

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

TERAPEUTICKÁ HRA S BIOFEEDBACKEM PRO  
REHABILITACI DOLNÍCH KONČETIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. KATEŘINA KUBÍNOVÁ



# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Biomedicínské inženýrství a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

**Studentka:** Bc. Kateřina Kubínová

**ID:** 136478

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Terapeutická hra s biofeedbackem pro rehabilitaci dolních končetin**

### **POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1) Nastudujte možnosti metod biofeedbacku v rehabilitaci, zaměřte se na rehabilitaci dolních končetin. 2) Seznamte se s principem optického zařízení Kinect od společnosti Microsoft a seznamte se s příslušným rozhraním SDK/C#. 3) Navrhněte terapeutickou hru využitelnou v rehabilitaci dolních končetin. 4) Realizujte terapeutickou hru s biofeedbackem. 5) Porovnejte navrženou aplikaci s jinými již existujícími. 6) Zhodnoťte přínos aplikace a navrhněte možnosti využití v lékařském zařízení.

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] JANA, Abhijit. Kinect for Windows SDK programming guide: build motion-sensing applications with Microsoft's Kinect for Windows SDK quickly and easily. Birmingham, UK: Packt Pub., 2012, x, 366 p. ISBN 9781849692397.

[2] GIGGINS, Oonagh M.; PERSSON, U. M.; CAULFIELD, Brian. Biofeedback in rehabilitation. J Neuroeng Rehabil, 2013, 10.1: 60.

**Termín zadání:** 8.2.2016

**Termín odevzdání:** 29.7.2016

**Vedoucí práce:** Ing. Markéta Koťová

**Konzultant diplomové práce:**

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D., předseda oborové rady**

### **UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá problematikou využití senzoru Kinect v rehabilitaci kolenního kloubu. Relativně nová metoda rehabilitace pomocí biologické zpětné vazby, získané z dat pohybového senzoru Kinect One for Windows, přináší pacientovi celou řadu výhod. Součástí diplomové práce je terapeutická hra Kolínko vyvinutá v prostředí C#.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Rehabilitace, kolenní kloub, biofeedback, Kinect One for Windows, virtuální realita, terapeutická hra, Kinect for Windows SDK/C#

## **ABSTRACT**

This thesis focuses on problematis of using Kinect sensor in rehabilitation of knee joint. Relatively new method of rehabilitation via biofeedback produced by Kinect One for Windows motion sensor delivers number of benefits to a patient. Part of the thesis is the therapeutic game named Kolínko developed in C#.

## **KEYWORDS**

Rehabilitation, knee joint, biofeedback, Kinect One for Windows, virtual reality, therapeutic game, Kinect for Windows SDK/C#

KUBÍNOVÁ, Kateřina *Terapeutická hra s biofeedbackem pro rehabilitaci dolních končetin*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2015. 60 s. Vedoucí práce byla Ing. Markéta Koťová

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Terapeutická hra s biofeedbackem pro rehabilitaci dolních končetin jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucí diplomové práce, Ing. Markétě Koťové, za čas věnovaný konzultacím, cenné odborné rady, povzbuzení a pomoc.

Dále moje díky patří Mgr. Petře Palánové za pomoc s volbou fyzioterapeuticky správného postupu u cvičení.

V neposlední řadě patří díky všem, kteří mi poskytovali podporu po celou dobu studia a dobré rady v jeho závěru.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Úvod</b>                                            | <b>1</b>  |
| <b>1 Pohybový aparát kolenního kloubu</b>              | <b>2</b>  |
| 1.1 Anatomie . . . . .                                 | 2         |
| 1.2 Fyziologie . . . . .                               | 4         |
| 1.3 Patofyziologie . . . . .                           | 5         |
| <b>2 Rehabilitace</b>                                  | <b>7</b>  |
| 2.1 Rehabilitace dolní končetiny . . . . .             | 7         |
| 2.1.1 Léčebná tělesná výchova . . . . .                | 7         |
| 2.1.2 Přístrojová terapie . . . . .                    | 8         |
| <b>3 Zpětná vazba</b>                                  | <b>10</b> |
| 3.1 Biofeedback . . . . .                              | 10        |
| 3.2 Biofeedback v rehabilitaci . . . . .               | 11        |
| 3.3 Fyziologické veličiny pro zpětnou vazbu . . . . .  | 11        |
| 3.3.1 Elektromyografický biofeedback . . . . .         | 11        |
| 3.3.2 Kardiovaskulární biofeedback . . . . .           | 11        |
| 3.3.3 Elektroencefalografický biofeedback . . . . .    | 11        |
| 3.3.4 Respirační biofeedback . . . . .                 | 12        |
| 3.4 Biomechanické veličiny pro zpětnou vazbu . . . . . | 12        |
| 3.4.1 Vnitřní senzory . . . . .                        | 13        |
| 3.4.2 Tlakové podložky . . . . .                       | 13        |
| 3.4.3 Elektrogoniometrie . . . . .                     | 13        |
| 3.4.4 Videobiofeedback . . . . .                       | 13        |
| 3.5 Biofeedback v rehabilitaci kolene . . . . .        | 14        |
| <b>4 Virtuální realita</b>                             | <b>15</b> |
| 4.1 Kinect One for Windows . . . . .                   | 16        |
| 4.1.1 Kamera Time of Flight . . . . .                  | 18        |
| 4.2 Mapování kloubů . . . . .                          | 19        |
| 4.2.1 Mapování kolene . . . . .                        | 21        |
| <b>5 Návrh terapeutické hry Kolínko</b>                | <b>23</b> |
| 5.1 Zanožování k míči . . . . .                        | 23        |
| 5.2 Přednožování na míči . . . . .                     | 24        |
| 5.3 Přitahování kolen . . . . .                        | 25        |
| 5.4 Předpoklady . . . . .                              | 26        |

|          |                                                          |           |
|----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 5.5      | Uživatelské prostředí . . . . .                          | 26        |
| 5.6      | Motivace pacienta . . . . .                              | 28        |
| <b>6</b> | <b>Terapeutická hra Kolínko</b>                          | <b>30</b> |
| 6.1      | Realizace hry - Zanožování k míči . . . . .              | 30        |
| 6.1.1    | Referenční pohyb . . . . .                               | 32        |
| 6.1.2    | Průběh hry . . . . .                                     | 32        |
| 6.1.3    | Biofeedback . . . . .                                    | 33        |
| 6.1.4    | Bodové hodnocení . . . . .                               | 33        |
| 6.2      | Realizace hry - Přednožování na míči . . . . .           | 33        |
| 6.2.1    | Průběh hry . . . . .                                     | 34        |
| 6.2.2    | Biofeedback . . . . .                                    | 35        |
| 6.2.3    | Bodové hodnocení . . . . .                               | 35        |
| 6.3      | Realizace hry - Přitahování kolen . . . . .              | 37        |
| 6.3.1    | Průběh hry . . . . .                                     | 38        |
| 6.3.2    | Biofeedback . . . . .                                    | 38        |
| 6.3.3    | Bodové hodnocení . . . . .                               | 39        |
| <b>7</b> | <b>Vyhodnocení hry</b>                                   | <b>40</b> |
| 7.1      | Omezení hry . . . . .                                    | 40        |
| 7.2      | Dosažené přínosy hry . . . . .                           | 40        |
| 7.3      | Vyhodnocení dotazníků . . . . .                          | 41        |
| 7.4      | Technické hodnocení hry . . . . .                        | 43        |
| <b>8</b> | <b>Diskuze dosažených výsledků</b>                       | <b>44</b> |
| 8.1      | Porovnání s existujícími projekty . . . . .              | 44        |
| 8.2      | Možnosti využití navržené hry ve zdravotnictví . . . . . | 45        |
| 8.3      | Možnosti rozšíření využití ve zdravotnictví . . . . .    | 45        |
| 8.4      | Přínosy terapeutické hry . . . . .                       | 46        |
|          | <b>Závěr</b>                                             | <b>47</b> |
|          | <b>Literatura</b>                                        | <b>49</b> |
|          | <b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>                  | <b>56</b> |
|          | <b>Seznam příloh</b>                                     | <b>57</b> |
|          | <b>A Dotazník spokojenosti</b>                           | <b>58</b> |
|          | <b>B Porovnání modalit Kinectu</b>                       | <b>60</b> |

