

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

MOŽNOSTI VYUŽITÍ ANALÝZY ZÁZNAMU CHŮZE PRO IDENTIFIKACI OSOB V
KRIMINALISTICE

Diplomová práce

(bakalářská)

Autor: Jan Foldyna

Vedoucí práce: Mgr. Zdeněk Svoboda, PhD.

Obor: Tělesná výchova – Biologie

Olomouc 2013

Jméno a příjmení autora: Jan Foldyna

Název diplomové práce: Možnosti využití analýzy záznamu chůze pro identifikaci osob v kriminalistice

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Zdeněk Svoboda, PhD.

Rok obhajoby diplomové práce: 2013

Abstrakt: V kriminalistice je využívána metoda identifikace osob dle dynamického stereotypu chůze. Teoretická část práce se zabývá popisem kriminalistické vědy - forenzní biomechanikou, dále možnostmi identifikace osob v kriminalistice a popisem krokového cyklu během chůze. Cílem této práce je porovnat odchylky časových a úhlových parametrů krokového cyklu vybraných bodů na těle mezi kinematografickou (videografickou) vyšetřovací metodou a 3D kinematickou analýzou chůze pomocí systému Vicon MX. Zkoumaná osoba byl student Fakulty tělesné kultury ve věku 23 let.

Klíčová slova: chůze, kinematika, forenzní biomechanika, identita, dynamický stereotyp

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Jan Foldyna

Title of the master thesis: Possibilities of gait analysis for identification of persons in criminalistics

Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology

Supervisor: Mgr. Zdeněk Svoboda, PhD.

The year of presentation: 2013

Abstract: In criminalistics a special method is used to identify a person by his dynamic walking stereotype. The theoretical part of the thesis deals with the description of forensic science - forensic biomechanics, it also deals with possibilities of person identifications and description of the gait cycle. The purpose of the study is to compare the tempo and angular deviations of selected body parts during the gait cycle between the cinematographic (videographic) testing method and 3D kinematic gait analysis using the Vicon MX system. The investigated person was a student of the Faculty of Physical Culture at the age of 23.

Keywords: gait, kinematics, forensic biomechanics, identity, dynamic stereotype

I agree that the thesis may be made available for inter-library lending.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Zdeňka Svobody, PhD., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne

Rád bych poděkoval všem, kteří přispěli ke vzniku této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Zdeňkovi Svobodovi, PhD. za odbornou pomoc, vstřícnost, trpělivost, věnovaný čas a cenné rady které mi poskytl při vytváření a zpracování práce.

OBSAH

1. ÚVOD	8
2. SYNTÉZA POZNATKŮ.....	9
2.1 Forenzní biomechanika.....	9
2.1.1 Historie forenzní biomechaniky.....	9
2.1.2 Vymezení pojmu forenzní biomechanika.....	11
2.1.3 Aplikace forenzní biomechaniky.....	11
2.1.4 Biometrie a identifikace osob.....	13
2.1.4.1 Identita a identifikace.....	13
2.1.4.2 Biometrie.....	15
2.2 Chůze a krokový cyklus.....	18
2.2.1 Chůze a její mechanismy.....	19
2.2.2 Krokový cyklus.....	19
2.2.3 Parametry krokového cyklu.....	23
2.2.4 Pohyb trajektorie těžiště.....	24
2.2.5 Změny úhlů v kloubech dolních končetin při chůzi.....	25
2.3 Chůze jako dynamický stereotyp.....	27
2.3.1 Dynamický stereotyp, funkční pohybové návyky.....	27
2.3.2 Identifikace osob podle funkčních a dynamických pohybových návyků.....	29
2.3.3 Podmínky identifikace osob dle dynamického stereotypu chůze.....	30
2.3.4 Faktory variability chůze.....	30
2.3.5 Kinematická analýza chůze.....	32
3 CÍLE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY.....	35
3.1 Cíle.....	35
3.2 Výzkumné otázky.....	35
4 METODIKA.....	36
4.1 Charakteristika testované osoby.....	36
4.2 3D kinematická analýza chůze.....	36
4.2.1 Technické zařízení.....	36
4.2.2 Průběh měření.....	36
4.3 Videografická vyšetřovací metoda.....	37
4.3.1 Technické zařízení.....	37
4.3.2 Průběh měření.....	37

4.4 Zpracování dat.....	38
5 VÝSLEDKY A DISKUZE.....	41
5.1 Výzkumná otázka 1.....	41
5.2 Výzkumná otázka 2.....	48
5.3 Diskuze.....	51
6 ZÁVĚR.....	54
7 SOUHRN.....	55
8 SUMMARY.....	56
9 REFERENČNÍ SEZNAM.....	57
10 SEZNAM ZKRATEK.....	60
11 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	61
12 SEZNAM GRAFŮ.....	62

1 ÚVOD

Chůze je základní lokomoční pohyb člověka využívaný v každodenním životě. Chůze nám umožňuje přesun z místa na místo, je variabilní a zároveň velice specifická pro každého člověka. Odborně se tento poznatek označuje jako dynamický stereotyp chůze. Předpokládá se, že od určitého věku, je pro každého člověka stereotyp chůze již neměnný a ovlivněn může být pouze patologickými změnami, úrazy apod.

Variabilita a vysoká specifická chůze nám dává možnost využít tento poznatek v mnoha vědeckých odvětvích. Jedním z odvětví, které se zabývá stereotypem chůze je kriminalistická věda – forenzní biomechanika. V souvislosti se zdokonalováním zločinů ze strany pachatelů, se kriminalistika musí stále přizpůsobovat sofistikovanějším a propracovanějším metodám pachatelů trestných činů. S rozvojem možností dokonalejší techniky se nabízí širší spektrum možností jak dopadnout pachatele.

Identita pachatele trestné činnosti je nezbytnou podmínkou pro odhalení a usvědčení, proto většina pachatelů se snaží především o to, aby jejich identita nebyla odhalena. Identita člověka je stejně jako chůze vysoce specifická a individuální. Tohoto předpokladu se využívá ve forenzní biomechanice. V kriminalistice bývá nejběžnějším způsobem pro ověření nebo získání identity identifikace na základě otisků prstů, stop chůze, DNA, biometrických parametrů např. tváře apod. Relativně novou a perspektivní metodou identifikace osob je určení identity pomocí dynamického stereotypu chůze.

Kriminalistická metoda založena na základě zkoumání dynamického stereotypu pachatele je využitelná pouze za situace, kdy je pořízen videozáznam (např. průmyslovou kamerou) z místa činu s dostatečným rozlišením a pachatel je na něm zaznamenán aspoň jedním dvojkrokem.

Máme-li pořízený videozáznam, který splňuje všechna kritéria, pak pro identifikaci osoby se porovnává videozáznam s laboratorním měřením kinematických parametrů chůze zkoumané osoby stejně jako se porovnávají otisky prstů nebo DNA.

Tato diplomová práce se zabývá popisem základních principů vědy forenzní biomechanika, chůzí, krokovým cyklem a dynamickým stereotypem chůze člověka. Zaměřuje se na to, jak vysoká může být odchylka v měření při porovnávání mezi pořízeným videozáznamem chůze z videokamery a laboratorním měřením chůze.

2 SYNTÉZA POZNATKŮ

2.1 Forezní biomechanika

Biomechanika je definována jako interdisciplinární věda, která se zabývá především studiem mechanických struktur, mechanického chování živých systémů a jejich interakcí s okolím (Straus, 2001). Využití biomechaniky v kriminalistice je závislé na druhu stopy trestného činu a také na tom, zda má stopa biomechanický obsah (Straus & Vavera, 2005).

Každá věda je determinována určitým druhem zkoumání zákonitostí objektivního světa. Forezní biomechanika patří do skupiny kriminalistických věd, souvisí s trestnou činností a její prevencí.

2.1.1 Historie biomechaniky

Aplikace biomechanických poznatků v kriminalistice se začíná v kriminalistice objevovat až na konci padesátých let minulého století. V následujících třiceti letech začíná biomechanika nabývat většího významu.

První vědecky podložené metody identifikace osob založil Alfons Bertillon v roce 1879 podle 11 vnějších, přesně měřitelných znaků. Jednalo se o měření výšky těla ve stoje, výšky těla v sedě, rozpětí paží, délky hlavy, šířky hlavy, délky pravého ucha, šířky pravého ucha, délky prostředníku levé ruky, délky prsteníku levé ruky, délky předloktí levé ruky a délky levého chodidla (Straus et al., 2003). Nicméně tato metoda předpokládala, že zločinec byl již před trestným činem v těchto znacích změřen a byl již zaveden v jakési databázi.

Bertillonovo způsob identifikace však neměl dlouhého trvání. V roce 1903 byla u nás poprvé zavedena klasická metoda identifikace osob na základě daktyloskopie a zcela tak vytlačila tzv. „Bertillonáž“ (Straus, 2001).

Začátkem sedmdesátých let byly publikovány práce, které odůvodňovaly závislost tělesné výšky osoby na rozměrech stopy obuvi a chodidla. V sedmdesátých letech byl výzkum zaměřen převážně na oblast aplikace biomechaniky v kriminalistice, a to zejména díky Viktoru Poradovi a Vladimíru Karasovi (Valenta, Porada & Straus, 2003). Dále se rozvíjí metody analýzy trasologických stop (Straus, 2001). V této době, spíše na teoretické úrovni, vznikaly na katedře anatomie, biomechaniky a antropomotoriky FTVS UK v Praze, první vize o využití biomechaniky v kriminalistice. Na tomto rozvoji se podílel tým pod vedením profesora Karase.

V osmdesátých letech se rozvíjí a aplikuje zejména kriminalistická biomechanika v oboru trasologie a ručního písma (Straus, 2001). Trasologie je zaměřena na stopy bipedální lokomoce pachatele, např. stopy obuvi (Straus & Vavera, 2005).

Největší pozornost je stále věnována až dodnes v kriminalistice trasologii. Porada a Karas zpracovali denzimetrii planigramu bosé nohy a její číslicové zpracování. Straus uvedl závislost vztahu mezi tělesnou výškou osoby a délkou kroku, délkou dvojkroku a rozměry obuvi (Straus, 2001).

V devadesátých letech je v kriminalistice stále více používán termín forenzní biomechanika a tento obor se začíná rozvíjet i na katedře kriminalistiky Policejní akademie ČR v Praze.

Profesor Porada byl blízký spolupracovník Karase a položil základní směr myšlenek biomechaniky a její aplikace v kriminalistice (Straus, 2001).

Na základě literárních poznatků bych rozdělil historický vývoj forenzní biomechaniky u nás na tyto hlavní etapy:

1. etapa: (1879 – 1904) Bertilloneho způsob identifikace

Období identifikace osob dle 11 přesně měřitelných znaků. Tento způsob předpokládal značnou nevýhodu v nutnosti znalosti těchto tělesných parametrů zločince. Zločinec musel být zaveden již v jakési databázi, nicméně se jednalo o první vědecky verifikovanou metodu identifikace osob v kriminalistice.

2. etapa: (1904 – 1970) Období daktyloskopie

Daktyloskopie je přesný a neomylný způsob identifikace na základě shody otisků prstů pachatele. Otisk prstů je jedinečný znak pro každého člověka, je to jednoznačný způsob identifikace. Daktyloskopie v identifikaci osob zcela nahradila Bertilloneho způsob.

3. etapa: (1970 – 1980) Období studie využití forenzní biomechaniky v kriminalistice

V sedmdesátých letech minulého století se vyvíjela především studie trasologie a trasologických stop. Dále byl v tomto období předmětem zájmu výzkum, založen na predikci tělesné výšky na základě stop obuvi či chodidla, jež úzce souvisí s trasologií.

4. etapa: (1980 – 1990) Aplikace biomechaniky v kriminalistice

Období zabývající se především identifikace osob pomocí trasologie a stop ručního písma.

5. etapa: (1990 – současnost) Vznik vědy forenzní biomechanika a její plné využití

2.1.2 Vymezení pojmu forenzní biomechanika

Podle Strause (2001) je trestná činnost reálnou skutečností, tzn., že se buď stala nebo nestala. Trestný čin se odráží v konkrétním prostředí a trestná činnost probíhá podle určitých zákonitostí. Projeví se pak ve vědomí lidí nebo v materiálním prostředí. Tím je způsobena možnost objektivního dokázání trestné činnosti.

Snaha o zdokonalování zločinů ze strany pachatelů je prováděna za využití co možná nejdokonalejších prostředků, které ztěžují odhalování trestných činů a pátrání po pachateli. Nevýhodou pro kriminalistiku je, že se vždy musí přizpůsobovat stále dokonalejším, sofistikovanějším metodám pachatelů trestných činů a kriminalisté tak budou vždy tzv. o krok za pachateli trestných činů.

K rozvoji kriminalistiky přispívají stále více technicky propracovanější systémy, objevují se nové vědní disciplíny. Svým obsahem a předmětem výzkumu se snaží pokrýt nedostatky při objasňování trestné činnosti. Jednou z nich je z hlediska kriminalistiky, nejmladší věda – forenzní biomechanika (Straus, 2001).

Definice pojmu forenzní biomechanika

Forenzní biomechanika je vědní obor, který aplikuje biomechaniku a biomechanické metody na zkoumání kriminalistických stop s biomechanickým obsahem a dekodování informace z kriminalisticky relevantní události, která vznikla v důsledku pohybové činnosti člověka a která souvisí s vyšetřovanou událostí. Forenzní biomechanika zkoumá a objasňuje ten okruh kriminalistických stop, které mají v sobě obsažen biomechanický obsah, tedy uvedené aplikace podávají informaci o svalově-kosterním aparátu pachatele nebo jeho pohybovém chování (Straus 2001, 17).

Forenzní biomechanika svým předmětem zkoumání stojí na společném průniku kriminalistiky a biomechaniky. Zkoumá pohybový systém člověka, chování osob, které zanechaly na místě činu kriminalistické stopy s biomechanickým obsahem (Straus, 2001).

2.1.3 Aplikace forenzní biomechaniky

Podle Strause (2001) z vymezeného pojmu vyplývá, že forenzní mechanika aplikuje biomechaniku na dva důležité směry zkoumání:

- 1) kriminalistické stopy s biomechanickým obsahem,
- 2) změny, které vznikly v důsledku mechanické interakce systému „člověk-okolí“.

Z hlediska praktické aplikace forenzní biomechaniky lze rozdělit směry zkoumání, které se principiálně od sebe liší v obsahu vědeckého a gnozeologického přístupu (Straus & Vavera, 2005; Valenta et al., 2003):

Biomechanický obsah trasologický stop. Tento směr je studován a rozvíjen nejintenzivněji, protože trasologické stopy obuvi a lokomoce člověka se vyskytují na místě činu v 95,5 %. Trasologické stopy jsou také velmi prakticky využitelné pro dekódování informace. Studium trasologických stop se zaměřuje nejdříve na geometrické znaky, pak na kinematické znaky a nakonec na znaky dynamické.

Biomechanický obsah stop ručního písma. Individuálnost písemného projevu z grafického hlediska je prokazatelná. Většina biomechanických znaků stop ručního písma má ale kvalitativní charakter (např. fyziologické a psychologické aspekty), takže kvantifikace biomechanických znaků je tedy značně obtížná.

Mechanické extrémní dynamické zatěžování organismu. Jedná se o rázové situace, např. úderem pěstí, kladivem či jiným tupým předmětem směřovaným většinou na hlavu. V těchto biomechanických analýzách se jedná o posouzení, jak velká síla by způsobila nevratná smrtelná zranění, při jakých silách praská lebka apod. Relativně novým předmětem zkoumání „syndromu třeseného dítěte“, kdy může dojít k poškození mozku dítěte, např. při radostné hře otce s dítětem (otec vyhazuje dítě do vzduchu a chytá ho). V těchto případech může podle Strause dojít k přetížení hlavy, tzv. deceleraci, kdy dojde k traumatu mozku.

Biomechanické posouzení pádů obětí z výšky, týkající se nejčastěji pádů z okna domu. Předmětem zkoumání je, zda oběť byla úmyslně vyhozena z okna nebo vypadla sama, bez cizího zavinění. Zde se jedná o posouzení kinematiky těžiště těla při pádu.

Využití biomechaniky při konstrukci motorových vozidel a jejich vybavení. Zde řadíme zkoumání mechanické charakteristiky vozidla a možnost míry zranění řidiče či posádky vozidla při autonehodě. Jedná se o tlumení konstrukce sedadel, brzd, silové impulzy čelních nárazů apod. Lidský faktor přispívá při řízení vozidla (viditelnost, reakční schopnost, atd.).

Vedení střetného boje z blízka v sebeobraně. Posuzují se kinematické znaky sebeobraných prvků nezbytně nutných pro reakci osoby z hlediska útoku i obrany. Při znalosti časových útočných i obranných pohybových návyků je účastník střetného boje zvýhodněn. Zvýhodněn je zejména díky nácviku chvatové techniky. Biomechanický rozbor napomáhá odstranit nedostatky znevýhodnění.

Mezi další vybrané druhy kriminalistických stop řadíme posouzení chování pachatele na základě potenciálních pohybových výkonů. Primárně se jedná o odhalení geometrických (tělesná výška), kinematických (rychlost lokomoce) a dynamických (tělesná hmotnost) znaků biomechanického obsahu (Straus, 2006). V kriminalistických stopách s biomechanickým obsahem je nejvíce rozpracována trasologie.

