

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Hodnocení rozsahu pohybu horních končetin pomocí  
programu OpenPose**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

**PhDr. Tereza Nováková, PhD.**

Konzultant:

**Ing. Jindřich Adolf**

Vypracovala:

**Bc. Michaela Sýkorová**

Praha, květen 2021

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 23.5.2021

.....

Bc. Michaela Sýkorová

## Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala mé vedoucí diplomové práce PhDr. Tereze Novákové, PhD. za veškeré konzultace, odborné vedení a podporu během magisterského studia.

Dále bych ráda poděkovala Ing. Jindřichu Adolfovi za poskytnutí možnosti spolupráce na tomto projektu a zajištění technické podpory. Dík patří také všem členům Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky za asistenci a možnosti využít prostory institutu.

Velký dík patří také probandům, kteří se výzkumu zúčastnili a věnovali mně a mým kolegům svůj čas.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat celé svojí rodině a mému partnerovi, kteří mě vždy ve studiu podporovali a vydrželi se mnou až do konce.

## ABSTRAKT

**Název:** Hodnocení rozsahu pohybu horních končetin pomocí programu OpenPose

**Cíle:** Cílem práce bylo zjistit, zda je možné využít program OpenPose jako nástroj pro měření rozsahu horní končetiny. Upozornit na jeho limity a zvážit, zda by šel program využít v budoucnu pro hodnocení v klinické praxi nebo jako součást telerehabilitace.

**Metody:** Výzkumu se zúčastnilo 48 probandů. Výběr byl záměrný vzhledem k charakteru práce a jednalo se o zdravou populaci. Každý proband absolvoval měření v 6 různých polohách vleže na lehátku. Měření probíhalo bilaterálně. Celkově bylo naměřeno 14 různých úhlů rozsahu pohybu ramenního a loketního kloubu. Jednalo se o maximální flexi loketního kloubu, flexi paže s flexí lokte, flexi paže, vnitřní a vnější rotaci paže a extenzi paže. Pro sběr dat bylo využito standardizované vyšetření pomocí goniometru a videozáznam, který byl použit pro vyhodnocení úhlů pomocí programu OpenPose. Výsledky byly následně porovnány.

**Výsledky:** Z hodnot 14 naměřených úhlů ramenního a loketního kloubu bylo vyřazeno 8 na základě hodnoticích kritérií. Vyřazeny byly hodnoty, u kterých průměrný rozdíl měření goniometrem mezi vyšetřujícími přesáhl 5°. Dále byly vyřazeny hodnoty, u kterých více než 10 % měření systémem OpenPose nesplnilo kritéria správné detekce. U zbylých 6 naměřených úhlů byly porovnány hodnoty goniometrického měření a systému OpenPose. Potvrdila se pouze hypotéza pro polohu extenze paže a vnitřní rotace paže, kdy rozdíl mezi hodnotami goniometrie a OpenPose nebyl vyšší než 5°.

**Klíčová slova:** hodnocení rozsahu pohybu, OpenPose, goniometrie

## **ABSTRACT**

**Title:** Evaluation of the range of motion of the upper limbs using the OpenPose program

**Objectives:** The aim of the work was to determine whether it is possible to use the OpenPose program as a tool for measuring upper limb range of motion, highlight OpenPose limits and consider whether the program could be used for evaluation in clinical practise or as part of telerehabilitation in the future.

**Methods:** 48 probands participated in the research. Participants were intentionally selected from healthy population due to the nature of the work. Each participant was measured in 6 different positions while lying on a lounger. Measurements were taken bilaterally. A total of 14 different angles of shoulder and elbow were measured. These were maximum flexion of the elbow joint, flexion of the arm with flexion of the elbow, flexion of the arm, internal and external rotation of the arm and extension of the arm. Data were collected using a standardised examination method using a goniometer and a video recording. Video recordings were later used in the OpenPose program for angle evaluation. Finally, the results of both methods were compared.

**Results:** 8 out of total 14 measured angles of shoulder and elbow were excluded based on evaluation criteria. Values with average difference between both examiner's results higher than 5 degrees and values where OpenPose failed correct detection criteria on more than 10 % of measurements were excluded. For resulting 6 measured angles the measurements of goniometric method and OpenPose were compared. Only confirmed hypothesis, where difference between measurements didn't exceed 5 degrees, were arm extension and internal arm rotation.

**Key words:** evaluation of Range of motion, OpenPose, goniometry

# OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	8
1 ÚVOD.....	9
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	11
2.1 Pohyb v kloubu.....	11
2.1.1 Pohyb horní končetiny.....	12
2.2 Rozsah pohybu (Range of Motion, ROM).....	13
2.2.1 Rozsah pohybu horní končetiny v ADL (Activity of Daily Living).....	14
2.3 Hodnocení rozsahu pohybu.....	15
2.3.1 Standardizované hodnocení ROM .....	16
2.3.2 Vizualní odhad.....	17
2.3.3 Goniometrie založená na fotografii.....	17
2.3.4 Univerzální goniometr.....	17
2.3.5 Inklinometr .....	18
2.3.6 Mobilní aplikace měřící rozsah pohybu .....	18
2.3.6.1 Goniometr Pro (G – pro ©).....	19
2.3.6.2 iPhone® Compass .....	19
2.3.6.3 Simple Goniometr® iPhone app .....	19
2.3.6.4 ROM© goniometric application (V.1.4) .....	19
2.3.6.5 DrGoniometer .....	20
2.3.6.6 Goniometer Records.....	21
2.3.6.7 GetMyROM.....	21
2.3.6.8 Knee Goniometr App .....	21
2.3.7 „Motion capture“ systémy .....	21
2.3.7.1 Vicon (Visual Icon manager).....	22
2.3.7.2 Microsoft Kinect .....	23
2.3.7.3 OpenPose .....	24
2.4 Hodnocení v telerehabilitaci.....	26
2.4.1 Hodnocení horní končetiny na dálku .....	27
2.4.2 Hodnocení ROM horní končetiny na dálku.....	28
3 CÍLE PRÁCE a HYPOTÉZY .....	29
3.1 Cíl práce .....	29
3.2 Výzkumná otázka .....	29
3.3 Hypotéza .....	29
3.4 Úkoly práce .....	30

4	PRAKTICKÁ ČÁST .....	31
4.1	Metodika .....	31
4.1.1	Příprava projektu.....	31
4.1.1.1	Zkouška OpenPose.....	31
4.1.1.2	Etická komise UK FTVS a Informovaný souhlas.....	31
4.1.1.3	Výběr probandů.....	32
4.1.2	Průběh měření .....	32
4.1.2.1	Vyšetřované polohy.....	33
4.1.2.2	Goniometrické měření .....	37
4.1.3	Sběr dat.....	38
4.1.3.1	Data z goniometrického měření .....	38
4.1.3.2	Data z programu OpenPose .....	38
4.1.4	Proces analýzy .....	41
4.2	Výsledky .....	42
4.2.1	Charakteristika vybraného souboru.....	42
4.2.2	Výsledky měření .....	43
5	DISKUZE .....	48
5.1	Goniometrické hodnocení .....	48
5.2	Hodnocení programem OP.....	52
5.3	Polohy při měření .....	54
5.4	Porovnání goniometrie a OP .....	55
5.5	Výběr probandů.....	56
5.6	Použití OP v klinické praxi a telerehabilitaci.....	56
6	ZÁVĚR.....	57
	REFERENČNÍ SEZNAM .....	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	72
	SEZNAM TABULEK.....	73
	SEZNAM PŘÍLOH.....	74

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

**ADL** – Activity of Daily Living, všední denní činnosti

**CIIRC** – Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky

**CV** – Computer vision, počítačové vidění

**ČVUT** – České vysoké učení technické v Praze

**DNN** – Deep neural networks, hluboká neuronová síť

**FTVS UK** – Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy

**ID** – Identifikační číslo probanda

**ICC** – Interclass correlation coefficient, Vnitřní korelační koeficient

**IMUs** – Inertial Measurement Units

**IR** – Infračervené záření

**LHK** – Levá horní končetina

**OP** – OpenPose

**PHK** – Pravá horní končetina

**ROM** – Range of motion, rozsah pohybu

**STAT** – Shoulder Telehealth Assessment Tool

**Vicon** – Visual Icon manager

**2D** – Dvojměrná projekce

**3D** – Tříměrná projekce



# 1 ÚVOD

Hodnocení rozsahu pohybu neboli Range of motion (ROM) je možné zařadit mezi základní vyšetření fyzioterapeuta v klinické praxi. Ale nejedná se pouze o fyzioterapeuty, hodnocení rozsahu pohybu využívají také lékaři ve specializovaných oborech, např. v rehabilitaci, ortopedii, sportovní medicíně atd.

Je to diagnostický nástroj, který informuje o aktuálním stavu pacienta, limitaci nebo naopak zvýšeném rozsahu pohybu v kloubu. V dlouhodobém horizontu objektivizuje výsledek terapie.

Nejznámější a nejrozšířenější pomůckou na měření ROM v klinické praxi je klasický goniometr. Na druhou stranu v dnešním světě technologií existují i jiné a modernější nástroje. Známé jsou digitální goniometry, digitální inklinometry a nepřeberné množství mobilních aplikací. Na poli vědy se můžeme setkat se systémy jako Vicon nebo Kinect a mnoha dalšími.

Jeden z moderních systémů pro snímání pohybu se nazývá OpenPose (OP) a byl vyvinut v roce 2016. Řadí se mezi technologie, která využívá strojové učení. Dokáže detekovat klíčové body na těle pouze z fotografie nebo i videa nižší kvality, a tím se stává klientsky přívětivý a cenově dostupný.

Pro OpenPose jsem se rozhodla na základě možnosti spolupráce s výzkumníky z ČVUT, kteří rozumí technickým částem programu a snaží se pro tento program najít využití.

Potenciál systému OpenPose vidím na poli telerehabilitace, ale také jakou novou možnost hodnocení ROM v klinické praxi. Hodnotit ROM pomocí systému OP pouze z fotky nebo přímo přes webkameru je velmi lákavé. Pokud budu uvažovat o lidech, kteří se nemohou dostavit na rehabilitaci, tak využití takové technologie by mohlo zlepšit kvalitu a přesnost vyšetření na dálku. Výhodou je i možnost porovnání výsledků terapie v delším časovém horizontu.

Využití systému OpenPose v rehabilitaci je velmi nové a ještě z mnoha pohledů neprobádané. V první řadě je nutné odstranit všechny chyby a upozornit na různé limity. Proto jsem si dala za cíl ověřit, zda je program OpenPose vhodný nástroj pro měření ROM u horní končetiny a poukázat na limitace. Dalším cílem bude zvážit, zda by program mohl být v budoucnu součástí hodnocení pacienta na dálku.

Zařízení se na vědecké půdě stává stále populárnějším a lidé hledají, kde všude lze technologii využít. Jedna z oblastí je určitě rehabilitace a medicína, resp. telerehabilitace a telemedicína. Sami jsme si mohli zažít, jak těžké bylo pracovat s pacienty na dálku v době pandemie COVID-19, o to více je nutné telerehabilitaci a telemedicínu rozvíjet.

Ruce a oči fyzioterapeuta jsou při hodnocení pacienta nenahraditelné, na druhou stranu doba telerehabilitace se stává stále více reálnou. Doufám, že do budoucna telerehabilitace nepřeváží klasickou fyzioterapii, ale pouze ji obohatí a poskytne kvalitnější vyšetření a terapii pacientům, kteří nemají jinou možnost než komunikovat na dálku.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Pohyb v kloubu

Definice pohybu v kloubu dle (Janda a Pavlů, 1993) je „změna úhlu mezi sousedními kostmi, které se stýkají v jednom kloubu“.

Kloubní spojení je tvořeno dvěma nebo více kostmi a zahrnuje také pasivní podsystemy: šlachy, vazy, burzy, kloubní pouzdra a chrupavky. K pohybu v nich dochází na základě kontrakce svalové soustavy, která je řízena soustavou nervovou, nebo na základě gravitace či jiné vnější síly. Klouby zajišťují základ pohybového aparátu, umožňují stabilitu a rozložení sil mezi segmenty těla (Janura, 2011; Frost, c2013; Neumann, 2013).

Funkce kloubů je ovlivněna anatomickou stavbou, stárnutím, zatížením, dlouhodobou imobilizací, traumatem či onemocněním struktur kloubu. Všechny tyto faktory ovlivňují kvantitu pohybu a také i kvalitu pohybu (Neumann, 2013). Faktory ovlivňující rozsah pohybu jsou: poměr mezi hlavicí a jamkou, napětí a rozložení měkkých tkání kolem kloubu, volnost kloubního pouzdra a okolních ligament a kontakt kostěných částí (Janda a Pavlů, 1993).

Z anatomického hlediska existují různé tvary kloubů (kulový, elipsový, sedlový, kladkový atd.). Podle druhu se rozlišuje pohyb kloubu v různých osách a determinuje to určitý počet stupňů volnosti (Hudák a Kachlík, 2017).

Nejčastěji se v těle nachází klouby s jedním, dvěma a třemi stupni volnosti. Stupeň volnosti nevymezuje maximální rozsah pohybu, ale pouze určuje počet os, dle kterých může pohyb nastat. Například loketní kloub je kloub s jedním stupněm volnosti, který umožňuje pohyb pouze do flexe a extenze v sagitální rovině (Hamill et al., c2015).

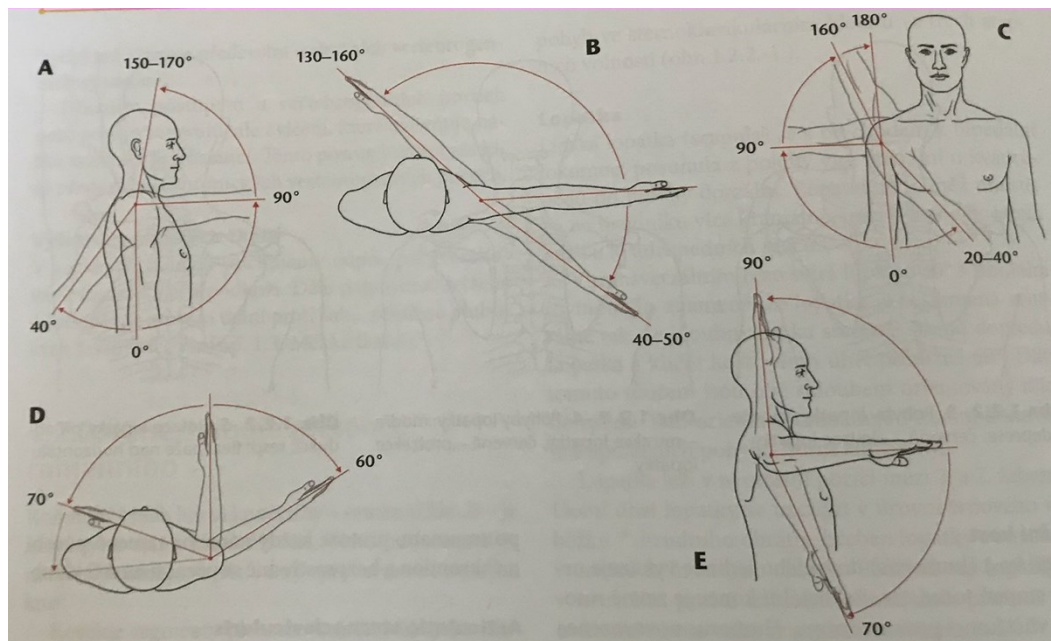
Nejvíce fyziologicky pohyblivými segmenty jsou tříosé klouby. Jedná se převážně o klouby kulovité. Rozlišuje se mezi kloubem kulovitým volným (ramenní kloub) a kloubem kulovitým omezeným (kyčelní kloub). Přestože oba klouby mají tři osy pohybu, neznamená to, že oba mají stejný rozsah pohybu. Ramenní kloub je schopen mnohem vyššího rozsahu na základě již zmíněné anatomické stavby (Hamill et al., c2015).

### 2.1.1 Pohyb horní končetiny

Ramenní kloub se skládá z kloubu glenoidálního a z kloubů akromimoklavikulárního, sternoklavikulárního a popř. skapulotorakálního. Pohyby, které ramenní kloub umožňuje je flexe, extenze v sagitální rovině, abdukce a addukce v rovině frontální a horizontální abdukce, addukce v rovině transverzální. Nedílnou součástí je také vnitřní a vnější rotace. Je nutné si uvědomit, že s pohyby v základních rovinách se spíše pracuje v rámci vyšetření. V běžném životě se pohyby kombinují a jsou komplexní (Véle, 2006).

Loketní kloub se skládá ze tří kloubů: humeroulnární, humeroradiální a radioulnární proximální. Loketní kloub umožňuje pohyby do extenze, flexe, supinace a pronace (Hudák a Kachlík, 2017).

Klouby horní končetiny tvoří také kloub radiokarpální, klouby ruky a prstů. Kloub radiokarpální umožňuje dorzální flexi, palmární flexi, radiální a ulnární dukci (Hudák a Kachlík, 2017).



Obrázek č. 1 Příklady pohybu horní končetiny (převzato z Kolář et al., c2009)

**A** – rozsah pohybu do flexe a extenze; **B** – horizontální pohyb v 90° abdukci ramene; **C**– abdukce a addukce; **D** – zevní a vnitřní rotace při paži u těla; **E** – zevní a vnitřní rotace při abdukci 90°

## 2.2 Rozsah pohybu (Range of Motion, ROM)

Rozsah pohybu slouží k hodnocení zdravotního stavu pacienta. Rozsah pohybu je využíván jako základní měřítko v ortopedické praxi a rehabilitaci. Běžně se používá v rámci klinických rozvah a je nutný k analyzování výsledků terapie. Může se například využít při hodnocení stavu pacienta před operací a po operaci lokte (Crasto et al., 2014; Keijsers et al., 2018).

Rozsah pohybu může být také použit jako nástroj, který pomáhá hodnotit proprioceptivní funkce pacienta. Na proprioceptci záleží schopnost udržet stabilitu a také kvalita držení těla (Mourcou et al., 2015).

Aby nedocházelo k diskomunikaci mezi zdravotníky, musí se vždy rozlišovat, zda jde o pohyb pasivní nebo aktivní. Maximální rozsah pohybu se může lišit mezi druhy pohybu. Pokud se jedná o omezení aktivního pohybu, budeme předpokládat poškození či slabost svalového aparátu nebo bolest. Při vyšetření pasivního pohybu pracujeme hlavně se svaly relaxovanými. Pasivní rozsah nám ovlivní především změna kloubní konfigurace nebo změna napětí okolních tkání (Janda a Pavlů, 1993).

Rozsahy pohyblivosti v kloubech					
Kloub	Pohyb	Am.Acad. Ortho. Surg.	Kendall McCreary	Hoppenfeld	Kapandji
Ramenní					
	Flexe	0-180°	0-180°	0-90°	0-180°
	Extense	0-60°	0-45°	0-45°	0-50°
	Abdukce	0-180°	0-180°	0-180°	0-180°
	Int. rotace	0-70°	0-70°	0-55°	0-95°
	Ext. rotace	0-90°	0-90°	0-45°	0-80°
Loketní					
	Flexe	0-150°	0-145°	0-150°	0-145°
Předloktí					
	Pronace	0-80°	0-90°	0°	0-85°
	Supinace	0-80°	0-90°	0-90°	0-90°
Zápěstí					
	Extense	0-70°	0-70°	0-70°	0-85°
	Flexe	0-80°	0-80°	0-80°	0-85°
	Rad. dukce	0-20°	0-20°	0-20°	0-15°
	Uln. dukce	0-30°	0-35°	0-30°	

Obrázek č. 2 Tabulka hodnot pro ROM horní končetiny, porovnání maximálních hodnot rozsahu pohybu více autorů (převzato z Janda a Pavlů, 1993)

Maximální ROM se liší mezi jedinci navzájem dle jejich vrozených predispozic, aktuálního zdravotního stavu a stavu jejich muskuloskeletální soustavy. Standardní hodnotu maximálního rozsahu uvádí více autorů. Hodnoty se ale od sebe mohou lišit (Obrázek č. 2) (Janda a Pavlů, 1993).