# SEZNAM OBRÁZKŮ

|     |                                                           |    |
|-----|-----------------------------------------------------------|----|
| 1.1 | Kostra dolní končetiny . . . . .                          | 2  |
| 1.2 | Statický stabilizační systém kolene . . . . .             | 3  |
| 1.3 | Artroskopie kolene . . . . .                              | 5  |
| 2.1 | Léčebná tělesná výchova s terapeutem . . . . .            | 8  |
| 2.2 | Dolní končetina v motodlaze . . . . .                     | 9  |
| 3.1 | Schéma biofeedbacku . . . . .                             | 10 |
| 3.2 | Terapeutická hra s EEG biofeedbackem . . . . .            | 12 |
| 4.1 | Virtuální realita . . . . .                               | 15 |
| 4.2 | Brýle pro recepci virtuální reality . . . . .             | 16 |
| 4.3 | Boční pohled na Kinect . . . . .                          | 18 |
| 4.4 | Princip kamery ToF . . . . .                              | 19 |
| 4.5 | Princip mapování kloubů . . . . .                         | 20 |
| 4.6 | Souřadná soustava senzoru Kinect . . . . .                | 21 |
| 4.7 | Příklad špatné a správné detekce osob v sedu . . . . .    | 21 |
| 4.8 | Spolehlivost detekce v jednotlivých kloubech . . . . .    | 22 |
| 5.1 | Ideální sed . . . . .                                     | 23 |
| 5.2 | Přednožování na míči . . . . .                            | 24 |
| 5.3 | Přitahování kolen k hrudníku . . . . .                    | 25 |
| 5.4 | Vstupní formulář . . . . .                                | 27 |
| 5.5 | Vyplnění iniciál pacienta . . . . .                       | 27 |
| 5.6 | Výběr preferenční a rehabilitované končetiny . . . . .    | 28 |
| 6.1 | Schéma hry zanožování . . . . .                           | 30 |
| 6.2 | Vývojový diagram hry zanožování . . . . .                 | 31 |
| 6.3 | Prostředí hry zanožování . . . . .                        | 32 |
| 6.4 | Prostředí hry přednožování . . . . .                      | 34 |
| 6.5 | Schéma hry přednožování . . . . .                         | 35 |
| 6.6 | Průběh souřadnice Y kotníku ve hře přednožování . . . . . | 36 |
| 6.7 | Vývojový diagram hry přitahování kolen . . . . .          | 37 |
| 6.8 | Prostředí hry přitahování kolen . . . . .                 | 38 |
| 6.9 | Obdélník s popisem vrcholů . . . . .                      | 39 |
| B.1 | Porovnání modalit Kinectu . . . . .                       | 60 |



## SEZNAM TABULEK

|     |                                                            |    |
|-----|------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 | Přehled parametrů senzoru Kinect . . . . .                 | 17 |
| 6.1 | Přehled bodového hodnocení cviků . . . . .                 | 36 |
| 6.2 | Přehled bodového hodnocení cviků . . . . .                 | 39 |
| 7.1 | Přehled dosažených výsledků testovaných subjektů . . . . . | 40 |
| 7.2 | Výpočty na výsledcích bodového hodnocení her . . . . .     | 41 |
| 7.3 | Přehled výsledků dotazníků . . . . .                       | 42 |

# Úvod

Práce pojednává o využití pohybového senzoru Kinect One v rehabilitaci kolenního kloubu. Kolenní kloub je nejsložitějším kloubem v našem těle. K poranění kolenního kloubu v lidském těle dochází nejčastěji při sportu, ale i při pouhém špatném došlápnutí. Poranění kolenního kloubu při sportu postihuje velkou část populace v nejproduktivnějším věku.[2] Ošetřování těchto poranění tvoří podle švédské studie více než polovinu práce všech ortopedů.[29] Statistika také uvádí, že při porovnání mužů a žen jsou muži k poranění předních vazů kolenních náchylnější. V populaci nemocných jsou muži zastoupeni 69 %.[29]

Rehabilitace pod dohledem optického zařízení nabízí široké možnosti pro domácí rehabilitaci. Při propojení s telemedicínskou aplikací by mohlo dojít ke snížení počtu návštěv rehabilitačního pracoviště. Přínosem je zlepšení dostupnosti péče především pro imobilní pacienty.

Práce předkládá teoretický základ anatomie, fyziologie a patofyziologie kolenního kloubu. V textu jsou rozepsány různé přístupy biofeedbackové terapie. Následuje popis virtuální reality, která je využita pro doručování informace o pohybu přímo pacientovi. Pro propojení počítače a virtuální reality na monitoru je využito zařízení Kinect One for Windows. Tento pohybový senzor, vyvinutý společností Microsoft, má pro terapeutickou hru skvělé vlastnosti. Dokáže anatomicky přesně zaměřit postavu člověka a sledovat pohyb ve všech osách a kloubech. Díky osazení infračerveným detektorem je možné hru používat i v místnostech se zhoršeným osvětlením.[1]

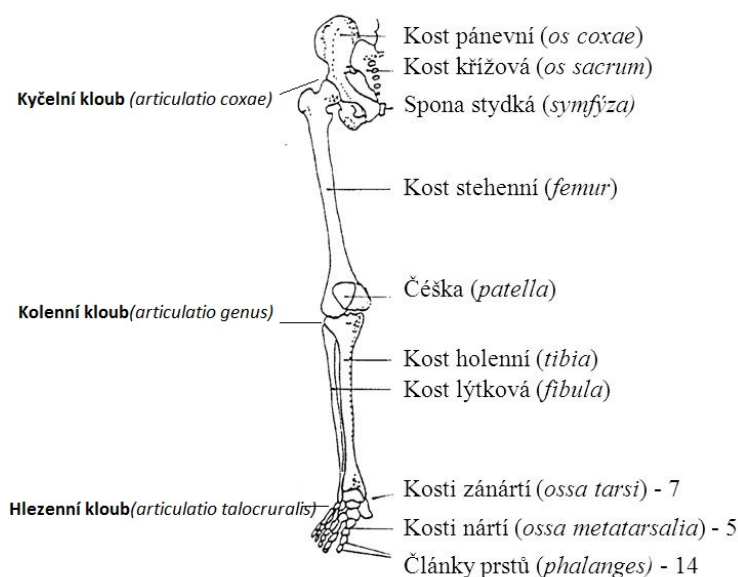
V navržené terapeutické hře dochází k rehabilitaci kolenního kloubu za pomoci virtuální reality. Cvičební úkony jsou podrobně vysvětleny a předvedeny ve videu na monitoru. Spolupracující pacient je vyzván k provádění vlastní sestavy cviků. Při cvičení je pacient monitorován zařízením Kinect. Rozsah pohybu je vyhodnocován v podobě bodů. Výsledek je současně vypsán na monitor. Po celou dobu se pacientovi dostává zpětné vazby, která má podobu grafické prezentace pohybu v kloubech. Pacient je hrou motivován k mírnému zvyšování rozsahu hybnosti. Hra obsahuje možnost porovnávat své výsledky v čase. Při každodenním cvičení lze dosáhnout až plného fyziologického rozsahu, tedy 10-150°.[49] Princip hry má vliv na zvýšení atraktivity cvičení pro pacienta.

# 1 POHYBOVÝ APARÁT KOLENNÍHO KLOUBU

Kolenní kloub je nejsložitějším kloubem lidského těla. Dochází v něm k nejčastějšímu poškození při sportu či pohybu. V kapitole je popsán kolenní kloub z pohledu anatomického složení (kap. 1.1), fyziologie pohybu v kloubu (kap. 1.2) a patofyziologických vad a poruch hybnosti (kap. 1.3).

