy anatomie, 1. obecná anatomie a pohybový systém*, Praha: Galén, 2001, 159 s., ISBN 80-7262-112-2
2. *Anatomie/kostra a spoje dolní končetiny/nožní klenba* [online] .2009, Patobiomechanika a patokinesiologie - kompendium , [cit.2009-03-03] Dostupné z WWW :  
<[http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/anatomie/dk\\_klenba.php](http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/anatomie/dk_klenba.php)>
3. *GaitLab* [online] 2008, The walking clinic,pc, [cit.2009-07-03] Dostupné z WWW : <<http://www.thewalkingclinic.com/gaitlab-2.htm>>
4. Véle,F. *Kineziologie, Přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*, Praha:Triton,2006, 375s., ISBN 80-7254-837-9
5. Miloslav Kukleta, Alexandra Šulcová. *Texty k přednáškám z neurověd II.* [online]. 2007, poslední revize 2.2.2009 [cit. 2009-02-02] dostupné z WWW:  
<<http://www.instrumentarky.cz/si/detail-studijniho-materialu-texty-k-prednaskam-z-neuroved-ii-cast.html-168->>
6. Hoppenfeld, S. *Physical examination of the spine & extremities*, New York: Appleton-Century-Crofts,1976 , ISBN 08-3857-853-5
7. Janura, M. a kol. *Application of a 3D videography in the analysis of gait - basic information.* Acta Universitatis Palackanae Gymnica, 28., 1998
8. Dungl, P. *Ortopedie a traumatologie nohy*, Praha: Avicenum, 1989, 288 s
9. Janura, M.,Zahálka F. *Kinematická analýza pohybu člověka.* Olomouc:Univerzita Palackého, 2004
10. Zatsiorsky, V., Seluyanov, V. *The mass and interia characteristics of the main segments of the human body* [online]. 1983, Moskva: Central institute of physical culture [cit.2009-12-03]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.scribd.com/doc/2528278/Zatsiorskv-and-Seluyanov-1983>>
11. Christopher L Vaughan, Brian L Davis, Jeremy C O'Connor *Dynamics of Human Gait*, Kiboho Publishers, 1999, ISBN 0620235608

## Seznamy

### Seznam zkratek

art.	articulatio
lig.	ligamentum
m.	musculus
mm.	musculi
HK	horní končetina
DK	dolní končetina
SIPS	spina iliaca posterior superior
KC	krokový cyklus
IS	initial swing
MS	midswing
PS	preswing
TS	terminal stance

### Seznam obrázků

obr.1 Marker

obr.2 Umístění markeru

obr.3 Kinogram pohybu sestavený z vybraných poloh sledované pohybové činnosti

obr.4 Kinogram pohybu (stick figure) získaný analýzou videozáznamu

obr.5 Kinogram pohybu (stick figure) získaný analýzou videozáznamu

obr.6 Krokový cyklus

## **Seznam tabulek**

tab.1 Přední skupina bérce

tab.2 Laterální skupina bérce

tab.3 Zadní skupina svalů bérce

tab.4 Dorzální skupina svalů nohy

tab.5 Interoseální skupina svalů nohy

tab.6 Svaly v plantě

tab.7 Charakteristika probandů

tab.8 Proband č.1

tab.9 Proband č.1

tab.10 Proband č.1

tab.11 Proband č.2

tab.12 Proband č.2

tab.13 Proband č.2

tab.14 Proband č.3

tab.15 Proband č.3

tab.16 Proband č.3

tab.17 Proband č.4

tab.18 Proband č.4

tab.19 Proband č.4

tab.20 Proband č.5

tab.21 Proband č.5

tab.22 Proband č.5

## **Seznam grafů**

- graf 1 - hlezenní kloub flexe,extenze – Proband č.1
- graf 2 - koleno flexe,extenze – Proband č.1
- graf 3 - kyčel flexe,exztenze – Proband č.1
- graf 4 - pánev rotace – Proband č.1
- graf 5 - pánev elevace,deprese – Proband č.1
- graf 6 - hlezenní kloub everze,inverze – Proband č.1
- graf 7 - koleno varus,valgus – Proband č.1
- graf 8 - kyčel addukce,abdukce– Proband č.1
- graf 9 - hlezenní kloub flexe,extenze – Proband č.2
- graf 10 - koleno flexe,extenze – Proband č.2
- graf 11 - kyčel flexe,exztenze – Proband č.2
- graf 12 - pánev rotace – Proband č.2
- graf 13 - pánev elevace,deprese – Proband č.2
- graf 14 - hlezenní kloub everze,inverze – Proband č.2
- graf 15 - koleno varus,valgus – Proband č.2
- graf 16 - kyčel addukce,abdukce– Proband č.2
- graf 17 - hlezenní kloub flexe,extenze – Proband č.3
- graf 18 - koleno flexe,extenze – Proband č.3
- graf 19 - kyčel flexe,exztenze – Proband č.3
- graf 20 - pánev rotace – Proband č.3
- graf 21 - pánev elevace,deprese – Proband č.3
- graf 22 - hlezenní kloub everze,inverze – Proband č.3
- graf 23 - koleno varus,valgus – Proband č.3
- graf 24 - kyčel addukce,abdukce– Proband č.3
- graf 25 - hlezenní kloub flexe,extenze – Proband č.4