Forenzní biomechanika je vědní obor zabývající se studiem kriminalistických stop, které v sobě mají zakódovanou informaci o pohybovém projevu pachatele. Ve výše uvedeném biomechanickém obsahu vybraných druhů kriminalistických stop lze rozdělit jednotlivé znaky takto (Straus, 2001):

- 1) **Geometrické znaky**, které podávají informaci o somatu pachatele, např. tělesná výška, délka a šířka stopy apod.
- 2) **Kinematické znaky**, které dávají informaci o rychlosti pohybu, frekvenci kroků chůze a další cyklické činnosti
- 3) **Dynamické znaky** dávají informaci o silovém působení a energetických vztazích.
- 4) **Vnitřní znaky prostředí** dávají informaci o osobě pod vlivem různých chemických látek, např. alkohol, drogy a jiné omamné látky.
- 5) **Osobnostní charakteristika osoby**, která zanechala na místě činu biomechanickou stopu. Jedná se o vliv temperamentu, charakteru a **dynamického stereotypu osob**.
- 6) **Nahodilé vlivy** – tato skupina znaků zahrnuje dosud nepoznané, nahodilé vlivy, které nelze předem ve stopě odhadnout ani zpětně vyhodnotit.

2.1.4 Biometrie a identifikace osob

Biometrie a identifikace osoby spolu úzce souvisí a jejich využití zasahuje nejen do kriminalistiky, ale i do komerčních a administrativně-správních oblastí. Pozornost však bude věnována pouze oblasti kriminalistiky.

2.1.4.1 Identita a identifikace

Pojem *identita* (z lat. *identitas* odvozeno od slova *idem* = stejný). S identitou souvisí pojem totožnost, která se podle Raka, Matyáše, Říhy et al. (2008, 37) „používá tehdy, když

porovnávané pojmy, objekty apod. jsou záměnné takovým způsobem, že mezi ně můžeme klást znaménko rovnosti“. Janura, Svoboda a Porada (2009, 112) definují totožnost jako „individualizovaný vztah mezi dvěma nebo více odrazy (projevy jednoho a téhož objektu“. Dle Raka et al. (2008) je identita nezbytná podmínka bytí každé konkrétní osoby. Lidská identita je kombinace biologických, psychických, vrozených i získaných vlastností a touto kombinací získává člověk schopnost vnímat sám sebe. Identitu chápeme tedy jako totožnost něčeho s něčím anebo se sebou samým.

Rak et al. (2008) uvádí příklad identity:

„Trojúhelník rovnostranný je totéž, co trojúhelník rovnoúhlý“. Věc posuzujeme z různých pohledů (velikost úhlů a velikost stran), nicméně věcné obsahy se rovnají (platí, že každý rovnostranný trojúhelník má vždy stejně velké úhly a zároveň vždy stejně dlouhé strany).

Porada et al. (2010) také uvádí, že pojem identifikace souvisí také s vývojem logiky, tudíž i s vývojem filozofického myšlení. Dle Raka et al. (2008) „*Princip identity* je základním stavebním kamenem klasické logiky: *Každý objekt je identický sám se sebou*. V odborných kruzích se současná identifikace člení na identifikaci objektovou a na identifikaci systémů.

Identifikace systémů

Systémová identifikace je podle Porady et al. (2010) specifické vytváření systému sumy objektu (T) pro řešení konkrétního problému P(T). Porada et al. (2010) dělí systémovou identifikaci na dva kroky:

1. Na reálném objektu se experimentálně vyšetří hodnoty parametrů popisujících projevy objektu související s řešením problému P(T). Tento krok se označuje jako identifikační experiment.
2. Hodnoty parametrů P(T) tvoří část vstupních parametrů do algoritmu A nepřímé úlohy pro určení identifikovaných veličin. Realizace algoritmu v rámci identifikace je tzv. identifikační výpočet.

Objektová identifikace

První kritéria logické totožnosti jsou připisovány Leibnitzovi. Objekty T1 a T2 jsou totožné jen tehdy, pokud všechny vlastnosti objektu T1 jsou zároveň vlastnostmi objektu T2

(Porada et al., 2010). Jinými slovy: „Za identické lze pokládat ty entity, o nichž platí, že vše to, co lze vypovědět o jedné z nich, lze také vypovědět o druhé“ (Rak et al., 2008, 39).

Objektovou identifikaci lze také formulovat jako: Identifikace objektů na základě charakteristik znaků, vlastností a jevů (nazývané souhrnně jako markanty). Tyto markanty známé u jednoho objektu T1 jsou přiřazovány objektu T2. Cílem je určit verdikt, zda-li objekt T2 je také objekt T1 nebo není objekt T1 (Porada et al., 2010).

Identifikace objektová s projevem tzv. markantů je charakteristická právě pro kriminalistiku. Podle Janury et al. (2009) srovnání systému identifikačních znaků dynamického stereotypu vytvořeného na videozáznamu z místa činu se systémy identifikačních znaků dynamických stereotypů vytvořených pomocí trajektorií vybraných křivek prověřovaných osob, nám klasická objektová identifikace neumožňuje. V tomto případě se tedy jedná o aplikaci identifikace systémů. Identifikaci osob dle dynamického stereotypu chůze se budu více zabývat v kapitole 2.3.2.

2.1.4.2 Biometrie

Pojem *biometrie* lze odvodit již z názvu, vznikl složením dvou slov (z lat. *bios* = život, vše živé a *metrie* jakožto výraz pro měření). Jak již bylo zmíněno v předešlé předkapitole, každý objekt je identický pouze sám se sebou. Biometrické znaky jsou spojeny s identifikovanou osobou již od narození. Podle Raka et al. (2008) pokud vědecky prokážeme, že naše fyzické i psychické charakteristiky jsou jedinečné, neopakovatelné, pak lze použít efektivní identifikaci osoby s velmi vysokým stupněm jedinečnosti a také prokazatelnosti. Identitu osoby je téměř nemožné absolutně napodobit nebo pozměnit. Identitu ani nelze odcizit, protože biometrické identifikační charakteristiky jsou bezprostředně spojeny s identifikovanou osobou.

Mezi hlavní výhody biometrické identifikace patří (Rak et al., 2008):

- vysoká přesnost a rychlost identifikace,
- je snadno a rychle použitelná,
- nelze ji zapomenout nebo ztratit,
- je téměř nemožné ji odcizit nebo napodobit,
- je nepřenositelná, nemůže být sdílena jinou osobou,
- je lidsky přirozená,
- možnost plné nebo částečné automatizace pomocí přístrojové techniky.

Porada a Rak (2007) definují biometrickou identifikaci/verifikaci jako: „využití jedinečných, měřitelných, fyzikálních nebo fyziologických znaků (tzv. markantů) nebo projevů člověka k jednoznačnému zjištění (identifikace) nebo ověření (verifikace) jeho identity.

Pro identifikační účely se využívají charakteristiky z oblasti anatomie a fyziologie, potažmo, které jsou pro každého člověka jedinečné a časově neměnné. Pro kriminalistickou identifikaci jsou navíc využívány poznatky z oboru lékařství a antropologie, protože je třeba brát ohled na vývoj zdravotního stavu, traumat či různých zásahů do lidského organismu (Porada et al., 2007).

Biometrickou identifikaci lze rozdělit dle Raka et al. (2008) na dva základní přístupy s uvedením praktických identifikačních metod:

Anatomicko-fyziologické biometrické charakteristiky

Oční duhovka (Iris) – je to barevný kruh kolem oka, vyznačující se specifickými body uspořádané neopakovatelným způsobem, charakteristický pro každého člověka,

Oční sítnice (Retina) – mapuje se řečiště žilek a cévek na pozadí sítnice, které je takřka po celou dobu života neměnné,

Lidská tvář – obsahuje antropometrické body, které jsou specifické a časově neměnné,

Otisk prstů, dlaní a chodidel – metoda daktyloskopických otisků patří k nejčastěji využívaným metodám, jde spolehlivou metodu identifikace a je založena na shodě unikátních obrazců papilárních linií,

DNA – má předpoklad stát se nejspolehlivější identifikací lidské bytosti, o DNA se hovoří jako o „genetickém otisku“,

Tvar vnějšího ucha,

Obsah solí v lidském těle,

Topografie žil zápěstí.

Behaviorální biometrická charakteristika

Hlas – akustický signál hlasu je transformován za normálních okolností do unikátního digitálního kódu,

Písmo a podpis – nezkoumá se jen výsledný obraz písma, ale i dynamika psaní, např. přítlak, rychlost, sklon apod.,

Lokomoce – jedná se tzv. o **dynamický stereotyp chůze**, který je rovněž jedinečný, neopakovatelný, ale zároveň obtížně aplikovatelný pro identifikaci osob v praxi.

Porada a Svetlík (2008) rozdělují jednotlivé biometrické znaky z hlediska využitelnosti v praxi na tři hlavní skupiny:

1. Policejně – soudní identifikace

V této skupině jsou uvedeny hlavní biometrické identifikační znaky využitelné pro identifikaci osob v kriminalistice. Jedná se o *otisky prstů, dlaní a chodidel, DNA, písmo včetně podpisu a hlas*.

2. Bezpečnostně – komerční identifikace

Řada kriminalistických metod byla upravena a přizpůsobena pro bezpečnostní a komerční využití. Zde řadíme identifikaci podle *otisku prstů a dlaní, oční duhovky, oční sítnice, tváře, hlasu, podpisu a další*.

3. Ezoterická identifikace

Do ezoterické identifikace řadíme *topografii žil zápěstí, tvar vnějšího ucha, pach lidského těla, obsah solí v lidském těle, lokomoce a další*.

Uvedené rozdělení do tří skupin naznačuje, jaké hlavní biometrické identifikační znaky jsou využívány v jednotlivých skupinách. Je třeba si ale uvědomit, že toto rozdělení není striktní a znaky z uvedených tří skupin se navzájem prolínají, tzn. že biometrické identifikační znaky z jedné skupiny lze využít ve skupině jiné. Kriminalistika se musí stále přizpůsobovat sofistikovanějším a propracovanějším způsobům pachatelů trestných činů. Proto se ve snaze o zvýšení možností, jak identifikovat pachatele, rozvíjí jedna z nově vznikající oblasti biometrických aplikací – identifikace na základě lokomoce (Porada, 2007).

2.2 Chůze a krokový cyklus

Chůze je lokomoční činností a u člověka má vliv na kvalitu života jedince (Porada, Rak et al., 2007).

Lokomoce u člověka znamená přesun těla z jednoho místa na místo druhé. Může se uskutečňovat různými způsoby, např. plazením, skákáním, plaváním, během, bipedální či kvadrupedální lokomoci. Na rozdíl od zvířat, která využívají převážně kvadrupedální způsob lokomoce, člověk se vyznačuje svou vzpřímenou chůzí využitím bipedální lokomoce, která se vyznačuje využitím pouze dolních končetin.

Pro člověka je nejběžnější lokomočním typem pohybu chůze. Je používána v každodenním životě jak k základním životním potřebám při sebeobsluze, tak i při práci a zaměstnání (Véle, 2006). Ať už člověk ujde 1 km chůzí nebo tuto vzdálenost uběhne, energetické nároky na organismus jsou stejné, protože tělo spálí asi 80 kcal v obou případech, nicméně roli zde hraje fyziologická únava a další aspekty organismu při dlouhodobém zatížení během. Proto člověk využívá převážně chůzi, její ekonomičnost a podle Porady, Šimšíka et al. (2010, 12) „v průběhu přirozené chůze je pohyb automaticky prováděn se snahou o optimální (minimální) výdej energie“.

Základní parametry chůze jsou ovlivněny mnoha faktory, kterými se budu zabývat v následujících kapitolách.

V literatuře se lze setkat s více definicemi chůze, v některých z nich se popisují faktory, které jsou spojovány s analýzou a variabilitou chůze při této pohybové činnosti. Většinou je chůze popisována jako pohyb těžiště těla v prostoru a čase s určitým energetickým výdejem.

Saunders, Inman a Eberhart (1953) považují za hlavní úkol chůze pohyb těžiště prostorem za přispění co nejmenšího energetického výdeje. Identifikovali několik proměnných, které ovlivňují energetický výdej:

- rotace pánve,
- náklon pánve,
- flexe v kolenním kloubu ve stejné fázi,
- součinnost chodidla, hlezenního a kolenního kloubu,
- laterální posun pánve.

2.2.1 Chůze a její mechanismy

S chůzí jsou spojené anatomické, fyziologické a neuromuskulární aktivity v lidském těle. Základní funkci při chůzi mají dolní končetiny. Do pohybu se zapojují klouby dolních končetin (hlezenní, kolenní a kyčelní). Spolu s dalšími segmenty těla udržují rovnovážnou polohu. Svalová tenze je řízena podle potřeby zpětnovazebně signály ze svalových vřetének, šlach, kloubů apod.

Předpokladem veškerého pohybu, tedy i bipedální lokomoce je reflexní svalový tonus, na kterém je vytvořen systém posturálních a vzpřimovacích reflexů. Souhrnně toto označujeme jako motorický systém polohy (opěrná motorika). Vzpřímené držení těla je řízeno mimo jiné i retikulární formací, statokinetickým čidlem a mozečkem (konkrétně jeho vestibulární a spinální částí). Opěrná motorika je pak základem cílené motoriky, označované také jako motorický systém pohybu. Motorický systém pohybu je řízen mozkovou kůrou, bazálními ganglii a korovým mozečkem (Chorvátová, 2012). Za rytmické střídání končetin je odpovědná určitá oblast středního mozku. Podstatné je, aby všechny řídicí systémy a okruhy měly přesné informace o stavu napětí všech svalů a o pohybu svalů v každém okamžiku. Na vzpřímené držení těla má také vliv poloha hlavy v prostoru. Informace o poloze hlavy jsou získávány z Golgiho šlachových tělísek, svalových vřetének, taktilních receptorů, vestibulárního aparátu a zraku (Nigg B. M. et al., 2000).

2.2.2 Krokový cyklus

Chůze člověka je opakující se cyklický pohyb. Popis chůze se vztahuje k jednomu krokovému cyklu, ten obsahuje jeden krok každé končetiny (Svoboda, 2008). Krokový cyklus je základní jednotkou chůze, předpokládá se, že následující cykly jsou stejné (Whittle, 2007). Krokový cyklus se zakládá na dvojkroku a dvojkrok se skládá z jednotlivých kroků. Whittle (2007) definuje krokový cyklus chůze jako časový interval mezi dvěma po sobě následujícími a opakujícími se jevy během chůze. Giannini, Catani, Benedetti a Leardini (1994) definují krokový cyklus jako soubor pohybů či akcí, které probíhají mezi dvěma po sobě následujícími iniciálními kontakty se zemí té samé nohy.

Dělení krokového cyklu

Rozdělení krokového cyklu se liší podle různých autorů. Ve své podstatě, se ale v základním rozdělení zásadně neliší. Většina autorů uvádí rozdělení na dvě základní fáze:

- stojná fáze (oporová), kdy chodidlo je v kontaktu s podložkou,
- švihová fáze (bezoporová), kdy chodidlo není v kontaktu s podložkou.

Za počátek krokového cyklu se považuje u zdravých lidí iniciální kontakt paty jedné dolní končetiny a jako konec kontakt paty ipsilaterální dolní končetiny (Kirtley, 2006).

Rozlišujeme fázi jednooporovou, kdy je v kontaktu s podložkou pouze jedna končetina a fázi dvouoporovou. Jednooporová fáze na levé končetině trvá stejnou dobu jako švihová fáze na končetině pravé. Jde o stejné časové období, ale zaměřujeme se na různou končetinu. Stojná fáze zaujímá u zdravé populace přibližně 60% krokového cyklu, zbývajících 40% je tvořeno fází švihovou. V průběhu krokového cyklu dochází dvakrát k fázi dvojí opory (double support), každá z nich zaujímá kolem 10% doby trvání krokového cyklu (Porada et al., 2007). Při pomalejší chůzi se doba trvání stojné fáze prodlužuje a švihové zkracuje, při rychlé chůzi je tomu naopak, při běhu je fáze dvojí opory nulová (Smidt, 1990; Kirtley, 2006). Při závodní chůzi se doba dvouoporové fáze blíží nule. (Svoboda, 2008).

Každý krokový cyklus je rozdělen na dvě části, stojná a švihová část. Stojná i švihová část je dělena na další fáze. Dle Perry (1992) je krokový cyklus dělen takto:

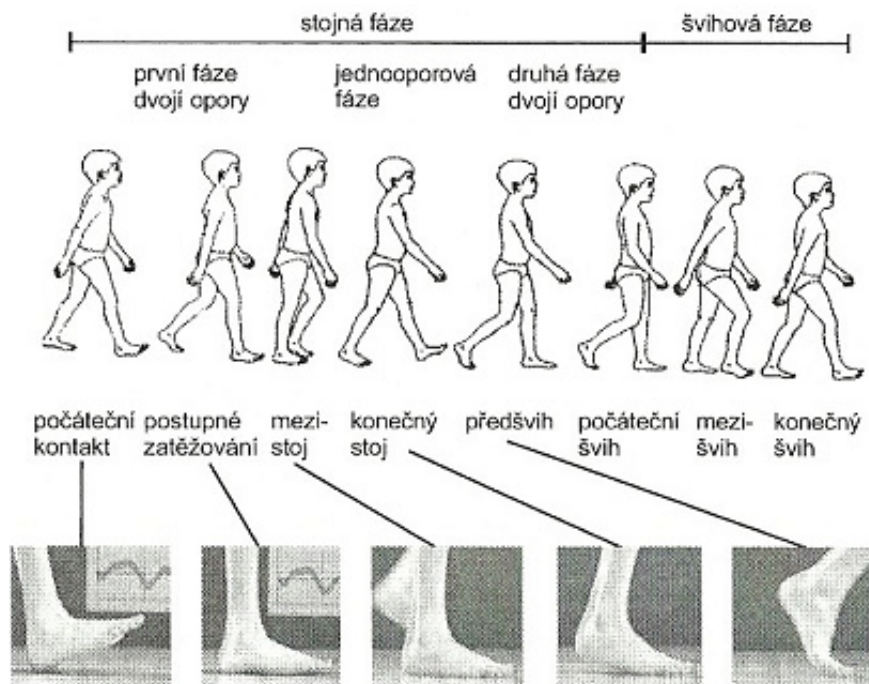
Stojná fáze

- počáteční kontakt (initial contact, 0%),
- stádium zatěžování (loading response, 0-10%),
- mezistoj (midstance, 10-30%),
- koncový stoj (terminal stance, 30-50%),
- předšvih (preswing, 50-60%).