## 1.1 Anatomie

Kolenní kloub (*articulatio genus*) patří mezi klouby volné dolní končetiny. Na dolní končetině rozlišujeme čtyři hlavní klouby. Kloub křížokyčelní (*artikulatio sacro-iliaca*), kyčelní kloub (*articulatio coxae*), kloub kolenní (*articulatio genus*) a místo styku volné dolní končetiny a nohy, kloub hlezenní (*articulatio talocruralis*).[28] Pro tento text je stěžejní popsat kloub kolenní. Kostra kloubu je na obr.1.1.



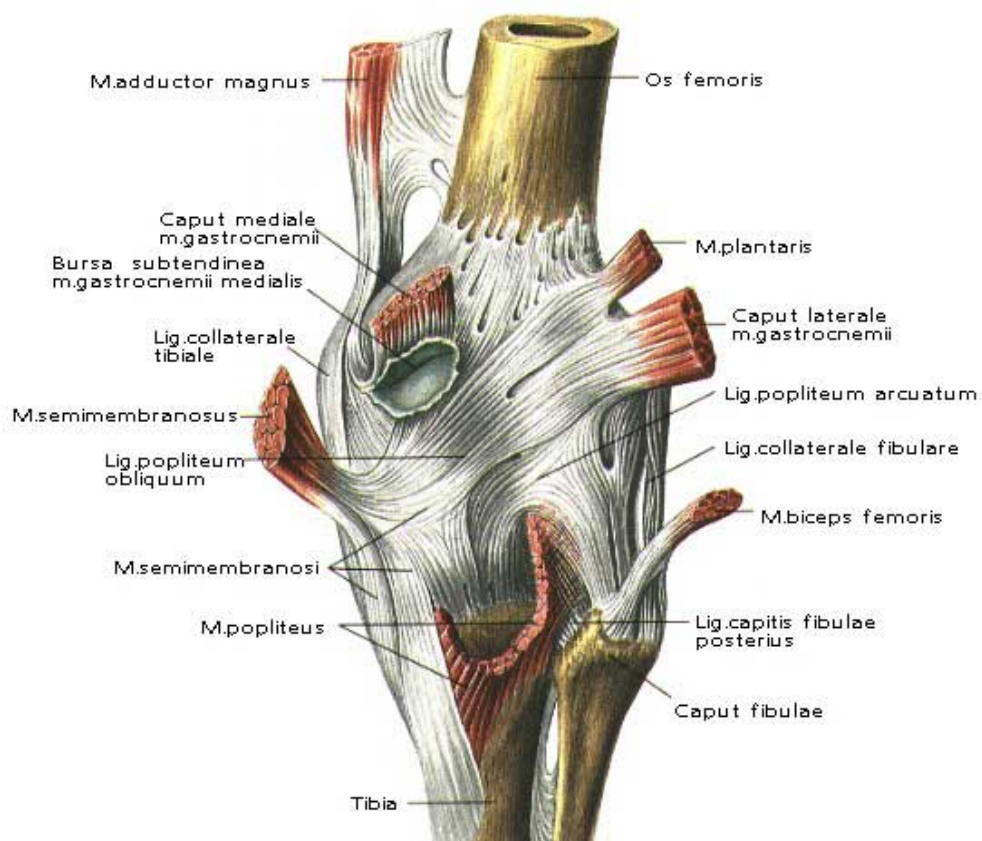
Obr. 1.1: Kostra dolní končetiny, upraveno z [28]

V kolenním kloubu se setkává *femur*, *tibie* a *patella*. Dále se na stavbě podílí menisky, vazy, kloubní pouzdro a svaly.[6] Hlavici kloubu tvoří *mediální a laterální kondyl femuru* a jamku *laterální a mediální kondyl tibie*. V jamce mezi *kondyly* se pohybuje *patella*. Styčné plochy *tibie* i *femuru* jsou nerovnoměrně zakřiveny. Tuto nerovnoměrnost vyrovnávají chrupavčité menisky. Meniskus laterální je více

pohyblivý než meniskus mediální. Mediální meniskus je ve třech rozích fixován k *tibii* a to omezuje jeho hybnost. Laterální meniskus pokrývá zevní *kondyl tibie* a je fixován pouze v jednom místě. Navíc jeho kruhový charakter mu dovoluje i lepší hybnost.[36]

Kolenní kloub se skládá z femorotibiálního kloubu mediálního a laterálního a kloubu patelofemorálního. Kloub femorotibiální mediální a laterální jsou nosné klouby a rozlišují se právě podle obsaženého *menisku*. Patelofemorální skloubení napomáhá k lepšímu přenosu sil v koleni.[36][7]

Statický stabilizační systém kolenního kloubu (viz. obr.1.2) je tvořen vazy. Konkrétně vazy nitrokloubními (*ligamenta cruciata anterior et posterior, ligamentum transversum genus, ligamentum meniscofemorale*), vazy přední strany kolenního kloubu (*retinacula patellae, ligamentum patellae*), vazy zadní strany (*ligamentum popliteum obliquum, ligamentum popliteum arcuatum*) a vazy postranními (*ligamenta collateralia mediale et laterale*) Vazy zabezpečují fyziologický rozsah vykonávaných pohybů. Aktivně brání maximalizaci rozsahu, která by vedla k poranění.[49]



Obr. 1.2: Statický stabilizační systém kolene, převzato z [51]

Přední stranu dynamické stabilizace kolene tvoří čtyřhlavý sval stehenní (*m. quadriceps femoris*). Hlavy svalu se dělí o funkce, kde *m. rectus femoris*, přímá hlava

tohoto svalu přechází v patelární šlachy a iniciuje v kolenním kloubu extenzi. Příčná hlava také vytváří ochranný korzet přímo z přední strany. *M. vastus medialis*: vnitřní hlava má dvě části - *m. vastus medialis obliquus* a *m. vastus medialis longus*. Tato hlava má za úkol dynamickou stabilizaci pately. *M. vastus lateralis*: Největší, vnější hlava čtyřhlavého svalu. Zvýšený tonus a dominance této hlavy mohou způsobit přetížení vnitřního postranního vazy (*ligamentum collaterale medialis*). *M. vastus intermedius*: Tato hlava, stejně jako *m. rectus femoris*, je odpovědná hlavně za extenzi kolene.[7]

Zadní stranu dynamické stabilizace tvoří *m. semimembranosus*. Zabezpečuje flexi a vnitřní rotaci kolene. Během flexe napomáhá tento sval retrakci menisku. Tím přispívá k zásadní ochraně menisku při flexi kolene. Je tedy potřebná jeho dostatečná výkonnost. Dále sdílí nervovou větev s hlavním adduktorem kyčelního kloubu (*m. adductor magnus*) a tím pádem svojí aktivitou přispívá i k aktivaci a kontrakci skupiny adduktorů.[3] *M. semitendinosus* pomáhá flexi a vnitřní rotaci v koleni

*M. biceps femoris* je hlavním iniciátorem flexe v koleni. Navíc jeho krátká hlava přechází ve šlachy, která se táhne v blízkosti vnějšího postranního vazy, tudíž významně posiluje jeho funkci. Jeho funkcí je tedy bránit addukci tibie. *M. gastrocnemius* napomáhá flektovat kolenní kloub a hraje významnou roli při dynamické podpoře zadní strany kolenního kloubu při chůzi.[2]

Pro správně fungující koleno je nutná naprostá rovnováha všech stabilizujících součástí, aby nedocházelo k jednostrannému přetěžování, a tím i zvyšování rizika zranění či urychlení opotřebení a navození patologických změn nebo vzniku zranění.[6]

## 1.2 Fyziologie

Kolenní kloub má dvě hlavní funkce, umožňuje potřebný pohyb *femuru* a *tibie* a také zabezpečuje přenos tlakových sil.[20] V koleni probíhá složitý pohyb. Složky tohoto pohybu jsou: flexe, extenze, vnitřní a zevní rotace bérce, valivý pohyb, klouzavý pohyb. V maximálním napětí dolní končetiny se dostává koleno do zamknuté pozice. To znamená, že vazivové struktury na zadní straně kloubu a postranní vazy jsou napnuté. Při této pozici na sebe pevně naléhají femur, menisky a tibie.