- graf 26 - koleno flexe,extenze – Proband č.4
- graf 27 - kyčel flexe,exztenze – Proband č.4
- graf 28 - pánev rotace – Proband č.4
- graf 29 - pánev elevace,deprese – Proband č.4
- graf 30 - hlezenní kloub everze,inverze – Proband č.4
- graf 31 - koleno varus,valgus – Proband č.4
- graf 32 - kyčel addukce,abdukce– Proband č.4
- graf 33 - hlezenní kloub flexe,extenze – Proband č.5
- graf 34 - koleno flexe,extenze – Proband č.5
- graf 35 - kyčel flexe,exztenze – Proband č.5
- graf 36 - pánev rotace – Proband č.5
- graf 37 - pánev elevace,deprese – Proband č.5
- graf 38 - hlezenní kloub everze,inverze – Proband č.5
- graf 39 - koleno varus,valgus – Proband č.5
- graf 40 - kyčel addukce,abdukce– Proband č.5

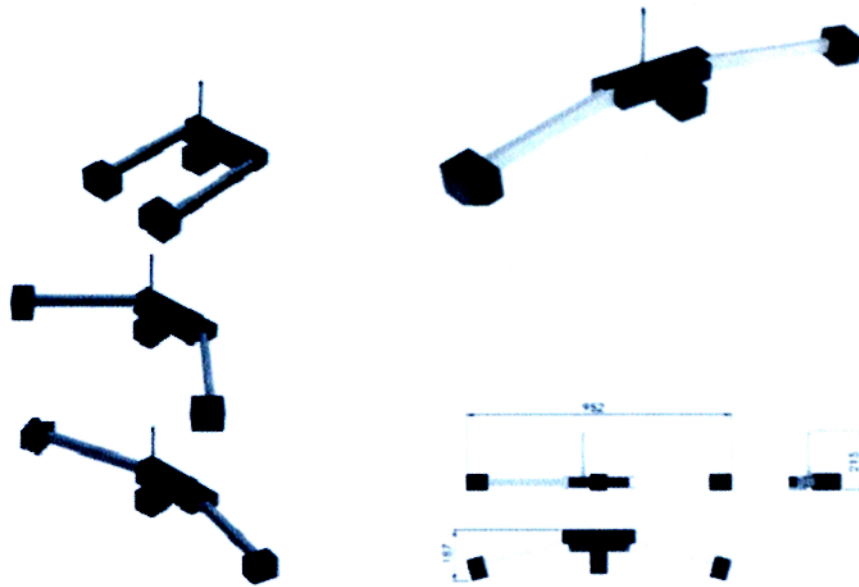


## **PŘÍLOHY**

**Příloha 1.– obrázky**

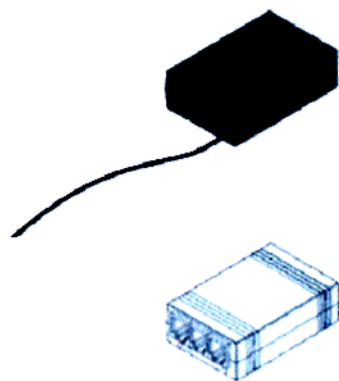
**Příloha 2.- ukázka ze softwaru GaitLab**