Švihová fáze

- počáteční švih (initial swing, 60-73%),
- mezišvih (midswing, 73-87%),
- koncový švih (terminal swing, 87-100%).

Obrázek 1 Základní rozdělení fází krokového cyklu dle Porady et al. (2007, 220)



Porada et al. (2007, 220) dělí fáze krokového cyklu dle Vaughana na:

1. kontakt paty (heel strike)
2. kontakt chodidla (foot flat)
3. mezistoj (midstance)
4. odvinutí paty (heel off)
5. odraz palce (toe off)
6. zrychlení (acceleration)
7. mezišvih (midswing)
8. zpomalení (deceleration)

Dělení fází krokového cyklu dle Whittle (2007):

1. Initial contact (počáteční kontakt)
2. Opposite toe off (odloučení palce opačné končetiny od podložky)
3. Heel rise (odloučení paty od podložky)
4. Opposite initial contact (počáteční kontakt opačné končetiny s podložkou)
5. Toe off (odloučení palce od podložky)
6. Feet adjacent (míjení chodidel)
7. Tibia vertical (tibie se dostává do vertikální polohy)

Popis jednotlivých fází dle rozdělení Perry

Počáteční kontakt

Počáteční kontakt je první částí stojné fáze (Whittle, 2007), je to krátkodobý děj zahajující stojnou fázi (Porada et al., 2007). Je jednoznačně identifikovatelný, protože se jedná o okamžik, kdy se chodidlo sledované končetiny dotkne podložky (Svoboda, 2008).

Stádium postupného zatěžování

Stádium zatěžování koresponduje s dvouoporovou fází mezi počátečním kontaktem a odrazem palce na opačné končetině (Svoboda, 2008). Během této fáze se zatížení přeneso plně na stojnou dolní končetinu (Porada et al., 2007). Tato fáze vlastně začíná počátečním kontaktem sledované končetiny a končí, dokud opačná končetina nezapočne švihovou fází.

Mezistoj

Mezistoj je někdy popisován jako okamžik, kdy švihová končetina míjí stojnou (Svoboda, 2008). Celé chodidlo stojné končetiny je v kontaktu s podložkou. Tato fáze začíná odrazem palce protější končetiny, přičemž pata stejné končetiny spočívá ve vzduchu a má za cíl stabilizovat koleno k udržení těžiště nad opěrnou bází. Podle Gage (1991) v této fázi těžiště těla zpomaluje. Zároveň však těžiště dosahuje maximální výšky, přechází přes opěrnou bází a dopředná rychlost je minimální (Giannini et al., 1994). Rozhodujícím faktorem pro provedení pohybu, je tzv. „zhoupnutí kotníku“, jež umožňuje posunutí dolní končetiny přes fixované chodidlo (Porada et al., 2007).

Koncový stoj

Koncový stoj začíná odrazem paty od podložky a končí dotykem podložky opačné končetiny (Svoboda, 2008). Dochází k dorzální flexi v kotníku, vektor reakční síly podložky se přesouvá směrem k hlavičkám metatarsů (Porada et al., 2007). Těžiště se zrychluje, klesá směrem dolů a dostává se před opěrnou fází (Giannini et al., 1994). Tělo se v této fázi posunuje před fixované chodidlo stojné nohy. Je zde největší zatížení pro stojnou končetinu.

Předšvih

Předšvihová fáze je konečnou částí stojné fáze. Je to fáze odlehčení zatížené končetiny a hmotnost se přenáší na druhou končetinu. Celý proces je velmi rychlý (Perry, 1992). Začíná v okamžiku kontaktu plosky kontralaterální končetiny s podložkou a končí v okamžiku, kdy palec opustí podložku (Porada et al., 2007). Dochází k přípravě na švihovou fází.

Počáteční švih

„Počáteční švih začíná odrazem palce. Je to první fáze krokového cyklu, kdy končetina není v kontaktu s podložkou“ (Svoboda, 2008, 38). V této fázi pokračuje pohyb směrem dopředu a dochází k flexi v kolenním kloubu i dorzální flexi v hlezenním kloubu (Porada et al., 2007).

Mezišvih

Flexe v kolenním kloubu je maximální a chodidlo není v kontaktu s podložkou. Podle Porady, Raka a kol. (2007) dále dochází k posunu dolní končetiny dopředu s následnou postupnou extenzí v kolenním kloubu. Hlavním účelem této fáze je udržovat optimální vzdálenost mezi nohou a zemí (Giannini et al., 1994).

Koncový švih

Pokračuje extenze v kolenním kloubu až do maxima a končetina se připravuje k následujícímu krokovému cyklu. Cílem je zaujmout neutrální polohu pro zahájení počátečního kontaktu (Svoboda, 2008).

2.2.3 Parametry krokového cyklu

Kadence

Kadence je počet kroku v daném časovém okamžiku (Giannini et al., 1994). Obvykle se udává počet kroků za minutu. Dle Gianniniho et al. (1994) je průměrný počet kroků 110/min. Podle Whittla (2007) je třeba si uvědomit, že kadence ve vztahu ke krokovému cyklu, neudává počet krokových cyklů za minutu, nýbrž počet kroků za minutu.

Whittle uvádí vzorec pro výpočet průměrného trvání jednoho krokového cyklu, který lze vypočítat pomocí kadence:

$$\text{doba trvání krokového cyklu (s)} = 120/\text{kadence (počet kroků/min)}$$

Rychlost

Podle Whittla (2007) je rychlost chůze vzdálenost, kterou tělo člověka urazí za daný čas. Měřena by měla být v metrech za sekundu. Okamžitá rychlost je v průběhu chůze a krokového cyklu různá. Průměrnou rychlost lze vypočítat z kadence a délky krokového cyklu podle vzorce:

$$\text{rychlost (m/s)} = \text{délka dvojkroku (m)} * \text{kadence (počet kroků/min)}/120$$

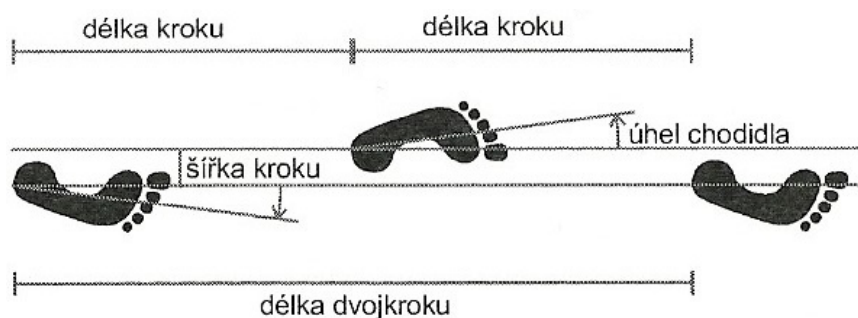
Délka kroku

Délka kroku je vzdálenost mezi jednotlivými iniciačními kontakty opačných dolních končetin (Giannini et al., 1994). Rozlišujeme krok pravý a levý, podle toho, která noha je vpředu. S tím souvisí i délka dvojkroku, tzn. krokového cyklu. Délka krokového cyklu je součtem délek pravého a levého kroku. Giannini et al. (1994) určili obecný výpočet pro délku dvojkroku, při normální rychlosti chůze, jako 90 % z tělesné výšky.

Šířka kroku

Podle Whittla (2007) je šířka kroku vzdálenost mezi vnitřními liniemi chodidel. Měří se mezi středy zadních částí pat nebo mezi středy vnitřních kotníků. Jako jednotka se obvykle používají milimetry. Šířka báze vypovídá o stabilitě člověka. Čím je člověk nestabilnější, tím je jeho báze širší. Příklad určení šířky kroku (viz obrázek č. 2).

Obrázek 2 Grafické znázornění parametrů krokového cyklu a pěšinky lokomoce chůze (upraveno podle Porady, 2007)



2.2.4 Pohyb trajektorie těžiště

Pohyb těžiště lidského těla je charakterizován vlnící se křivkou, což ale není rozhodující pro určení toho, jak chodíme. Zkoumání trajektorie těžiště patřilo historicky k prvním směrům lékařského, biomechanického a identifikačně-verifikačního výzkumu. Dle historických výzkumů trajektorie těžiště byla zjištěna skutečnost, že v průměru 55% váhy lidského těla střídavě namáhá každou nohu při chůzi, a přitom se těžiště pohybuje nahoru a dolů, ze strany na stranu v sinusoidálních vlnách s amplitudou kolem 5-6 cm (Porada et al., 2007). Pohyb těžiště při chůzi v sagitální rovině je popisován pravidelnou sinusovou křivkou (Svoboda, 2008). Těžiště člověka při stoji je umístěno v pánvi (asi ve výšce druhého křížového obratle) nebo ve výšce 55 % celkové výšky těla (Kirtley, 2006).

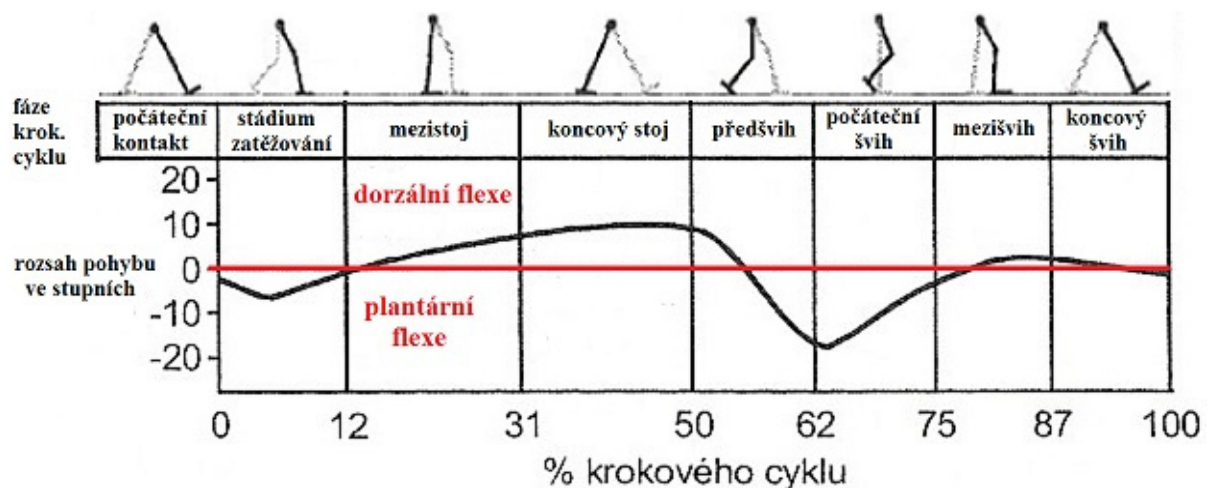
2.2.5 . Změny úhlů v kloubech dolních končetin při chůzi

Při změnách úhlů v kloubech dolních končetin jsou nejčastěji hodnoceny úhly v hlezenním, kolenním a kyčelním kloubu. Je možné popisovat také pohyb trupu nebo paží, ale k vyhodnocení analýzy chůze jsou dostatečné jen úhlové parametry dolních končetin. Klouby dolních končetin umožňují pohyb ve více rovinách, nicméně vyšetřování chůze se nejčastěji omezuje na sagitální rovinu, kde je rozsah pohybu největší (Porada et al., 2007; Svoboda, 2008).

Hlezenní kloub

Dle Perry (1992) se v průběhu krokového cyklu dostává hlezenní kloub dvakrát do plantární a dvakrát do dorzální flexe. Podle Svobody (2008) při počátečním kontaktu je hlezenní kloub v neutrálním postavení, bérce a chodidlo svírají úhel 90° . Na konci stádia zatěžování je hlezenní kloub znova v neutrálním postavení, bérce je rovnoběžný s vertikálou.

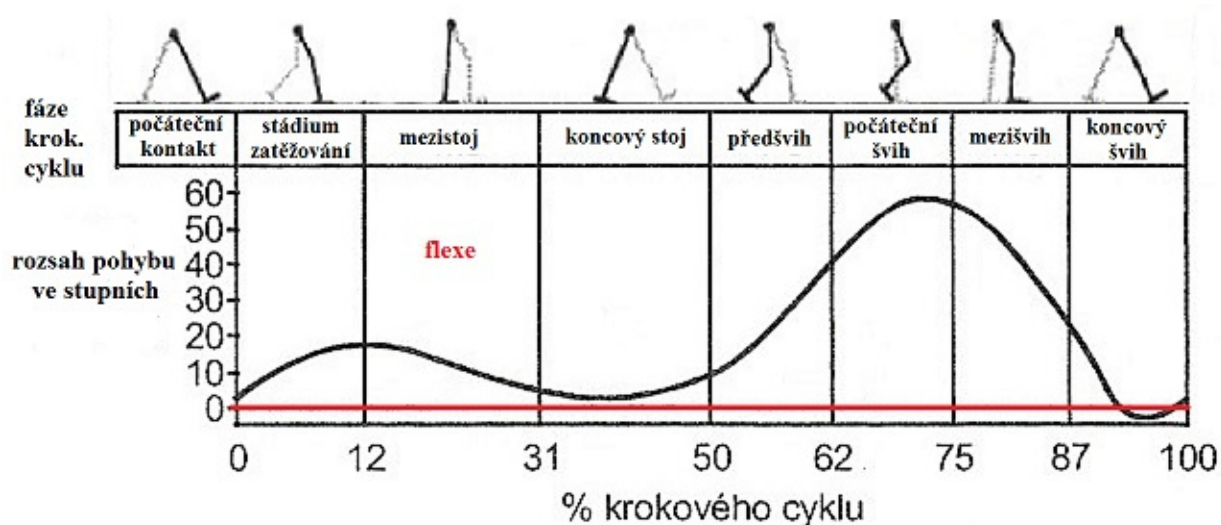
Obrázek 3 Změna úhlu v hlezenním kloubu v průběhu krokového cyklu (upraveno dle Svobody, 2008)



Kolenní kloub

Za neutrální postavení se považuje stav, kdy bérce a stehno svírají úhel 180° . O flexi v kolenní kloubu se jedná, je-li tento úhel menší (Svoboda, 2008). Na začátku krokového cyklu je kolenní kloub ve flexi cca 5° , na konci pak cca 18° (Perry, 1992). Pohyb kloubu během krokového cyklu prochází celkem dvěma flekčními fázemi. První flekční fáze začíná po kontaktu chodidla s podložkou, druhá flekční fáze je důležitá pro úplné odlepení chodidla na počátku švihové fáze.

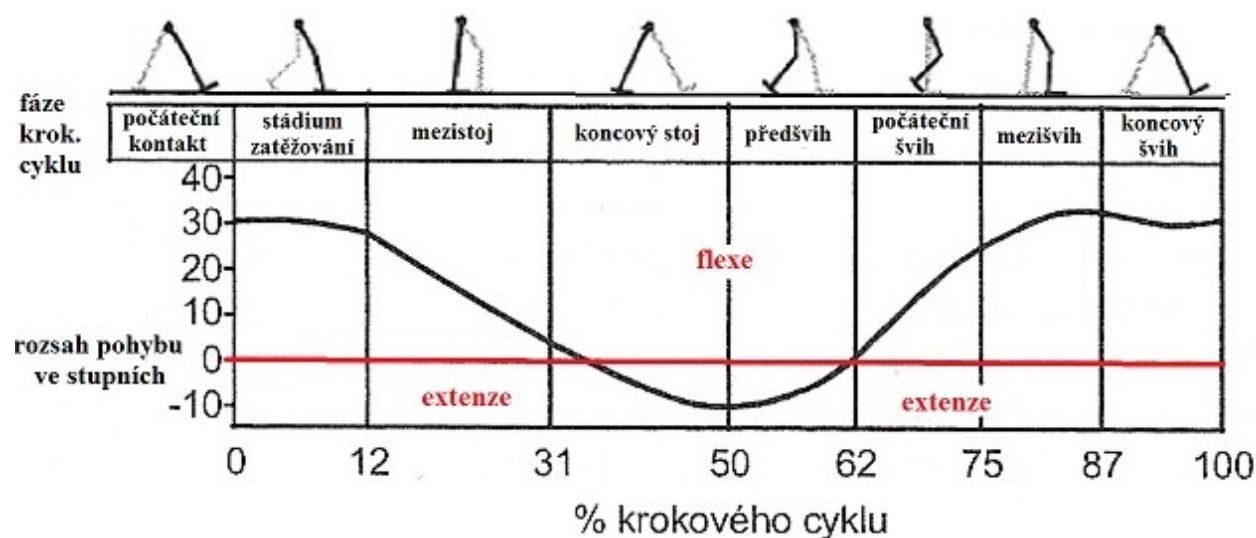
Obrázek 4 Změna úhlu v kolenním kloubu během krokového cyklu (upraveno dle Svobody, 2008)



Kyčelní kloub

Podle Svobody (2008) pohyby v rovině sagitální jsou obvykle popisovány tak, že posuzujeme úhel, který v sagitální rovině svírá segment stehna a vertikální linie. Za neutrální lze považovat postavení, kdy je stehno rovnoběžné s vertikálou (svírají úhel 0°). Kladné hodnoty značí flexi a záporné extenzi v kyčelním kloubu. Maximální extenze nastává v okamžiku, kdy je hodnota sledovaného úhlu minimální.