### **2.2.1 Rozsah pohybu horní končetiny v ADL (Activity of Daily Living)**

Dostatečný rozsah pohybu horní končetiny je nezbytnou podmínkou pro zvládnutí běžných denních aktivit (ADL, Activity of Daily Living) a schopnosti být nezávislý na okolí. Aby byl terapeut v intervenci u pacientů s omezením v ADL úspěšný, je nutné dobře zhodnotit ROM jednotlivých pohybů v kloubech horní končetiny. Následně je nutné také hodnotit kombinace těchto pohybů (Gates et al., 2016).

Nejvíce pohyblivý segment horní končetiny je ramenní kloub. Studie (Namdari et al., 2012) uvádí, že rozumným cílem rehabilitace je plný rozsah pohybu ramene, ale na druhou stranu pro běžné aktivity to není úplně nutnost. Autoři definovali, že funkční flexe paže je kolem 121°, extenze paže 46°, abdukce 128°, horizontální abdukce 116°, vnější rotace s 90° abdukcí paže 59° a vnitřní rotace až 102°.

U zdravých jedinců je k vykonání ADL nezbytné také ohnutí lokte do 130° a pohyb paže až do 150°. Tyto rozsahy jsou nutné ke správné obsluze člověka při jedení a pití (Oosterwijk et al., 2018).

Jiná studie upozorňuje na důležitost rozsahu pohybu zápěstí do flexe, extenze a dukce při vykonávání ADL. Pokud u pacienta není dostatečný rozsah pohybu, využívá náhradní pohyb. Dle autorů se jedná o pomocnou cirkumdukční elipsu (Gracia-Ibáñez et al., 2020).

Studie (Gates et al., 2016), která sdružuje pohyby horní končetiny, zahrnuje trojrozměrnou analýzu pohybu ramene, lokte, zápěstí a trupu při ADL pomocí systému pro snímání pohybu. Při hodnocení 15 různých činností běžného dne byl maximální rozsah paže pro horizontální abdukci 65°, horizontální addukci 105°, flexi paže 180°, vnitřní rotaci paže 79°, vnější rotaci 55°, flexi lokte 121°, pronaci 13°, supinaci 53°, dorzální flexi zápěstí 38°, palmární flexi 40° a pro ulnární dukci 28° a radiální dukci 38°.

## 2.3 Hodnocení rozsahu pohybu

Obecně se k hodnocení pohybu využívá kinematická analýza. Tato analýza obsahuje hodnocení polohy, rychlosti a zrychlení. Měřicí systémy zahrnují elektrogoniometry, akcelerometry, zobrazovací techniky jako jsou fotografie, videonahrávky nebo optoelektronické zařízení (Neumann, 2013).

Oproti kinematické analýze bývá hodnocení rozsahu pohybu jednodušší, jelikož dochází k hodnocení pohybu pouze jednoho kloubu určitým směrem. Hodnocení ROM nám dává ucelený obrázek o stavu pacienta a bývá většinou součástí komplexnějšího vyšetření. Nástrojů pro hodnocení ROM existuje nespočet. Liší se principem a způsobem zhodnocení velikosti úhlu a také přesností měření (Steel et al., 2012; Janda a Pavlů, 1993; Mitchell et al., 2014).

V klinické praxi nejčastěji terapeuti a lékaři využívají vizuální odhad, inklinometr a goniometr. Méně časté metody, a většinou využívané pouze v rámci výzkumů, jsou rentgenové snímky, kinematografie, fotografie, 3D gyroskopy a jiné speciální a přesné přístroje pro analýzu pohybu (Johnson et al., 2015).

Nejběžnějších ze všech hodnotících nástrojů je univerzální goniometr. Na druhou stranu v dnešní době roste zájem o digitální technologie, jejichž výhodou může být vyšší přesnost a objektivnost oproti klasické goniometrii (Milanese et al., 2014).

Digitální technologie umožňují uchovat hodnotu rozsahu pohybu a následně ji během dalších terapií porovnat. Uchování hodnoty v aplikaci nebo v zařízení může snížit procento možné chyby špatným odečtením hodnoty nebo přepisem výsledné hodnoty (Johnson et al., 2015).

Pokud půjdeme ve světě technologií ještě dál, existují speciální systémy, které umí odhadnout rozsah pohybu z pohybové analýzy. Je důležité si ale uvědomit, zda zařízení snímá ve 2D nebo 3D projekci. 2D projekce neodpovídá skutečnosti a výsledky mohou být na základě toho zkresleny. Na druhou stranu poslední dobou vznikají technologie, které jsou schopné 2D polohu objektu převést do trojrozměrného prostoru, a tím výsledky zpřesnit (Akhter a Black, 2015).

Nejčastěji se jako referenční bod pro hodnocení přesnosti rozsahu pohybu pomocí hodnotícího nástroje používá kolenní kloub, který má dobré anatomické vlastnosti,

a možnost jednoduše změřit poměr vzdálenosti tibie a stehenní kosti (Milanese et al., 2014).

### **2.3.1 Standardizované hodnocení ROM**

Hodnocení rozsahu pohybu je standardizované vyšetření. Postup měření a polohy jsou jasně definované. Ačkoliv autoři se v některých detailech liší. Může se jednat o to, zda je nutné, aby vyšetřovaný ležel nebo při vyšetření horní končetiny seděl (Haladová a Nechvátalová, 2005). Jiný příklad může být to, že by pacient měl mít při vyšetření horní končetiny v určitých polohách paži podloženou ručníkem (Norkin a White, c2003).

U standardizovaného vyšetření je potřebné dodržet určité zásady. Je nutné, aby byl vyšetřovaný po celou dobu měření v neměnné poloze. Polohy jsou jasně definované, ale pokud vyšetřující polohu pozmění, je nutné tuto skutečnost zaznamenat. Při opakovaném měření je nutné dodržet to, že je přítomen stejný vyšetřující, polohy jsou identické a používá se shodný nástroj měření. Je to z důvodu zpřesnění výsledků. Další podmínky jsou, že střed goniometru se umísťuje na střed osy otáčení daného kloubu a vhodnější je měřit rozsah pohybu při odhalené pokožce. Pokud je to možné, tak by mělo dojít k fixaci proximálního segmentu (Janda a Pavlů, 1993; Haladová a Nechvátalová, 2005; Norkin a White, c2003).

Validita a reliabilita měření pomocí goniometrie se liší dle vyšetřované části těla a konkrétního pohybu. Obecně se udává dobrá až excelentní reliabilita. Dle studie (Gogia et al., 1987) výsledky vypovídají o vysoké spolehlivosti měření pohybu kolenního kloubu kdy validita goniometrie byla ICC=0,99 a reliabilita ICC=0,98–0,99 (Interclass correlation coefficient, koeficient vnitrotřídní korelace).

Rešerše (Van Rijn et al., 2018) se zabývala reliabilitou a validitou u měření rozsahu pohybu lokte u dospělých. Dle výsledků byla potvrzena vysoká reliabilita měření pomocí goniometru.

Tato metoda ale není nejpřesnější metodou pro hodnocení ROM. Při měření mohou nastat různé nepřesnosti při lokalizaci kloubů, odhadu středu otáčení, odečtení velikosti úhlů na goniometru (Gajdosik a Bohannon, 1987; Correll et al., 2018).



### **2.3.2 Vizualní odhad**

Hodnocení rozsahu pohybu pouze vizuálním odhadem je velmi častou rutinou mezi lékaři, kteří nemají dostatek času na pacienta. U hodnocení rozsahu loketního kloubu se tato metoda ukazuje oproti klasické goniometrii jako méně přesná (Craστο et al., 2014). Ačkoliv při vyšetření lokte zkušeným ortopedem se dá vizuální odhad srovnat s klasickým vyšetřením goniometrem (Blonna et al., 2012a).

### **2.3.3 Goniometrie založená na fotografii**

Využití digitální fotografie k měření rozsahu pohybu se častěji ukazuje jako možná alternativa ke klasické goniometrii. Nejčastěji se v dnešní době můžeme setkat s touto metodou v souvislosti s pojmem telerehabilitace (Blonna et al., 2012b).

Pod pojmem měření ROM pomocí digitální fotografie se skrývá několik metod. Jednou z nich může být využití aplikace, která pracuje s fotografickým záznamem ROM nebo se může jednat o zaznamenání ROM na fotografii a následné hodnocení ROM z fotografie za asistence goniometru. Pokud si fotografický záznam uchováme, dává nám to možnost následně ROM porovnat a objektivizovat úspěšnost terapie (Blonna et al., 2012b; Reid a Egan, 2019).

Autoři studie (Russo et al., 2018) udávají, že metoda hodnocení pohybu v ramenním kloubu pomocí digitální fotografie byla vždy přesnější oproti vizuálnímu odhadu, ale oproti goniometrii pouze při flexi paže.

### **2.3.4 Univerzální goniometr**

Klasická goniometrie je asi nejznámější a nejvyužívanější prostředek měření ROM. Je nedílnou součástí muskuloskeletální praxe, využívají ji fyzioterapeuti i lékaři. Její velkou výhodou je dostupnost, nízké finanční náklady při pořízení, přesnost a snadné použití (Milanese et al., 2014; Correll et al., 2018).

Univerzální goniometr může být vyroben z různých materiálů. Nejčastěji se používá plast nebo kov. Existují i specializované goniometry. Například se může jednat o prstové goniometry, které jsou velmi malé, nebo o digitální goniometry (Janda a Pavlů, 1993; Macionis, 2013; Correll et al., 2018).

Příkladem zcela digitálního zařízení je Halo digitální goniometr. Ten pracuje s laserovým paprskem, který využívá k lokalizaci klíčových anatomických orientačních

bodů na končetině. Halo digitální goniometr poskytuje srovnatelné výsledky jako klasický goniometr při měření ROM glenohumerálního kloubu při aktivní flexi, abdukci, vnitřní a vnější rotaci paže (Correll et al., 2018).

### **2.3.5 Inklinometr**

Inklinometr je zařízení, které dokáže změřit velikost úhlu sklonu vzhledem ke gravitační síle. Pokud se jedná o digitální inklinometrii, vyšetřující má možnost si zvolit počáteční náklon a od této hodnoty měřit velikost sklonu (Kolber a Hanney, 2012).

Příklady digitálních inklinometrů jsou Smarttool digital inclinometr a ACUMAR™. Výhodou inklinometru může být jednoduché použití a oproti klasickému vyšetření odpadá nutnost fixace ramene goniometru v 0° poloze. Dle výsledku studií je inklinometr validní možností měření ROM, ale neměl by být v průběhu terapie zaměňován s univerzálním goniometrem (Mullaney et al., 2010; Kolber a Hanney, 2012).

### **2.3.6 Mobilní aplikace měřící rozsah pohybu**

Aplikace, které dokážou hodnotit rozsah pohybu, začínají narůstat na oblibě. Jejich přednostmi jsou hlavně dostupnost, jednoduché ovládání a rychlost. Výhoda je také, že na některých zařízeních je možné si záznamy ukládat a zpětně se k nim vracet. Každá aplikace se může lišit principem a funkcemi. Většina aplikací využívá senzory, které jsou běžnou součástí dnešních smartphonů. Jedná se o magnetometry, akcelerometry nebo gyroskopy. Všechny tyto snímače pomáhají detekovat polohu člověka (Correll et al., 2018; Johnson et al., 2015; Wellmon et al., 2016).

Některé aplikace přímo měří úhel kloubu, u jiných je potřeba nejdříve danou polohu vyfotit a následně na ni použít virtuální goniometr (Wellmon et al., 2016).

V dnešní době existuje více než 15 druhů aplikací pro operační systém iOS nebo Android. Některé aplikace jsou ke stažení zdarma, jiné aplikace je nutné při pořízení zaplatit. Obecně se udává u aplikací dobrá až vynikající reliabilita, ale záleží na měření daného kloubu a rozsahu pohybu (Pourahmadi et al., 2017; Wellmon et al., 2016).

Stejně jako u různých typů goniometrů je důležité myslet na to, že každá aplikace měří s jinou přesností a smartphone každého terapeuta se od sebe může lišit (Correll et al., 2018). Aby byly výsledky validní a bylo možné je porovnat, nesmí dojít k zaměňování

aplikací během terapií (Correll et al., 2018; Kolber a Hanney, 2012; Mullaney et al., 2010).

#### 2.3.6.1 Goniometr Pro (G – pro ©)

Velmi oblíbenou aplikací je Goniometr Pro. Jedná se o aplikaci, která funguje na principu digitálního inklinometru. Uživatel si může nastavit relativní počáteční 0° polohu od toho následně získat rozsah pohybu. Aplikace využívá akcelerometr, který se nachází v zařízení iPhone (Hancock et al., 2018; Wellmon et al., 2016; Pourahmadi et al., 2017).

Ve studii (Pourahmadi et al., 2017) se zaměřili na vyšetření pohybů zápěstí: flexi, extenzi, ulnární a radiální dukci pomocí aplikace Goniometr Pro nainstalované na Iphone 5 v porovnání s goniometrií manuální.

#### 2.3.6.2 iPhone® Compass

Compass je aplikace, která je již automaticky předinstalovaná na všech zařízeních iPhone. Nejedná se o aplikaci, která je primárně určena pro měření ROM. Ve studii (Furness et al., 2018) experimentálně vyzkoušeli využití této aplikace a její spolehlivost při měření ROM rotace hrudní páteře. Aplikace využívá vestavěný magnetometr, akcelerometr a přijímač GPS, aby mohla detekovat magnetické pole země a orientaci zařízení na sever.

#### 2.3.6.3 Simple Goniometr® iPhone app

Další aplikace, která je kompatibilní se zařízením iPhone. Lze ji ale také nainstalovat i na ostatní zařízení Apple iOS s operačním systémem alespoň iOS 4.0. Stejně jako aplikace Goniometr Pro (Hancock et al., 2018; Wellmon et al., 2016; Pourahmadi et al., 2017) využívá princip inklinometru. Validita a reliabilita byla určena pro rozsah v kolenním kloubu (Jones et al., 2014).

#### 2.3.6.4 ROM® goniometric application (V.1.4)

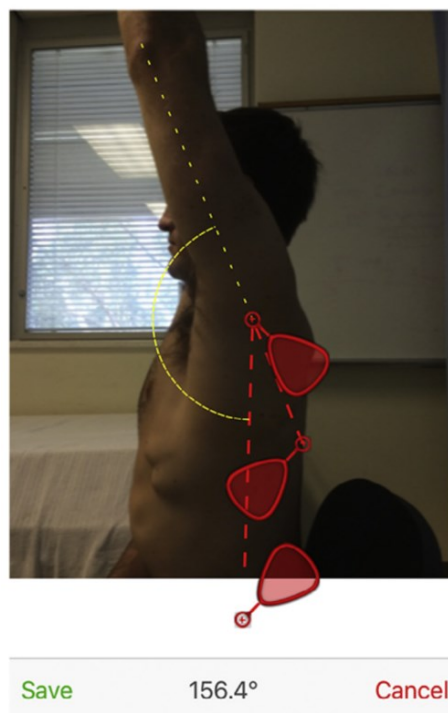
Tuto aplikaci lze využít k měření rozsahu kolenního kloubu. Tato aplikace je určená pro smartphone Samsung Galaxy S5. Funguje na principu inklinometru, kdy vyšetřující zvolí 0° hodnotu a při pohybu končetiny se změní změna náklonu končetiny. Při

porovnání s klasickou goniometrií dosahuje u měření rozsahu kolenního kloubu vysoké spolehlivosti (Dos Santos et al., 2017).

#### 2.3.6.5 DrGoniometer

Další z aplikací je DrGoniometer. Tato aplikace se od již zmíněných liší, jelikož pracuje na principu fotografické goniometrie. Jedná se o to, že je možné polohu vyfotit kamerou, která je součástí smartphonu, a následně pomocí virtuálního goniometru zhodnotit rozsah pohybu. Všechny fotky jdou zaznamenat a vyhodnotit až později. Výhodou je, že umožňuje zasílání dat mezi terapeutem a pacientem.

Validita a reliabilita aplikace je již stanovena pro supinaci předloktí, flexi lokte, vnější rotaci ramene, flexi kolene, vnější rotace tibie a extenze prvního metatarsofalangeálního kloubu (Ferriero et al., 2013; Reid a Egan, 2019).



Obrázek č. 3 Ukázka měření flexe paže aplikací DrGoniometer (převzato z Reid a Egan, 2019)

#### 2.3.6.6 Goniometer Records

Goniometer Records je aplikace, která je založená na technologii akcelometru, který je součástí smartphonů. Její výhodou je, že je schopna si data ukládat a následně si je terapeut může porovnat v průběhu terapie (Wellmon et al., 2016).

#### 2.3.6.7 GetMyROM

Další z mnoha aplikací, která využívá princip inklinometru. Ve studii (Mejia-Hernandez et al., 2018) využívali program pro měření flexe paže, abdukce paže, zevní a vnitřní rotace paže. Autoři považují aplikaci za praktickou a nenákladnou možnost pro lékaře, kteří ve své praxi hodnotí rozsah pohybu.

#### 2.3.6.8 Knee Goniometr App

Aplikace Knee Goniometer App (Ockendon©) je využívána mezi vysokoškolskými studenty a absolventy fyzioterapie. Využívá akcelometr uložený ve smartphonu, který měří sklon tibie při pohybu kolene (Milanese et al., 2014).

### 2.3.7 „Motion capture“ systémy

„Motion capture“ v doslovném překladu znamená snímání pohybu. Jedná se o systémy, které jsou schopné zachytit polohu určitého bodu v prostoru. V dnešní době se s nimi můžeme setkat v oborech jako je zábavní průmysl, virtuální realita atd. (Soczawa-Stronczyk a Bocian, 2020; Motion Analysis, ©2021).

Systémy, které trekují objekty pomocí kamer, se nazývají „visual based tracking systems“. Stále častěji začínají pronikat do odvětví rehabilitace a sportu (Zhou a Hu, 2008).

Zjednodušeně se dají systémy rozdělit na ty, které ke snímání pohybu vyžadují označení bodů na sledovaném objektu (Visual marker based tracking systems) a systémy, které jsou schopné fungovat bez senzorů (Marker-free visual based tracking systems) (Zhou a Hu, 2008).

### 2.3.7.1 Vicon (Visual Icon manager)

Vicon je optoelektronický systém, který s vysokou přesností snímá pohyb. Řadí se mezi „marker based“ systémy. V rehabilitaci se nejčastěji využívá pro analýzu chůze a pohybu (Merriaux et al., 2017).

V praxi to znamená, že vyšetřovaný subjekt má na těle jasně umístěné reflexní body (senzory) (Obrázek č. 4). Při vyšetření několik vysokorychlostních kamer zaznamenává odraz světla od daných senzorů a následně systém vypočítá polohu na základě výpočtu trajektorií těchto bodů v trojrozměrném prostoru (Vicon, [b.r.]; Zhang et al., 2020).



Obrázek č. 4 Ukázka senzorů Vicon (Vicon, [b.r.])

Systém Vicon je velmi přesný a v mnoha vědeckých pracích se využívá jako referenční hodnota k experimentálnímu měření analýzy chůze (Lamine et al., 2017; Pfister et al., 2014).

Přes všechna pozitiva má Vicon i svoje nevýhody. Jednou z nich je vysoká pořizovací cena hardwaru a softwaru. Další nevýhodou je časová náročnost instalace systému. Před každým vyšetřením je nutná kalibrace na základě umístění kamer v prostoru a aktuálních světelných podmínek. Z tohoto důvodu se využití systému omezuje pouze na laboratorní podmínky (Zhang et al., 2020).