## Příloha 1



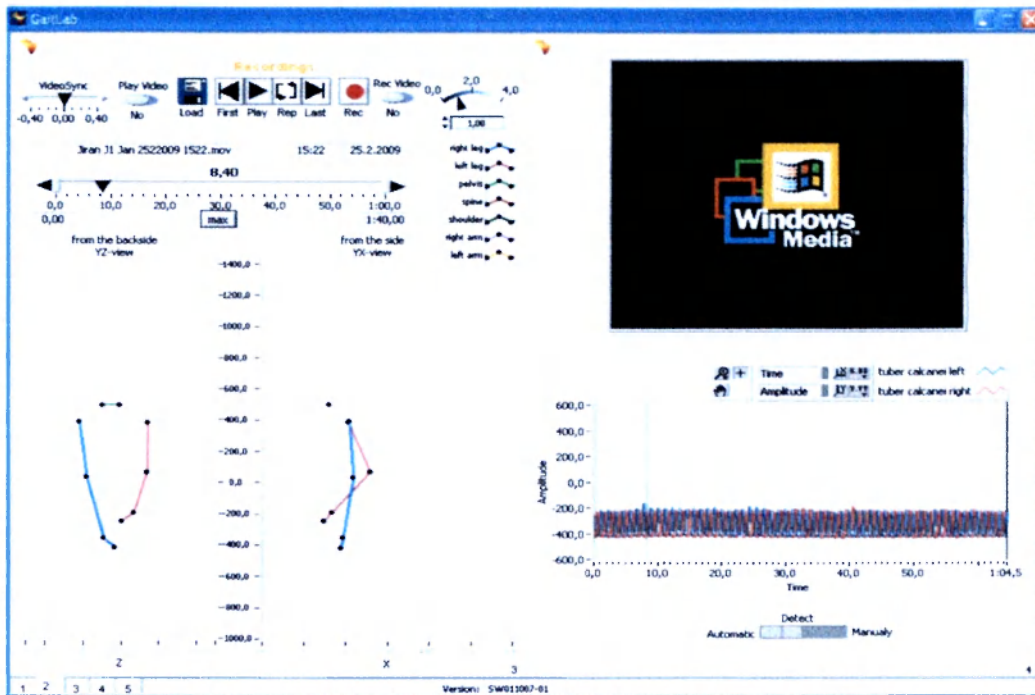
obr.1 - Ohebná ramena kamery AS200

obr.2 - Kamera AS200

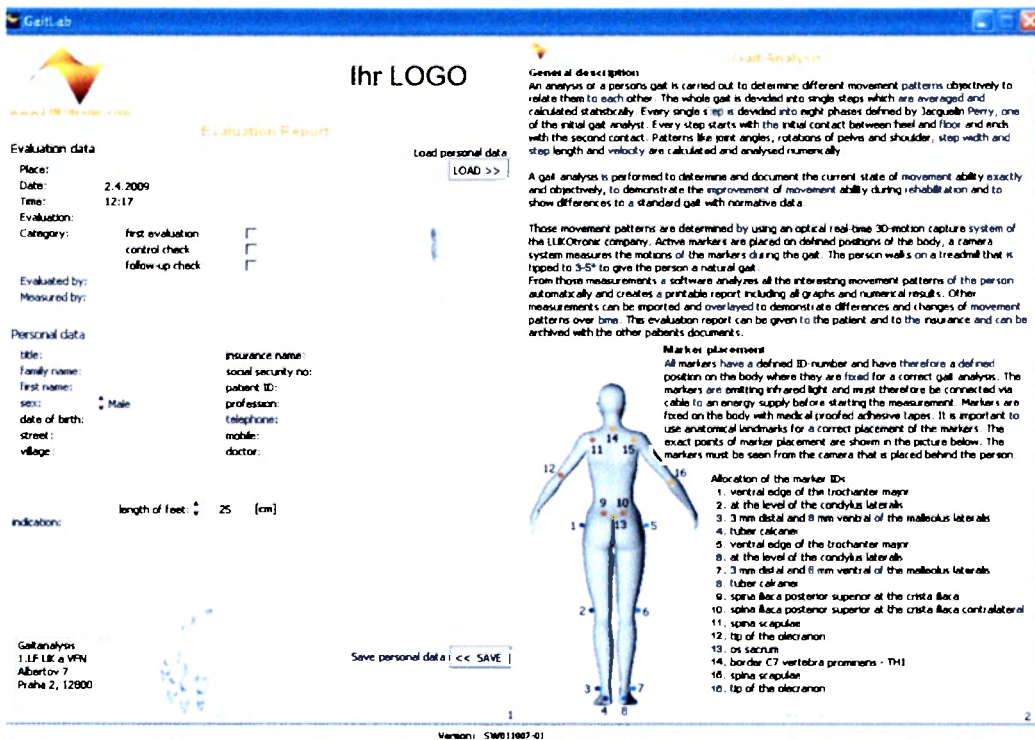


obr.3 – Externí baterie se 3mi vstupy/výstupy (RJ11)

## Příloha 2.



Obr.4 - ukázka ze softwaru GaitLab



Obr.5 - Software GaitLab - umístění markerů