Obrázek 5 Změna úhlu v kyčelním kloubu v během krokového cyklu (upraveno dle Svobody, 2008)



2.3 Chůze jako dynamický stereotyp

Když se člověk pohybuje, vykazuje při tomto pohybu charakteristické znaky. Toto si můžeme uvědomit i v běžném životě, když vidíme např. známou osobu. I zezadu poznáme o koho jde, aniž bychom známé osobě viděli do tváře. Daného člověka poznáme podle stylu chůze. Lidský mozek nám dává, při pohledu na pohyb známé osoby, informaci, že pozorovaná osoba vykazuje určité specifické, charakteristické znaky chůze, které jsou pro každého člověka jedinečné. Předpokládá se, že člověk se pohybuje předem daným pohybovým vzorem – tzv. dynamickým stereotypem chůze.

2.3.1 Dynamický stereotyp, funkční a pohybové návyky

V průběhu života vzniká u člověka množství návyků, které jsou prováděny v různých situacích - výrobních, studijních, sportovních apod. Jsou to zejména návyky chůze, řeči, psaní, šití, řízení auta apod. Podle Porady et al. (2007) kriminalistické stopy podle funkčních a pohybových návyků vznikají při pohybové činnosti člověka, např. lokomoci. Tyto stopy vyjadřují projev funkčních a dynamických vlastností člověka. Vlastnosti pohybu nebo jiného funkčního projevu lze zkoumat v rámci dynamického stereotypu ze dvou hledisek:

1. *Psychologické hledisko na pohybový návyk*
2. *Fyziologické hledisko na pohybový návyk*

Z fyziologického hlediska podstata pohybového návyku vzniká díky opakované pohybové činnosti a následnému adaptačnímu procesu, jako výsledek přizpůsobování organismu na opakovaně prováděné pohybové aktivity. Při tvorbě a osvojování pohybového návyku rozlišujeme dva základní procesy. Za prvé se jedná o nácvik pohybové činnosti – motorické učení. Za druhé probíhá současně morfologické a funkční přizpůsobování se na danou pohybovou aktivitu (Seliger, Vinařický & Trefný, 1980).

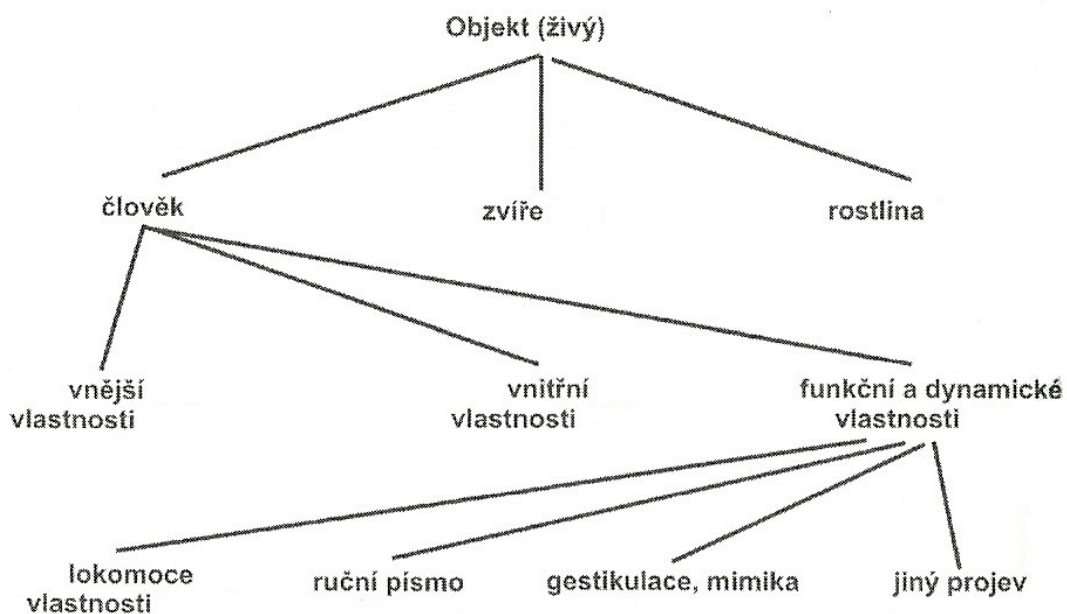
Dynamický stereotyp představuje dočasně neměnnou soustavu podmíněných a nepodmíněných reflexů, vznikajících na základně stále stejně se opakujících podnětů, resp. situací. Dynamický stereotyp je nervová struktura získaná opakovaným působením vnějších podnětů v určitém sledu. Tyto vnější stereotypní podněty vedou ke vzniku vnitřního stereotypu v mozkové kůře. Vnitřní i vnější prostředí se neustále mění, čemuž se organismus musí stále přizpůsobovat, a to se označuje jako adaptace či plastičnost mozkové kůry. Tato

plastičnost umožňuje tvorbu a následně fixaci neustále nových variant, aniž by předešlé vytvořené varianty vymizely (Janda, Poláková & Věle, 1966).

Podle Strause (2001) člověk provádí jednotlivé úkony na základě vypracovaného stereotypu, i když schopnost dobře vypracovat si takový stereotyp je pro každého individuální. Pokud není tento stereotyp stále procvičován, tak slábne a postupně zaniká.

Při osvojování nových pohybových dovedností si každý člověk vytváří svůj model pohybové činnosti. Tento model se opakováním fixuje v mozkové kůře jako dynamický stereotyp (Janura et al., 2009). Termín „dynamický“ je vyjádřen ke vztahu k antropometrickému popisu vlastností systému, které nejsou statické (statická antropometrie se zabývá např. výškou, délkou nohy apod.), ale mění se v závislosti na čase. V tomto případě dynamická antropometrie, vyjadřuje časové změny trajektorií klíčových bodů na těle člověka při chůzi (Porada et al., 2010). Při procesu vytváření dynamického stereotypu chůze, vznikají individuální specifické trajektorie jedince, které dávají možnost posouzení specifických odchylek v trajektorii pomocí referenčních bodů vznikajících v průběhu lokomoce člověka. Charakter chůze člověka nejvystižněji vyjadřuje komplex geometrických, kinematických a dynamických znaků, obsažených v pohybovém návyku jedince. Tento pohybový návyk je zobrazen v dynamickém stereotypu chůze (Janura et al., 2009).

Obrázek 6 Schématické znázornění funkčních vlastností a pohybových návyků objektu (upraveno podle Strause, 2001)



2.3.2 Identifikace osob podle funkčních a dynamických pohybových návyků

Mnoho biometrických aplikací za určitých podmínek v identifikaci osob nelze použít. Typické je maskování osoby za účelem skrytí identity, nedostatečné světelné podmínky či rozlišení obrazu, které neumožňuje další použití. Pachatel, přepadající např. peněžní ústav, se může záměrně pohybovat pomalu, aby nevzbudil pozornost, nebo naopak rychle běží, aby zkrátil dobu přepadení a dobu, kdy se pohybuje v obraze kamerových systémů (Porada et al., 2007). Chůze i běh je pro téměř každého člověka přirozený způsob pohybu, což lze využít pro identifikaci pachatele.

Funkční a dynamické návyky lokomoce jsou relativně stereotypní, ale na druhou stranu také variabilní díky faktorům ovlivňujícím svéráznost chůze. Podstata kriminalistických stop, odrážející funkční a dynamické vlastnosti a pohybové návyky spočívá v materiálním odrazu dynamického stereotypu (Straus & Porada, 2006). Tyto stopy jsou založeny na rozsáhlých automatizmech, a proto jsou dynamicky pevné. Avšak stereotypnost není absolutní. Opět musíme brát v potaz hranici variantnosti a měnící se podmínky prostředí (Rak et al., 2008).

Identifikace osob na základě dynamického stereotypu chůze je zatím rozvíjející se identifikační metoda v kriminalistice. Výhodou identifikace podle chůze, oproti jiným biometrickým metodám, je bezkontaktnost a není pro vyšetřovaného člověka nijak nepříjemná (Rak et al., 2008).

Podle Porady et al. (2007) musí tato metoda splňovat základní principy, jako jsou totožnost, individuálnost a relativní stálost objektů identifikace. Porada uvádí teoretické úvahy o shodných rysech dynamického stereotypu chůze člověka a dynamického stereotypu procesu psaní. Na základě dlouholetého studia ručního písma podloženého rozsáhlými výsledky, je možné aplikovat, Queteletovou teorii o neměnnosti a relativní stálosti rozměrů lidských kostí po dosažení určitého věku, odvozeně i na dynamický stereotyp chůze člověka.

Podle Janury et al. (2009) lze akceptovat tento fakt za předpokladu, že chůzi vnímáme prostřednictvím identifikačních trajektorií, ale k individualizaci dochází po ukončení fáze „učení“ ve vývoji jedince.

Z uvedených tezí vyplývá, že se od určitého věku styl ručního písma a chůze nemění. Straus (2001) uvádí, že se stereotyp chůze u člověka zpravidla vyvíjí do sedmi let. Po dosažení tohoto věku je stereotyp fixní, zakódován, podobně jako DNA, pokud není vyvolána patologická změna nebo jiné narušení stereotypu chůze.

2.3.3 Podmínky identifikace osob dle dynamického stereotypu chůze

Mezi faktory, které mají vliv na identifikaci osob dle dynamického stereotypu chůze patří vnější i vnitřní faktory variability chůze (viz kapitola 2.3.4.). Nejdříve uvedeme faktory podílející se na identifikaci osoby dle chůze. Nejdůležitější součástí pro identifikaci je pořízení videozáznamu z místa činu. S tímto souvisí podle Porady et al. (2010) další dílčí faktory:

- kvalita videozáznamu s dostatečným rozlišením,
- vzdálenost (velikost) pozorované osoby na videozáznamu (osoba musí být vidět celá),
- úhel a pozice kamery vzhledem k trajektorii chůze pozorované osoby,
- množství a druh oblečení, které má pozorovaná osoba na sobě,
- nutnost provedení pozorované osoby na videozáznamu aspoň jednoho dvojkroku,
- frekvence snímků videozáznamu (min. 10-20 snímků/s) – čím větší frekvence, tím lépe,
- přirozený styl chůze (např. pozorovaná osoba nenesé žádné břemeno, patologická chůze).

2.3.4 Faktory variability chůze

V předešlých kapitolách již bylo podotknuto, že chůze má mnoho individuálních znaků, které na jednu stranu napomáhají v identifikaci osob (je stereotypní), ale na druhou stranu existuje mnoho kritérií, které ztěžují identifikaci či verifikaci, (je variabilní). Pro analýzu chůze je nutné o ní získat co nejvíce poznatků a faktorů, které ji ovlivňují. Provedení chůze a její variabilita je pro každého člověka specifická.

Variabilita biologických systémů

U zdravých biologických systémů je variabilita v určitém rozsahu přirozená, tzv. variabilita ve „fyziologickém rozsahu“. Její ztráta může být příznakem zdravotních problémů, nemoci, stárnutí apod. Hodnotíme-li tedy variabilitu jako určení „šumu“ ve fyziologickém systému, je její přítomnost nežádoucí. Z hlediska kontroly pohybu je variabilita důležitá kvůli možnosti adaptability biologického systému. Variabilita je spojena se všemi biologickými systémy, tedy i s člověkem, spolu s jeho pohybovými návyky (Porada et al., 2010).

Vnitřní faktory variability chůze

Mezi mladšími a staršími osobami existuje velký rozdíl v rychlosti chůze. Věkový faktor významně ovlivňuje variabilitu kinematických parametrů při chůzi, např. rozdíl ve velikosti koeficientu variace v rozsahu pohybu v kyčelním a v kolenním kloubu. Pro rozsah

v hlezenním kloubu nebyl prokázán vliv věku na variabilitu chůze (Porada et al., 2010). Mezi vnitřní faktory variability chůze řadíme (Porada et al., 2010; Janura et al., 2009):

- věk,
- zdravotní stav,
- psychika,
- stav CNS,
- úroveň metabolických procesů,
- kvalita propriorecepce,
- stav svalově kosterního systému,
- časová dynamika neuromuskulární kontroly.

Vnější faktory variability chůze

Při pohybu v terénu s různými povrchy se ve srovnání s pevnou podložkou zvyšuje variabilita délky kroku a také variabilita pohybu trupu a hlavy. Při chůzi na nepravidelném povrchu se např. snižuje rychlost chůze, kadence, délka kroku nebo doba trvání fáze dvojí opory. Na mokřem povrchu dochází ke snížení rychlosti chůze, délky kroku a ke zvýšení šířky kroku. Dokázán byl také vliv obuvi na chůzi. Na kluzkém povrchu dochází k prodloužení doby trvání stojné fáze i celého krokového cyklu, ke zkrácení délky kroku a snížení rychlosti chůze. Pro udržení stability na kluzkém povrchu je nejdůležitější hlezenní kloub (Porada et al., 2010). Mezi vnější faktory variability chůze řadíme:

- prostředí,
- typ povrchu,
- typ obuvi,
- rychlost chůze a kadence kroků,
- podpůrné prostředky,
- metodologie sběru dat apod.

Rychlost chůze

Při vyšetřování faktorů ovlivňujících variabilitu chůze mohou být nalezeny rozdíly pozorované skupiny v rychlosti chůze. Bylo prováděno měření jedné osoby na dvanácti různých místech. Osoba prováděla chůzi vždy přirozenou rychlostí a kadencí, avšak chůze nebyla na všech dvanácti místech stejná. Použití metronomu u chůze by způsobilo nepřirozenou křivku trajektorie chůze a větší variabilitu parametrů mezi jednotlivými místy

měření. Chůze přirozenou rychlostí je méně variabilní (Porada et al., 2010). Rychlejší chůze u zdravých osob je méně variabilní než pomalá chůze (Bilney, Morris & Webster, 2003).

2.3.5 Kinematická analýza chůze

Kinematická analýza nám poskytuje informace o vzájemné poloze jednotlivých segmentů těla (Svoboda, 2008). Pro určení polohy vybraných segmentů těla je nezbytné definování souřadného systému. Nejčastěji používaným je kartézský systém souřadnic. Mezi kinematické metody patří (Janura & Zahálka, 2004):

- goniometrie (elektrogoniometrie),
- akcelerometrie,
- stroboskopie,
- systémy pracující na elektromagnetickém principu,
- systémy využívající akustické senzory,
- optoelektrické systémy.

Optoelektrické systémy využívají optické senzory pro určení souřadnic. Aktivní (emitory světla, LED) nebo pasivní zdroje jsou umístěny na vybrané segmenty lidského těla, které vysílají nebo odrážejí signál pro zpracování přijímačem. Tento přijímač slouží k určení polohy sledovaných bodů v souřadném systému. Výsledkem zpracování souřadnic bodů umožňuje výpočet kinematických veličin (Janura & Zahálka, 2004).

Do skupiny optických metod patří kinematografická (videografická) vyšetřovací metoda – postupy založené na vyhodnocení videozáznamu.

Videografická vyšetřovací metoda je nejčastěji používaná kinematická metoda. Tato metoda je založena na analýze pohybu důležitých bodů, vybraných segmentů nebo celého těla pomocí vyhodnocení videozáznamu (Porada et al., 2007).

Při kinematické analýze chůze u vybraných bodů na lidském těle, měříme kinematické veličiny jako jsou dráha (úhel), rychlost (úhlová rychlost), zrychlení (úhlové zrychlení), čas (Svoboda, 2008).

Použitím videozáznamu pohybu se však každý trojrozměrný (3D, prostorový) předmět (lidské tělo), zobrazí na dvojrozměrný (2D, rovinný) obraz. Proto při použití jednoho záznamového zařízení a označení bodů na záznamu získáme pouze 2D souřadnice. Pro prostorovou analýzu je třeba záznamu s využitím nejméně dvou kamer (Janura et al., 2009).

Znalost souřadnic sledovaných bodů slouží k určení základních délkových parametrů. Nicméně je nutné provést vyhodnocení měřítka pro převedení z jednotek (pixelů) na běžné používané jednotky (Porada et al., 2007).

Umístění kamer v prostoru

Poloha kamery by se měla blížit situaci, kdy optická osa kamery protíná sledovaný úsek co nejbližše jeho středu. Posun kamery k jednomu okraji má za následek vznik nepřesností, které jsou způsobeny tím, že sledovaný objekt vidíme pod určitým úhlem. Poloha kamery by měla být kolmá s optickou osou k rovině pohybu. Vychýlení kamery od tohoto směru způsobuje stejné zkreslení jako pohyb segmentu mimo rovinu pohybu těla (Janura et al., 2009).

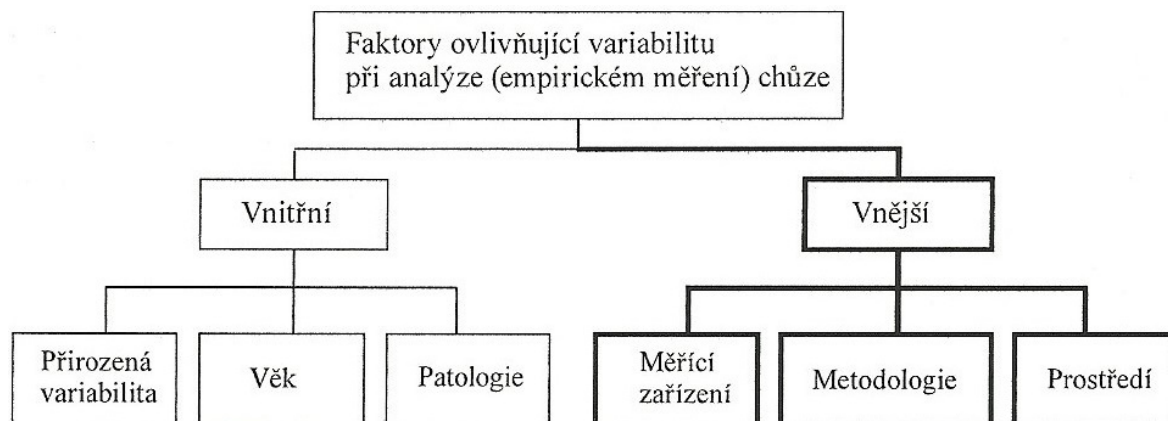
Umístění značek na lidské tělo

Na umístění značek na vybrané segmenty lidského těla působí při označení anatomických bodů několik faktorů. Základní problém spočívá v tom, že jednotlivé segmenty jsou definovány pomocí vybraných anatomických bodů. Při analýze videozáznamu získaného v laboratorních podmínkách nepracujeme s těmito body, ale s jejich projekcí na kůži, proto je nutné nejdříve vyhledat příslušný anatomický bod a označit tento bod na kůži (Janura et al., 2009).