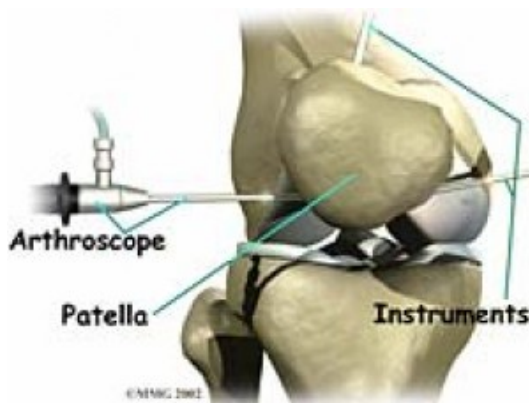
To znemožňuje rotační pohyby v koleni a zvyšuje celkovou stabilitu kloubu. Je to také základní postavení kloubu a odpovídá nulové extenzi. Při pomalé flexi můžeme postupně pozorovat během prvních pěti stupňů pokrčení rotaci - odemknutí kolene. Při pokračování ve flexi se v kloubu odehrává valivý pohyb, kdy se styčné plochy femuru valí po kosti holenní a meniscích (flexe 10 - 20°). Při pokračování

ve flexi nastává další pohyb, a to posuvný pohyb, a kosti se vzájemně po kloubních styčných plochách posunují.

Ze základního postavení provedou jedinci s větší kloubní laxitou hyperextenční pohyb v rozsahu až 15°. Hyperextenze je pak omezena napětím vazů na zadní straně kloubního pouzdra, nalehnutím kondylu femuru na přední část menisků, napětím *ligamentum cruciale anterior* a mediální části *ligamenta cruciale posterior*, vliv může mít i napětí flexorů kolenního kloubu [24].

Při rehabilitaci oceníme i pasivní pohyb kolenního kloubu. Jedná se o pohyb prováděný pomocí přístroje, nebo cizí osoby při úplné relaxaci svalstva. Každý kloub má svůj fyziologický rozsah pohybu. Pro kolenní kloub platí, že ve flexi dosahuje úhel mezi femurem a tibií 150°, v extenzi 10°. Aktivně lze prostřednictvím svalů provést flexi a extenzi kolenního kloubu a vnitřní a zevní rotaci bérce. Ostatní pohyby lze provádět pouze pasivně, jejich rozsah je malý, ale mají svůj velký význam v bezpečnosti chůze. [2].

### 1.3 Patofyziologie



Obr. 1.3: Artroskopie kolene, převzato z [33]

Vady a onemocnění kolene obecně dělíme na vrozené a získané. Mezi vrozené vady lze zařadit vrozenou dislokaci kolenního kloubu nebo vadu zvanou *patela biparita*. Z přetížení měkkých tkání dochází nejčastěji k aseptickým nekrózám a tendopatiím. Při aseptických nekrózách dochází ke změnám na kosti. Příkladem takového onemocnění může být osteochondróza apexu pately. Mezi tendopatie řadíme například tendopatii *ligamenta patellae*, lidově zvanou skokanské koleno. [27]

Mezi vady získané řadíme přímé a nepřímé traumatizace. Traumatizace kolene může být způsobena přímým násilím (otevřené rány, kontuze, subluxe a luxace) nebo mechanismem nepřímým, kdy může dojít k poškození vazů, menisků

a pouzdra v rozsahu odpovídajícím míře násilí. K poranění kolene může též dojít při nekoordinovaném zatížení kloubu či insuficietní činnosti stehenního svalstva nebo bez vnějšího mechanického vlivu, při abnormálním pohybu kloubu mimo fyziologickou osu jeho pohybu.[25] Studie ukazují, že jedním z hlavních faktorů vzniku poranění měkkých struktur kolene je narušení neuromotorické kontroly dynamické stabilizace kolenního kloubu a její zpětné kontroly.[27]

Úrazovou etiologii mají přetržené křížový vaz, přední, zadní, natržené postranní vazy či menisky. Až 70 % všech úrazů kolenního kloubu vzniká při sportu.[29]

S přibývajícím věkem v kolenním kloubu nastávají degenerativní změny na chrupavkách (chondromalacie) a kostech kolena (artróza). Změny způsobují bolesti, které omezují pohyb a funkci kolenního kloubu.

Pro optickou kontrolu vnitřní struktury se s úspěchem používá artroskop. (viz obr. 1.3).[33]

Mezi chirurgická řešení patofyziologických jevů se řadí odstranění menisku nebo plastika křížových vazů. Mezi novější metody zásahu v koleni se řadí gelové injekce jako náhražka plastiky menisků či protichůdné odstranění kloubního mazu. Díky velkému vývoji v chirurgických oborech je doba nutná k hospitalizaci pacienta po takovémto zásahu snížena jen na pár dní. Zkrácením této doby vzrůstá ale potřeba domácí rehabilitace.

## 2 REHABILITACE

Rehabilitace znamená v původním smyslu slova obnovování původní funkčnosti. Dle Světové zdravotnické organizace se rehabilitace definuje jako: "... včasné, plynulé a koordinované úsilí o co nejrychlejší a co nejširší zapojení občanů se zdravotním postižením do všech obvyklých aktivit života společnosti s využitím léčebných, sociálních, pedagogických a pracovních prostředků".[45]

### 2.1 Rehabilitace dolní končetiny

Rehabilitaci dělíme na fyzické cvičení a posilování (viz kap.2.1.1) a pasivní přístrojovou terapii (viz kap.2.1.2). Poměr mezi léčebnou tělesnou výchovou a pasivní terapií by měl v ideálním případě dosahovat 9:1, což je ale málokdy dosažitelné, jelikož pasivní terapie je pro pacienty daleko přitažlivější. Může ovšem ovlivnit bolestivost v kloubu, snížit potřebu medikamentózní léčby bolesti a tím ulevit gastrointestinálnímu traktu. [25]

#### 2.1.1 Léčebná tělesná výchova

Sedmý až desátý den po operačním zásahu v kolenní krajině dochází k prvnímu rozcvičování. Ze standardní polohy v třicetistupňové flexi (viz obr.2.1) vychází volný, důsledně asistovaný pohyb. Při fyzikální rehabilitaci flexe volným pohybem kolene je dbáno především na polohu vleže na břiše, plosky nohy visí volně mimo podložku, fixace je cílena na kost křížovou. Cvičená končetina je držena nad kotníkem a je prováděn pohyb s vedením fyzioterapeuta. Naopak pro rehabilitaci extenze volným pohybem je dbáno na polohu vleže na zádech, fixace je cílena na dolní konec stehenní kosti. Cvičená končetina je držena nad kotníky, při pohybu je prováděna nejprve trakce a teprve potom pohyb do extenze.[49]

Také od prvního dne je doporučeno provádět celková kondiční cvičení s dechovou gymnastikou a aktivní pohyb v kotníku a prstech. Dále cvičení na podporu izometrie ve čtyřhlavém svalu stehenním. Postupně se přidávají pohyby v kyčelním a hlezenním kloubu proti rostoucímu odporu. Pro některé pacienty je nutné zařadit i nácvik chůze v plném odlehčení.[36] V dalších dnech jsou prováděna klasická izometrická cvičení ve všech polohách. Nesmí být opomíjena ani svalová reedukace a měkké mobilizační techniky. Cílem cviků je obnovení plného původního rozsahu pohybu. Při cvičení je nutné vždy dbát na správnost pohybu v ose kolena. Také je potřeba kontrolovat celkovou polohu těla. Pacient má v bolesti tendence vybočovat z osy pohybu. Důležité je dbát na přiměřenou intenzitu cvičení. Bolest při léčebné tělesné výchově by nikdy neměla překročit snesitelnou mez.[36]