Vicon měří většinou rozsah pohybu jako součást pohybové analýzy, ale v literatuře existují studie, kde se Vicon využívá jako spolehlivá hodnota rozsahu pohybu. Na základě toho autoři porovnávají spolehlivost goniometrického měření rozsahu pohybu kyčelního kloubu (Yazdifar et al., 2013) nebo rozsahu prstů a zápěstí (Reissne et al., 2019).

### 2.3.7.2 Microsoft Kinect

Kinect je zařízení, které se dá zařadit také mezi „motion capture“ systémy. Oproti Viconu ale dokáže snímat pohyb bez nutnosti markerů na těle vyšetřovaného. Zařízení se skládá ze širokoúhlé kamery, projektoru a senzoru infračerveného záření (IR). Všechny tyto části se nachází na konzoli vedle sebe (Obrázek č. 5). Na základě snímání IR zařízení mapuje okolí a pohyby osob ve 3D (Zhang et al., 2020).

Výhoda zařízení je jeho cenová dostupnost. Naopak za nevýhodu můžeme považovat omezení výkonu latencí a trekování obrazu. V porovnání s Viconem dosahuje nižší kvality. Snížená přesnost snímání pohybu může být ovlivněna orientací subjektu v prostoru, vzdáleností od senzoru Kinect, tvarem těla subjektu, rychlostí pohybu a algoritmem odhadu polohy (Zhang et al., 2020; Timmi et al., 2018; Pfister et al., 2014).

Toto zařízení bylo původně vyvinuto pro herní průmysl, konkrétně jako součást sady pro Xbox (Huber et al., 2015). Ale zařízení se rozšířilo i do oblasti rehabilitace (Lamine et al., 2017; Clark et al., 2019; Huber et al., 2015; Zulkarnain et al., 2017).

Nyní se používá jako levnější alternativa Viconu pro analýzu chůze (Lamine et al., 2017), zdá se vhodný také na měření posturální kontroly těla (Clark et al., 2019) nebo jako nástroj pro měření rozsahu pohybu v ramenním kloubu (Huber et al., 2015; Zulkarnain et al., 2017).



Obrázek č. 5 Kinect konzole (ALT DOCS, [b.r])

### 2.3.7.3 OpenPose

OpenPose je aplikační knihovna se schopností detekovat pozici lidského těla za použití strojového učení. Zjednodušeně řečeno se jedná o odhad polohy člověka z videa nebo fotografie (OpenPose, ©2020; Cao et al., 2018).

OP umožňuje trekovat až 135 bodů na těle. Jedná se převážně o klouby, klíčové body na těle, rukách, nohách a obličeji. Nejčastěji se využívá pouze 25 základních bodů na těle (Obrázek č. 15). Technologie OpenPose pracuje v reálném čase 2D projekce. Její velkou výhodou je, že je schopna rozpoznat i více osob současně a vykreslit u nich klíčové body najednou (OpenPose, ©2020; Cao et al., 2018).

K vytvoření OP došlo na Univerzitě Carnegie Mellon v Pittsburghu a kód byl představen poprvé na „Conference on Computer Vision and Pattern Recognition“ v roce 2017 (OpenPose, ©2020; Nakai et al., 2019).

Technologie není pouze schopna odhadu pozice bodu, ale umí dokreslit přímky mezi danými body a zhodnotit změny polohy těchto bodů. Na základě toho by se dala využít k analýze pohybu (Chen et al., 2020).



Obrázek č. 6 Program OpenPose detekuje základní klíčové body na těle (převzato z Cao et al., 2018)

Výhodou tohoto systému oproti Vicon a Kinectu je, že funguje bez nutnosti markerů a pro vyhodnocení stačí i nižší kvalita videozáznamu nebo fotografie. Člověk si vystačí s běžně dostupnou kamerou, webkamerou nebo smartphonem. Metodu můžeme hodnotit jako levnou variantu složitých přístrojů, které poskytují analýzu pohybu. Rovněž



použití programu by mohlo snížit finanční i časové nároky na analýzu pohybu (Nakai et al., 2019; OpenPose, ©2020; Chen et al., 2020).

Reliabilitou a validitou technologie se zabývala studie (Ota et al., 2020). Ve své práci porovnávala hodnoty pořízené metodou Vicon a OpenPose při provádění dřepu. Autoři metodu hodnotí v porovnání s Viconem jako velmi spolehlivou, a navíc velmi jednoduchou na použití.

Studie o OP na poli rehabilitace a medicíny teprve vznikají. Studie (Chen et al., 2020) využívá OP k hodnocení pádů u seniorů. Dle výsledků je tato technologie jednoduše dostupná, levná a jednoduchá.

Studie (Nakai et al., 2019) se domnívá, že OpenPose poskytuje velmi kvalitní statisticky-diagnostický přístup. Autoři se zaměřili na přesnost rozpoznání klíčových bodů na těle a následné využití systému OP jako nástroje odhadu přesnosti hodů basketbalovým míčem na koš.

## 2.4 Hodnocení v telerehabilitaci

Telerehabilitace spadá pod obecné označení „telehealth“, které je definováno jako „poskytnutí zdravotní péče na dálku pomocí informačních a komunikačních technologií“ (Cottrell a Russell, 2020). Telerehabilitace konkrétně zaujímá místo na poli rehabilitace a zahrnuje v této oblasti hodnocení a monitorování zdravotního stavu, prevenci, intervenci, ale také konzultace a poradenství (Brennan et al., 2010).

Telerehabilitace vznikla jako alternativa pro situace, kdy pacient nemá možnost se na terapii fyzicky dostavit. Nejčastěji se jedná o komplikace v rámci zdravotního stavu nebo pacient může čelit omezení jako je čas, náklady na cestování nebo dostupnost specialistů. Snaha odborníků je poskytnout odbornou péči v dostatečné kvalitě i na dálku. Způsob komunikace se liší dle situace. Můžeme se setkat s využitím webkamer, videokonferencí, mobilních telefonů nebo různých internetových aplikací (Kittipanyangam et al., 2009; Kilova et al., 2021).

O kvalitu hodnocení na dálku u různých zdravotních specializací se zajímala již studie (Nitzkin et al.) z roku 1997. Během doby došlo ale k technickému rozvoji a hodnocení na dálku je nyní na mnohem vyšší úrovni. Od roku 2020 se začíná hodnocení na dálku věnovat stále větší pozornost. Je to také způsobeno okolnostmi, které přinesla pandemie COVID-19 (Wahezi et al., 2020).

Pro stále vyšší potřebu vznikají různé standardy a návrhy pro hodnocení pohybového aparátu na dálku (Murray et al., 2021; Laskowski et al., 2020; Tanaka et al., 2020; Wahezi et al., 2020). Dle rešerše (Mani at al., 2017) je vhodné na dálku hodnotit bolest, otok, rozsah pohybu, svalovou sílu, rovnováhu, chůzi. U speciálních ortopedických testů, neurodynamických testů a hodnocení jizev je validita i reliabilita vyšetření nízká.

Ve studii (Cottrell et al., 2018) porovnávali hodnocení na dálku skrze eHAB® telerehabilitační platformu, která využívá videokonferenci ke komunikaci s pacientem. Dle výsledků došlo k dobré shodě mezi výsledkem vyšetření, následným doporučením odborného specialisty a návrhu budoucí péče. Jednalo se o vyšetření u populace lidí s chronickými problémy muskuloskeletálního aparátu.

### 2.4.1 Hodnocení horní končetiny na dálku

Způsoby hodnocení horní končetiny na dálku v dnešní době jsou různé a je snaha o jejich neustálé vylepšování. Často hodnocení horní končetiny na dálku využívají lékaři nebo fyzioterapeuti u pacientů, kteří žijí v odlehlých oblastech. Může se jednat o vyšetření u pacientů například po cévní mozkové příhodě. Vyšetření umožní terapeutovi určit míru dysfunkce, stanovit rehabilitační plán a vyhodnotit účinnost léčby (Hoffman et al., 2007).

Jelikož vyšetření na dálku není jednoduché, v mnoha případech se musí modifikovat tak, aby vyšetření mohl provádět pacient samostatně. Ve studii (Sprowls et al., 2020) vytvořili speciální vyšetřovací dotazník s obrázky – Shoulder Telehealth Assessment Tool (STAT), který hodnotí hlavně rozsah pohybu ramene, bolestivost. Obsahuje i speciální testy na ramenní kloub. Rozsah pohybu ramene testovali autoři pomocí jednoduchých pokynů, např. „Můžete se dotknout rukou oblasti dolních zad?“ Pacient neurčoval přesný rozsah pohybu paže, ale pouze odpovídal, zda se dotknout může či ne.

Jiná studie (Rabin et al., 2021) komplexně hodnotila ramenní kloub na dálku pomocí video vyšetření. Pacient měl doma nastavený telefon, který ho snímal. Lékař na druhé straně zadával pokyny. Při vyšetření pasivního rozsahu pohybu horní končetiny, využíval pacient svoji druhou končetinu. Stejně tak ji zapojoval při odporových testech. Při hodnocení svalové síly pacient využíval opory o blízké objekty, např. stůl, dveře. Velmi podobné vyšetření provedli autoři studie (Steele et al., 2012) s eHAB® telerehabilitační platformou.



Obrázek č. 7 eHAB telerehabilitační systém (převzato ze Lade et al., 2012)

Komplexní vyšetření pomocí eHAB® telerehabilitační platformy lze také aplikovat u muskuloskeletálních poruch lokte. Diagnostika je založená pouze na aspekci a komunikaci pacienta s terapeutem (Lade et al., 2012).

#### **2.4.2 Hodnocení ROM horní končetiny na dálku**

K hodnocení rozsahu pohybu na dálku se využívají online platformy a moderní zařízení. Může se jednat například o již výše zmíněnou eHAB® telerehabilitační platformu (Steele et al., 2012; Cottrell et al., 2018), Zoom Cloud Meetings® (Mehta et al., 2020), zařízení Apple iPad, Cisco Webex DX70 nebo DX80 (Bradley et al., 2021).

Nejjednodušší a zároveň spolehlivý způsob je měření ROM lokte na dálku pomocí goniometru, který se přiloží na obrazovku. Ve studii (Dent et al., 2020) tuto metodu ověřovali a doporučují ji jako nástroj, který se dá uplatnit i u ostatních částí těla.

V některých případech se rozsah pohybu vyšetřuje pouze na základě toho, zda je pacient schopen udělat určitý pohyb či činnost, např. dosáhnout rukou na určitou část těla. Ke každému pohybu je nutný dostatečný rozsah více směry, tzv. určitý rozsah do flexe, abdukce atd. Proto je toto vyšetření spíše orientačního charakteru (Rabin et al., 2021; Sprowls et al., 2020).

Přesnější metodou, která se v telerehabilitaci využívá, jsou různé chytré aplikace. Jedna z nich se nazývá Protractor. Ta je kompatibilní s platformami Zoom, InTouch, Health a Doxy.me (Tanaka et al., 2020). Další aplikací, která má vysoký potenciál na poli telerehabilitace je DrGoniometer, který umožňuje komunikaci pacienta s terapeutem skrze aplikaci (Reid a Egan, 2019).

Studie (Çubukçu et al., 2020) navrhuje systém Kinect V2 jako alternativní metodu ke klasické goniometrii, která je využitelná právě ve vyšetření na dálku pro ROM paže v základních pohybech. Při srovnání s klasickým a digitálním goniometrem poskytuje validní výsledky.

## 3 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

### 3.1 Cíl práce

Cíl mojí práce je ověřit možnost využití programu OpenPose jako nástroje pro hodnocení rozsahu pohybu horní končetiny a navrhnout postup, jak může systém OpenPose detekovat rozsah pohybu. Následně zvážit využití programu jako hodnotící nástroj pro fyzioterapeuty.

### 3.2 Výzkumná otázka

Jaký je rozdíl mezi metodami při měření rozsahu horní končetiny u zdravé populace pomocí klasického goniometru a systému OpenPose?

### 3.3 Hypotéza

**H1:** Výsledky měření rozsahu pohybu systémem OpenPose se na úrovni chyby měření 5° shodují s výsledky rozsahu pohybu měřené klasickou goniometrií.

**H1a:** Výsledky měření rozsahu pohybu **maximální flexe lokte** systémem OpenPose se na úrovni chyby měření 5° shodují s výsledky rozsahu pohybu měřené klasickou goniometrií.

**H1b:** Výsledky měření rozsahu pohybu **flexe lokte s flexí paže** systémem OpenPose se na úrovni chyby měření 5° shodují s výsledky rozsahu pohybu měřené klasickou goniometrií.

**H1c:** Výsledky měření rozsahu pohybu **flexe paže** systémem OpenPose se na úrovni chyby měření 5° shodují s výsledky rozsahu pohybu měřené klasickou goniometrií.

**H1d:** Výsledky měření rozsahu pohybu **vnitřní rotace paže** systémem OpenPose se na úrovni chyby měření 5° shodují s výsledky rozsahu pohybu měřené klasickou goniometrií.

**H1e:** Výsledky měření rozsahu pohybu **zevní rotace paže** systémem OpenPose se na úrovni chyby měření 5° shodují s výsledky rozsahu pohybu měřené klasickou goniometrií.

**H1f:** Výsledky měření rozsahu pohybu **extenze paže** systémem OpenPose se na úrovni chyby měření 5° shodují s výsledky rozsahu pohybu měřené klasickou goniometrií.

### 3.4 Úkoly práce

- 1) Rešerše literatury o tématu a shromáždění teoretických podkladů,
- 2) prostudování literatury související s řešenou problematikou,
- 3) seznámení se se systémem OpenPose a aktuálními možnostmi computer vision (CV),
- 4) stanovení cílů práce,
- 5) zvolení metodiky práce,
- 6) příprava na sběr dat,
- 7) sběr dat,
- 8) vyhodnocení výsledků,
- 9) případné publikování výsledků.

## 4 PRAKTICKÁ ČÁST

### 4.1 Metodika

Jednalo se o **empiricko-teoretickou práci**, kdy se praktická část zabývala systémem OpenPose a možností hodnocení rozsahu pohybu horních končetiny pomocí této technologie. Práce byla vedena jako pilotní projekt.

Celá práce vznikla ve spolupráci s Českým institutem informatiky, robotiky a kybernetiky (CIIRC). Tato instituce spadá pod České vysoké učení technické v Praze (ČVUT).

Na projektu jsem spolupracovala s výzkumným pracovníkem Ing. Jindřichem Adolfem, který zastával také funkci konzultanta diplomové práce. Měření jsem realizovala společně se spolužáky Bc. Terezou Skalovou a Bc. Matyášem Turnou, kteří se rovněž věnovali tématu využití systému OpenPose ve fyzioterapii.

#### 4.1.1 Příprava projektu

##### 4.1.1.1 Zkouška OpenPose

Přípravná část probíhala v období od ledna 2020 do října 2020, tzv. v období před oficiálním sběrem dat do diplomové práce.

Jednalo se o spolupráci na několika projektech CIIRC, které využívaly systém OpenPose. Tyto projekty splňovaly funkci seznámení se s technologií. Na základě těchto projektů následně docházelo k optimalizaci práce s programem.

Výzkumný tým CIIRC se zabýval projektem, který se zaměřoval na zpětnou vazbu při cvičení u populace seniorů. Dále se věnoval počítačové hře, která fungovala jako kompenzační cvičení pro lidi pracující značnou část dne na počítači. A v neposlední řadě jsem spolupracovala při snaze natočit a následně porovnat vyhodnocení jednoduchých cviků při správném a špatném provedení pomocí systému OpenPose.

##### 4.1.1.2 Etická komise UK FTVS a Informovaný souhlas

V rámci výzkumné činnosti byla podána Žádost o vyjádření Etické komise Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy (FTVS UK). Projekt byl schválen Etickou

komisí UK FTVS (Příloha č. 1) pod jednacím číslem 167/2020 dne 28.8.2020 společně s Informovaným souhlasem (Příloha č. 2).

#### 4.1.1.3 Výběr probandů

Výběr probandů nebyl pro cíle práce stěžejní, protože se ověřoval zejména způsob měření. Vzhledem ke snížení rizika nedosažení stanovených výchozích pozic jednotlivými probandy, se jednalo o záměrný výběr zacílený na zdravou populaci.

Podmínka byla, aby probandi byli ve věku od 18 do 65 let a nespádali do skupiny kontraindikací. Tyto podmínky byly kontrolovány současně s průvodním dotazníkem k získání sociodemografických údajů.

Původním záměrem bylo naměřit 100 zdravých jedinců, kteří by splňovali kritéria výběru.

Probandi byli osloveni přes sociální síť Facebook Inc. a e-mailem. Cíl studie, podmínky a základní informace jim byly předány pomocí letáku. Zájemci se poté mohli přihlásit dle vlastního výběru termínů pomocí služby Doodle. Den před daným termínem ještě obdrželi e-mail s připomenutím termínu, s konkrétními informacemi o místu setkání a specifikací oděvu.

Předpokládaný průběh měření byl v rozmezí listopad 2020 až březen 2021 v laboratoři budovy, kde sídlí CIIRC.

Kontraindikace pro vyřazení z výzkumu byla veškerá akutní onemocnění (infekční, traumatická, zánětlivá), dekompenzovaná chronická onemocnění (interní, neurologická), probíhající onkologické onemocnění, kognitivní deficit znemožňující spolupráci na projektu, proband v rekonvalescenci po nemoci nebo úrazu či proband nespolupracující.

Všichni probandi, kteří byli zařazeni do výzkumné práce, museli souhlasit a následně stvrdit svým podpisem Informovaný souhlas.

#### 4.1.2 Průběh měření

Měření probíhalo v laboratoři budovy Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky. Účastníci přicházeli v předem daném pořadí dle toho, jak se přihlásili v aplikaci Doodle.



Vzhledem k tomu, že měření probíhalo v průběhu pandemie COVID-19, bylo nutné dodržovat vládní nařízení. Účastníci měření museli respektovat zpřísněné hygienické opatření jako mytí rukou při příchodu, dezinfekci povrchů a adekvátní zakrytí dýchacích cest.

Před samotným experimentem byl každý proband seznámen se zněním Informovaného souhlasu, který následně podepsal. Poté byl vyplněn průvodní dotazník (Příloha č. 3) k získání sociodemografických údajů. Jednalo se o data: pohlaví, rok narození, výška, váha, nejvyšší dosažené vzdělání a také dominantní horní končetina. Dotazník vznikl v programu Google Formuláře.

Dále se proband převlékl do vhodného oblečení. Bylo nutné, aby byl oděv přiléhavý a neomezoval plný rozsah pohybu. Proband byl také nucen si odložit veškeré šperky, které měl na krku nebo na ruce. Tyto kroky byly nezbytné pro správné vyhodnocení programem OpenPose. Před začátkem experimentu byl proband seznámen s celým průběhem měření. Měření rozsahu pohybu horní končetiny trvalo přibližně 20 minut.

#### 4.1.2.1 Vyšetřované polohy

Hodnocení rozsahu pohybu horní končetiny probíhalo v 6 různých polohách pro pravou i levou horní končetinu. Polohy byly zvoleny tak, aby bylo možné udržet končetinu ve fixní poloze po celou dobu měření. Částečně vycházely ze standardizovaných poloh (Janda a Pavlů, 1993; Norkin a White, c2003), ale polohy byly modifikované, aby vyhovovaly výzkumné práci. Všechny polohy byly natočeny v sagitální rovině.

Proband byl požádán, aby ležel v klidu na zádech nebo na břiše s nataženými dolními končetinami a horními končetinami podél těla. Ležel na lehátku, které se skládalo ze 3 dílů. Všechny části se po celou dobu měření nacházely v základní poloze, tzv. kolmo k zemi. Lehátko bylo při každém měření umístěno na předem daných značkách tak, aby se dodržela správná vzdálenost od kamery.

Probandovi byla následně vysvětlena definovaná poloha a v případě potřeby i názorně předvedena. Proband musel ve fixované poloze nehybně vydržet po celou dobu měření. Jelikož se nejednalo o standardní goniometrické vyšetření, měření pomocí goniometru probíhalo již v dané fixované poloze. Při standardním vyšetření terapeut

následuje končetinu ramenem goniometru do dané pozice (Janda a Pavlů, 1993; Norkin a White, c2003).