U vyšetřované osoby se vyskytují problémy související např. s množstvím podkožního tuku, které brání palpaci daného bodu. Pro vyhodnocení by značky neměly být umístěny kolineárně (v jedné přímce), aby se segment zobrazil v prostoru pomocí rovinného obrazce, např. trojúhelníku. Toto rozmístění je důležité pro vyhodnocení rotace segmentu vzhledem k jeho podélné ose. Měkké tkáně se vlivem změn rychlosti a setrvačnosti posouvají, což bývá příčinou změny polohy značky vzhledem k anatomickému bodu na kosti (Janura & Zahálka, 2004).

Je třeba si uvědomit, že označení bodů na těle člověka lze provést pouze při laboratorním měření. Existuje spousta situací, kdy označení bodů není možné, např. záznam pohybu ve sportu, analýza záznamu z průmyslových kamer apod.). V tomto případě se body na záznamu značí odhadem, což zvyšuje riziko vzniku chyby (Janura et al., 2009).

Obrázek 7 Zdroje chyb u empirických měření chůze (Janura et al. 2009, 116)



3 CÍLE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY

3.1 Cíle

Hlavním cílem práce je porovnat odchylky identifikačních křivek a úhlových parametrů ve výsledcích měření chůze mezi videografickou vyšetřovací metodou a 3D kinematickou analýzou.

Dílčí cíle práce

1. Analyzovat časové parametry zvolených bodů na těle v krokovém cyklu systémem Vicon MX.
2. Analyzovat úhlové parametry krokového cyklu v hlezenním, kolenním a kyčelním kloubu systémem Vicon MX.
3. Analyzovat časové parametry zvolených bodů na těle v krokovém cyklu videografickou vyšetřovací metodou.
4. Analyzovat úhlové parametry krokového cyklu v hlezenním, kolenním a kyčelním kloubu videografickou vyšetřovací metodou.
5. Porovnat časové a úhlové parametry krokového cyklu mezi videografickou vyšetřovací metodou a 3D kinematickou analýzou chůze.

3.2 Výzkumné otázky

1. Liší se časové parametry krokového cyklu při kinematické analýze chůze pomocí systému Vicon MX a videografické vyšetřovací metodě?
2. Liší se úhlové parametry krokového cyklu při kinematické analýze chůze pomocí systému Vicon MX a videografické vyšetřovací metodě?

4 METODIKA

Měření probíhalo v biomechanické laboratoři na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

Pro výzkumnou část byly použity dvě různé metody pro měření parametrů krokového cyklu – 3D kinematická analýza chůze a videografická vyšetřovací metoda.

4.1 Charakteristika testované osoby

Testovaná osoba byl student mužského pohlaví Fakulty tělesné kultury ve věku 23 let. Jeho výška byla 176 cm a hmotnost 79 kg. Testovaný jedinec byl zdravá osoba bez jakýchkoliv onemocnění či zdravotních problémů.

4.2 3D kinematická analýza chůze

4.2.1 Technické zařízení

Kinematické parametry chůze jsme sledovali pomocí 7 infračervených kamer (Vicon MX, Oxford Metrics Inc., Oxford), které byly rozmístěny kolem středové dráhy o délce 5 metrů. Systém Vicon MX využívá pasivních zevních markerů odrážejících infračervené záření.

Pro získání dat z měření byl použit software Vicon Nexus. Pro export dat a prezentaci výsledků byl použit software Vicon Polygon.

4.2.2 Průběh měření

Měření předcházela kalibrace systému pomocí kalibrační hůlky (Wand) a kalibračního rámečku (L-Frame) pro určení počátku prostoru.

Během měření byla testovaná osoba ve spodním prádle a bez obuvi. Před měřením byla změřena výška testované osoby a dále bylo na tělo umístěno 35 reflexních značek na obou stranách těla:

- hlava: čelenka se 4 značkami,
- trup: processus spinosus C7 a Th10, processus xiphoideus, fossa jugularis, bod na lopatce,
- horní končetiny: acromion, epicondylus lateralis humeri, processus styloideus radii, processus styloideus ulnae, daktylion,

- pánev: spina iliaca anterior superior, spina iliaca posterior superior dextra et sinistra,
- dolní končetiny: trochanter major femoris, epicondylus lateralis femoris, tibiae, malleolus lateralis, pata, hlavička 2. metatarsu, os calcaneus.

V místnosti, kde probíhalo měření, byl dostatečný prostor a standardní pokojová teplota pro provedení chůze. V laboratoři se vyskytovalo se minimum rušivých elementů. Umístění značek bylo prováděno odborným pracovníkem s dostatečnou zkušeností. Testovaná osoba prováděla chůzi přirozeným způsobem. Bylo nasnímáno celkem 10 pokusů probanda z nichž byly vybrány 4 pokusy. Z těchto 4 pokusů byly analyzovány časové a úhlové parametry.

4.3 Videografická vyšetřovací metoda

4.3.1 Technické zařízení

Kinematické parametry pomocí videografické vyšetřovací metody jsme zjišťovali ze záznamu chůze z videokamery (JVC GR-DVL9800) umístěné v našem případě kolmo na osu směru pohybu. Pro získání a zpracování dat byl použit software APAS.

4.3.2 Průběh měření

Měření předcházela výběr umístění kamery tak, aby byla umístěna kolmo na rovinu směru pohybu. Pozice kamery byla v dostatečné vzdálenosti tak, aby testovaná osoba byla po celou dobu videozáznamu v obrazu kamery. Měření probíhalo bez obuvi, ale s oblečením na těle kvůli simulaci terénního prostředí.

Při zpracování každého záznamu byl analyzován jeden krokový cyklus. Frekvence záznamu snímku kamery byl 50 snímků/s. Každý snímek byl analyzován jednotlivě a byly označovány na obou stranách těla tyto vybrané body na těle:

- hlava: ucho,
- horní končetina: acromion (rameno),
- pánev: kyčel
- dolní končetina: hlavička 2. metatarsu (špička), malleolus lateralis (kotník), pata (calcaneus).

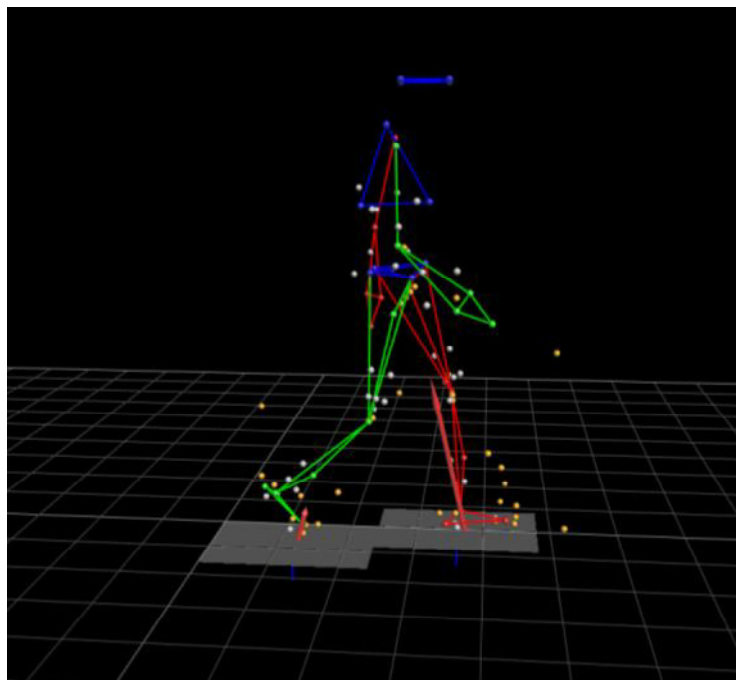
V místnosti, kde probíhalo měření, byl dostatečný prostor a standardní pokojová teplota pro provedení chůze. V laboratoři se vyskytovalo minimum rušivých elementů. Umístění značek bylo prováděno odborným pracovníkem s dostatečnými zkušenostmi. Testovaná osoba prováděla chůzi přirozeným způsobem. Bylo nasnímáno celkem 6 pokusů, z nichž byly vybrány 4 videozáznamy – 2 na pravou a 2 na levou stranu.

Při záznamu z videokamery umístěné kolmo na osu směru pohybu nelze analyzovat opačnou stranu těla, která na snímku videozáznamu není zabrána. Při 3D kinematické analýze chůze jsme proto brali v potaz také jen body na těle z pravé či levé strany.

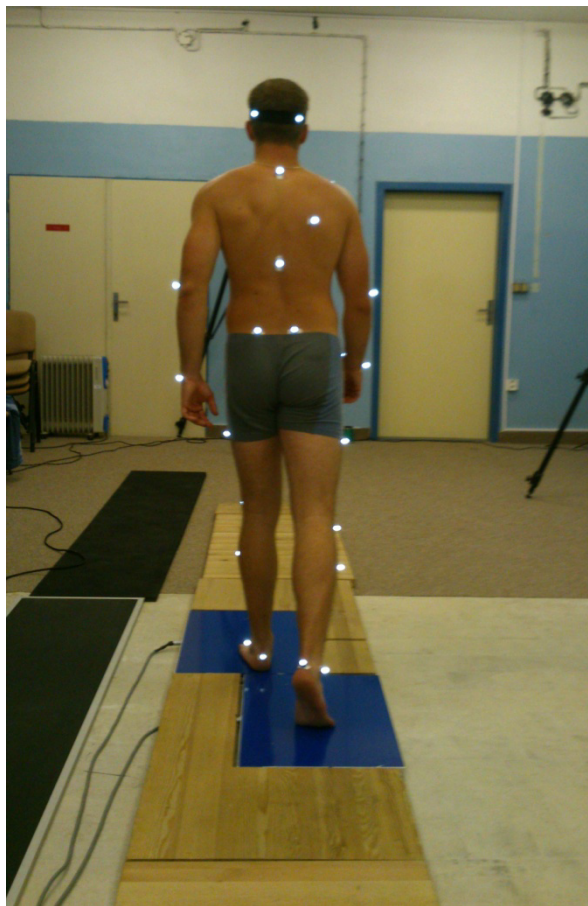
4.4 Zpracování dat

Zpracování naměřených hodnot 3D kinematické analýzy chůze systémem Vicon MX bylo provedeno v programu Vicon Nexus. Zpracování naměřených hodnot videografické vyšetřovací metody bylo provedeno v programu APAS. Hodnotili jsme kinematické parametry chůze vybraných bodů na těle v sagitální rovině. Pro zpracování časových a úhlových parametrů do grafů byl použit program Microsoft Office Excel® 2007.

Obrázek 8 Vizualizace chůze 3D kinematické analýzy chůze (pohled z boku)



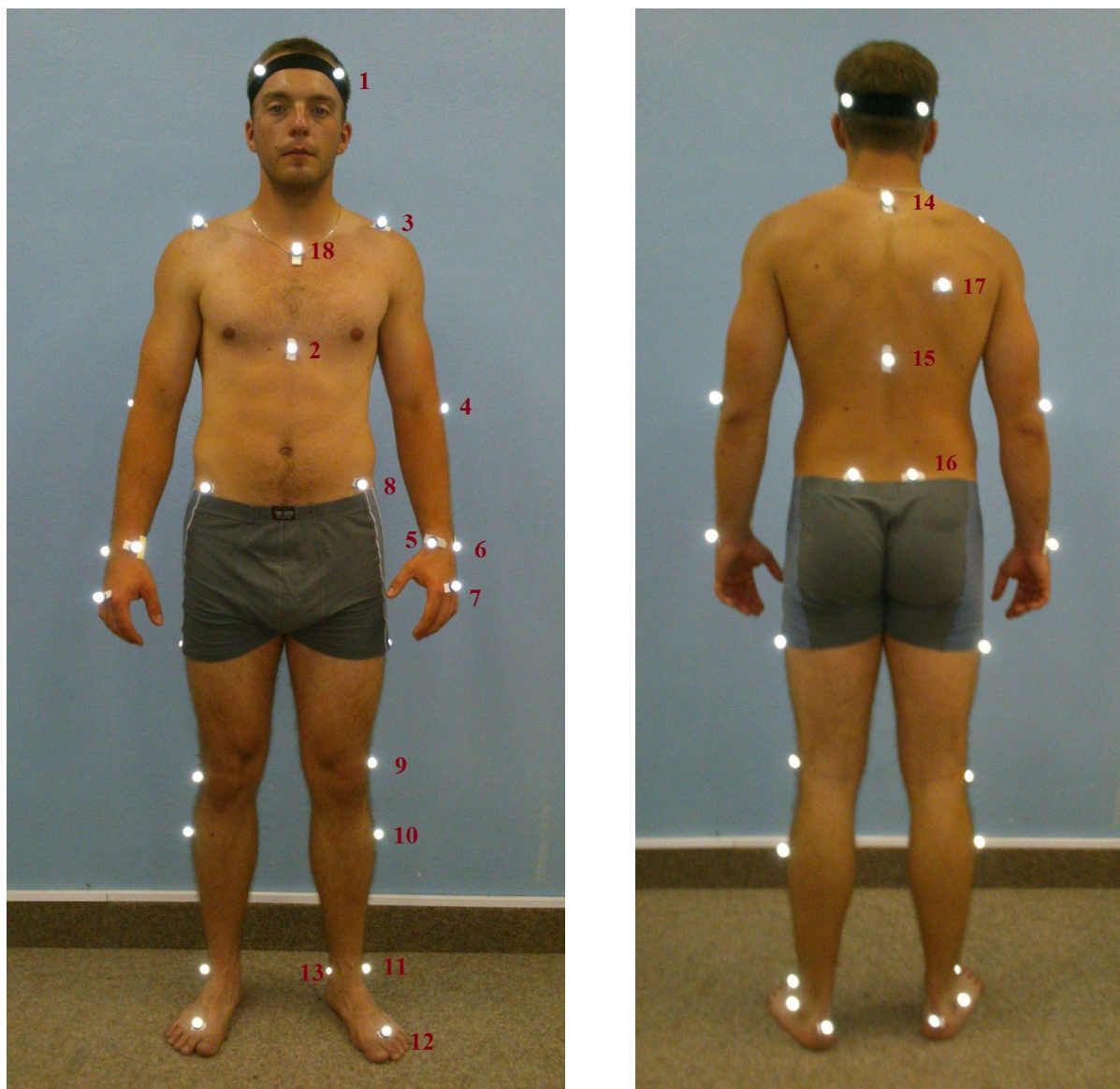
Obrázek 9 Měření chůze se značkami systémem Vicon MX (pohled zepředu a zezadu)



Obrázek 10 Záznam pohybu videografické vyšetřovací metody (pohled z boku)



Obrázek 11 Umístění značek na těle (pohled zepředu a zezadu)



Legenda: 1. čelenka se 4 značkami - 2. processus xiphoideus - 3. acromion - 4. epicondylus lateralis humeri - 5. processus styloideus radii - 6. processus styloideus ulnae - 7. dactylion - 8. spina iliaca anterior superior - 9. trochanter major - 9. epicondylus lateralis femoris - 10. tibie - 11. malleolus lateralis - 12. hlavička 2. metatarsu - 13. os calcaneus - 14. processus spinosus C7 - 15. Th10 - 16. spina iliaca posteriori superior - 17. bod na lopatce - 18. fossa jugularis

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

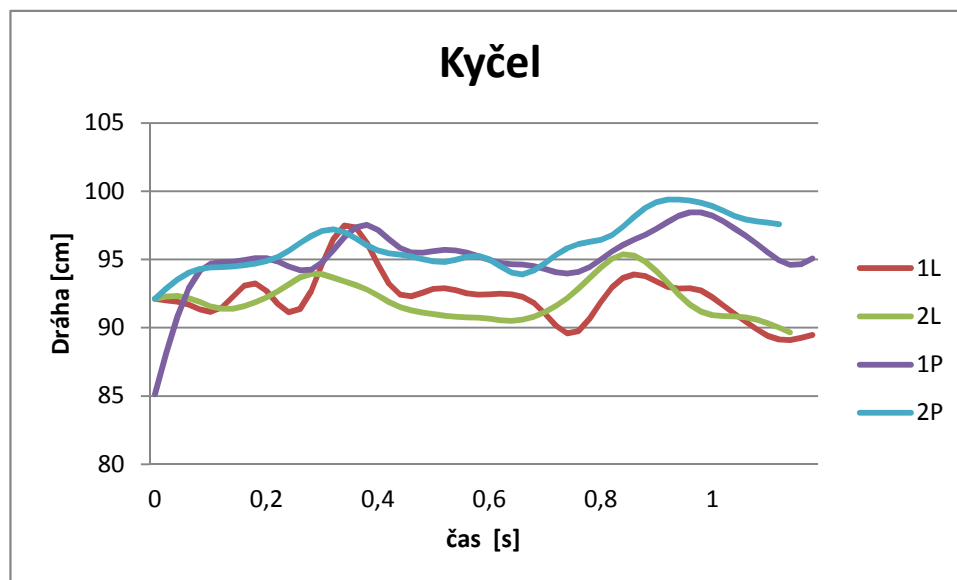
5.1 Výzkumná otázka 1

Liší se časové parametry krokového cyklu při kinematické analýze chůze pomocí systému Vicon MX a videografické vyšetřovací metodě?