Obr. 2.1: Léčebná tělesná výchova s terapeutem, převzato z [54]

Vhodným doplňkem v pozdní fázi rehabilitace může být i cvičení jednodušších prvků jógy, které jedince posiluje i po duchovní stránce. [21] Cvičení lze zintenzivňovat použitím nestabilních cvičebních podložek. Mezi nestabilní podložky lze například počítat bosu, gymnastický míč nebo overball. Pro zpříjemnění je možné využít i vodní prostředí v bazénu. Ze sportů je doporučováno plavání, kde při správném pohybu nedochází k zatěžování kloubů a zvyšuje se hybnost. Plavání lze zahájit již dva týdny po operaci, která proběhla bez komplikací. Ve třetím týdnu lze začít se simulovanou jízdou na statickém rotopedu nebo nekomplikovanou jízdou na kole. S kontaktními sporty je vhodné počkat alespoň pět měsíců.[25]

### 2.1.2 Přístrojová terapie

Pasivně lze stav kolenního kloubu zlepšovat pomocí ultrazvukové terapie, laserové terapie, termoterapie (kryoterapie), hydroterapie, elektroléčby, magnetoterapie a fototerapie. Většinou se jedná o metody s vlivem na hemodynamiku, tišící bolest, případně odstraňujících otok a vstřebávání výronů tekutin.

Vhodné zahájení terapie je cvičení na motorové dlazi (viz obr.2.2), která se stará o správnou pozici dolní končetiny a poměr cvičení a relaxace. Při správném nastavení může přístroj i plně nahradit léčebnou tělesnou výchovu s terapeutem. Výsledkem je zlepšená hemodynamika v dolní končetině, odplavování zánětlivých zbytků a prvotní rozšíření rozsahu pohybu v kloubu.[36]

Nově navrhovaná cvičení asistovaná robotem jsou určena pro pacienty s paretickou končetinou nebo sníženou schopností vnímání. Člověk se v tomto případě



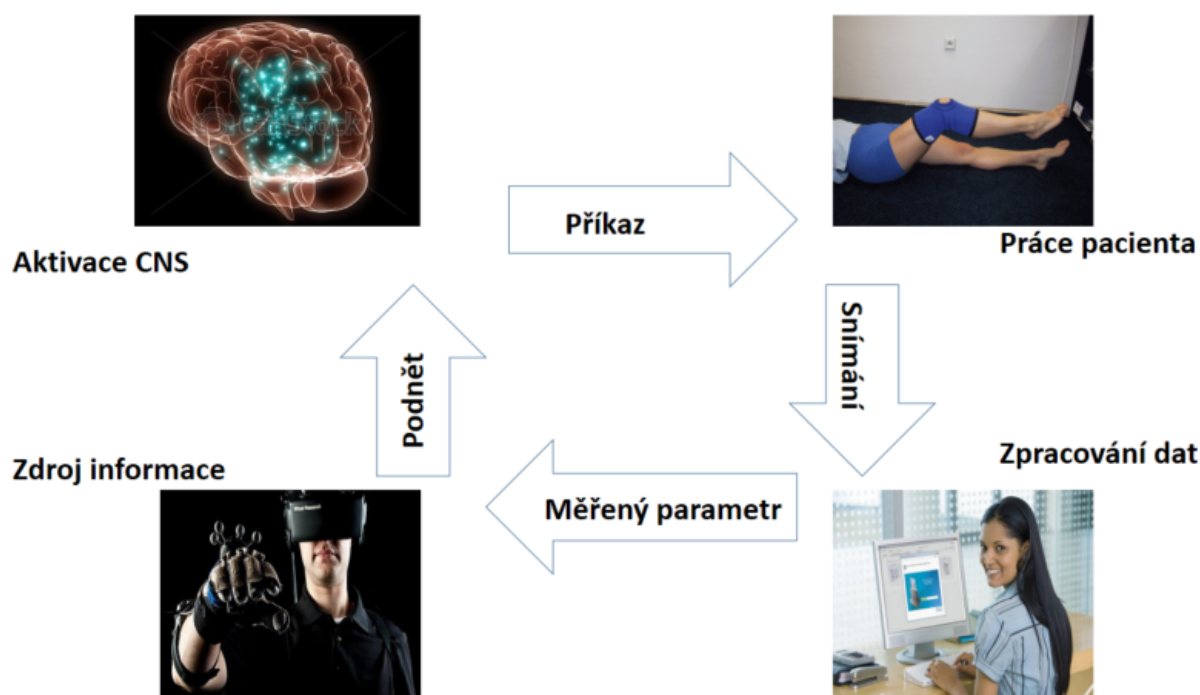
Obr. 2.2: Dolní končetina v motodlaze, převzato z [50]

nechá připoutat k robotickému rameni, které s jeho končetinou pohybuje. Plně asistované cvičení má vliv na hemodynamiku tkáně a okysličení svalové tkáně, nicméně nelze hovořit o posílení svalů. Robot společnosti National Instruments byl představen nedávno, ale jeho masové rozšíření vzhledem k ceně nelze očekávat. [42]

Další možností procvičování kolenního kloubu je rehabilitace ve virtuální realitě. Blížší informace k této metodě lze najít v kapitole 4. Kombinace obojího přináší pro pacienta zjednodušenou kontrolu pohybu a možnost odpoutat pozornost od částečně bolestivého cvičení.

### 3 ZPĚTNÁ VAZBA

Termín zpětná vazba popisuje situaci, kdy výstup systému ovlivňuje zpětně jeho vstup. Podle toho jaký má zpětná smyčka vliv na původní systém rozlišujeme kladnou a zápornou zpětnou vazbu. Ve vztahu k živým organismům nazýváme tuto zpětnou vazbu biofeedbackem.



Obr. 3.1: Schéma principu biofeedbacku, převzato volně z [18]

#### 3.1 Biofeedback

Termín biofeedback označuje skupinu metod vyžívajících biologické zpětné vazby. Princip je patrný z obrázku 3.1. Základem techniky je poskytování informace o biologické veličině pacientovi v reálném čase a ve srozumitelné formě. Metoda předkládá pacientovi přímo zobrazovanou veličinu, nebo veličinu přeměněnou na optický vjem (např. tep v podobě číslice zobrazované na chytrých hodinkách) či akustický signál. Relativně novou metodou pro vracení zpětné vazby jsou i promítané změny virtuální reality. Terapie pomocí biofeedbacku si klade za cíl převzetí kontroly nad fyziologickou funkcí orgánů. Vedlejším efektem této terapie je zvýšení přitažlivosti rehabilitace pro pacienta.[53]

## **3.2 Biofeedback v rehabilitaci**

Rozlišujeme různé druhy biofeedbacku podle měřené biologické veličiny. Touto veličinou může být například veličina elektrické aktivity nebo pohyb snímaný optickou kamerou. Obecně dělíme snímané veličiny na biomechanické (kap.3.4) a fyziologické (kap.3.3). Mezi biomechanické se řadí veškerý pohyb, síla nebo kontrola postoje. Mezi fyziologické veličiny řadíme nervosvalovou aktivitu (EMG), srdeční aktivitu (EKG), mozkovou aktivitu (EEG) nebo dýchání.[10]

## **3.3 Fyziologické veličiny pro zpětnou vazbu**

Fyziologické veličiny jsou ty, které lze do jisté míry ovlivňovat vůlí. Ovlivňování fyziologických veličin vlastní vůlí je principem terapie na bázi biofeedbacku. Cílem takové terapie je dosáhnout stavu, kdy pacient veličinu kontroluje i bez měřicích zařízení.