Měření probíhalo bilaterálně. Po naměření jedné strany došlo k otočení lehátka o 180° a pacient absolvoval stejné měření polohy i na opačnou stranu. Měřená horní končetina byla vždy blíže ke kameře.

### **Definované polohy:**

#### **1) Maximální flexe loketního kloubu**

- Proband ležel na zádech, dolní končetiny natažené. Oči směřovaly ke stropu. Paže ležela na lehátku rovnoběžně s trupem a loket blíže ke kameře byl v maximální flexi. Pokud to bylo možné, ruka se dotýkala ramene.



Obrázek č. 8 Maximální flexe loketního kloubu (archiv autora)

#### **2) Flexe paže s flexí lokte**

- Proband ležel na zádech, dolní končetiny natažené. Oči směřovaly ke stropu. Paže byla ve flexi společně s loketním kloubem. Loket směřoval ke stropu. Ruka byla palmární stranou položena na bločku a prsty směřovaly kraniálně.



Obrázek č. 9 Flexe paže s flexí lokte (archiv autora)

### 3) Flexe paže při extenzi loketního kloubu

- Proband ležel na zádech, dolní končetiny natažené. Oči směřovaly ke stropu. Paže byla ve flexi současně s extenzí lokte. Jednalo se o pronační postavení předloktí. Horní končetina byla podepřená v oblasti zápěstí bločkem.



Obrázek č. 10 Flexe paže (archiv autora)

### 4) Vnitřní rotace paže

- Proband ležel na zádech, dolní končetiny natažené. Oči směřovaly ke stropu. Paže byla v 90° abdukci s 90° flexí v loketním kloubu. Paže se nacházela ve vnitřní rotaci. Horní končetina byla podepřená v oblasti dlaně bločkem. Paže byla současně fixována také pomocí rozhraní mezi jednotlivými částmi lehátka.



Obrázek č. 11 Vnitřní rotace paže (archiv autora)

### 5) Zevní rotace paže

- Proband ležel na zádech, dolní končetiny natažené. Oči směřovaly ke stropu. Paže byla v 90° abdukci s 90° flexí v loketním kloubu. Paže se nacházela v zevní rotaci. Horní končetina byla podepřena v oblasti dorza ruky bločkem. Paže byla současně fixována také pomocí rozhraní mezi jednotlivými částmi lehátka.



Obrázek č. 12 Zevní rotace paže (archiv autora)

### 6) Extenze paže při extendovaném loketním kloubu

- Proband ležel na břiše, dolní končetiny natažené. Hlava byla fixovaná v otvoru lehátka. Paže byla extendovaná a fixovaná s pomocí bločku. Loketní kloub byl extendovaný taktéž.



Obrázek č. 13 Extenze paže (archiv autora)

### **Pomůcky:**

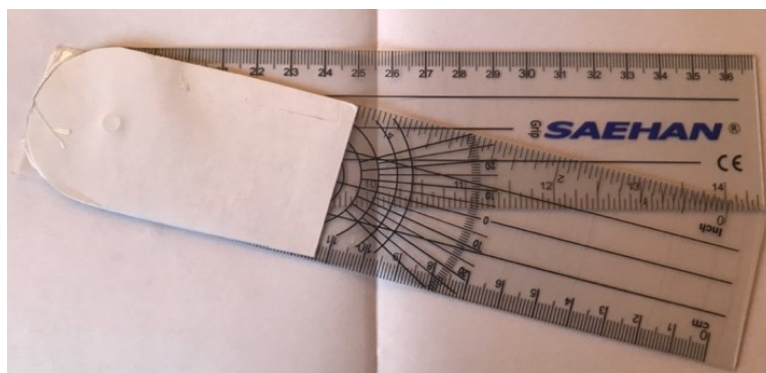
Bloček (Trendy yoga blok) značky Trendy sport měl rozměry: délka 23 cm, šířka 15 cm a výška 7,5 cm.

Celý proces byl nahráván na webkameru značky Logitech Webcamera C920 (rozlišení 1280x720, 30fsp). Výška kamery byla 130 cm k hornímu okraji. Vzdálenost kamery od plátna byla 4,5 metru. Zelené plátno se nacházelo za lehátkem. Výška lehátka bylo 60 cm od země. Přední noha lehátka, která se nacházela na fixní značce, byla vzdálena 73 cm od plátna.

Lehátko (BTL-1300 Comfort 3dílné vínové) bylo dlouhé 195 cm.

#### 4.1.2.2 Goniometrické měření

Měření pomocí klasického goniometru prováděly 2 studentky 2. ročníku magisterského studia fyzioterapie. Obě výzkumnice změřily každou polohu horní končetiny dvakrát. Měření začínalo pravou horní končetinou.



Obrázek č. 14 Ukázka goniometru se zaslepenou stupnicí (archiv autora)

Měření probíhalo pomocí plastového goniometru značky SAEHAN (20 cm dlouhý, 360°). Stupnice zobrazovala výsledky po 2° od 0° do 360°. Osa měřící stupně byla zaslepená. Inspirace pro zaslepení goniometru byla ve studii (Pourahmadi et al., 2017). Hodnoty ROM byly zaznamenány na video.

Střed goniometru byl umístěn do středu otáčení ramenního nebo loketního kloubu. Při měření ROM ramenního kloubu bylo jedno z ramen goniometru rovnoměrně s trupem a druhé se orientovalo směrem k laterálnímu epikondylu. Při hodnocení ROM loketního kloubu jedno rameno směřovalo směrem k tuberculum humeri a druhé k processus styloideus radii. U rotací bylo jedno rameno v poloze kolmo k zemi a druhé rameno směřovalo k processus styloideus ulnae.

### 4.1.3 Sběr dat

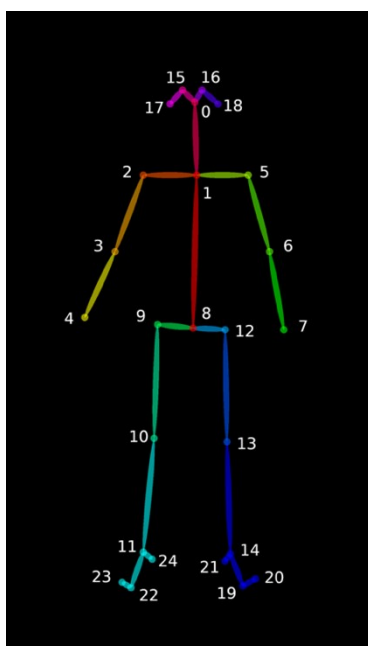
Data byla získána na základě goniometrického měření a vyhodnocení videozáznamu systémem OpenPose.

#### 4.1.3.1 Data z goniometrického měření

Sběr dat z goniometrického měření probíhal na základě odečtení číselné hodnoty ve stupních z videozáznamu, který byl pořízen během měření. Hodnoty byly následně zaznamenány do Tabulky na Google Drive úložišti. Číselné hodnoty odpovídaly velikosti rozsahu pohybu ramenního a loketního kloubu a byly přiřazeny k danému probandovi.

#### 4.1.3.2 Data z programu OpenPose

Program OpenPose byl schopný detekovat klíčové body (Obrázek č. 15) na horní končetině (rameno, loket, zápěstí) z videozáznamu a poté vyhodnotit velikost úhlu mezi body (Tabulka č. 1). Systém byl schopen vypočítat velikost úhlu mezi 3 sousedními body nebo mezi 2 sousedními body vůči vertikální nebo horizontální ose, tzv. ose vůči zemi.



Obrázek č. 15 „Kostra klíčových bodů“ – OpenPose (Stackoverflow, ©2021)

Body byly definovány na základě znalosti anatomie, goniometrie a předchozí práce s programem OpenPose. V tabulce č. 1 jsou shrnuty polohy, měřené rozsahy pohybu a definované kombinace bodů u jednotlivých poloh. Také je v ní zmíněn sloupec Posun úhlu. Jedná se o korekci hodnoty ROM, kterou vypočítal OP. Pokud by nedošlo ke změně

hodnoty OP, tak by nebylo možné hodnoty porovnávat s hodnotou z měření goniometrem.

Jednalo se o 6 různých poloh. Jelikož byly měřeny obě strany, bylo tak poloh nakonec 12. Výsledných úhlů bylo 14, protože u polohy „Flexe paže s flexí lokte“ byl měřen rozsah pohybu v ramenním kloubu i v kloubu loketním.

**Tabulka č. 1** Základní klíčové body u jednotlivých pozic horní končetiny

Poloha číslo	Název úhlu	Strana	Zkratka	Definované body pro OP	Posun úhlu [°]
1	Maximální flexe loketního kloubu	P	MFL_P_OP	2-3-4	+90
		L	MFL_L_OP	5-6-7	-180
2	a Flexe lokte s flexí paže (flexe paže)	P	FPFL_FP_P_OP	2-3 (horizontála z 2)	neurčeno
		L	FPFL_FP_L_OP	5-6 (horizontála z 5)	neurčeno
	b Flexe lokte s flexí paže (flexe lokte)	P	FPFL_P_OP	2-3-4	neurčeno
		L	FPFL_L_OP	5-6-7	neurčeno
3	Flexe paže	P	FP_P_OP	2-3 (horizontála z 2)	-90
		L	FP_L_OP	5-6 (horizontála z 5)	+90
4	Vnitřní rotace paže	P	VniRP_P_OP	3-4 (vertikála z 3)	0
		L	VniRP_L_OP	6-7 (horizontála z 6)	0
5	Zevní rotace paže	P	VneRP_P_OP	3-4 (vertikála z 3)	0
		L	VneRP_L_OP	6-7 (horizontála z 6)	0
6	Extenze paže	P	ELEP_P_OP	2-3 (horizontála z 2)	+90
		L	ELEP_L_OP	5-6 (horizontála z 5)	-90

Data byla extrahovaná z videozáznamu, který trval u jednoho probanda přibližně 20 minut. Jelikož program nebyl schopen polohy rozeznat, bylo nutné u dané polohy určit začátek videozáznamu. Každá poloha byla následně sestříhána z celkového videa na 5sekundový záznam.

Předpokládala jsem, že z 5sekundového videozáznamu dostanu validní informaci o rozsahu pohybu, tzv. se jednalo o 150 snímků.

Každá poloha byla následně analyzována programem OpenPose. Hodnota rozsahu byla zaznamenána v číselné podobě do Tabulky na Google Drive úložišti.

Z videozáznamu bylo také možné vygenerovat video se skeletem a grafickou podobu záznamu (Příloha č. 4 a 5). Video se skeletem a graf sloužily pouze pro kontrolu hodnot a nebyly součástí výsledků.



#### 4.1.4 Proces analýzy

Výsledek z programu OpenPose bylo potřeba nejdříve podrobit analýze „spolehlivosti“, tzv. určit, zda je možné hodnotu vygenerovanou systémem OpenPose považovat za validní a je připravena k další analýze.

Na empirickém základě byly určeny podmínky, kdy bude možné výslednou informaci z 5sekundového videa za validní považovat. Jednalo se o to, aby hodnota byla po celou dobu videa co nejvíce konstantní.

##### **Podmínky:**

- a) Alespoň polovina snímků musela být detekovatelná, tzv. alespoň 75 snímků.
- b) Standardní odchylka všech detekovaných hodnot nesměla překročit hodnotu  $5^\circ$ .

Pokud byly podmínky splněny, tak byl výsledek označen hodnotou 1 „správně“ a pokud nebyly splněny, tak byl výsledek označen hodnotou 0 „špatně“. Jednalo se o zpracování v prostředí programu MATLAB (MathWorks).

Předpoklad byl, že do následné analýzy budou použity pouze úhly, u kterých výsledek procentuálního zastoupení „správných“ videí/hodnot bude vyšší než 90 %. Tuto hranici jsme si stanovili na základě pozorování.

Goniometrie jako standardizované vyšetření rozsahu pohybu bylo považováno u jednotlivých úhlů za validní, pokud splňovalo podmínky, že rozdíl mezi 1. a 2. měřením jednoho vyšetřujícího nepřesáhne hodnotu  $5^\circ$ . A následně rozdíl mezi průměrnou hodnotou rozsahu úhlu mezi vyšetřujícími navzájem nepřesáhne  $5^\circ$ .

Následně byl vypočítán rozdíl aritmetických průměrů goniometrických hodnot u jednotlivých úhlů a hodnot OpenPose. Hodnota goniometrického měření se vypočítala na základě aritmetického průměru všech 4 měření u všech probandů daného úhlu. Započítány byly pouze hodnoty z OpenPose, které byly považovány za „správné“.

Konečný výsledek byl vypočítán u úhlů, které splňovaly 90% spolehlivost vyhodnocení programem OpenPose a zároveň rozdíl mezi 1. vyšetřujícím a 2. vyšetřujícím u daných úhlů nebyl vyšší než  $5^\circ$ . Hranice  $5^\circ$  byla určena na základě literatury, kdy zdroje předpokládají, že při rozdílu do  $5^\circ$  při opakovaném měření je výsledná hodnota stále pokládána za validní (Boone et al., 1978; Hancock et al., 2018).

Ke zpracování dat bylo použito prostředí Tabulky na Google Drive úložišti.

## 4.2 Výsledky

### 4.2.1 Charakteristika vybraného souboru

Celkem se výzkumu zúčastnilo 48 probandů. Všichni přihlášení splnili podmínky přijetí do práce a měření absolvovali. Měření probíhalo v období leden–březen 2021.

Ze 48 probandů se jednalo o 16 mužů a 32 žen. Průměrný věk probandů byl 28,2 let (směrodatná odchylka 7,9 let). Průměrný věk mužů byl 29,8 let (z toho maximální věk 42 let a minimální věk 22 let). Průměrný věk žen byl 27,5 let (z toho maximální věk 60 let a minimální věk 17 let).

Průměrná výška byla 172,8 cm (z toho u mužů 184,5 cm a u žen 168,5 cm). Nejvíce probandů se pohybovalo ve váhovém rozmezí 65–70 kg (z toho u mužů bylo nejčastější váhové rozmezí 80–85 kg a u žen 60–65 kg).

Z celkového počtu 48 probandů mělo dominantní pravou horní končetinu (PHK) 43 probandů a pouze 5 probandů mělo dominantní levou horní končetinu (LHK).

Nejvíce probandů dosáhlo vysokoškolského vzdělání (33 probandů), následně 14 probandů mělo středoškolské vzdělání a 1 proband měl pouze vzdělání základní.

**Tabulka č. 2** Charakteristika vybraného souboru

Charakteristika		Celkově	Muži	Ženy
Počet probandů		48	16	32
Věk [roky]	Průměrný	28,2	29,8	27,5
	Směrodatná odchylka	7,9		
	Maximální	60	42	60
	Minimální	17	22	17
Průměrná výška [cm]		173,8	184,5	168,5
Nejčastější váhové rozmezí [kg]		65–70	80–85	60–65

Dominantní končetina [počet]	PHK	43
	LHK	5
Vzdělání [počet]	Základní vzdělání	1
	Střední vzdělání s maturitou	14
	Vysokoškolské vzdělání	33

#### 4.2.2 Výsledky měření

Výsledky jsou v podobě tabulek. Výsledky jsem vyhodnocovala společně s asistencí Ing. Jindřicha Adolfa, který zprostředkoval data z programu OpenPose.

Z důvodu absence videozáznamu nebyly goniometrická data a data z programu OP kompletní u rozsahu pohybu:

- Zevní rotace paže, pravá horní končetiny u ID21 a ID32.
- Zevní rotace paže, levá horní končetina u ID20; ID35 a ID 42.
- Flexe paže s flexí lokte, rozsah pohybu lokte, levá horní končetina u ID46.

**Tabulka č. 3** „Spolehlivost“ měření pomocí programu OP

Poloha číslo	Název	Strana	Zkratka	Spolehlivost měření [%]
1	Maximální flexe loketního kloubu	P	MFL_P_OP	97,5
		L	MFL_L_OP	91,3
2	Flexe lokte s flexí paže (flexe paže)	P	FPFL_FP_P_OP	47,8*
		L	FPFL_FP_L_OP	17,4*
	Flexe lokte s flexí paže (flexe lokte)	P	FPFL_P_OP	39,1*
		L	FPFL_L_OP	4,4*
3	Flexe paže	P	FP_P_OP	97,8
		L	FP_L_OP	93,5
4	Vnitřní rotace paže	P	VniRP_P_OP	93,5
		L	VniRP_L_OP	91,3
5	Zevní rotace paže	P	VneRP_P_OP	86,4*
		L	VneRP_L_OP	81,4*
6	Extenze paže	P	ELEP_P_OP	95,7
		L	ELEP_L_OP	91,3

\*hodnoty nižší než 90% spolehlivost

Na základě určené spolehlivosti detekce OP bylo vyřazeno 6 poloh, u kterých byla spolehlivost nižší než 90 %. Jednalo se o polohy: FPFL\_FP\_P\_OP, FPFL\_FP\_L\_OP, FPFL\_P\_OP, FPFL\_L\_OP, VneRP\_P\_OP, VneRP\_L\_OP.

Nejnižší hodnotu měla poloha FPFL\_L\_OP, kdy spolehlivost správných dat bylo pouze 4,4 %.

Nejvyšší spolehlivost byla u hodnot MFL\_P\_OP, FP\_P\_OP a ELEP\_P\_OP, kdy míra spolehlivosti přesahovala 95 %.

**Tabulka č. 4** Rozdíl mezi 1. a 2. měřením pomocí goniometru

Poloha číslo	Název	Strana	Zkratka	Rozdíl mezi měřeními u 1. vyšetřující [°]	Rozdíl mezi měřeními u 2. vyšetřující [°]
1	Maximální flexe loketního kloubu	P	MFL_P_OP	1,5	2,2
		L	MFL_L_OP	2,0	2,3
2	a Flexe lokte s flexí paže (flexe paže)	P	FPFL_FP_P_OP	2,0	1,7
		L	FPFL_FP_L_OP	1,7	1,7
	b Flexe lokte s flexí paže (flexe lokte)	P	FPFL_P_OP	1,8	1,7
		L	FPFL_L_OP	2,2	1,5
3	Flexe paže	P	FP_P_OP	1,9	1,3
		L	FP_L_OP	1,5	1
4	Vnitřní rotace paže	P	VniRP_P_OP	2,0	1,4
		L	VniRP_L_OP	1,9	1,2
5	Zevní rotace paže	P	VneRP_P_OP	1,9	1,5
		L	VneRP_L_OP	2,2	1,9
6	Extenze paže	P	ELEP_P_OP	1,2	1,6
		L	ELEP_L_OP	1,0	1,3
<b>Průměrná hodnota</b>				<b>1,8</b>	<b>1,6</b>

Průměrný rozdíl mezi 1. a 2. měřeními u prvního vyšetřujícího byl 1,8°. Největší rozdíl mezi 1. a 2. měřeními byl u poloh FPFL\_L\_OP (2,2°) a VneRP\_L\_OP (2,2°). Nejnižší rozdíl byl u polohy ELEP\_L\_OP (1°).

Průměrný rozdíl mezi 1. a 2. měřeními druhého vyšetřujícího byl 1,6°. Největší rozdíl mezi 1. a 2. měřeními byl u poloh MFL\_L\_OP (2,3°) a MFL\_P\_OP (2,2°). Nejnižší rozdíl byl u polohy FP\_L\_OP (1°).