Byl zjištěn rozdíl v časových parametrech krokového cyklu mezi kinematickou analýzou chůze pomocí systému Vicon MX a videografickou vyšetřovací metodou. Ověření výsledků je znázorněno v následujících grafech.

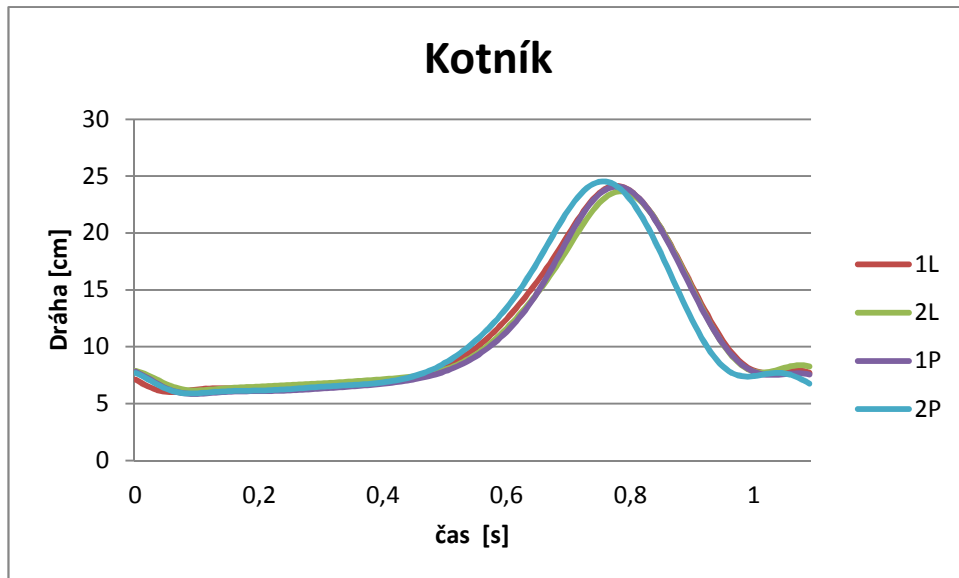
Z výsledných grafů bylo zjištěno, že časový průběh vybraných parametrů při použití obou metod měření chůze se liší. Systém Vicon MX vykazuje minimální odchylky v časovém průběhu mezi jednotlivými pokusy. Kdežto při videografické vyšetřovací metodě jsou rozdíly značné i mezi jednotlivými pokusy. Ve výsledném srovnání jednotlivých pokusů (1L, 1P, 2L, 2P) mezi oběma metodami dochází k odchýlkám.

Graf 1 Pohyb kyčle ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou



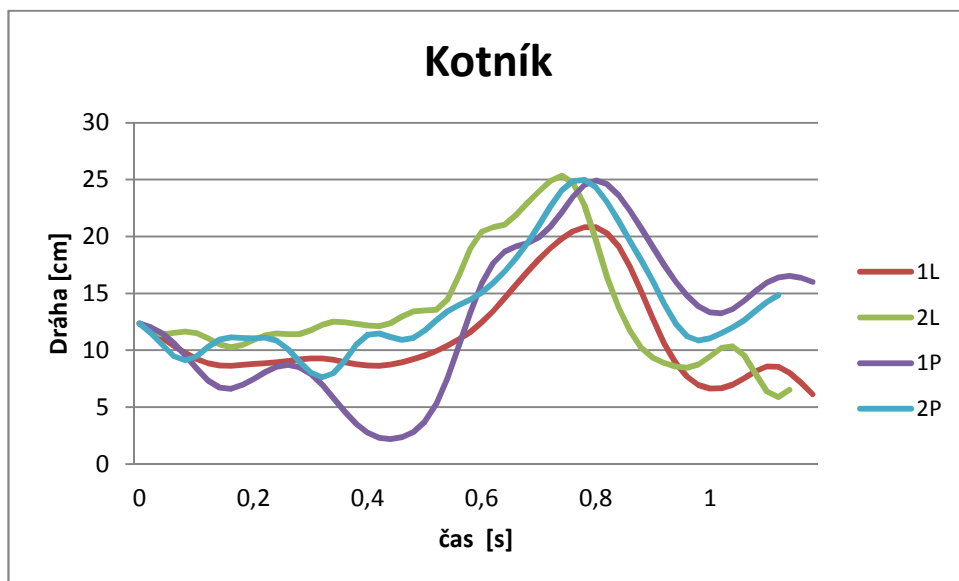
Legenda: 1L - levá kyčel (pokus č. 1), 1P - pravá kyčel (pokus č. 1), 2L - levá kyčel (pokus č. 2), 2P - pravá kyčel (pokus č. 2)

Graf 2 Pohyb kotníku ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX



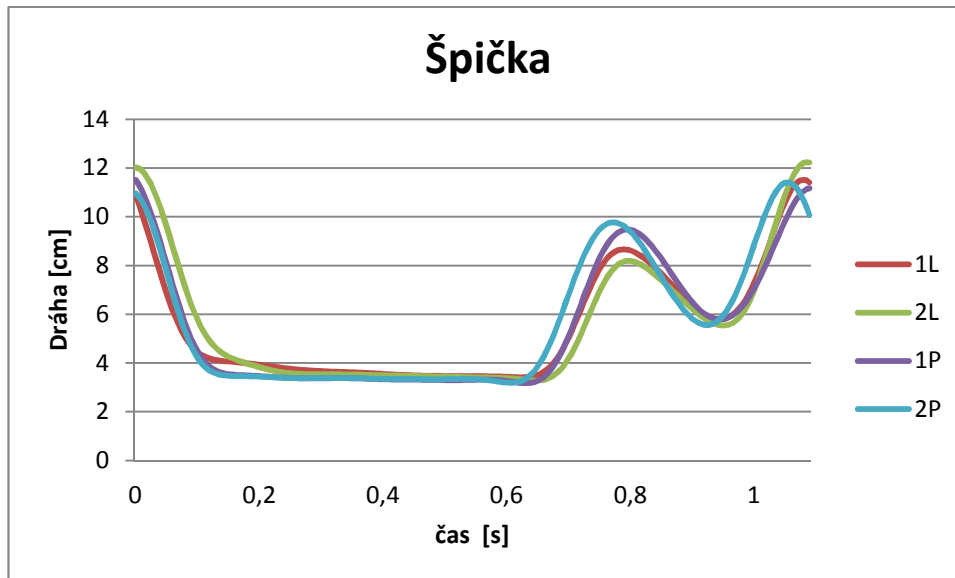
Legenda: 1L - levý kotník (pokus č. 1), 1P - pravý kotník (pokus č. 1), 2L - levý kotník (pokus č. 2), 2P - pravý kotník (pokus č. 2)

Graf 3 Pohyb kotníku ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou



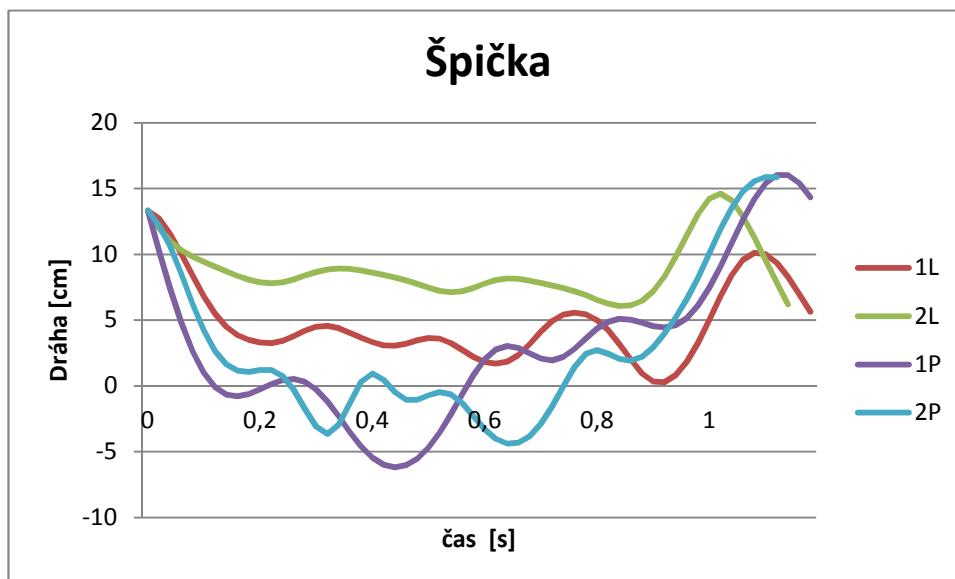
Legenda: 1L - levý kotník (pokus č. 1), 1P - pravý kotník (pokus č. 1), 2L - levý kotník (pokus č. 2), 2P - pravý kotník (pokus č. 2)

Graf 4 Pohyb špičky ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX



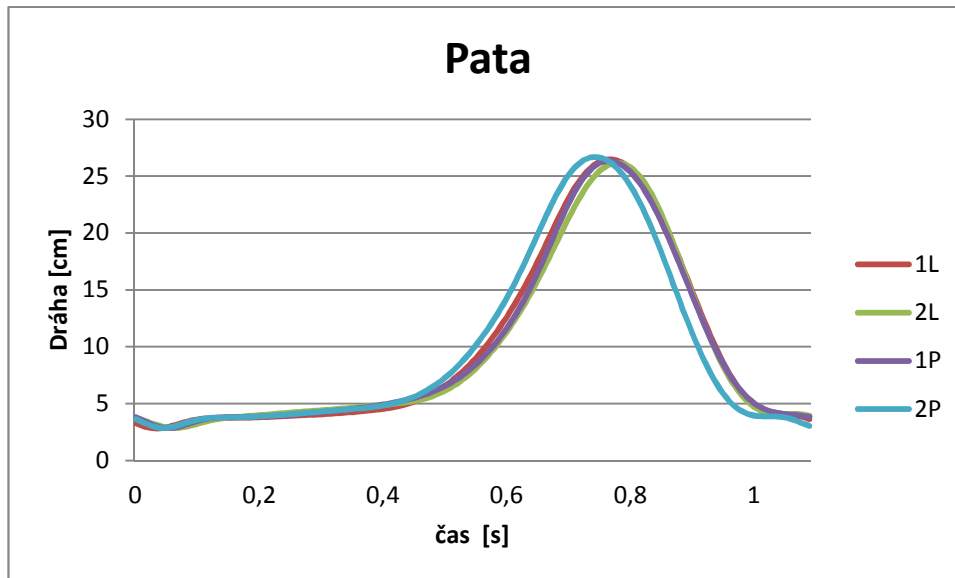
Legenda: 1L - levá špička (pokus č. 1), 1P - pravá špička (pokus č. 1), 2L - levá špička (pokus č. 2), 2P - pravá špička (pokus č. 2)

Graf 5 Pohyb špičky ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou



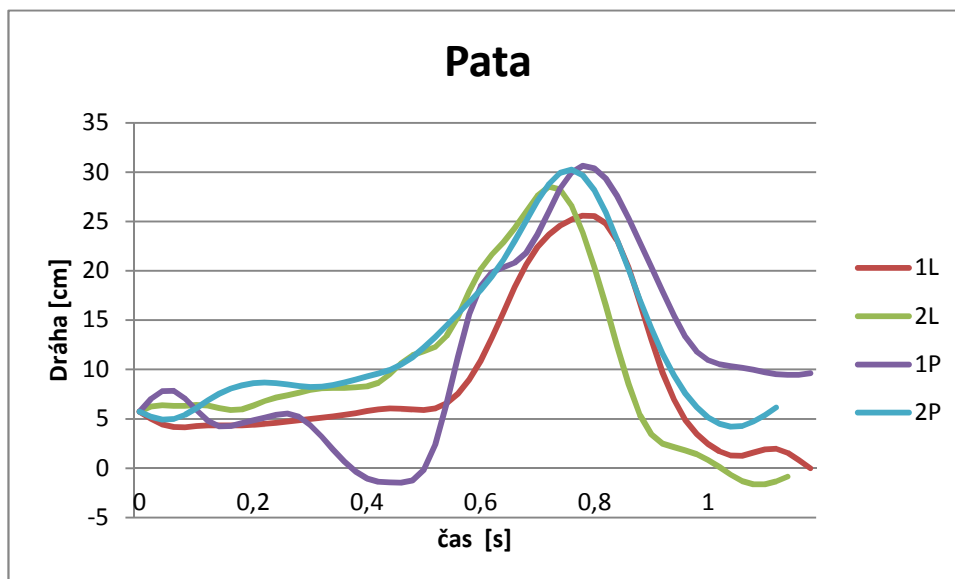
Legenda: 1L - levá špička (pokus č. 1), 1P - pravá špička (pokus č. 1), 2L - levá špička (pokus č. 2), 2P - pravá špička (pokus č. 2)

Graf 6 Pohyb pata ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX



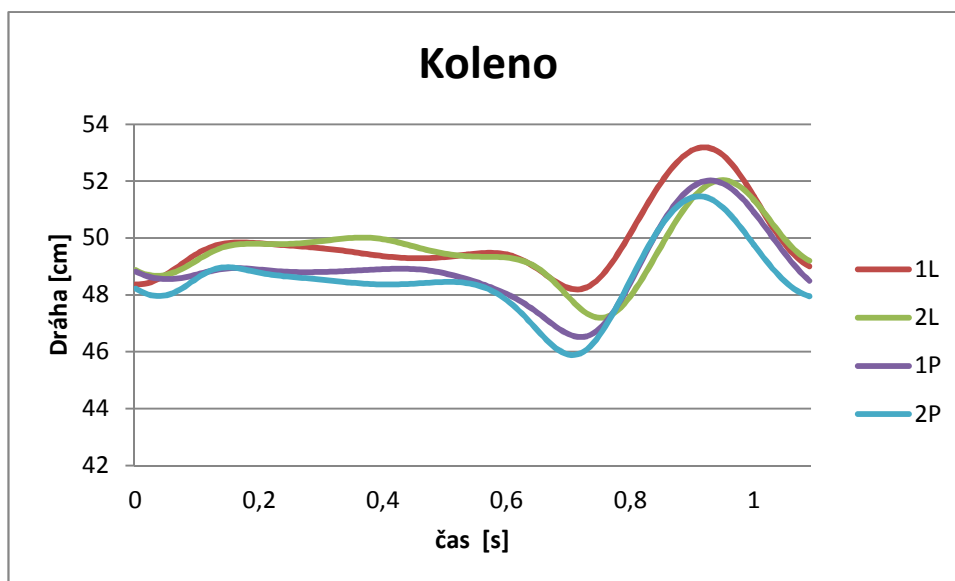
Legenda: 1L - levá pata (pokus č. 1), 1P - pravá pata (pokus č. 1), 2L - levá pata (pokus č. 2), 2P - pravá pata (pokus č. 2)

Graf 7 Pohyb pata ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou



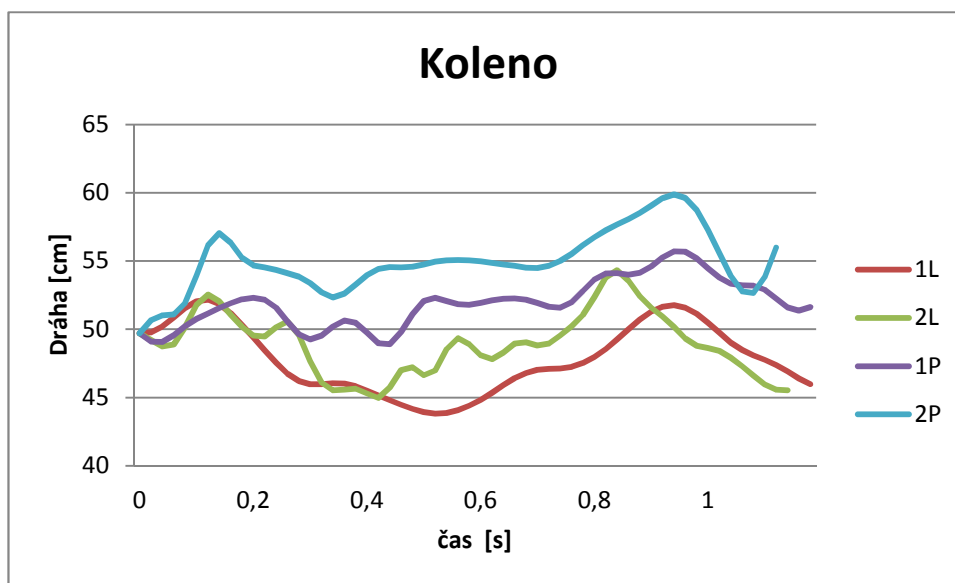
Legenda: 1L - levá pata (pokus č. 1), 1P - pravá pata (pokus č. 1), 2L - levá pata (pokus č. 2), 2P - pravá pata (pokus č. 2)

Graf 8 Pohyb kolena ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX



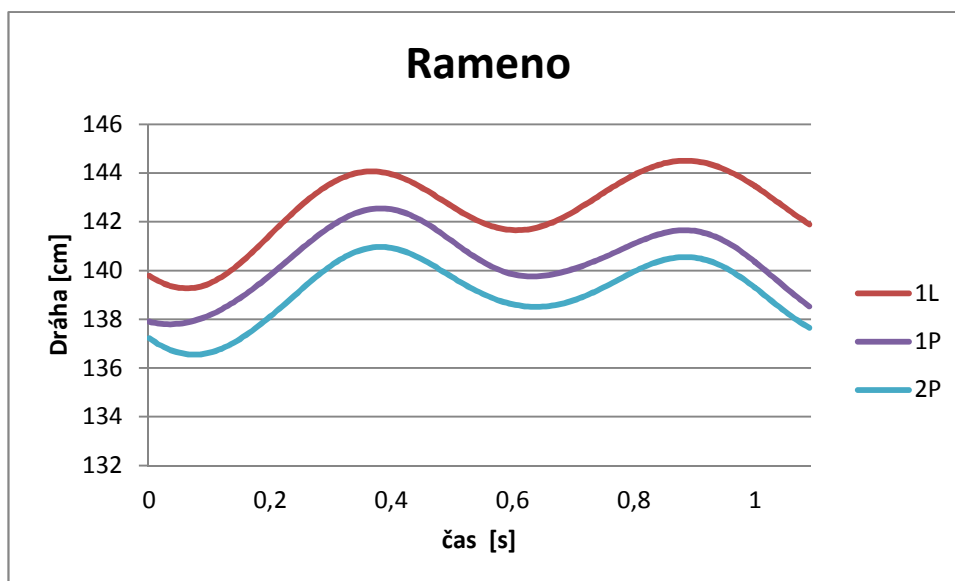
Legenda: 1L - levé koleno (pokus č. 1), 1P - pravé koleno (pokus č. 1), 2L - levé koleno (pokus č. 2), 2P - pravé koleno (pokus č. 2)