### **3.3.1 Elektromyografický biofeedback**

Při komunikaci svalu a nervů může dojít k velkému počtu chyb. V terapii některých poruch může dobře posloužit elektromyografický biofeedback. EMG biofeedback využívá povrchových elektrod pro zjišťování aktivity svalů. Využívá se pro posílení slabých nebo paralyzovaných svalů, případně i pro uvolnění spastických svalů. Často dojde i k rozšíření hybnosti nebo odstranění bolesti.[4] [16] [37]

### **3.3.2 Kardiovaskulární biofeedback**

Do této kategorie spadá měření srdečního tepu, variability srdečního rytmu, tlaku nebo povrchové teploty pokožky. Trénink s měřením srdečního rytmu vede k snížení systolického tlaku krve během cvičení.[9] Variabilita srdečního rytmu je snadno měřitelná. Původcem je autonomní nervstvo, ovšem i zde lze proces ovlivnit vůlí. Toho se využívá například při léčbě astmatu. Nepravidelná sinová aktivita (RSA) je taktéž autonomního původu. Její ovlivňování může vést k velké úlevě ve stresových situacích, případně u posttraumatické poruchy.

### **3.3.3 Elektroencefalografický biofeedback**

Metoda EEG biofeedbacku je v současné době nejvyužívanější k tvorbě terapeutických her. Při měření dochází ke snímání elektrické aktivity mozku. Tréninkem mozku dochází k celkovému zklidnění subjektu. Dále jde trénovat oblasti jako je paměť a soustředění. Terapie s biofeedbackem se v laickém prostředí volně za tuto

metodu zaměňuje. Nejčastěji se využívá u dětí s poruchami učení (viz obr.3.2) nebo dětskou mozkovou ohrnou.



Obr. 3.2: Terapeutická hra s EEG biofeedbackem, převzato z [32]

### **3.3.4 Respirační biofeedback**

Dýchačí aktivita měřená pomocí elektrod nebo senzorů umístěných na břišní oblasti může pomoci při nácviku dýchání do bránice. Samotné dýchání prokazatelně léčí migrény a může regulovat i krevní tlak díky celkové relaxaci. [22]

## **3.4 Biomechanické veličiny pro zpětnou vazbu**

Zjištění biomechanických veličin vyžaduje komplexnější měření. Z jednoho měření lze obdržet i více druhů zpětné vazby.

### 3.4.1 Vnitřní senzory

Mezi vnitřní senzory patří akcelerometry a gyroskopy. Ty dodávají 3D informaci o pohybu části těl. Díky miniaturizaci těchto senzorů dochází k jejich využití při řešení problémů se stabilitou a pohybem nezpůsobených nervosvalovou poruchou. Pomocí vnitřních senzorů lze měnit i chování a postoje uživatelů. Dokazuje to studie Breena, ve které je zkoumáno napětí ve svalech krku u uživatelů počítače.[5] Ve studii se podařilo dosáhnout zlepšení postavení krku u uživatelů této metody. Koizumiho studie vlivu biofeedbacku, založeného na akcelerometru, vykazuje velký úspěch na zvýšení denní dávky pohybu u seniorů. Průměrná fyzická aktivita se zvýšila. S nárůstem obezity se zvyšuje i potřeba této metody pro další využití. [23]

### 3.4.2 Tlakové podložky

Tlakové podložky se používají pro měření odpovědi těla na přitažlivou sílu zemskou. Pomocí podložky lze měřit rovnováhu, rozložení síly v pohybu nebo parametry chůze. V rehabilitaci se nejčastěji používá pro zlepšení symetrie ve stoji. Dobré výsledky má tato biofeedbacková metoda i ve zlepšení symetrie chůze po mozkové příhodě s jednostrannou parézou. Lepší výsledky byly dosahovány při doplnění optického vjemu zvukovým signálem. [38]

### 3.4.3 Elektrogoniometrie

Elektrogoniometrie slouží k měření relativní rotace v kloubu. Pomocí goniometru, jehož „ramena“ jsou připojena na sousední segmenty (průsečík ramen je ve středu otáčení daného kloubu), lze měřit velikost úhlových změn kolem jedné, dvou nebo tří os. Tímto postupem je tedy určována změna vzájemné polohy segmentů v rovině nebo v prostoru. [19] Ve studii Hower Kuikena je popisován účinek elektrogoniometrického biofeedbacku na spokojenost pacientů s aktivním cvičením rozsahu pohybu. V porovnání s klasickou léčebnou tělesnou výchovou nebylo bohužel dosaženo významně lepších výsledků.[26]

### 3.4.4 Videobiofeedback

Využití kamery dovoluje lékařům sledovat plynulé a složité děje pohybu těla jako je například chůze. V praxi se používá síť kamer, která zachycuje speciálně anatomicky umístěné body na těle pacienta. Zpětná vazba pak vrací vizuální informaci o postoji a pohybu jedince. [10] Moderní biofeedback pocházející ze špičkových laboratoří je využíván u vrcholových sportovců, při nácviku pohybu souvisejícího

s jejich sportovním zaměřením. Pro tato snímání jsou využívána zařízení s velmi vysokou snímkovací frekvencí.[19]

### 3.5 Biofeedback v rehabilitaci kolene

V praxi se pro kolenní kloub využívá nejčastěji léčebná tělesná výchova, jak je uvedeno v kapitole 2.1.1. Je metodou vývojově nejstarší. Nevýhodou je potřeba vzdělaného profesionála k asistenci ve správném cvičení.

Z biofeedbackových metod je reálně použitelná videokontrola pohybu (viz kap.3.4.4), elektrogoniometrie (viz kap.3.4.3) nebo chůze po tlakové podložce (viz kap.3.4.2). Nejčastěji využívanou veličinou pro zpětnou vazbu je pohyb v reálném čase.[41] Pro pohyb v kolenní a jeho stabilitu je důležitá i síla svalů zpevňujících koleno. Proto je vhodné počítat i s EMG biofeedbackem(viz kap.3.3.1). Největší nevýhodou této metody je nutnost lepení elektrod na kůži, nebo v horším případě zavádění jehlových elektrod přímo do svalů. V návrhu je roboticky asistované cvičení, které by reagovalo na konkrétního pacienta.[12] Dobrým doplňkem k rehabilitaci je kontrola dechu pomocí respiračního biofeedbacku (viz kap.3.3.4). Při zapojení cílové svalové skupiny je lepší výdech, při relaxační fázi nádech. Využití kardiovaskulárního biofeedbacku v rehabilitaci kolene představují především zátěžové sporttestery určené k hlídání přiměřené tepové frekvence v zátěži pacienta (viz kap.3.3.2).



## 4 VIRTUÁLNÍ REALITA

Virtuální realita (obr. 4.1) je soubor technologií umožňující propojení člověka s děním v počítači a na obrazovce. [30] Virtuální realita se rozlišuje do tří základních stupňů, a to na virtuální realitu pasivní, aktivní a interaktivní. Rozdíl spočívá ve stupni zapojení subjektu. Při pasivní virtuální realitě je subjekt obklopen dojmem 3D scény, ale je do ní začleněn bez možnosti jakéhokoliv ovlivnění. Děj spíše připomíná film. V aktivní virtuální realitě si může subjekt zvolit úhel pohledu, případně směr procházení objektem, ale nevolí samotný děj. V interaktivním prostředí může ovlivňovat děje v prostředí, volit pohledy a úhly.

Technologie pro vytvoření virtuální reality můžeme rozdělit podle smyslu, kterému dodávají podněty.

Zrakové podněty lze dodávat pomocí zobrazování na monitoru. Je důležité dbát na frekvenci zobrazování jednotlivých obrazovek. Frekvence je ideální, pokud je dodaná realita subjektem vnímána jako kontinuální děj. Lidské oko je schopno rozlišit až 20 obrázků za sekundu, ale pro opravdu reálný vjem je třeba zobrazovací frekvence 50 obrázků za sekundu.[52] Mezi základní prostředky pro tvorbu virtuální



Obr. 4.1: Virtuální realita, převzato z [8]

reality patří nošení speciálních brýlí pro prohlížení 3D scény (viz obr.4.2).