**Tabulka č. 5** Rozdíl goniometrického měření mezi 1. a 2. vyšetřujícími navzájem

Poloha číslo	Název	Strana	Zkratka	Rozdíl mezi vyšetřujícími navzájem [°]
1	Maximální flexe loketního kloubu	P	MFL_P_OP	7,4*
		L	MFL_L_OP	5,2*
2	a Flexe lokte s flexí paže (flexe paže)	P	FPFL_FP_P_OP	1,7
		L	FPFL_FP_L_OP	3,9
	b Flexe lokte s flexí paže (flexe lokte)	P	FPFL_P_OP	6,8*
		L	FPFL_L_OP	8,5*
3	Flexe paže	P	FP_P_OP	3,4
		L	FP_L_OP	2,4
4	Vnitřní rotace paže	P	VniRP_P_OP	2,3
		L	VniRP_L_OP	2,2
5	Zevní rotace paže	P	VneRP_P_OP	2,8
		L	VneRP_L_OP	2,8
6	Extenze paže	P	ELEP_P_OP	2,5
		L	ELEP_L_OP	2,2
<b>Průměrná hodnota</b>				<b>3,9</b>

\*hodnota vyšší než 5°

Celkový rozdíl průměrných hodnot mezi vyšetřujícími navzájem byl 3,9°. Nejvyšší rozdíl byl u polohy FPF\_L\_OP (8,5°). Další hodnoty, které byly vyšší než 5° byly polohy MFL\_P\_OP, MFL\_L\_OP, FPFL\_P\_OP.

**Tabulka č. 6** Porovnání dat goniometrie a programu OpenPose

Poloha číslo	Název	Strana	Zkratka	Chyba goniometr vs OpenPose [°]
3	Flexe paže	P	FP_P_OP	6,2*
		L	FP_L_OP	5,3*
4	Vnitřní rotace paže	P	VniRP_P_OP	6,0*
		L	VniRP_L_OP	2,7
6	Extenze paže	P	ELEP_P_OP	4,4
		L	ELEP_L_OP	3,1
<b>Průměrná hodnota</b>				<b>4,6</b>

\*hodnoty vyšší než 5°

Pouze 3 úhly splnily podmínku a hodnota je nižší než 5°. Jedná se o polohy VniRP\_L\_OP, ELEP\_P\_OP, ELEP\_L\_OP. Tyto výsledky potvrzují hypotézu H1d a H1f.

Ostatní hodnoty jsou vyšší než 5° nebo polohy byly již předem vyřazeny na základě kritérií.

## 5 DISKUZE

Dle výsledků došlo pouze k potvrzení hypotézy H1d a H1f. Jednalo se polohy elevace pravé i levé paže a polohu vnitřní rotace levé paže. U těchto hypotéz se potvrdilo tvrzení, že se výsledek z programu OpenPose shoduje s výsledky goniometrického měření s chybou do 5°. U těchto poloh tedy můžeme předpokládat využití OP jako alternativního způsobu měření rozsahu pohybu.

Předem byla daná vylučovací kritéria, která eliminovala úhly, u kterých nebylo možné porovnat měření ROM pomocí OP a klasické goniometrie. Jednalo se o nepřesnost měření klasické goniometrie, resp. rozdíl mezi vyšetřujícími překročil 5°. V rámci OP se pracovalo s nepřesnou detekcí klíčových bodů na těle.

### 5.1 Goniometrické hodnocení

Goniometrické vyšetření bylo zvoleno na základě toho, že se jedná o nejběžnější a zároveň velmi dostupnou metodu měření rozsahu pohybu používanou zdravotnickými pracovníky v klinické praxi (např. fyzioterapeuty nebo lékaři) (Van Rijn et al., 2018; Yazdifar et al., 2013). Z tohoto důvodu jsem se rozhodla tuto metodu porovnat s programem OpenPose.

Goniometrie se běžně využívá jako porovnávací metoda k jiné metodě pro hodnocení ROM. V literatuře se můžeme setkat s porovnáním s vizuálním odhadem (Crao et al., 2014), jiným druhem goniometrie (Blonna et al., 2012b), mobilní aplikací (Dos Santos et al., 2017) nebo softwarem umožňujícím měření ROM (Elrahim et al., 2016).

Jsem si vědoma, že při porovnání OP s klasickou goniometrií nemohu určit zcela jasně validitu a reliabilitu metody u měření ROM paže a loketního kloubu. Nebyl to ale ani cíl mé práce.

Přestože je goniometrie standardizované vyšetření (Norkin a White, c2003), jeho spolehlivost oproti jiným metodám nemusí být tak vysoká. Existují mnohem spolehlivější a přesnější metody hodnocení ROM. Jedná se o metody založené na snímání pohybu nebo hodnocení ROM z rentgenového snímku. V této práci bohužel nebyla z finančních důvodů žádná z těchto metod použita.



Studie (Chapleau et al., 2011) porovnávala spolehlivost mezi klasickým goniometrem a rentgenovým měřením při maximální flexi, extenzi a „carrying angle“ loketního kloubu. Spolehlivost byla vyšší u rentgenového měření. Autoři doporučují využít rentgenové hodnocení ROM pro výzkumné účely a goniometrii spíše pro klinickou praxi. Další studie (Lavernia et al., 2008) navrhuje radiologický snímek jako standardní vyšetření u lidí po artroplastice kolenního kloubu, jelikož při měření ROM klasickým goniometrem dochází u většiny zdravotních pracovníků k nadhodnocení velikosti flexe v koleni při vyšším rozsahu pohybu.

Běžně se ve studiích uvádí inter-rater reliabilita a intra-rater reliabilita. Jedná se o statistický nástroj, který určuje míru spolehlivosti při opakovaném měření jednou metodou a při porovnání spolehlivosti mezi metodami navzájem (Elrahim et al, 2016). Vzhledem k charakteru studie jsem se rozhodla využít jednodušší nástroj pro zpracování výsledků.

Ve své práci jsem pracovala s chybou měření do 5°. Rozhodla jsem se tak na základě literatury. Pavlů a Janda (1993) upozorňují, že zápis hodnot ROM by se měl určovat po 5° závisle na goniometru, který má většinou stupnici po 5°. Na 5° goniometru odkazují i ve studii (Ono et al., 2019), kdy tento rozsah pokládají ještě za přijatelnou fluktuaci hodnoty. Studie (McVeigh et al., 2016) dokonce zmiňuje, že studie reliability goniometru pokládají za běžnou chybu testování hodnotu od 5° do 10°.

Jiná studie (Hancock et al., 2018) předpokládá, že změnu ROM kolenního kloubu měřenou digitálním goniometrem lze pokládat za podstatnou, pokud bude rozdíl mezi jednotlivými měřeními minimálně 6°. Z toho vyplývá, že autoři též pracují s možnou chybou měření 5°. Totéž uvádí (Boone et al., 1978) u horní končetiny, u dolní končetiny udává dokonce možnou chybu měření 6°.

Ve studii (De Winter et al., 2004), která určovala reliabilitu inklinometru při měření ROM ramenního kloubu u pacientů s poruchou ramenního kloubu, dokonce uváděli, že hodnoty nižší než 20–25° nelze odlišit od chyby měření.

Rozdíl hodnocení ROM pomocí goniometru v mé práci mezi dvěma vyšetřujícími byl vyšší než 5° u 4 ze 14 úhlů. Jednalo se o polohy flexe paže s flexí lokte (ROM loketního kloubu bilaterálně) a maximální flexe loketního kloubu bilaterálně. Hodnoty ostatních úhlů byly nižší než 5°. Zajímavé je, že všechny vyřazené úhly určovaly rozsah pohybu loketního kloubu.

Ve studiích se inter-rater reliabilita udává jako excelentní, pokud je vyšší než 0,9, pokud je vyšší než 0,7 tak se obecně bere ještě jako přijatelná (Hancock et al., 2018). Studie zabývající se spolehlivostí goniometrie u flexe loketního kloubu mezi vyšetřujícími udávají koeficient mezi 0,58–0,62 (Armstrong et al., 1998), 0,94–0,98 u zkušených vyšetřujících, 0,81–0,86 nezkušených vyšetřujících (Blonna et al., 2012b), 0,89–0,96 (Rothstein et al., 1983).

U měření polohy paže se inter-rater reliabilita udává mezi 0,62–0,95 (Mullaney et al., 2010), 0,90–0,98 (Correll et al., 2018). Většinou se může považovat spolehlivost goniometrie u horní končetiny mezi vyšetřujícími za dobrou až excelentní. Hodnoty se mezi studii liší, jelikož záleží na postupu, dané poloze, vyšetřujícím a okolnostem.

Faktor, který mohl ovlivnit přesnost měření ROM paže a lokte pomocí goniometru, mohl být založen na množství zkušeností vyšetřujících s metodou. V této práci měření prováděly studentky 5. ročníku fyzioterapie, které mají zkušenost s měřením rozsahu pohybu pouze z praxí a z výuky.

Studie (Kim a Kim, 2016) ale uvádí velmi dobrou spolehlivost opakovaného měření ROM i u studentů oboru, kteří mají méně praxe. Autoři hodnotili, ale pouze reliabilitu u flexe a extenze v ramenním kloubu a flexe a extenze v kloubu kyčelním.

U spolehlivosti měření ROM lokte do flexe a extenze studie (Blonna et al.; 2012b) upozorňuje na nižší spolehlivost měření u studentů oproti zkušeným vyšetřujícím jako je např. chirurg. Jiná studie (Van Rijn et al., 2018) ale poukazuje na to, že ve studii (Blonna et al., 2012b) nebyly vyšetřujícím dány konkrétní instrukce k měření. Ke stejnému výsledku došli již autoři rešerše (Gajdosik a Bohannon, 1987), že i nezkušený vyšetřující může být schopen přesně naměřit ROM pomocí goniometru, pokud se bude řídit přesnými instrukcemi.

Rozdíl mezi vyšetřujícími u úhlů, které nesplňovaly kritéria 5°, mohlo být ovlivněno nepřesným určením kostních útvarů nebo špatným vizuálním odhadem, a následně to mělo vliv na výsledek.

Na tuto limitaci při měření poukazuje Gajdosik a Bohannon (1987). Upozorňuje na možné nepřesnosti terapeuta při určení daného kostního orientačního bodu na základě vizuálního pozorování nebo palpáce. Je nutné také brát v potaz tělesnou konstituci pacienta, která se promítá do správného určení kostní struktury a určení osy otáčení pohybu.

Je možné, že konstituce těla ovlivnila výsledky ve studii (Boone et al., 1978). Autoři zjistili, že spolehlivost měření ROM dolních končetin byla nižší oproti horním končetinám. Tento výsledek mohl být ovlivněn složitější palpací anatomických struktur na dolní končetině.

U poloh flexe, extenze paže a rotace paže se chyba měření mohla eliminovat tím, že rameno goniometru, které určovalo nulové postavení, bylo rovnoběžně s trupem při měření flexe a extenze paže a vertikálně, resp. kolmo k zemi, při vyšetření rotací. Naopak u flexe v lokti bylo nutné odhadnout nulovou polohu na základě odhadu anatomických struktur na rameni a na zápěstí.

Tato situace u flexe v loketním kloubu mohla být ještě zvýrazněna tím, že vyšetřující použily univerzální goniometr s krátkým ramenem. Studie (Hancock et al., 2018) upozorňuje na mnohem vyšší přesnost goniometru s delším ramenem (50 cm) oproti goniometru s ramenem kratším (30 cm) při určení ROM u kolenního kloubu. A upozorňuje ještě na vyšší přesnost Halo digitálního goniometru, který funguje na principu laserového paprsku, který nám jasně ukazuje místo kudy prochází „rameno“ goniometru.

V mojí práci byl použit goniometr SEAHAN, který byl dlouhý pouze 20 cm. Byl zvolen na základě předchozích zkušeností obou vyšetřujících s tímto typem goniometru. Shodný goniometr použili ve studii (Furness et al., 2018), kde porovnávali spolehlivost mobilní aplikace právě s klasickou goniometrií u rotace v hrudní páteři.

Pokud se jedná o rozdíl mezi 1. a 2. měřením ROM u jednotlivých vyšetřujících, jsou výsledky velmi spolehlivé. Průměrná chybovost měření u všech poloh u 1. vyšetřujícího je 1,8° a 1,6° u 2. vyšetřujícího. Jedná se tedy o přesnější měření oproti rozdílu mezi vyšetřujícími navzájem.

Gajdosik a Bohannon (1987) potvrzují informaci, že reliabilita mezi opakovanými vyšetřeními jednoho vyšetřujícího je mnohem vyšší než mezi více vyšetřujícími navzájem. To potvrzuje studie měřící ROM ramene (Mullaney et al., 2010), kdy intra-rater reliabilita goniometru je mezi 0,91–0,99 oproti inter-rater reliabilitě, která je pouze 0,62–0,95. Naopak studie (Correll et al., 2018) potvrzuje dobrou až excelentní intra-rater reliabilitu i inter-rater reliabilitu, ale hodnoty inter-rater reliability jsou vyšší.

Je možné, že k vyšší spolehlivosti přispěl goniometr, který měl zaslepenou číselnou stupnici. Zaslepení goniometru vedlo k vyšší objektivizaci jednotlivých měření.

Zaslepení goniometru je běžný postup v mnoha studiích (Blonna et al., 2012b; Prather et al., 2010; Pourahmadi et al., 2017; Johnson et al., 2015; Mullaney et al., 2010) při porovnávání ROM různými metodami. Jedná se o to, aby vyšetřující nebyl ovlivněn vlastními výsledky. Toto opatření vedlo k tomu, že výsledné hodnoty z goniometru musely být přepsány z videozáznamu, kde byla hodnota zaznamenána. To eliminovalo chybu, na kterou upozorňuje (Correll et al., 2018), že při manipulaci s goniometrem může nastat chyba při odhadu a určení správné hodnoty ROM.

V neposlední řadě jsem se snažila objektivizovat goniometrické vyšetření tím, že po celou dobu měření byl použit shodný goniometr. Ve studii (Hancock et al., 2018) upozorňují na možné nepřesnosti měření, které by mohly vzniknout při záměně nástroje.

## **5.2 Hodnocení programem OP**

Na základě metodiky bylo již na začátku vyřazeno 6 ze 14 úhlů, které byly hodnoceny OP. Jednalo se o polohy flexe paže s flexí lokte bilaterálně a vnější rotace paže bilaterálně. Vyřazeny byly z důvodu, že více jak 10 % videozáznamu probandů u jednoho úhlů bylo špatně vyhodnoceno, nebo došlo ke špatné detekci klíčových bodů programem OpenPose.

Pro všechny tyto polohy po zpětné analýze skeletonů bylo charakteristické, že poloha horní končetiny zakrývala hlavu. Předpokládám, že to mohlo způsobit chybu detekce a následně špatné vyhodnocení videozáznamu.

Program OpenPose funguje na principu detekce klíčových bodů a je spojen s termínem počítačového vidění. Problémem detekce se již zabývala studie (Toshev a Szegedy, 2014), která se snažila využít komplexnějšího uvažování u složitějších poloh a odhadnout klíčové body na základě „Deep neural networks“ (DNN, hluboká neuronová síť). Ve své práci upozorňuje na nutnost odhadnout i klouby, kterou nejsou na obraze vidět a jsou kryté jinými částmi těla.

Přestože OpenPose je již pokročilý program, tak se autoři studie (Slembrouck et al., 2020) setkávají stále s určitou chybou měření a odhadu bodů. Tyto chyby jsou ovlivněny tím, že program OpenPose pracuje ve 2D prostředí. Autoři upozorňují na problém sebe-okluze, kdy část těla překrývá jinou část, výměny končetin za opačnou a nesprávného detekování bodů.

Při zpětném hodnocení skeletonů, který byly považovány za „špatné“ dle kritérií, jsem vybrala nejčastější chyby detekce. Jednalo se o to, že OP nebyl schopný detekce klíčového bodu horní končetiny, signál detekovaného bodu se v průběhu 5sekundového videa několikrát ztratil, někdy došlo k detekci opačné končetiny. Výjimečně se stalo u 2 videí, že v průběhu videa byl zachycen vyšetřující, a tím byl signál klíčového bodu narušen. Z toho plyne, že poukazují na podobné chyby, na které upozorňuje studie (Slembrouck et al., 2020).

Také jsem při zpětné analýze objevila, že proband ID49 vykazuje u 12 úhlů z celkových 14 úhlů chybu. Oproti ostatním probandům vykazoval proband ID49 opravdu vysoké množství chybné detekce OP. Předpokládám, že to mohlo být způsobeno oděvem, který nebyl zcela vhodný. Jednalo se o černé upnuté tričko s dlouhým rukávem.

Vzhledem k tomu, že systém OP funguje na detekci změny zachycení pixelů na základě RGB kamery, je nutné jasné rozhraní objektu. Ve studii (Ota et al., 2020) upozorňují na to, že je vhodné se vyhnout příliš volnému oblečení nebo tmavě zbarvenému oblečení, jinak může dojít ke špatné detekci bodů. Na základě toho vyplývá, že je nejvhodnější přilehlý světle zbarvený oděv.

Z mého pozorování vyplývá, že je vhodný přiléhavý oděv, nebo ještě lépe odhalená pokožka, která není krytá oděvem. Vliv oblečení zmiňuje ve své práci i Ono et al. (2019).

Polohy a úhly jsem vybírala na základě toho, že horní končetiny jsou běžnou součástí při ADL. A rozsah ramenního a loketního kloubu se používá při ověřování spolehlivosti nástrojů měřících ROM, možná častěji se vyšetřuje už jen kolenní kloub (Milanese et al., 2014). Také z pilotního měření vycházela horší detekce dolní končetiny OP v poloze vleže na zádech. Ale tato skutečnost musí být ještě v budoucnu prověřena.

Validita a reliabilita OP při hodnocení dolní končetiny byla zmíněna ve studii, která hodnotila analýzu dřepu (Ota et al., 2020). Autoři porovnávali 2D analýzu programem OP s 3D analýzou pomocí systému Vicon. Vysoká spolehlivost (ICC 0,81–1,0) byla pro klíčové body trupu, kolene a kotníku a pro kyčel byla spolehlivost nižší (ICC 0,21–0,40). Vyhodnocení analýzy se lišilo dle charakteru záznamu.

Další studie (Ota et al., 2021), která hodnotila spolehlivost analýzy dolních končetin, se zaměřila na možnost využít OP při analýze chůze. Potvrdila využitelnost OP jako prostředku pro analýzu chůze, ale autoři udávají, že to není platná alternativa k 3D

analýze chůze. Jiná studie (D'Antonio et al., 2020) porovnávala OP a „Inertial Measurement Units“ (IMUs) také při analýze chůze. Udává, že chyba při výpočtu úhlů mohla být až 9,9°. Oproti předchozí studii se lišila tím, že snímala pohyb již na 2 kamery najednou.

### 5.3 Polohy při měření

Polohy jsem se snažila přiblížit co nejvíce klasickým standardizovaným polohám. Rozdíl byl ale v tom, že nešlo o to změřit maximální rozsah horní končetiny, ale pouze zaznamenat úhel v poloze, kde je možné končetinu kvalitně fixovat. K fixaci buď sloužila samotná poloha (maximální flexe loketního kloubu), nebo jsem využila yoga bloček. Před samotným měřením jsem se ujistila, že je končetina dostatečně znehybněna. Jiní autoři fixaci nahrazují např. vlastnoručně vyrobeným nástrojem (Zulkarnain et al., 2017), nebo končetinu nefixují a předpokládají, že proband vydrží v maximální poloze nehnutě během měření (Huber et al., 2015).

Standardně se měří ROM z výchozí polohy a následně se pohybem končetina dostane do maximálního rozsahu. Ve vědeckých publikacích se ale také uchylovali k měřením ROM rovnou v dané poloze stejně jako metodika mojí práce (Hacock et al., 2018).

Jednalo se o vyšetřované pohyby pouze v ramenním a loketním kloubu. Zápěstí a prsty jsem nehodnotila, jelikož body pro určení rozsahu těchto kloubů nejsou v základní sadě 25 klíčových bodů OP, se kterými jsem pracovala.

Polohy pro vnitřní a zevní rotaci paže odpovídají studii (Correll et al., 2018), polohy flexe, extenze paže, maximální flexe loketního kloubu byly podle publikace (Pavlů a Janda, 1993). Jediná modifikovaná poloha byla flexe paže s flexí lokte. Tato poloha odpovídala sdruženému pohybu a vycházela z ADL, kde je nutné mít pro činnosti dostatečný rozsah flexe paže a flexe lokte najednou. Tato poloha byla vložena do baterie poloh s dobrým úmyslem, bohužel OP tuto polohu velmi špatně detekoval.