Graf 9 Pohyb kolena ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou



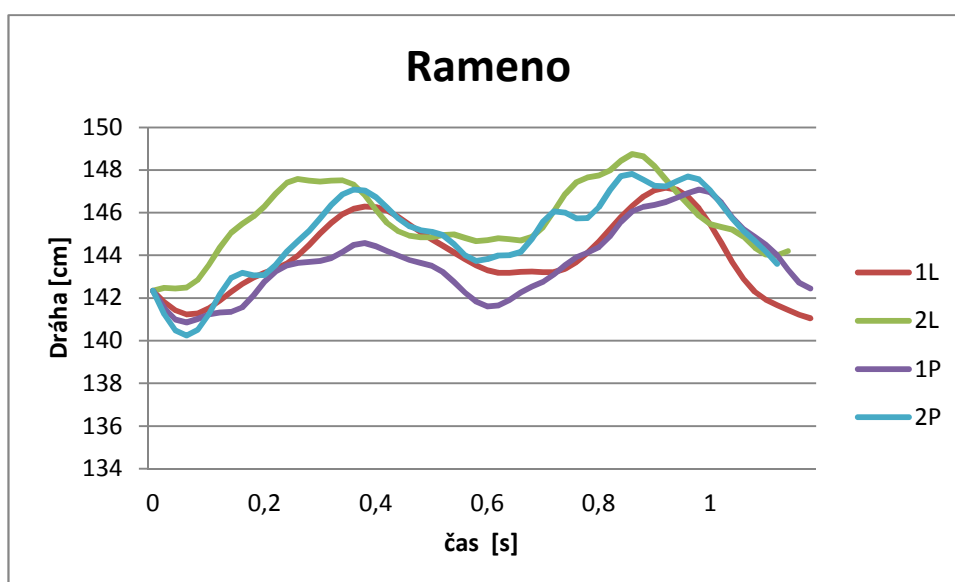
Legenda: 1L - levé koleno (pokus č. 1), 1P - pravé koleno (pokus č. 1), 2L - levé koleno (pokus č. 2), 2P -pravé koleno (pokus č. 2)

Graf 10 Pohyb ramene ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX



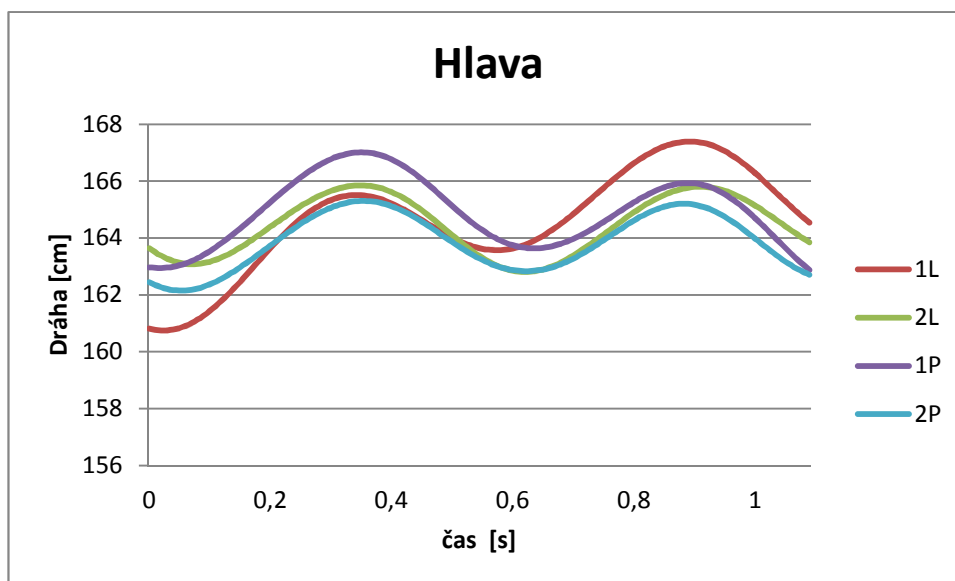
Legenda: 1L - levé rameno (pokus č. 1), 2L - pravé rameno (pokus č. 2), 2P - pravé rameno (pokus č. 2)

Graf 11 Pohyb ramene ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou



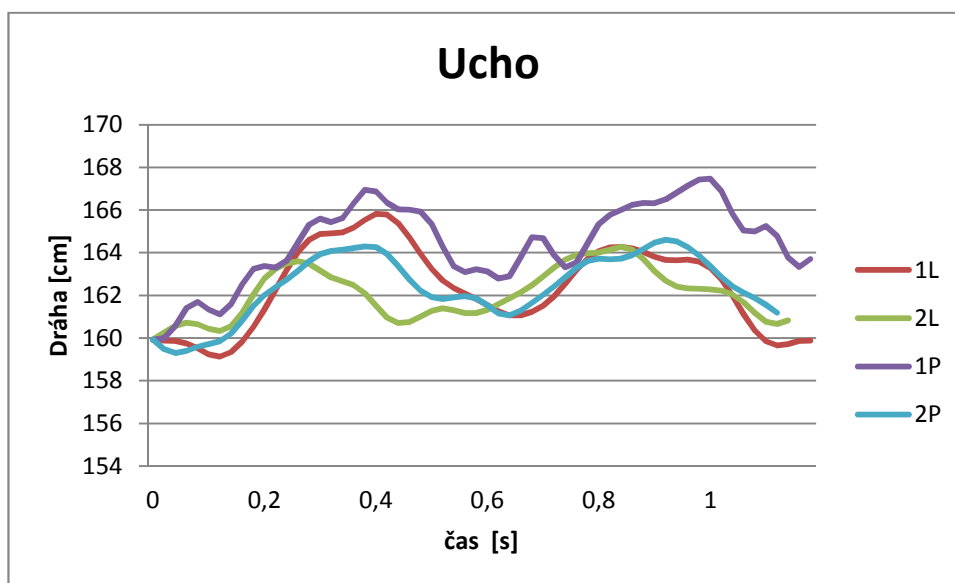
Legenda: 1L - levé rameno (pokus č. 1), 1P - pravé rameno (pokus č. 1), 2L - levé rameno (pokus č. 2), 2P - pravé rameno (pokus č. 2)

Graf 12 Pohyb hlavy ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX



Legenda: 1L - levý bod na hlavě (pokus č. 1), 1P - pravý bod na hlavě (pokus č. 1), 2L - levý bod na hlavě (pokus č. 2), 2P - pravý bod na hlavě (pokus č. 2)

Graf 13 Pohyb ucha ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou



Legenda: 1L - levé ucho (pokus č. 1), 1P - pravé ucho (pokus č. 1), 2L - levé ucho (pokusu č. 2), 2P - pravé ucho (pokus č. 2)

Při porovnání jednotlivých grafů obou metod si lze všimnout odchylek u grafů kotníků, nicméně je vidět určitý náznak podobnosti. Toto najdeme kromě kotníku také u paty, ramene a hlavy (ucha). Při porovnání výsledků grafů špiček a kolen bylo zjištěno, že pro tyto parametry je podobnost grafů menší.

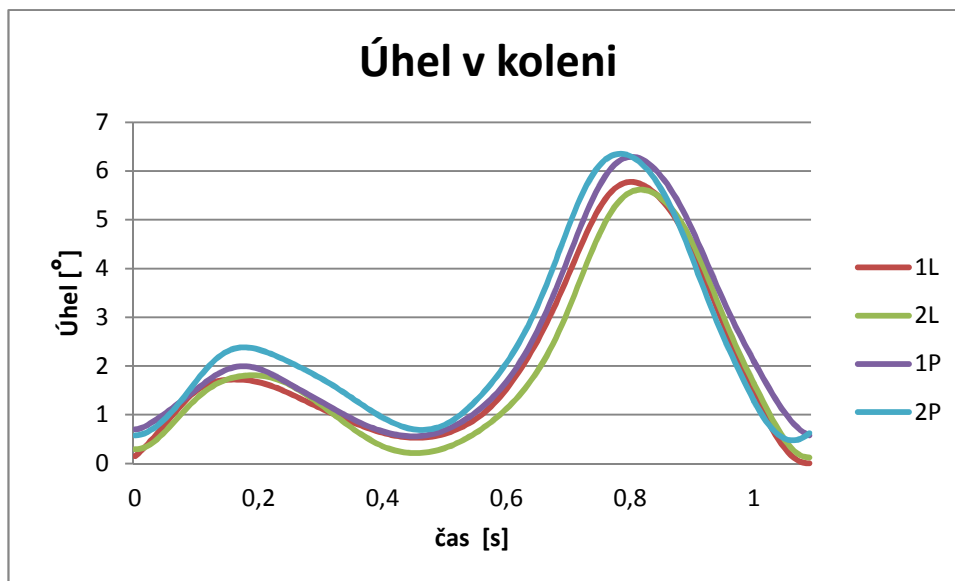
5.2 Výzkumná otázka 2

Liší se úhlové parametry krokového cyklu při kinematické analýze chůze pomocí systému Vicon MX a videografické vyšetřovací metodě?

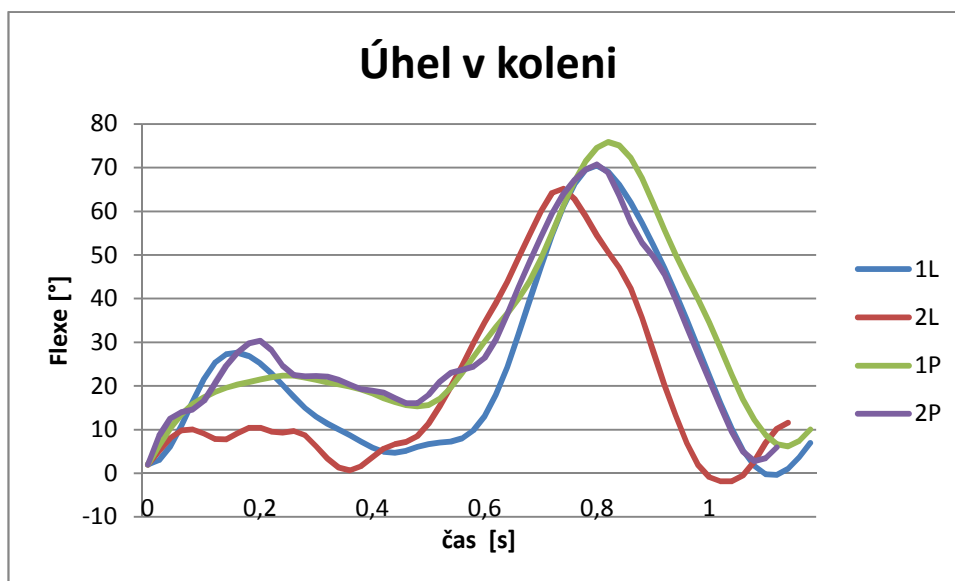
Byl zjištěn rozdíl v úhlových parametrech krokového cyklu mezi kinematickou analýzou chůze pomocí systému Vicon MX a videografickou vyšetřovací metodou. Ověření výsledků je znázorněno v následujících grafech.

Z výsledných grafů bylo zjištěno, že úhlové parametry obou metod při měření chůze se liší. Systém Vicon MX vykazuje minimální odchylky v časovém průběhu parametrů mezi jednotlivými pokusy. Kdežto při videografické vyšetřovací metodě jsou rozdíly značné i mezi jednotlivými pokusy. Ve výsledném srovnání jednotlivých pokusů (1L, 1P, 2L, 2P) mezi oběma metodami dochází k odchýlkám.

Graf 14 Úhlové parametry v kolenním kloubu měřené systémem Vicon MX

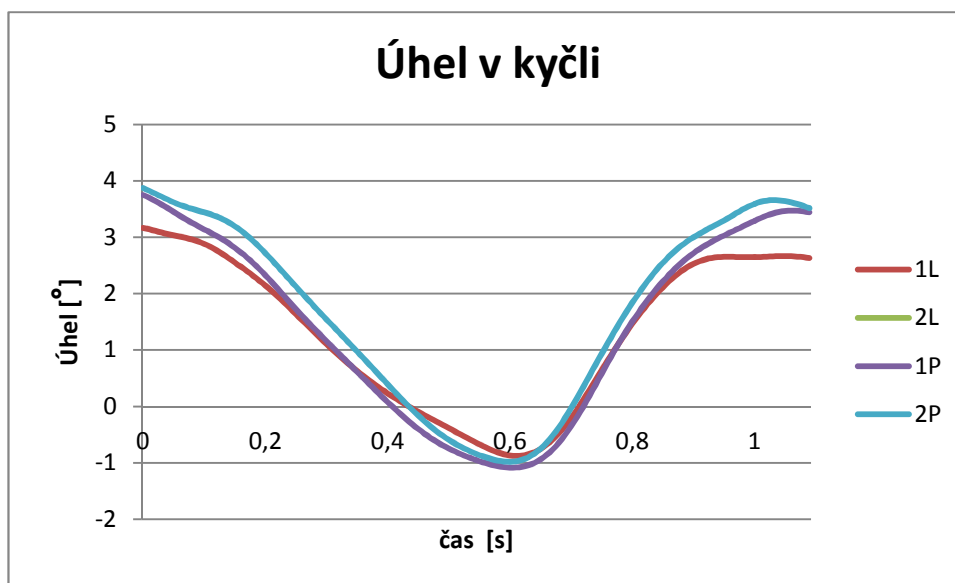


Graf 15 Úhlové parametry v kolenním kloubu měřené videografickou vyšetřovací metodou

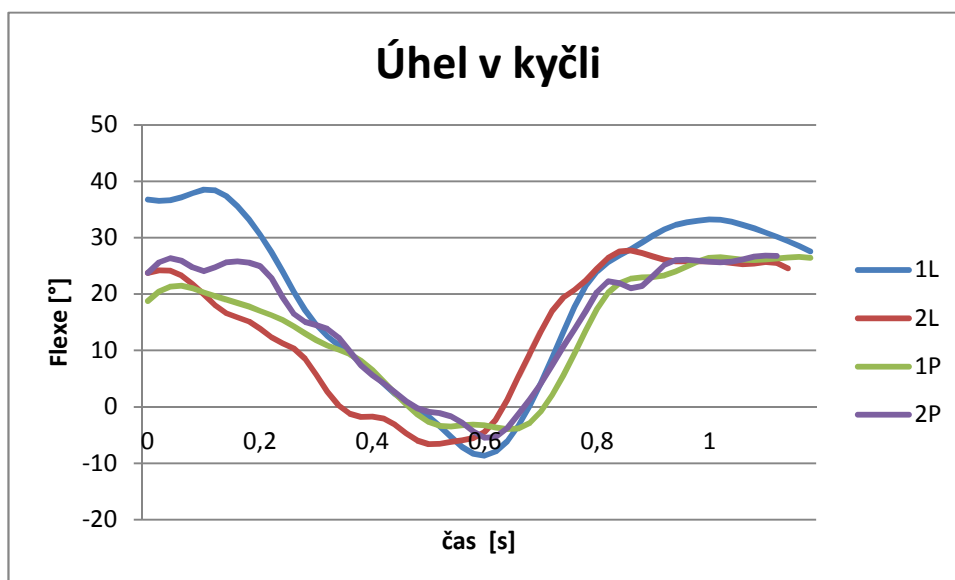


Legenda ke grafům 14 a 15: 1L - levé koleno (pokus č. 1), 1P - pravé koleno (pokus č. 1), 2L - levé koleno (pokus č. 2), 2P - pravé koleno (pokus č. 2)

Graf 16 Úhlové parametry v kyčelním kloubu měřené systémem Vicon MX



Graf 17 Úhlové parametry v kyčelním kloubu měřené videografickou vyšetřovací metodou



Legenda ke grafům 16 a 17: 1L - levá kyčel (pokus č. 1), 1P - pravá kyčel (pokus č. 1), 2L - levá kyčel (pokus č. 2), 2P - pravá kyčel (pokus č. 2)

5.3 DISKUZE

Pro člověka je nejběžnější lokomočním typem pohybu chůze. Je používána v každodenním životě jak k základním životním potřebám, tak i při práci a zaměstnání (Véle, 2006). Když se člověk pohybuje, vykazuje při tomto pohybu charakteristické znaky. Tento poznatek si lze uvědomit v situaci, kdy poznáme nám známou osobu například zezadu, aniž bychom ji viděli do tváře. Straus (2001) uvádí, že lidské oko je schopno rozpoznat známého člověka na více než 150 metrů daleko. Člověk tedy při chůzi vykazuje charakteristické, znaky pro každého člověka jedinečné. Kriminalisté si položili otázku, jak by se dal tento poznatek využít při identifikaci osob podle stylu chůze a zda je možné charakteristické znaky chůze vyjádřit pomocí identifikačních křivek, popřípadě, kolik jich musí být.