Zvukové vjemy jsou obstarávány stereofonními sluchátky. Součástí každé virtuální reality jsou složité výpočty odrazů všech zvuků o virtuální překážky, tak aby do sluchátek mohl jít až součet všech příspěvků.



Novějšími technologiemi jsou rukavice pro stimulaci hmatu. Ve vývoji jsou i technologie na stimulaci čichu.[10]

Využití virtuální reality je vhodné všude tam, kde by špatná reakce mohla poškodit zdraví nebo i lidský život. Ve virtuální realitě se již trénují vojáci a využívá se i pro výcvik mediků na pozici operátora.

Virtuální realita je propojena s běžnou realitou pomocí řady snímacích senzorů. Vhodným pojítkem mezi všední a virtuální realitou je v terapii pohybový senzor, jakým je Kinect One for Windows.



Obr. 4.2: Brýle pro recepci virtuální reality, převzato z [34]

## 4.1 Kinect One for Windows

V poslední době se trendem v rehabilitaci stává zařízení Kinect One od firmy Microsoft. Vývoj zařízení stál neuvěřitelných sto milionů dolarů. Tento přístroj, určený k detekci pohybu, by měl odstartovat novou éru v herním průmyslu i ve vývoji profesionálních aplikací.

V současné době se Kinect One využívá jako asistent při nakupování, pro zlepšení individualizace reklamy nebo pro zkoušení oblečení bez nutnosti si jej oblékat.

V oblasti terapie se využívá díky své schopnosti rozeznat 25 kloubů lidského těla a monitorovat jejich pohyb. Ve zdravotnictví dále má význam například ve velmi sterilních prostorech, kde si operátor může posouvat informace na monitoru pouhým pohybem ruky (bez kontaminace dotykem). Dále se díky osazení perfektní sadou snímačů zvuku může používat jako patientský monitor.

Své využití má Kinect i ve vzdělávání, které činí ještě interaktivnějším. Do popředí se dostává využití Kinectu v rámci nácviku rutinních operací zaměstnanců ve výrobě.

Velkým přínosem je i pro autory animovaných filmů, kde usnadňuje animaci pohybu postav pomocí mapování reálných předloh.[46]

Pro zapojení zařízení Kinect k počítači je vyžadováno osazení řadičem USB 3.0, Windows 8 a vyšší, 64bitový procesor (x64), 4 GB RAM paměti, grafická karta s podporou DirectX 11. Součástí nutného vybavení je i adaptér Kinect pro Windows. Důvodem všech těchto omezení je obrovské množství dat, které se mezi počítačem a senzorem vyměňují.

Rozlišení barevného obrazu snímaného tímto senzorem je  $1920 * 1080$  pixelů (Full HD). Rychlost snímání je 30 snímků za sekundu, při sníženém osvětlení může klesnout na 15 snímků za sekundu. Zorné pole přístroje začíná 50 centimetrů od jeho pozice a dosahuje hloubky 5,0 metrů. Přístroj je osazen čtyřmi mikrofony pro zaznamenávání prostorového zvuku.

Dále je osazen třemi zdroji infračerveného záření, které mají rozdílné vlnové délky a načasování vstupů. Tyto senzory zlepšují viditelnost za téměř jakýchkoliv světelných podmínek. Výstupem z infračerveného senzoru je obraz v rozlišení  $512 * 424$  pixelů.

Hlavním zdrojem dat je barevná kamera s full HD rozlišením. Další informace poskytnou infračervené senzory. Přehled parametrů senzoru Kinect lze nalézt v tabulce 4.1. Čelní pohled na senzor s vyobrazením orientace os je na obr.4.6

Tab. 4.1: Přehled parametrů senzoru Kinect

| Parametr                 | Hodnota a jednotka                               |
|--------------------------|--------------------------------------------------|
| Rozlišení barevné mapy   | $1920 * 1080$ pixelů, při 30 snímcích za sekundu |
| Rozlišení hloubkové mapy | $512 * 424$ pixelů, při 30 snímcích za sekundu   |
| Technologie senzoru      | Time of Flight                                   |
| Rozsah pole              | 0,5 - 4,5 m                                      |
| Pozorovaný úhel          | 70 / 60 stupňů vertikálně / horizontálně         |
| Osazen polem mikrofونů   | Ano                                              |

Hlavní výhoda Kinectu spočívá v technologii Time of Flight (podrobněji v kap.4.1.1), která mu umožňuje dokonalé rozlišování hloubky. Výstupem z tohoto senzoru je hloubková mapa, která obsahuje hloubkovou informaci ke všem pixelům scény. V porovnání s předchozí verzí Kinectu obsahuje také podrobnější snímání kostry člověka. V jednom okamžiku je senzor schopen kontrolovat pohyb až šesti osob. [46]

Porovnání modalit zobrazení přes zařízení Kinect lze nalézt na obrázku v příloze B.1. V levé horní pozici je zobrazena hloubková mapa z ToF kamery, levý horní kvadrant vyplňuje výsledek z modality skeletal, která se používá pro detekci kloubů. Ve spodní části obrázku B.1 je zobrazena pozice figuranta ze zaznamenaného zvuku. Vynechána je vybraná modalita skeletal, následuje ji, třetí zleva, BlockMan. Tato modalita je využívána především animátory kreslených filmů pro znázorňování pohybu. V posledním podobrázku je zobrazena hloubková mapa v pseudobarvách.



Obr. 4.3: Boční pohled na Kinect, převzato z [40]

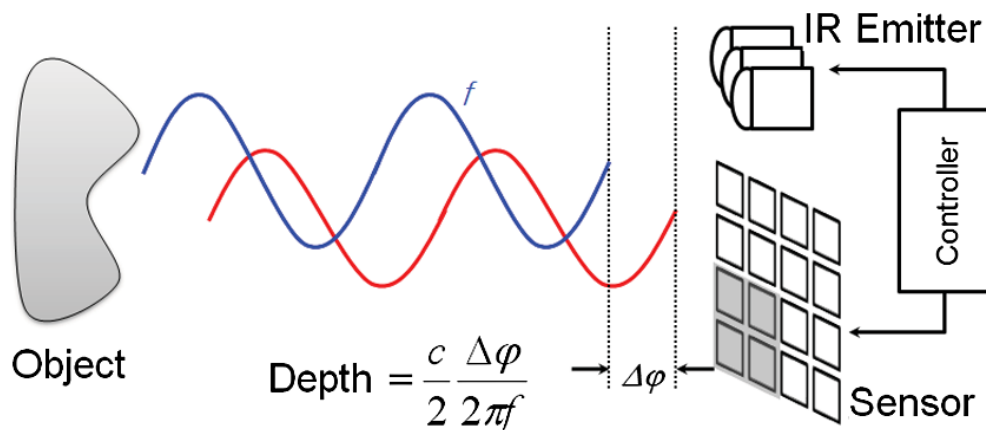
Přínosem pro terapii je i velikost přístroje, která snadno umožní použití vytvořených aplikací v domácím prostředí. Představu o velikosti přístroje si lze udělat z obrázku 4.3. Zlepšená rozlišovací schopnost zvýšila počet sledovaných kloubů postavy na 25 z původních 20 u předchozí verze. Také místa pro kontrolu kloubů jsou anatomicky přesněji umístěná. Pro správnou činnost v terapeutické hře je důležité právě anatomické namapování. Kromě kolenního kloubu je nutné hlídat i pozici kyčelního kloubu, kotníku a osu páteře.[39]

Díky schopnosti trojrozměrného mapování dokáže Kinect hlídat i pohyb v ose  $z$ , takže při kolmé pozici k senzoru by nemělo docházet k nefyziologickým změnám.[31]

#### 4.1.1 Kamera Time of Flight

Senzor Kinect One využívá pro pozorování objektů kameru typu Time of Flight (ToF). Principem kamery je vysílání částic světla a jejich detekce po odrazu od zkoumaného subjektu. Ze známé rychlosti světla je senzor schopen přesně detekovat hloubkovou vzdálenost objektů. Time of Flight kamera vyniká schopností detekce

kompletní hloubky scény převedené do jednotlivých pixelů. Kamera má rozlišení 512 \* 424 pixelů. Snímání probíhá kontinuálně ve stabilní scéně a zařízení je proto označováno za neskenovací. [46] Princip kamery vystihuje obrázek 4.4. Pro zpřesnění



Obr. 4.4: Princip kamery ToF, převzato z [15]

detekce se nevyužívá měření v časové oblasti, ale měří se rozdíl fáze odražené a vyslané vlny, který umožňuje přesnější měření.