Všechny polohy byly natočeny tak, že proband ležel a kamera snímala probanda ze sagitální roviny. Tato poloha není častá při detekci OP (Ota et al., 2020; Ono et al., 2019; Prima et al., 2019). Dle našich pilotních měření má OP velmi dobrou detekci ve frontální rovině. To potvrzuje studie (Ono et al., 2019). Ve studiích (Ota et al., 2021; Ota et al.,

2020) hodnotili dobrou spolehlivost detekce bodů dolní končetiny (převážně kolene, kotníku) i v sagitální rovině při chůzi a dřepu.

V mé práci bylo nejdříve provedeno goniometrické vyšetření a na to plynně navazoval videozáznam, který byl určen pro vyhodnocení OP. Ve studii (Çubukçu et al., 2020) taktéž porovnávali metody pro ROM horní končetiny. Jednalo se o klasický goniometr, digitální goniometr a systém Kinect V2. Pro goniometrii byl proband v poloze vleže na lehátku, ale pro měření horní končetiny Kinectem byl proband ve vzpřímené poloze. Z mého pohledu ale tento přístup může zkreslit výsledky, a z toho důvodu jsem polohu během měření neměnila.

#### **5.4 Porovnání goniometrie a OP**

V mojí práci při porovnání goniometrie s OP u poloh, které jsem považovala dle kritérii za spolehlivé, vyšly pouze polohy extenze paže bilaterálně a vnitřní rotace vlevo s chybou pod 5°. Pokud bychom zvýšili hranici chyby o 1,2° na 6,2°, tak bych mohla pokládat za spolehlivé všechny 3 polohy splňující kritéria výběru: flexe paže, vnitřní rotace paže a extenze paže. Ve studii (McVeigh et al., 2016) pokládají za ještě únosnou chybu měření dokonce 10° a ve studii (Prima et al., 2019), kde také porovnávali goniometrii s OP, se drželi také 10° hranice.

Pokud bych zvýšila hranici únosné chyby na 10° stejně jako ve studiích (McVeigh et al., 2016; Prima et al., 2019), mohla bych dokonce pokládat za spolehlivé všechny polohy kromě polohy flexe paže s flexí lokte.

Existují 2 studie, které porovnávají přesnost OP při měření rozsahu pohybu se systémem Kinect. Jednalo se ale o studie s pouze nízkým počtem probandů. První studie (Ono et al., 2019) porovnávala OP, kdy video bylo zaznamenáno na 2 kamery (stereo) a systém Kinect. OP vykazoval velmi dobrou spolehlivost hodnocení ve frontální rovině. Autoři měřili ROM ve stoji při flexi a abdukci paže a při flexi lokte ve frontální rovině a v sagitální rovině.

Druhá studie (Prima et al., 2019) porovnávala OP (jedna kamera, 2 kamery) a systém Kinect, kdy 10 probandů provádělo pohyb horní končetiny ve stoji a dolní končetiny vleže. Jednalo se o flexi, extenzi, abdukci a addukci paže, flexi lokte ve frontální a sagitální rovině. Dále autoři měřili flexi, extenzi, vnitřní a zevní rotaci kyčle a flexi kolene. Výsledky OP porovnávali s naměřenou hodnotou z goniometru. Postup

měření pomocí goniometru není ve studii zmíněn. Za ještě signifikantní hodnotu pokládali, pokud byl rozdíl mezi hodnotou goniometru a hodnotou ze záznamu rovný nebo nižší než 10°. Jedna kamera splňovala tyto podmínky u 41 % poloh a Kinect u 55 % poloh.

## 5.5 Výběr probandů

Pokud se jedná o výběr probandů, tak si nemyslím, že by charakteristika probandů znatelně ovlivnila výsledky. Soubor obsahoval 48 probandů. Korelaci mezi charakteristikou probandů a přesností měření jsem nepočítala. Dle studie (Gajdosik a Bohannon, 1987) může mít vliv váha a množství tělesné hmoty na přesnost detekce kloubů při goniometrii. Dle mého názoru mohlo mít vliv na přesnost detekce bodů OP oblečení nebo poloha probanda (Prima et al., 2019; Ono et al., 2019).

## 5.6 Použití OP v klinické praxi a telerehabilitaci

Využití OP v telerehabilitaci bylo doporučeno jako možný nástroj detekce pohybu na dálku (Prima et al., 2019). Jeho výhody jsou hlavně jednoduché použití bez nutnosti speciálního prostředí, mnoha kamer a speciálních senzorů na vyšetřovaném objektu. Je nutné ale eliminovat možné chyby detekce systému (Slembrouck et al., 2020). Tyto chyby by do budoucna mohly být odstraněny za použití 3D snímání.

Proto, aby mohl být OP klientsky použitelný v praxi je nutné vyvinout aplikaci, která by byla schopná v reálném čase měřit ROM a výslednou hodnotu zaznamenat. V dnešní době existuje mnoho mobilních aplikací, ale většinou je nutné daný úhel manuálně označit na fotce (Reid a Egan, 2019).

Ve práci (Rammonhan et al., 2019) se zabývali snahou vytvořit aplikaci pro analýzu pohybu založenou na OP. V práci zmiňují analýzu pohybu „Sit to Stand“. Jednalo se pouze o studentský projekt, ale v budoucnu by tato aplikace opravdu mohla vzniknout. Další projekt, který se zajímal o OP, vznikl a vyhrál v rámci HealthHack 2017 v Sydney. Autoři vytvořili demo verzi aplikace, která je schopná měřit rozsah pohybu na základě programu OP. Tento projekt vznikl s potenciálem integrace systému na platformu COVIU, která se specializuje na telehealth. Bohužel zatím neexistuje žádná veřejně dostupná aplikace, která tuto službu poskytuje (Medium, [b.r.]; COVIU, ©2021).



## 6 ZÁVĚR

V teoretické části práce jsou shrnuty informace o rozsahu pohybu a důvody, proč tento parametr hodnotíme. Dále jsou zmíněny různé nástroje pro měření rozsahu pohybu od nejjednodušších přes digitální nástroje, mobilní aplikace, až ke složitějším zařízením pro analýzu pohybu. Poslední kapitola se zabývá možnostmi hodnocení v telerehabilitaci.

Hlavním cílem práce bylo zjistit, zda je program OpenPose využitelným nástrojem pro měření rozsahu pohybu horní končetiny. Z dosažených výsledků vyplývá, že systém OpenPose je schopen změřit velikost rozsahu pohybu u ramenního a loketního kloubu za určitých podmínek. Na dané limitace následně upozorňuji. Výsledný rozdíl měření pomocí goniometru a systémem OpenPose byl na úrovni chyby 5° pouze u polohy extenze paže a vnitřní rotace paže. Došlo tedy k zamítnutí hypotéz H1a, H1b, H1c, H1e a potvrzení hypotéz H1d a H1f. Dalším cílem bylo zvážit OpenPose jako hodnotící nástroj pro fyzioterapeuty v klinické praxi a telerehabilitaci. Na základě prostudování tématu a výsledků potvrzují, že systém OpenPose má potenciál stát se vhodným nástrojem pro fyzioterapeuty. Cíle práce byly splněny.

Hlavní limitací goniometrie byla nižší přesnost měření oproti kvalitnějším zařízením na analýzu pohybu jako je např. Vicon. K nepřesnosti měření mohl přispět goniometr s krátkým ramenem, nepřesná lokalizace kostních bodů. Naopak k přesnějším výsledkům mohlo přispět zaslepení stupnice goniometru. Při porovnání dvou vyšetřujících bylo nejméně přesné měření u rozsahu pohybu lokte.

Limitací OpenPose, kterou je nutné do budoucna optimalizovat, je zhoršená detekce klíčových bodů, pokud je bod krytý jinou částí těla. Někdy dochází k výměně detekované strany. Přestože některé zdroje uvádí spolehlivost měření v sagitální rovině, předpoklad je, že OP má mnohem lepší schopnost detekce ve frontální rovině. Tento problém by vyřešila technologie, která by uměla automaticky převádět 2D záznam na 3D, a teprve následně klíčové body vyhodnotit. Z pohledu správné detekce OP je nutné si dát pozor na druh oblečení vyšetřovaného. Nejvhodnější je upnuté světle barevné oblečení.

Všechny polohy byly vyšetřovány vleže a zaznamenány z boku. Tento postup byl vybrán na základě standardizovaného postupu při vyšetření. Na druhou stranu v praxi by šlo také využít postup, kdy pacient bude sedět, nebo stát. Tyto polohy je nutné do budoucna prověřit a určit přesnost.

Úroveň chyby měření v mé práci byla určena na 5°. V literatuře se můžeme setkat ale i s hranicí 10°. Pokud by se hranice chyby zvýšila na 10°, tak polohy, které se jeví ještě vhodné pro detekci, by byly: flexe paže, extenze paže, vnitřní a zevní rotace paže a flexe loketního kloubu. Polohu, kterou OP nebyl schopný z velké části detekovat, byla flexe paže s flexí lokte a s menší přesností také vnější rotace paže. Předpoklad je, že zhoršená detekce byla způsobena tím, že horní končetina kryla polohu hlavy. V budoucnu je nutné ověřit možnosti hodnocení rozsahu pohybu i u ostatních částí těla.

Na základě výsledků můžeme přemýšlet o OpenPose jako využitelném nástroji pro klinickou praxi a telerehabilitaci. Ale je nutné zvážit, v jakých polohách by OP pacienta snímal, a určitě zlepšit přesnost a schopnost detekovat klíčové body. Bylo by také vhodné určit reliabilitu a validitu na základě přesnější metody, než je goniometrie. Aby byl OP klientsky využívaným nástrojem pro hodnocení rozsahu pohybu, bylo by ještě nutné vyvinout aplikaci, která by detekovala rozsah na základě programu OpenPose. Následně by se OP mohl zařadit do řady mobilních aplikací, které již dnes existují a používají se.

## REFERENČNÍ SEZNAM

1. **AKHTER, I.** a **M.J. BLACK.** Pose-conditioned joint angle limits for 3D human pose reconstruction. In: *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* [online]. IEEE, 2015, 1446-1455 [cit. 2020-9-9]. ISBN 978-1-4673-6964-0. Dostupné z: doi: 10.1109/CVPR.2015.7298751
2. **ALT DOCS** [online]. [b.r.] [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://itp.nyu.edu/classes/altdocs/class-2-scanning-with-ir-sensors/>
3. **Artificial Intelligence for Physiotherapy.** *Medium* [online]. [b.r.] [cit. 2021-5-23]. Dostupné z: <https://medium.com/@coviu/artificial-intelligence-for-physiotherapy-1f22fb4ac5f>
4. **ARMSTRONG, A.D., J.C. MACDERMID, S. CHINCHALKAR,** et al. Reliability of range-of-motion measurement in the elbow and forearm. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* [online]. 1998, **7**(6), 573-580 [cit. 2021-5-10]. ISSN 1058-2746. Dostupné z: doi: 10.1016/S1058-2746(98)90003-9
5. **BLONNA, D., P.C. ZARKADAS, J.S. FITZSIMMONS,** et al. Accuracy and inter-observer reliability of visual estimation compared to clinical goniometry of the elbow. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [online]. 2012a, **20**(7), 1378-1385 [cit. 2021-5-8]. ISSN 0942-2056. Dostupné z: doi:10.1007/s00167-011-1720-9
6. **BLONNA, D., P.C. ZARKADAS, J.S. FITZSIMMONS,** et al. Validation of a photography-based goniometry method for measuring joint range of motion. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* [online]. 2012b, **21**(1), 29-35 [cit. 2020-9-6]. ISSN 1058-2746. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jse.2011.06.018
7. **BOONE, D.C., S.P. AZEN** a **C.M. LIN.** Reliability of Goniometric Measurements. *Physical Therapy* [online]. 1978, **58**(11), 1355-1360 [cit. 2021-2-9]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi: 10.1093/ptj/58.11.1355
8. **BRADLEY, K.E., Ch. COOK, E.K. REINKE,** et al. Comparison of the accuracy of telehealth examination versus clinical examination in the detection of shoulder pathology. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* [online]. 2021, **30**(5), 1042-1052 [cit. 2021-4-28]. ISSN 1058-2746. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jse.2020.08.016

9. **BRENNAN, D., L. TINDALL, D. THEODOROS, et al.** A Blueprint for Telerehabilitation Guidelines. *International Journal of Telerehabilitation* [online]. 2010, **2**(2), 31-34 [cit. 2021-4-21]. ISSN 1945-2020. Dostupné z: doi:10.5195/ijt.2010.6063
10. **CAO, Z., T. SIMON a S. WEI.** Realtime Multi-person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields. In: *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* [online]. IEEE, 2017, 1302-1310 [cit. 2020-9-2]. ISBN 978-1-5386-0457-1. ISSN 1063-6919. Dostupné z: doi: 10.1109/CVPR.2017.143
11. **CLARK, R.A., B.F. MENTIPLAY, E. HOUGH, et al.** Three-dimensional cameras and skeleton pose tracking for physical function assessment: A review of uses, validity, current developments and Kinect alternatives. *Gait & Posture* [online]. 2019, **68**, 193-200 [cit. 2020-9-9]. ISSN 0966-6362. Dostupné z: doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.11.029
12. **CORRELL, S., J. FIELD, H. HUTCHINSON, et al.** Reliability and validity of the Halo digital goniometr for shoulder range of motion in healthy subjects. *International Journal of Sports Physical Therapy* [online]. 2018, **13**(4), 707-714 [cit. 2020-9-6]. ISSN 2159-2896. Dostupné z: doi: 10.26603/ijspt20180707
13. **COTTRELL, M.A., S.P. O'LEARY, P. SWETE-KELLY, et al.** Agreement between telehealth and in-person assessment of patients with chronic musculoskeletal conditions presenting to an advanced-practice physiotherapy screening clinic. *Musculoskeletal Science and Practice* [online]. 2018, **38**, 99-105 [cit. 2021-5-11]. ISSN 2468-7812. Dostupné z: doi: 10.1016/j.msksp.2018.09.014
14. **COTTRELL, M.A. a T.G. RUSSELL.** Telehealth for musculoskeletal physiotherapy. *Musculoskeletal Science and Practice* [online]. 2020, **48**, 1-6 [cit. 2021-4-21]. ISSN 2468-7812. Dostupné z: doi: 10.1016/j.msksp.2020.102193
15. **COVIU** [online]. ©2021 [cit. 2021-5-23]. Dostupné z: <https://www.coviu.com/en-us/>
16. **CRASTO, J.A., A.J. SAYARI a R.R-L. GRAY.** Comparative Analysis of Photograph-Based Clinical Goniometry to Standard Techniques. *HAND* [online]. 2014, **10**(2), 248-253 [cit. 2020-9-2]. ISSN 1558-9447. Dostupné z: doi: 10.1007/s11552-014-9702-2
17. **ÇUBUKÇU, B., U. YÜZGEÇ, R. ZILELI, et al.** Reliability and validity analyzes of Kinect V2 based measurement system for shoulder motions. *Medical Engineering &*

- Physics* [online]. 2020, **76**, 20-31 [cit. 2021-5-9]. ISSN 1350-4533. Dostupné z: doi: 10.1016/j.medengphy.2019.10.017
18. **D'ANTONIO**, E., J. TABORRI, E. PALERMO, et al. A markerless system for gait analysis based on OpenPose library. In: *2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)* [online]. IEEE, 2020, 1-6 [cit. 2021-5-10]. ISBN 978-1-7281-4460-3. Dostupné z: doi: 10.1109/I2MTC43012.2020.9128918
19. **DENT**, P.A., B. WILKE, S. TERKONDA, et al. Validation of Teleconference-based Goniometry for Measuring Elbow Joint Range of Motion. *Cureus* [online]. 2020, **12**(2), 2-9 [cit. 2021-4-28]. ISSN 2168-8184. Dostupné z: doi: 10.7759/cureus.6925
20. **DE WINTER**, A.F., M.A. HEEMSKERK, C.B. TERWEE, et al. Inter-observer reproducibility of measurements of range of motion in patients with shoulder pain using a digital inclinometer. *BMC Musculoskeletal Disorders* [online]. 2004, **5**(1), 1-8 [cit. 2021-5-10]. ISSN 1471-2474. Dostupné z: doi: 10.1186/1471-2474-5-18
21. **DOS SANTOS**, R.A., V. DERHON, M. BRANDALIZE, et al. Evaluation of knee range of motion: Correlation between measurements using a universal goniometer and a smartphone goniometric application. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* [online]. 2017, **21**(3), 699-703 [cit. 2021-5-2]. ISSN 1360-8592. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jbmt.2016.11.008
22. **ELRAHIM**, R. M.A., E.A. EMBABY, M.F. ALI, et al. Inter-rater and intra-rater reliability of Kinovea software for measurement of shoulder range of motion. *Bulletin of Faculty of Physical Therapy* [online]. 2016, **21**(2), 80-87 [cit. 2021-5-9]. ISSN 1110-6611. Dostupné z: doi: 10.4103/1110-6611.196778
23. **FERRIERO**, G., S. VERCELLI, F. SARTORIO, et al. Reliability of a smartphone-based goniometer for knee joint goniometry. *International Journal of Rehabilitation Research* [online]. 2013, **36**(2), 146-151 [cit. 2020-9-7]. ISSN 0342-5282. Dostupné z: doi: 10.1097/MRR.0b013e32835b8269
24. **FROST**, R. *Applied kinesiology: a training manual and reference book of basic principles and practices*. Revised ed. Berkeley: North Atlantic Books, c2013. ISBN 978-1-58394-612-1.