Chůze je opakující se cyklický pohyb. Krokový cyklus je základní jednotkou chůze a předpokládá se, že následující cykly jsou stejné. Krokový cyklus se zakládá na dvojkroku a dvojkrok se skládá z jednotlivých kroků (Whittle, 2007). Pro identifikaci osoby dle dynamického stereotypu chůze stačí pořízený záznam chůze pouze jednoho krokového cyklu, tedy jednoho dvojkroku (Straus, 2001).

Výzkumná část této práce se zaměřovala na použití dvou metod analýzy chůze. První metoda byla kinematická analýza chůze systémem Vicon MX, druhá metoda byla videografická vyšetřovací metoda. Cílem bylo vytvořit z vybraných bodů na těle (kotník, špička, pata, atd.) grafy pohybu těchto bodů ve vertikálním směru v závislosti na čase. Výsledné grafy použitých obou metod byly porovnány, abychom zjistili, lze-li na základě naší metody identifikovat ze záznamu chůze vyšetřovanou osobu.

Na základě výsledků byly porovnány grafy pohybu vybraných bodů na těle ve vertikálním směru v závislosti na čase. Podle našich výsledků byly zaznamenány odchylky v měření mezi oběma metodami. Zatímco při 3D kinematické analýze pomocí systému Vicon MX byly odchylky mezi jednotlivými pokusy (1L, 1P, 2L, 2P) minimální, při videografické vyšetřovací metodě byly viditelné odchylky i mezi jednotlivými pokusy.

Příčinou rozdílných výsledků mezi metodou pomocí systému Vicon MX a videografickou vyšetřovací metodou mohlo být to, že systém Vicon využívá 3D analýzu, zatímco videografická vyšetřovací metoda využívá zobrazení 2D. Značky v prostoru jsou určeny pomocí tří os (x,y,z). Pro naši analýzu jsme brali v potaz pohyb bodů ve vertikální ose a úhlové parametry v kolenním a kyčelním kloubu v sagitální rovině. 2D vyšetřovací metoda nemusí být tak přesná jako metoda 3D analýzy.

Pavlíková (2009) se zabývala posouzením vzájemné souvislosti mezi 2D a 3D kinematickou analýzou v rámci měření stereotypu abdukce a flexe v ramenním pletenci. Ve své studii Pavlíková uvádí, že byla prokázána rozdílnost výsledků při porovnání 2D a 3D kinematické analýzy a byl zjištěn staticky významný rozdíl mezi těmito metodami kinematické analýzy. 3D analýza je přesnější než 2D analýza.

Pravděpodobně hlavní příčinou odchylek videografické vyšetřovací metody u vybraných bodů na těle byl odhad výběru značek na těle. U videografické vyšetřovací metody je potřeba body na těle označovat ručně snímek po snímku. Jeden dvojkrok při běžné rychlosti chůze trvá přibližně 1,0-1,2 sekundy. Při frekvenci 50 snímků za sekundu je u pořízeného videozáznamu jednoho dvojkroku nezbytné polohu značek určit alespoň u 50-60 snímků na každý pokus. Přesto jsou odchylky u grafů viditelné. Běžná kamera natáčí videozáznam frekvencí 45 snímků za sekundu. U průmyslových kamer objektů nebo peněžních ústavů bývá frekvence videozáznamu ještě nižší. Proto analýza u těchto kamer je ještě obtížnější. Podle Porady et al. (2010) je frekvence videozáznamu (10-20 snímků/s) hraniční, čím vyšší frekvence, tím lépe.

Vyhodnocování záznamu z průmyslových kamer je tedy doprovázeno množstvím faktorů, které mohou pořízený videozáznam ovlivnit. Kromě frekvence záznamu, je dalším klíčovým faktorem podle Porady et al. (2010) dostatečné rozlišení obrazu a vzdálenost subjektu od kamery.

Porada et al. (2010) zkoumali záznamy chůze s různou frekvencí snímků a kvalitou rozlišení obrazu. Popisují celkem 6 případů záznamu chůze. V prvních dvou případech byla frekvence záznamu 30 snímků za sekundu a v dalších čtyřech případech 2 snímky za sekundu. Rozlišení obrazu bylo v prvním případě 352x288 obrazových bodů, v druhém 704x576 a v dalších čtyřech 755x560 obrazových bodů. Délky videozáznamů byly různé od 2,6 sekund až po 36,5 sekundy. Použitelné byly pouze v případech, kdy byly takové příznivé světelné podmínky, které je příliš nezsvětlovaly. Dále záznamy s dostatečnou velikostí postavy na snímku, se zachyceným alespoň jedním celým krokovým cyklem, a kde kamera byla co nejvíce kolmá na osu směru pohybu. Analyzováno bylo 5 z celkem 6 záznamů, nicméně Porada et al. (2010), ani jiní autoři neuvádí, zda byly výsledky těchto analýz průkazné pro identifikaci dané osoby.

Rozdílné výsledky obou metod použité v našem výzkumu mohly být zapříčiněny rozdílnou filtrací či rozdílným zpracováním dat použitým u obou metod.

Důležité jsou faktory, které mohou ovlivnit stejné provedení chůze a ztížení identifikace. Nejdůležitější jsou dostatečné světelné podmínky prostředí, kvalita obrazu a velikost pozorované osoby na videozáznamu, frekvence snímků, úhel a pozice kamery vzhledem k trajektorii chůze osoby, množství a druh oblečení, které má pozorovaná osoba na sobě, zda-li nese břemeno apod. Podle Vélého (1997) má např. tréninkové zatížení také vliv na motoriku, a tím i na pohybový vzorec provedení chůze.

Důležitý je také psychologický náhled na provedení chůze, kdy pachatel trestné činnosti (např. při přepadení peněžního ústavu) je vystaven velkému stresu a jeho chůze může být pod takovým psychickým tlakem nepřirozená. Uveden ještě nebyl faktor změny variability chůze se stoupajícím věkem. Porada et al. (2007) uvádí, že na základě dlouholeté studie ručního písma, která je podložena výsledky, je možné aplikovat Queteletovou teorii o neměnnosti a relativní stálosti rozměrů lidských kostí po dosažení určitého věku. Porada et al. (2007) uvádějí, že odvozeně by se tato teorie dala použít i na dynamický stereotyp chůze. Podle Janury et al. (2009) lze tento fakt akceptovat za předpokladu, že chůzi vnímáme prostřednictvím identifikačních trajektorií, ale k individualizaci dochází po ukončení fáze „učení“ ve vývoji jedince.

Podle Queteletové teorie by to v praxi znamenalo, že pachatel natočený na videozáznam by mohl být díky dynamickému stereotypu chůze usvědčen i za několik let po spáchání trestného činu. Dle mého názoru je dynamický stereotyp chůze složitější proces než stereotyp ručního písma, protože k chůzi je třeba zapojit více partií těla. Se stoupajícím věkem se lidské tělo vlivem nemocí a patologických změn opotřebovává a tím lze předpokládat, že se tyto změny projeví v chůzi v daleko větší míře než při psaní.

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo porovnat odchylky identifikačních křivek a úhlových parametrů ve výsledcích měření chůze mezi videografickou vyšetřovací metodou a 3D kinematickou analýzou. Na základě výsledků jsme stanovili závěr, že časové a úhlové parametry obou metod se liší.

Vzhledem k tomu, že podobná studie dynamického stereotypu chůze naší metodou nebyla předtím provedena, nelze vyvozovat z naměřených dat striktní závěry. I přes uvedenou skutečnost jsme zjistili, že grafy obou metod se příliš neshodují. Určitou tendenci k podobnosti u některých vybraných křivek bodů na těle jsme našli, nicméně celkově průkazné výsledky z nich vyvodit nelze.

Při porovnání jednotlivých grafů obou metod si lze všimnout odchylek u grafů kotníků, nicméně je vidět určitý náznak podobnosti. Toto najdeme kromě kotníku také u paty, ramene a hlavy (ucha). Horších výsledků bylo dosaženo při porovnání výsledků grafů špiček a kolen, kde je podobnost grafů o dost menší. Graf kyčle systémem Vicon MX nebyl analyzován. Graf kyčle videografické vyšetřovací metody není příliš shodný ani mezi jednotlivými pokusy (L1, P1, L2, P2) v rámci této metody. Odchylky úhlových parametrů kolenního a kyčelního kloubu byly celkově menší než u vybraných bodů na těle.

Náš výzkum byl prováděn v laboratorních podmínkách a v ideálním prostředí s co nejmenší možností vlivů, které by působili na variabilitu provedení chůze. Využití analýzy záznamu chůze, podle dynamického stereotypu chůze pro identifikaci osoby, se podle našeho výzkumu ukázalo jako neprůkazné. Výsledky ukazují na potřebu dalšího výzkumu v této oblasti například s větší skupinou probandů. Celkově problematika tohoto tématu je zatím málo probádanou oblastí

7 SOUHRN

Chůze je základní pohybovou činností člověka. Když se člověk pohybuje, vykazuje při tomto pohybu charakteristické znaky, které jsou pro každého jedince individuální. Tyto znaky můžeme vyjádřit identifikačními křivkami. Obor kriminalistické vědy - forenzní biomechanika využívá těchto poznatků pro identifikaci osob.

Teoretická část práce se zabývá forenzní biomechanikou, identifikací osob v kriminalistice, chůzi a krokovým cyklem. Cílem této práce bylo porovnat odchylky identifikačních křivek a úhlových parametrů chůze mezi videografickou vyšetřovací metodou a 3D kinematickou analýzou.

Testovaná osoba byl student mužského pohlaví Fakulty tělesné kultury ve věku 23 let. Jeho výška byla 176 cm a hmotnost 79 kg. U testované osoby jsme provedli 3D kinematickou analýzu chůze pomocí kamerového systému Vicon MX a videografické vyšetřovací metody. Sledovali jsme pohyb vybraných bodů (pata, špička, kotník, koleno, kyčel, rameno, hlava) ve vertikálním směru a úhlové parametry (koleno, kyčel) měřené oběma metodami.

Při analýze naměřených dat jsme zjistili rozdíl v časových a úhlových parametrech krokového cyklu mezi 3D kinematickou analýzou chůze pomocí systému Vicon MX a videografickou vyšetřovací metodou. V našem výzkumu jsme nezjistili, že by se výsledky obou metod daly použít pro identifikaci dané osoby.

8 SUMMARY

Walking is a basic movement operation of a man. When walking a man evinces characteristic features – distinctive for each individual. These features can be expressed by an identification curve. Such a knowledge is used for identification of persons in a branch of criminalistics – forensic biomechanics.

Theoretical part of work deals with forensic biomechanics, identification of persons in criminalistics, gait and walking cycle. The aim of a thesis was to compare deviations of identification curves and angular parameters between videographic testing method and 3D kinematic gait analysis.

Investigated person was a male student of Faculty of Physical Culture at the age of 23. He was 176 cm tall and weighted 79 kg. The investigated person was subject to 3D kinematic gait analysis using a Vixon MX system and videographic testing method. A movement of specific body parts (such as heel, tips of toes, ankle, knee, hip, shoulder, head) was observed in their vertical directions and angular parameters were measured using both aforementioned methods.

By an analysis of measured values a deviation of temporal and angular parameters of gait cycle between both concerned methods was discovered. This research find out any congruence or even similarity between results of methods concerned. When comparing both methods, diagrams differ in a substantial way.

9 REFERENČNÍ SEZNAM

- Bilney, B, Morris, M., & Webster, K. (2003). Concurrent related validity of the GAITRite® walkway system for quantification of the spatial and temporal parameters of gait. *Gait & Posture*. 17(1), 68-74.
- Gage, J. R. (1991). *Gait analysis in Cerebral Palsy*. New York: Mac Keith Press.
- Giannini S., Catani F., Benedetti M.G. & Leardini A. (1994). *Gait analysis: Methodologies and clinical applications*. Amsterdam: IOS Press for BTS Bioengineering Technology & Systems.
- Chorvátová, M. (2012). *Hodnocení variability dynamických parametrů chůze u mužů*. Diplomová práce, Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Janda, V., Poláková, Z., & Véle, F. (1966). *Funkce hybného systému*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství.
- Janura, M., Svoboda, Z. & Porada, V. (2009). Možnosti využití analýzy záznamu chůze pro identifikaci osob v kriminalistice podle individuálních trajektorií funkčních a dynamických znaků. *Soudní inženýrství*, 20, 112-123.
- Janura, M., & Zahálka, F. (2004). *Kinematická analýza pohybu člověka*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Kirtley, Ch. (2006). *Clinical Gait Analysis*. Washington: Elsevier.
- Nigg, B. M., Macintosh, B. R., & Mester, J. (2000). *Biomechanics and Biology of Movement*. United States of America: Human Kinetics.
- Pavlíková, B. (2009) *2D a 3D kinematografická analýza pohybu ramenního pletence srovnání s klinickými vyšetřovacími metodami*. Diplomová práce, Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Perry, J. (1992). *Gait analysis: Normal and pathological function*. Thorofare: SLACK Incorporated.
- Porada, V., & Rak R. (2007). *Kriminalita související s informačními a komunikačními technologiemi a identifikace osob na základě projevu lokomoce člověka*. Praha: Vysoká škola Karlovy Vary – Ústav kriminalistiky a forenzních věd.

- Porada, V., & Svetlík, M. (2008). *Digital forensic forum Prague 2007*. Prague: Institute of criminalistics and forensic science – College of Karlovy Vary.
- Porada, V., Šimšík, D. et al. (2010). *Identifikace osob podle dynamického stereotypu chůze*. Praha: Vysoká škola Karlovy Vary.
- Rak, R., Matyáš, V., Říha, Z. et al. (2008). *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada.
- Saunders, J. B., Inman V. T., & Eberhart, H. D. (1953). The major determinants in normal and pathological gait. *J Bone Joint Surg*, 35-A, 543-58.
- Seliger, V., Vinařický, R., & Trefný, Z. (1980). *Fysiologie tělesných cvičení*. Praha: Avicenum.
- Smidt, G. L. (1990). Rudiment of gait. In G. L. Smidt (Ed.), *Gait in rehabilitation* (pp. 1-19). New York: Churchill Livingstone Inc.
- Straus, J. (2001) *Aplikace forenzní biomechaniky*. Praha: PA ČR.
- Straus, J. (2001) *Kriminalistické stopy s biomechanickým obsahem*. Praha: PA ČR.
- Straus, J. et al. (2003). *Dějiny československé kriminalistiky slovem i obrazem (do roku 1939)*. Praha: Police History.
- Straus, J., & Porada, V. (2006). *Systém kriminalistických stop*. Praha: PA ČR.
- Straus, J., & Vavera, F. (2005). *Dějiny československé kriminalistiky slovem i obrazem II (od roku 1939 po současnost)*. Praha: Police History.
- Svododa, Z. (2008). *Biomechanická analýza chůze s různými typy protetických chodidel u osob s transtibiální amputací*. Dizerační práce, Fakulta tělesné kultury, Univerzita Palckého, Olomouc.
- Valenta, J., Porada, V., & Straus, J. (2003). *Biomechanics: Aspects of General and Forensic Biomechanics*. Praha: Police History.
- Véle, F. (1997) *Kineziologie pro klinickou praxi*. (1st ed.). Praha: Grada Publishing.
- Véle, F. (2006). *Kineziologie*. (2nd ed.). Praha: Triton.

Whittle, M. W. (2007). *Gait analysis: An introduction (4th ed.)*. Edinburgh: Elsevier Butterworth-Heinemann.

10 SEZNAM ZKRATEK

DNA – deoxyribonukleová kyselina

CNS – centrální nervová soustava

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Základní rozdělení fází krokového cyklu dle Porady et al. (2007, 220).....	21
Obrázek 2 Grafické znázornění parametrů krokového cyklu a pěšinky lokomoce chůze.....	24
Obrázek 3 Změna úhlu v hlezenním kloubu v průběhu krokového cyklu (upraveno dle Svobody, 2008).....	25
Obrázek 4 Změna úhlu v kolenním kloubu během krokového cyklu (upraveno dle Svobody, 2008).....	26
Obrázek 5 Změna úhlu v kyčelním kloubu v během krokového cyklu (upraveno dle Svobody, 2008).....	26
Obrázek 6 Schématické znázornění funkčních vlastností a pohybových návyků objektu (upraveno podle Strause, 2001).....	28
Obrázek 7 Zdroje chyb u empirických měření chůze (Janura et al. 2009, 116).....	34
Obrázek 8 Vizualizace chůze 3D kinematické analýzy chůze (pohled zboku).....	38
Obrázek 9 Měření chůze se značkami systémem Vicon MX (pohled zepředu a zezadu).....	39
Obrázek 10 Záznam pohybu videografické vyšetřovací metody (pohled zboku).....	39
Obrázek 11 Umístění značek na těle (pohled zepředu a zezadu).....	40

12 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Pohyb kyčle ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou.....	41
Graf 2 Pohyb kotníku ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX.....	42
Graf 3 Pohyb kotníku ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou...	42
Graf 4 Pohyb špičky ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX.....	43
Graf 5 Pohyb špičky ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou...	43
Graf 6 Pohyb paty ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX.....	44
Graf 7 Pohyb špičky ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou...	44
Graf 8 Pohyb kolena ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX.....	45
Graf 9 Pohyb kolena ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou...	45
Graf 10 Pohyb ramene ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX.....	46
Graf 11 Pohyb ramene ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou.....	46
Graf 12 Pohyb hlavy ve vertikálním směru měřený systémem Vicon MX.....	47
Graf 13 Pohyb ucha ve vertikálním směru měřený videografickou vyšetřovací metodou....	47
Graf 14 Úhlové parametry v kolenním kloubu měřené systémem Vicon MX.....	49
Graf 15 Úhlové parametry v kolenním kloubu měřené videografickou vyšetřovací metodou.....	49
Graf 16 Úhlové parametry v kyčelním kloubu měřené systémem Vicon MX.....	50
Graf 17 Úhlové parametry v kyčelním kloubu měřené videografickou vyšetřovací metodou.....	50