25. **FURNESS, J., B. SCHRAM, A. J. COX, et al.** Reliability and concurrent validity of the iPhone® Compass application to measure thoracic rotation range of motion (ROM) in healthy participants. *PeerJ* [online]. 2018, **6**, 1-18 [cit. 2020-9-8]. ISSN 2167-8359. Dostupné z: doi: 10.7717/peerj.4431
26. **GAJDOSIK, R.L. a R.W. BOHANNON.** Clinical Measurement of Range of Motion. *Physical Therapy* [online]. 1987, **67**(12), 1867-1872 [cit. 2020-9-4]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi:10.1093/ptj/67.12.1867
27. **GATES, D.H., L.S. WALTERS, J. COWLEY, et al.** Range of Motion Requirements for Upper-Limb Activities of Daily Living. *American Journal of Occupational Therapy* [online]. 2016, **70**(1), 1-10 [cit. 2021-4-13]. ISSN 0272-9490. Dostupné z: doi:10.5014/ajot.2016.015487
28. **GOGIA, P.P., J.H. BRAATZ, S.J. ROSE, et al.** Reliability and Validity of Goniometric Measurements at the Knee. *Physical Therapy* [online]. 1987, **67**(2), 192-195 [cit. 2020-9-8]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi: 10.1093/ptj/67.2.192
29. **GRACIA-IBÁÑEZ, V., J.L. SANCHO-BRU, M. VERGARA, et al.** Biomechanical function requirements of the wrist. Circumduction versus flexion/abduction range of motion. *Journal of Biomechanics* [online]. 2020, **110**, 1-7 [cit. 2020-9-5]. ISSN 0021-9290. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.109975
30. **HALADOVÁ, E. a L. NECHVÁTALOVÁ.** *Vyšetřovací metody hybného systému. 2. vyd.* Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2005. ISBN 80-7013-393-7.
31. **HAMILL, J., T.R. DERRICK a K.M. KNUTZEN.** *Biomechanical basis of human movement.* 4. vyd. Philadelphia: Wolters Kluwer, c2015. ISBN 978-1451177305.
32. **HANCOCK, G.E., T. HEPWORTH a K. WEMBRIDGE.** Accuracy and reliability of knee goniometry methods. *Journal of Experimental Orthopaedics* [online]. 2018, **5**(1), 1-6 [cit. 2020-9-4]. ISSN 2197-1153. Dostupné z: doi: 10.1186/s40634-018-0161-5
33. **HOFFMANN, T., T. RUSSELL a H. COOKE.** Remote measurement via the Internet of upper limb range of motion in people who have had a stroke. *Journal of Telemedicine and Telecare* [online]. 2007, **13**(8), 401-405 [cit. 2021-4-26]. ISSN 1357-633X. Dostupné z: doi: 10.1258/135763307783064377

34. **HUBER**, M.E., A.L. SEITZ, M. LEESER, et al. Validity and reliability of Kinect skeleton for measuring shoulder joint angles: a feasibility study. *Physiotherapy* [online]. 2015, **101**(4), 389-393 [cit. 2020-9-9]. ISSN 0031-9406. Dostupné z: doi: 10.1016/j.physio.2015.02.002
35. **HUDÁK**, R., D. KACHLÍK, et al. *Memorix anatomie*. 4. vyd. Praha: Triton, 2017. ISBN 978-80-7553-420-0.
36. **CHAPLEAU**, J., F. CANET, Y. PETIT, et al. Validity of Goniometric Elbow Measurements: Comparative Study with a Radiographic Method. *Clinical Orthopaedics & Related Research* [online]. 2011, **469**(11), 3134-3140 [cit. 2021-5-8]. ISSN 0009-921X. Dostupné z: doi: 10.1007/s11999-011-1986-8
37. **CHEN**, W., Z. JIANG, H. GUO, et al. Fall Detection Based on Key Points of Human-Skeleton Using OpenPose. *Symmetry* [online]. 2020, **12**(5), 2-17 [cit. 2020-9-3]. ISSN 2073-8994. Dostupné z: doi: 10.3390/sym12050744
38. **JANDA**, V. a D. PAVLŮ. *Goniometrie*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1993. Učební text (Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví). ISBN 80-7013-160-8.
39. **JANURA**, M. *Biomechanika II*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2011. ISBN 978-80-7464-044-5.
40. **JOHNSON**, L.B., S. SUMNER, T. DUONG, et al. Validity and reliability of smartphone magnetometer-based goniometer evaluation of shoulder abduction – A pilot study. *Manual Therapy* [online]. 2015, **20**(6), 777-782 [cit. 2020-9-7]. ISSN 1356-689X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.math.2015.03.004
41. **JONES**, A., R. SEALEY, M. CROWE, et al. Concurrent validity and reliability of the Simple Goniometer iPhone app compared with the Universal Goniometer. *Physiotherapy Theory and Practice* [online]. 2014, **30**(7), 512-516 [cit. 2020-9-5]. ISSN 0959-3985. Dostupné z: doi: 10.3109/09593985.2014.900835
42. **KEIJSERS**, R., E.L. ZWERUS, D.R. M. VAN LITH, et al. Validity and Reliability of Elbow Range of Motion Measurements Using Digital Photographs, Movies, and a Goniometry Smartphone Application. *Journal of Sports Medicine* [online]. 2018, 1-7 [cit. 2020-9-2]. ISSN 2356-7651. Dostupné z: doi: 10.1155/2018/7906875

43. **KILOVA, K.**, T. KITOVA a P. KASNAKOVA. Telemedicine in help of rehabilitation in the conditions of COVID-19. *Health Policy and Technology* [online]. 2021, **10**(2), 1-2 [cit. 2021-4-21]. ISSN 2211-8837. Dostupné z: doi: 10.1016/j.hlpt.2021.100508
44. **KIM, S.G.** a E.K. KIM. Test-retest reliability of an active range of motion test for the shoulder and hip joints by unskilled examiners using a manual goniometer. *Journal of Physical Therapy Science* [online]. 2016, **28**(3), 722-724 [cit. 2021-5-8]. ISSN 0915-5287. Dostupné z: doi:10.1589/jpts.28.722
45. **KITTIPANYA-NGAM, P.**, X. YU a H.L. ENG. Computer vision technologies for monitoring system in tele-physiotherapy. In: *Proceedings of the 3rd International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology – ICREATE '09* [online]. New York, USA: ACM Press, 2009, 1-4 [cit. 2020-9-9]. ISBN 9781605587929. Dostupné z: doi:10.1145/1592700.1592718
46. **KOLÁŘ, P.**, et al. *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-7262-657-1.
47. **KOLBER, M.J.** a W.J. HANNEY. The reliability and concurrent validity of shoulder mobility measurements using a digital inclinometer and goniometer: A technical report. *International Journal of Sports Physical Therapy* [online]. 2012, **7**(3), 306-313 [cit. 2020-9-7]. ISSN 2159-2896. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/225184934\\_The\\_reliability\\_and\\_concurrent\\_validity\\_of\\_shoulders\\_mobility\\_measurements\\_using\\_a\\_digital\\_inclinometer\\_and\\_goniometer\\_A\\_technical\\_report](https://www.researchgate.net/publication/225184934_The_reliability_and_concurrent_validity_of_shoulders_mobility_measurements_using_a_digital_inclinometer_and_goniometer_A_technical_report)
48. **LADE, H.**, S. MCKENZIE, L. STEELE, et al. Validity and reliability of the assessment and diagnosis of musculoskeletal elbow disorders using telerehabilitation. *Journal of Telemedicine and Telecare* [online]. 2012, **18**(7), 413-418 [cit. 2021-4-28]. ISSN 1357-633X. Dostupné z: doi: 10.1258/jtt.2012.120501
49. **LAMINE, H.**, S. BENNOUR, M. LARIBI, et al. Evaluation of Calibrated Kinect Gait Kinematics Using a Vicon Motion Capture System. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* [online]. 2017, **20**(1), 111-112 [cit. 2020-9-9]. ISSN 1025-5842. Dostupné z: doi: 10.1080/10255842.2017.1382886
50. **LASKOWSKI, E.R.**, S.E. JOHNSON, R.A. SHELERUD, et al. The Telemedicine Musculoskeletal Examination. *Mayo Clinic Proceedings* [online]. 2020, **95**(8), 1715-



1731 [cit. 2021-4-21]. ISSN 0025-6196. Dostupné z: doi: 10.1016/j.mayocp.2020.05.026

51. **LAVERNIA, C., M. D'APUZZO, M.D. ROSSI, et al.** Accuracy of Knee Range of Motion Assessment After Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty* [online]. 2008, **23**(6), 85-91 [cit. 2021-5-9]. ISSN 0883-5403. Dostupné z: doi: 10.1016/j.arth.2008.05.019
52. **MACIONIS, V.** Reliability of the standard goniometry and diagrammatic recording of finger joint angles: a comparative study with healthy subjects and non-professional raters. *BMC Musculoskeletal Disorders* [online]. 2013, **14**(1), 1-11 [cit. 2021-5-11]. ISSN 1471-2474. Dostupné z: doi: 10.1186/1471-2474-14-17
53. **MANI, S., S. SHARMA, B. OMAR, et al.** Validity and reliability of Internet-based physiotherapy assessment for musculoskeletal disorders: a systematic review. *Journal of Telemedicine and Telecare* [online]. 2017, **23**(3), 379-391 [cit. 2021-4-21]. ISSN 1357-633X. Dostupné z: doi: 10.1177/1357633X16642369
54. **MCVEIGH, K.H., P.M. MURRAY, M.G. HECKMAN, et al.** Accuracy and Validity of Goniometer and Visual Assessments of Angular Joint Positions of the Hand and Wrist. *The Journal of Hand Surgery* [online]. 2016, **41**(4), 21-35 [cit. 2021-5-10]. ISSN 0363-5023. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jhsa.2015.12.014
55. **MEHTA, S.P., K.M. KENDALL a Ch.M. REASOR.** Virtual assessments of knee and wrist joint range motion have comparable reliability with face-to-face assessments. *Musculoskeletal Care* [online]. 2020, 1-9 [cit. 2021-4-28]. ISSN 1478-2189. Dostupné z: doi: 10.1002/msc.1525
56. **MEJIA-HERNANDEZ, K., A. CHANG, N. EARDLEY-HARRIS, et al.** Smartphone applications for the evaluation of pathologic shoulder range of motion and shoulder scores—a comparative study. *JSES Open Access* [online]. 2018, **2**(1), 109-114 [cit. 2021-5-2]. ISSN 2468-6026. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jses.2017.10.001
57. **MERRIAUX, P., Y. DUPUIS, R. BOUTTEAU, et al.** A Study of Vicon System Positioning Performance. *Sensors* [online]. 2017, **17**(7), 1-18 [cit. 2021-5-11]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi: 10.3390/s17071591
58. **MILANESE, S., S. GORDON, P. BUETTNER, et al.** Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: Smart phone app versus universal goniometer

- used by experienced and novice clinicians. *Manual Therapy* [online]. 2014, **19**(6), 569-574 [cit. 2020-9-4]. ISSN 1356-689X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.math.2014.05.009
59. MITCHELL, K., S.B. GUTIERREZ, S. SUTTON, et al. Reliability and validity of goniometric iPhone applications for the assessment of active shoulder external rotation. *Physiotherapy Theory and Practice* [online]. 2014, **30**(7), 521-525 [cit. 2021-5-11]. ISSN 0959-3985. Dostupné z: doi: 10.3109/09593985.2014.900593
60. *Motion Analysis* [online]. ©2021 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.motionanalysis.com/>
61. MOURCOU, Q., A. FLEURY, B. DIOT, et al. Mobile Phone-Based Joint Angle Measurement for Functional Assessment and Rehabilitation of Proprioception. *BioMed Research International* [online]. 2015, 1-15 [cit. 2020-9-4]. ISSN 2314-6133. Dostupné z: doi: 10.1155/2015/328142
62. MULLANEY, M.J, M.P. MCHUGH, Ch.P. JOHNSON, et al. Reliability of shoulder range of motion comparing a goniometer to a digital level. *Physiotherapy Theory and Practice* [online]. 2010, **26**(5), 327-333 [cit. 2020-9-7]. ISSN 0959-3985. Dostupné z: doi: 10.3109/09593980903094230
63. MURRAY, T., G. MURRAY a J. MURRAY. Remote Musculoskeletal Assessment Framework: A Guide for Primary Care. *Cureus* [online]. 2021, **13**(1), 2-16 [cit. 2021-4-21]. ISSN 2168-8184. Dostupné z: doi: 10.7759/cureus.12778
64. NAKAI, M., Y. TSUNODA, H. HAYASHI, et al. Prediction of Basketball Free Throw Shooting by OpenPose. In: KOJIMA, K., M. SAKAMOTO a K. MINESHIMA, et al (eds.). *New Frontiers in Artificial Intelligence* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2019, 435-446 [cit. 2020-9-3]. ISBN 978-3-030-31604-4. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-030-31605-1\_31
65. NAMDARI, S., G. YAGNIK, D. D. EBAUGH, et al. Defining functional shoulder range of motion for activities of daily living. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* [online]. 2012, **21**(9), 1177-1183 [cit. 2020-9-9]. ISSN 1058-2746. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jse.2011.07.032

66. NEUMANN, D.A. *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation*. 2. vyd. United States: Elsevier Health Sciences, 2013. ISBN 978-0-323-03989-5.
67. NITZKIN, J.L., N. ZHU a R.L. MARIER. Reliability of Telemedicine Examination. *Telemedicine Journal* [online]. 1997, **3**(2), 141-157 [cit. 2021-4-21]. ISSN 1078-3024. Dostupné z: doi: 10.1089/tmj.1.1997.3.141
68. NORKIN, C.C. a D.J. WHITE. *Measurement of joint motion: a guide to goniometry*. 3. vyd. Philadelphia: F.A. Davis, c2003. ISBN 0803- 609728.
69. ONO, Y., O.D.A. PRIMA, T. IMABUCHI, et al. Assessment of Joint Range of Motion Measured by a Stereo Camera. In: *International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine* [online]. eTELEMED, 2019, 23-29. [cit. 2021-5-10]. ISBN 978-1-61208-688-0. Dostupné z: <https://www.thinkmind.org/index.php?view=instance&instance=eTELEMED+2019>
70. OOSTERWIJK, A.M, M.K NIEUWENHUIS, C.P VAN DER SCHANS, et al. Shoulder and elbow range of motion for the performance of activities of daily living: A systematic review. *Physiotherapy Theory and Practice* [online]. 2018, **34**(7), 505-528 [cit. 2020-9-5]. ISSN 0959-3985. Dostupné z: doi: 10.1080/09593985.2017.1422206
71. **Openpose**. *GitHub* [online]. ©2020 [cit. 2020-9-2]. Dostupné z: <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>
72. OTA, M., H. TATEUCHI, T. HASHIGUCHI, et al. Verification of reliability and validity of motion analysis systems during bilateral squat using human pose tracking algorithm. *Gait & Posture* [online]. 2020, **80**, 62-67 [cit. 2021-5-11]. ISSN 0966-6362. Dostupné z: doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.05.027
73. OTA, M., H. TATEUCHI, T. HASHIGUCHI a et al. Verification of validity of gait analysis systems during treadmill walking and running using human pose tracking algorithm. *Gait & Posture* [online]. 2021, **85**, 290-297 [cit. 2021-5-10]. ISSN 0966-6362. Dostupné z: doi:10.1016/j.gaitpost.2021.02.006
74. PFISTER, A., A.M. WEST, S. BRONNER, et al. Comparative abilities of Microsoft Kinect and Vicon 3D motion capture for gait analysis. *Journal of Medical Engineering*

& *Technology* [online]. 2014, **38**(5), 274-280 [cit. 2020-9-9]. ISSN 0309-1902. Dostupné z: doi: 10.3109/03091902.2014.909540

75. **POURAHMADI**, M.R., I. EBRAHIMI TAKAMJANI, J. SARRAFZADEH, et al. Reliability and concurrent validity of a new iPhone ® goniometric application for measuring active wrist range of motion: a cross-sectional study in asymptomatic subjects. *Journal of Anatomy* [online]. 2017, **230**(3), 484-495 [cit. 2020-9-7]. ISSN 0021-8782. Dostupné z: doi: 10.1111/joa.12568
76. **PRATHER**, H., M. HARRIS-HAYES, D.M. HUNT, et al. Reliability and Agreement of Hip Range of Motion and Provocative Physical Examination Tests in Asymptomatic Volunteers. *PM&R* [online]. 2010, **2**(10), 888-895 [cit. 2021-5-8]. ISSN 1934-1482. Dostupné z: doi: 10.1016/j.pmrj.2010.05.005
77. **PRIMA**, O.D.A., Y. ONO a Y. MURATA. Evaluation of Joint Range of Motion Measured by Vision Cameras. *International Journal On Advances in Life Sciences* [online]. 2019, **11**(3 ,4), 128-137 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: [https://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=lifsci\\_v11\\_n34\\_2019\\_4](https://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=lifsci_v11_n34_2019_4)
78. **RABIN**, A., O. DOLKART, E. KAZUM, et al. Shoulder assessment by smartphone: a valid alternative for times of social distancing. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* [online]. 2021, 1-7 [cit. 2021-4-28]. ISSN 0936-8051. Dostupné z: doi: 10.1007/s00402-021-03762-x
79. **RAMMOHAN**, S., L. KIDZINSKI a S. DELP. MobileClinic: An end-to-end software architecture for analyzing human movement on a mobile device [online]. 2019, 1-4 [cit. 2021-4-16]. Dostupné také z: <https://www.semanticscholar.org/paper/MobileClinic%3A-An-end-to-end-software-architecture-a-Rammohan-Sreehari/9bc6712c8d81c1915be5448725460065711d516c>
80. **REID**, S. a B. EGAN. The validity and reliability of DrGoniometer, a smartphone application, for measuring forearm supination. *Journal of Hand Therapy* [online]. 2019, **32**(1), 110-117 [cit. 2021-5-2]. ISSN 0894-1130. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jht.2018.03.003
81. **REISSNER**, L., G. FISCHER, R. LIST a et al. Minimal detectable difference of the finger and wrist range of motion: comparison of goniometry and 3D motion analysis.

- Journal of Orthopaedic Surgery and Research* [online]. 2019, **14**(1), 1-10 [cit. 2021-5-3]. ISSN 1749-799X. Dostupné z: doi: 10.1186/s13018-019-1177-y
82. **ROTHSTEIN**, J.M., P.J. MILLER a R.F. ROETTGER. Goniometric Reliability in a Clinical Setting. *Physical Therapy* [online]. 1983, **63**(10), 1611-1615 [cit. 2021-5-10]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi: 10.1093/ptj/63.10.1611
83. **RUSSO**, R.R., M.B. BURN, S.K. ISMAILY, et al. Is digital photography an accurate and precise method for measuring range of motion of the shoulder and elbow? *Journal of Orthopaedic Science* [online]. 2018, **23**(2), 310-315 [cit. 2020-9-6]. ISSN 0949-2658. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jos.2017.11.016
84. **SLEMBROUCK**, M., H. LUONG, J. GERLO, et al. Multiview 3D Markerless Human Pose Estimation from OpenPose Skeletons. In: BLANC-TALON, J., P. DELMAS a W. PHILIPS, et al (eds.). *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2020, 166-178 [cit. 2021-5-10]. ISBN 978-3-030-40604-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-40605-9\_15
85. **SOCZAWA-STRONCZYK**, A.A. a M. BOCIAN. Gait coordination in overground walking with a virtual reality avatar. *Royal Society Open Science* [online]. 2020, **7**(7), 1-19 [cit. 2021-5-11]. ISSN 2054-5703. Dostupné z: doi: 10.1098/rsos.200622
86. **SPROWLS**, G.R., J.C. BROWN a B.N. ROBIN. The Shoulder Telehealth Assessment Tool in Transition to Distance Orthopedics. *Arthroscopy Techniques* [online]. 2020, **9**(11), 1673-1681 [cit. 2021-4-27]. ISSN 2212-6287. Dostupné z: doi: 10.1016/j.eats.2020.07.008
87. **STEELE**, L., H. LADE, S. MCKENZIE, et al. Assessment and Diagnosis of Musculoskeletal Shoulder Disorders over the Internet. *International Journal of Telemedicine and Applications* [online]. 2012, (20), 1-8 [cit. 2021-4-28]. ISSN 1687-6415. Dostupné z: doi: 10.1155/2012/945745
88. **TANAKA**, M.J., L.S. OH, S.D. MARTIN, et al. Telemedicine in the Era of COVID-19. *Journal of Bone and Joint Surgery* [online]. 2020, **102**(12), 1-7 [cit. 2021-4-21]. ISSN 0021-9355. Dostupné z: doi: 10.2106/JBJS.20.00609
89. **TIMMI**, A., G. COATES, K. FORTIN, et al. Accuracy of a novel marker tracking approach based on the low-cost Microsoft Kinect v2 sensor. *Medical Engineering &*

- Physics* [online]. 2018, **59**, 63-69 [cit. 2020-9-9]. ISSN 1350-4533. Dostupné z: doi: 10.1016/j.medengphy.2018.04.020
90. **TOSHEV, A.** a C. **SZEGEDY**. DeepPose: Human Pose Estimation via Deep Neural Networks. In: *2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* [online]. IEEE, 2014, 1653-1660 [cit. 2020-9-9]. ISBN 978-1-4799-5118-5. Dostupné z: doi: 10.1109/CVPR.2014.214
91. **VAN RIJN, S.F.**, E.L. **ZWERUS**, K.L.M. **KOENRAADT**, et al. The reliability and validity of goniometric elbow measurements in adults: A systematic review of the literature. *Shoulder & Elbow* [online]. 2018, **10**(4), 274-284 [cit. 2021-5-8]. ISSN 1758-5732. Dostupné z: doi: 10.1177/1758573218774326
92. **VÉLE, F.** *Kineziologie: Přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. 2. vyd. Praha: Triton, 2006. ISBN 80-725-4837-9.
93. **Vicon** [online]. © Vicon Motion Systems Ltd UK registered no. 1801446 [cit. 2020-9-8]. Dostupné z: <https://www.vicon.com/applications/life-sciences/>
94. **WAHEZI, S.E.**, R.A. **DUARTE**, S. **YERRA**, et al. Telemedicine During COVID-19 and Beyond: A Practical Guide and Best Practices Multidisciplinary Approach for the Orthopedic and Neurologic Pain Physical Examination. *Pain Physician* [online]. 2020, **23**(6), 205-237 [cit. 2021-4-21]. ISSN 2150-1149. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32942812/>
95. **WELLMON, R.H.**, D.T. **GULICK**, M.L. **PATERSON**, et al. Validity and Reliability of 2 Goniometric Mobile Apps: Device, Application, and Examiner Factors. *Journal of Sport Rehabilitation* [online]. 2016, **25**(4), 371-379 [cit. 2020-9-4]. ISSN 1056-6716. Dostupné z: doi: 10.1123/jsr.2015-0041
96. **YAZDIFAR, M.**, M.R. **YAZDIFAR**, J. **MAHMUD**, et al. Evaluating the Hip Range of Motion Using the Goniometer and Video Tracking Methods. *Procedia Engineering* [online]. 2013, **68**, 77-82 [cit. 2021-5-3]. ISSN 18777058. Dostupné z: doi: 10.1016/j.proeng.2013.12.150
97. **ZHANG, Y.**, P.D. **HAGHIGHI**, F. **BURSTEIN**, et al. Electronic Skin Wearable Sensors for Detecting Lumbar–Pelvic Movements. *Sensors* [online]. 2020, **20**(5), 1-28 [cit. 2020-9-9]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi: 10.3390/s20051510

98. **ZHOU, H.** a **H. HU.** Human motion tracking for rehabilitation—A survey. *Biomedical Signal Processing and Control* [online]. 2008, **3**(1), 1-18 [cit. 2021-5-3]. ISSN 1746-8094. Dostupné z: doi: 10.1016/j.bspc.2007.09.001
99. **ZULKARNAIN, R.F., G.Y. KIM, A. ADIKRISHNA,** et al. Digital data acquisition of shoulder range of motion and arm motion smoothness using Kinect v2. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* [online]. 2017, **26**(5), 895-901 [cit. 2020-9-9]. ISSN 1058-2746. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jse.2016.10.026

## SEZNAM OBRÁZKŮ

**Obrázek č. 1:** Příklady pohybu horní končetiny

**Obrázek č. 2:** Tabulka hodnot pro ROM horní končetiny, porovnání maximálních hodnot rozsahu pohybu více autorů

**Obrázek č. 3:** Ukázka měření flexe paže aplikací DrGoniometer

**Obrázek č. 4:** Ukázka senzorů Vicon

**Obrázek č. 5:** Kinect konzole

**Obrázek č. 6:** Program OpenPose detekuje základní klíčové body na těle

**Obrázek č. 7:** eHAB telerehabilitační systém

**Obrázek č. 8:** Maximální flexe loketního kloubu

**Obrázek č. 9:** Flexe paže s flexí lokte

**Obrázek č. 10:** Flexe paže

**Obrázek č. 11:** Vnitřní rotace paže

**Obrázek č. 12:** Zevní rotace paže

**Obrázek č. 13:** Extenze paže

**Obrázek č. 14:** Ukázka goniometru se zaslepenou stupnicí

**Obrázek č. 15:** „Kostra klíčových bodů“ – OpenPose



## **SEZNAM TABULEK**

**Tabulka č. 1:** Základní klíčové body u jednotlivých pozic horní končetiny

**Tabulka č. 2:** Charakteristika vybraného souboru

**Tabulka č. 3:** „Spolehlivost“ měření pomocí programu OP

**Tabulka č. 4:** Rozdíl mezi 1. a 2. měřením pomocí goniometru

**Tabulka č. 5:** Rozdíl goniometrického měření mezi 1. a 2. vyšetřujícím navzájem

**Tabulka č. 6:** Porovnání dat goniometrie a programu OpenPose

## **SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha č. 1:** Žádost Etické komise FTVS UK

**Příloha č. 2:** Informovaný souhlas

**Příloha č. 3:** Dotazník sociodemografických údajů

**Příloha č. 4:** Grafický výstup z OP

**Příloha č. 5:** Záznam skeletonu OP

## Příloha č. 1: Žádost Etické komise FTVS UK

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Veleslavín

### Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

**Název projektu:** Telerehabilitace

**Forma projektu:** výzkumná práce

**Období realizace:** září 2020 – květen 2021

**Předkladatel:** Bc. Michaela Sýkorová

**Hlavní řešitel:** Bc. Michaela Sýkorová

**Místo výzkumu (pracoviště):** UK FTVS – učebny pro praktickou výuku fyzioterapie, ČVUT CIIRC

**Spoluřešitel(é):** Bc. Tereza Skalová, Bc. Matyáš Turna

**Konzultant:** Ing. Jindřich Adolf (ČVUT)

**Vedoucí práce (v případě studentské práce):** PhDr. Tereza Nováková, PhD.

**Finanční podpora:** není

**Popis projektu:** V rámci projektu budeme zkoumat potenciál open-source softwaru OpenPose v kvantitativním i kvalitativním hodnocení lidského pohybu a možnosti využití programu OpenPose v telerehabilitaci a fyzioterapeutické praxi. Účastníci výzkumu před měřením vyplní dotazníkové šetření sloužící k získání základních anamnestických dat. Otázky nebudou zjišťovat žádná citlivá data. Poté dojde k natočení videí probandů, která se dále budou zpracovávat a hodnotit pomocí systému Openpose. Proband bude na videu provádět danou **cvičební jednotku** – cviky zaměřené na rozsah pohybu, stabilitu a funkční diagnostické testy. Natáčení bude probíhat pouze jednou s časovou intervencí do 60 minut.

**Charakteristika účastníků výzkumu:** Předpokládaný počet účastníků bude cca 100 probandů, kteří mají platnou zdravotní prohlídku, jejich přibližný věk od 18-65 let. Hlavní řešitel bude pracovat s ohledem na získaná anamnestická data, popř. kontraindikace. Kontraindikace: Veškerá akutní onemocnění (infekční, traumatická, zánětlivá) dekompenzovaná chronická onemocnění (interní, neurologická), probíhající onkologické onemocnění, kognitivní deficit znemožňující spolupráci na projektu, nespolupracující proband či proband v rekonvalescenci po nemoci a úraze. Specifické pohybové předpoklady k účasti na projektu nejsou nutné. Výběr provede hlavní řešitel na základě anamnestických dat a konzultace s vedoucí práce.

**Zajištění bezpečnosti:** Proband bude cvičební jednotku provádět ve volném prostoru, mimo dosah předmětů, které by mohly způsobit zranění v případě pádu. Bude instruován k okamžitému přerušení cvičební jednotky v případě příznaků nevolnosti, nebo bolesti spojené s prováděnými pohybovými úkony. Řešitel bude po celou dobu přítomen a připraven řešit vzniklé komplikace.

Budou zajištěny adekvátní podmínky prostředí a adekvátní příprava účastníků k provádění aktivit v rámci daného výzkumu. Každý se před cvičební jednotkou řádně rozcvičí. Bezpečnost bude zajištěna standardním způsobem.

Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu.

Cvičební jednotku sestavil hlavní řešitel práce po konzultaci s vedoucím práce na základě existující literatury. Hlavní řešitel bude vždy přítomen u měření a bude hlídat správné provedení cviků.

**Etické aspekty výzkumu:** Výzkumného projektu se nebudou účastnit představitelé vulnerabilních skupin (tj. děti, těhotné ženy, duševně nemocní, vězni, jedinci z málo rozvinutých komunit).

#### Střet zájmů:

Potvrzují, že žádný z řešitelů není ve střetu zájmů, není v projektu finančně zainteresován a ani výzkum nevede k osobnímu prospěchu. Potvrzují, že žádný z řešitelů nemá pracovní vztah s autory systému Openpose nebo ČVUT. Jedná se o diplomovou práci, jejímž cílem je obohatit vědeckou sféru o nové poznatky a zároveň se jedná o nutnou podmínku k dokončení magisterského studia. Výsledky budou prezentovány v diplomové práci a případně ve vědeckém časopise. Výsledky ze systému Openpose budou porovnávány s metodou goniometrie, popř. Kinect, Vicon. Nikdo z řešitelského týmu nemá pracovní ani rodinný vztah k autorům systémů, které budeme využívat pro srovnání.

**Ochrana osobních dat:** Data budou shromažďována a zpracována v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Osobní údaje budou získávány pomocí dotazníku, budou zahrnovat: věk, pohlaví, fyzické parametry, základní anamnestické údaje, které budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít hlavní řešitel, spoluřešitelé, konzultant ČVUT a vedoucí práce. Pacienti budou vedeni pod čísly.

Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby - budu dbát na to, aby jednotlivé osoby nebyly rozpoznatelné v textu práce, zejména s ohledem na anamnézu. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou bezprostředně do 1 dne po testování anonymizována.

Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v diplomové (aj.) práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

Pořizování videí účastníků: V rámci výzkumu bude pořizován videozáznam. K videozáznamům bude mít přístup hlavní řešitel, spoluřešitelé, konzultant ČVUT a vedoucí práce. Neanonymizované videozáznamy budou po ukončení výzkumu smazány a před smazáním budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčené místnosti a budou bezprostředně po ukončení výzkumu smazány. Videozáznamy nebudou nikdy publikovány.

Při pořizování videí budu dbát na to, aby na videa nebyly natáčeny osoby, které nejsou součástí výzkumu.

Pořizování fotografií/audio nahrávek účastníků: Během výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie ani audionahrávky.

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

**Text informovaného souhlasu (IS):** přiložen

Povinností všech účastníků výzkumu na straně řešitele je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebeurčení, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření. Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně.

Potvrzuji, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi UK FTVS revidovanou žádost.

V Praze dne: 27. 8. 2020

Podpis předkladatele:

*Sykora*

Datum a podpis odpovědného pracovníka z místa výzkumu:

### Vyjádření Etické komise UK FTVS

**Složení komise: Předsedkyně:** doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.

**Členové:**  
prof. PhDr. Pavel Slepíčka, DrSc.  
prof. MUDr. Jan Heller, CSc.  
PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.  
Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.  
Mgr. Tomáš Ruda, Ph.D.  
MUDr. Simona Majorová

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: ..... *164/2020* .....

dne: ..... *28. 8. 2020* .....

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a neshledala rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky.

**Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise UK FTVS.**

*IP*

.....  
podpis předsedkyně EK UK FTVS

## Příloha č. 2: Text Informovaného souhlasu

### INFORMOVANÝ SOUHLAS

Vážený pane, vážená paní,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv, zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů a dalšími obecně závaznými právními předpisy (jakož jsou zejména Helsinská deklarace, přijatá 18. Světovým zdravotnickým shromážděním v roce 1964 ve znění pozdějších změn (Fortaleza, Brazílie, 2013); Zákon o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zejména ustanovení § 28 odst. 1 zákona č. 372/2011 Sb.) a Úmluva o lidských právech a biomedicíně č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné), Vás žádám o souhlas s Vaší účastí ve výzkumném projektu na UK FTVS v rámci diplomové práce s názvem **Hodnocení rozsahu pohybu horních končetin pomocí programu OpenPose**, prováděné na UK FTVS v učebnách určených pro praktickou výuku fyzioterapie a na ČVUT CIIRC.

Projekt bude probíhat v období od září 2020 do května 2021.

Projekt není financován.

Cílem výzkumného projektu je zjistit možnosti využití systému OpenPose v telerehabilitaci.

Způsob zásahu bude neinvazivní. Budete se účastnit měření určitých nenáročných pohybů s pořízením videozáznamu.

Před měřením vyplníte dotazník, který slouží k získání Vašich základních anamnestických dat. Vyplnění dotazníku Vám zabere cca 10-15 minut.

Poté budete provádět danou **cvičební jednotku** – cviky zaměřené na rozsah pohybu, stabilitu a funkční diagnostické testy, která se bude natáčet na video a dále se bude zpracovávat a hodnotit pomocí systému Openpose. Natáčení bude probíhat pouze jednou s časovou intervencí do 60 minut.

Cvičební jednotku budete provádět ve volném prostoru, mimo dosah předmětů, které by mohly způsobit Vaše zranění. Budete instruován/a k okamžitému přerušení cvičební jednotky v případě příznaků nevolnosti, nebo bolesti spojené s prováděnými pohybovými úkony. Výše popsané nepohodlí bude kompenzováno přestávkami.

Budou Vám zajištěny adekvátní podmínky prostředí a adekvátní příprava k provádění aktivit v rámci daného výzkumu. Před cvičební jednotkou se řádně rozcvičíte. Bezpečnost bude zajištěna standardním způsobem.

Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu. Hlavní řešitel sestavil cvičební jednotku po konzultaci s vedoucím práce a bude hlídat správné provedení cviků. Hlavní řešitel bude přítomen po celou dobu měření a připraven řešit vzniklé komplikace.

Do projektu nebudete zařazeni, pokud budete mít akutní onemocnění (infekční, traumatická, zánětlivá) dekompenzované chronické onemocnění (interní, neurologická) nebo onkologické onemocnění či budete v rekonvalescenci po nemoci a úrazu. Z účasti na projektu budete vyřazen/a, pokud budete odmítat aktivně spolupracovat nebo nebudete-li z různých příčin schopni/a se řídit pokyny výzkumného týmu.

Přínosem tohoto výzkumného projektu pro Vás bude zlepšení kondice a pohybových schopností, možnost přispět k vývoji nových přístupů v rehabilitaci.

Vaše účast v projektu je dobrovolná a nebude finančně ohodnocená.  
S celkovými výsledky a závěry výzkumného projektu se můžete seznámit na e-mail adrese:  
[sykorka.misa@seznam.cz](mailto:sykorka.misa@seznam.cz)

Ochrana osobních dat: Data budou shromažďována a zpracována v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Osobní údaje budou získávány pomocí dotazníku, budou zahrnovat: věk, pohlaví, fyzické parametry, základní anamnestické údaje, které budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít hlavní řešitel, spoluřešitelé, konzultant ČVUT a vedoucí práce.

Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby - budu dbát na to, aby jednotlivé osoby nebyly rozpoznatelné v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou bezprostředně do 1 dne po testování anonymizována.

Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v diplomové (aj.) práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

Pořizování videí účastníků: V rámci výzkumu bude pořizován videozáznam. K videozáznamům budu mít přístup já, spoluřešitelé, konzultant ČVUT a vedoucí práce. Neanonymizované videozáznamy budou po ukončení výzkumu smazány a před smazáním budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčené místnosti a budou bezprostředně po ukončení výzkumu smazány. Videozáznam nebude nikdy publikován. Při pořizování videí budu dbát na to, aby na videa nebyly natočeny osoby, které nejsou součástí výzkumu.

Pořizování fotografií/audio nahrávek účastníků: Během výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie ani audionahrávky.

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Jméno a příjmení předkladatele a hlavního řešitele projektu: Bc. Michaela Sýkorová

Jméno a příjmení osoby, která provedla poučení: Bc. Michaela Sýkorová      Podpis:.....

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím s účastí ve výše uvedeném projektu a že jsem měl(a) možnost si řádně a v dostatečném čase zvážit všechny relevantní informace o výzkumu, zeptat se na vše podstatné týkající se účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. **Potvrzuji, že mám platnou zdravotní prohlídku.** Byl(a) jsem poučen(a) o právu odmítnout účast ve výzkumném projektu nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS, která bude následně informovat předkladatele projektu. Dále potvrzuji, že mi byl předán jeden originál vyhotovení tohoto informovaného souhlasu.

Místo, datum .....

Jméno a příjmení účastníka ..... Podpis: .....

### Příloha č. 3: Dotazník sociodemografických údajů (Google Formulář)

## Dotazník - Výzkum OpenPose CVUT-FTVS

Dotazník slouží k získání základních údajů pro výzkum. Veškeré údaje jsou anonymizované, nebudou nikde publikovány společně se jménem ani fotografií. První část vyplní výzkumník.

ID probanda (vyplní výzkumník) \*

Text stručné odpovědi

Poznámka pro vyhodnocení. (Například zranění, nevhodné oblečení)

Text stručné odpovědi

Přečetl si a podepsal proband informovaný souhlas? Bez podepsaného souhlasu nepokračovat \*

Ano

Po sekci 1 Pokračovat na další sekci

## Základní fyzické parametry

Základní informace o probandovi. Tyto informace slouží pro statistické vyhodnocení.

Pohlaví \*

Muž

Žena

Jiná...

Rok narození (např. 1987) \*

Text stručné odpovědi

Výška [cm] \*

Text stručné odpovědi

Váha [kg] \*

- méně než 40
- 45-50kg
- 50-55kg
- 55-60kg
- 60-65kg
- 65-70kg
- 70-75kg
- 75-80kg
- 80-85kg
- 85-90kg
- 90-95kg
- 95-100kg
- Jiná...

Stranová preference horní končetiny \*

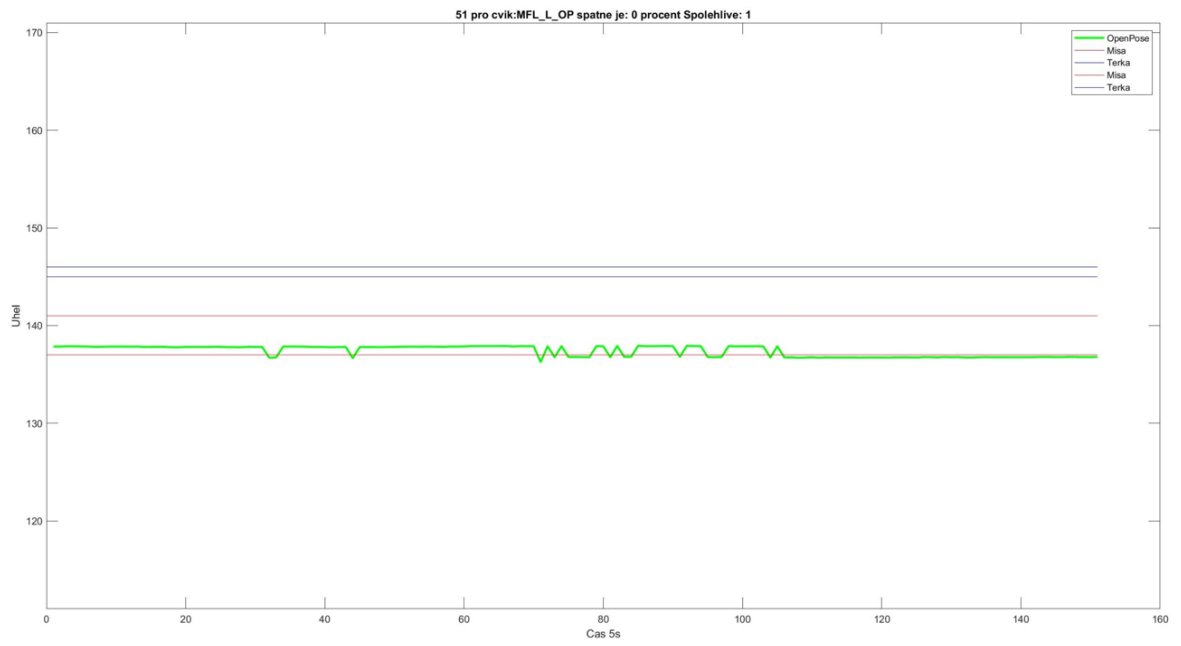
- Pravá strana dominantní
- Levá strana dominantní
- Nemám vyhraněnou stranu

Nejvyšší dosažené vzdělání \*

- Základní vzdělání
- Střední vzdělání s výučním listem
- Střední vzdělání s maturitou
- Vysokoškolské vzdělání
- Jiná...



#### Příloha č. 4: Grafický výstup z OP (archiv autora)



**Příloha č. 5: Záznam skeletonu OP (archiv autora)**