Hlavní výhodou kamery ToF je přesná detekce hloubky. Výsledky z této miniaturní kamery jsou v přesnosti srovnatelné s výstupy z celé laboratoře chůze. Další výhodou je velká rychlost snímání a z ní plynoucí vysoký počet snímků za sekundu. Mezi konstrukční výhody patří nízká hmotnost, malé rozěry a snížená spotřeba energie. Nevýhodou zařízení je nízké rozlišení a občasné chyby zobrazení.

Po větším rozšíření se ToF kamera uplatní v oblasti počítačové grafiky, počítačovém vidění a robotice.

## 4.2 Mapování kloubů

Mapování kloubů zjednodušuje použití hloubkové kamery, která je schopna vnímat obraz v reálném čase. Použitý senzor Kinect je průkopníkem v oblasti hloubkového snímání. Využívá hloubkového snímání pro výpočty reprezentace kloubů. Kinect má v porovnání s ostatními implementacemi schopnost rychle se inicializovat. To stojí za úspěchem celé herní platformy Kinect [35]. Rychlost zpracování snímků dosahuje až 200 snímků za sekundu.

S příchodem ToF kamer došlo ke zjednodušení získávání testovacích dat. Je jich potřeba velké množství, kvůli variabilitě lidského pohybu, i rozdílné tělesné konstituce. Porovnávací databáze obsahuje 500 000 krátkých sekvencí v různých lidských činnostech.



Obr. 4.5: Princip mapování kloubů, převzato z [14]

Klasifikátor hodnotí jednotlivé pózy na základě metody shlukování nejvzdálenějšího souseda. Potlačuje se informace o intenzitě barvy, aby neovlivnila volbu příbuzné pozice.

V průběhu mapování jsou zpracována data z hloubkové kamery (viz obr.4.5). Důležitá část je porovnávání s daty ze strojového učení. Zde získá každý pixel označení části těla, ke které náleží. Na obrázku 4.5 jsou označené části vyznačeny barevně. Tělo je rozděleno na 31 částí. Pixely jsou rozděleny pomocí rozhodovacích stromů a jejich předem nastavených hranic. Hodnota pixelu pro určení hranice se stanoví podle rovnice 4.1.

$$f_0(I, x) = d_I(x + \frac{u}{d_I(x)}) - d_I(x + \frac{v}{d_I(x)}) \quad (4.1)$$

V rovnici představuje  $d_I(x)$  hloubku v obraze  $I$ . Parametry  $u$  a  $v$  popisují posun v obraze. Klasifikátor složený ze stromů rozdělí pixely podle nejbližší hranice. Po rozpoznání všech segmentů jsou klouby umístěny do míst s nejvyšší pravděpodobností správné segmentace. Dopomáhá i síťové mapování povrchu kůže. Výsledek mapování pomáhá v učení rozhodovacích stromů. [35]

Kloub je popsán třemi souřadnicemi (viz obr.4.6). Souřadnice  $X$  popisuje horizontální polohu kloubu, souřadnice  $Y$  popisuje vertikální pozici kloubu v prostoru, souřadnice  $Z$  popisuje vzdálenost kloubu od senzoru. Pozice kloubů je dána součtem tří pohledů, které si senzor sám dopočítá. Do součtu patří přední, vrchní a levý pohled. [1]

Pro hloubkové mapování Kinect využívá svou hloubkovou kameru s rozlišením  $512 * 424$  pixelů. To způsobuje, že vzdálenost dvou pixelů může ve scéně představovat i centimetrové rozdíly. Z důvodů zachování robustnosti a efektivity výpočtu se v databázi pro testování póz uživatelů nastavilo kritérium rozlišitelnosti pohybu osob na 5,0 cm.[35]

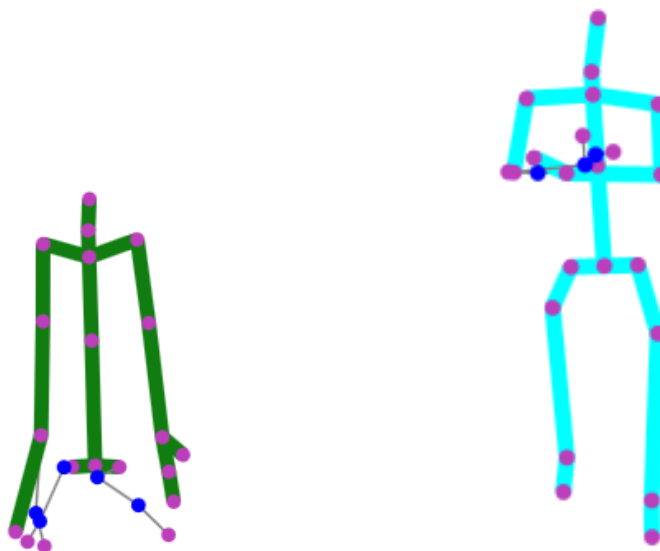


Obr. 4.6: Souřadná soustava senzoru Kinect, převzato z [47]

### 4.2.1 Mapování kolene

V první řadě bylo nutné získat přesná data o poloze kolenního kloubu.

K detekci kolene dochází pomocí funkce *skeletal*. Principem její konstrukce je detekce kloubů z dat.(více viz 4.2). Trojrozměrnou polohu kloubu reprezentují souřadnice X, Y a Z získané výpočtem přes tři projekce. Stejným způsobem jsou detekovány i údaje o poloze kotníku a kyčle.

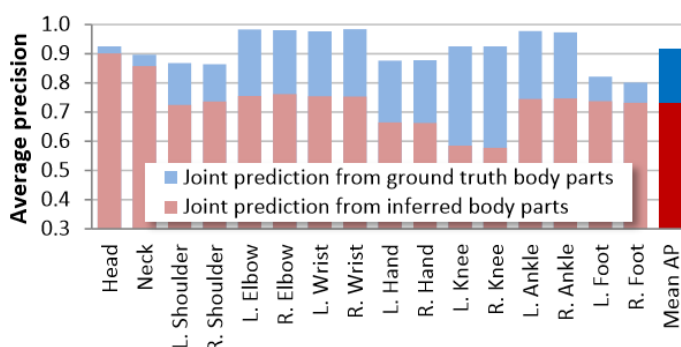


Obr. 4.7: Příklad špatné a správné detekce osob v sedu

Při vývoji hry bylo zjištěno, že mapování dolních končetin trpí vážnými nedostatky. Obzvláště v pozici vsedě dokáže Kinect udávat chybné hodnoty. Na obrázku 4.7 lze vidět pozici vsedě na míči. V levé části obrázku 4.7 je znázorněna

detekce, která selhala. V pravé části obrázku je detekce správná. Za relativně kratší nohou pravé reprezentace je prostý fakt, že subjekt neseděl přímo vůči senzoru a na nohou měl pohodlnou domácí obuv.

Detailně schopnost Kinectu detekovat kolenní kloub a pravděpodobnost správné detekce popisuje graf na obr. 4.8.



Obr. 4.8: Spolehlivost detekce v jednotlivých kloubech, převzato z [35]

V grafu jsou znázorněny pravděpodobnosti správné detekce pro jednotlivé klouby. Poslední sloupec představuje průměrnou hodnotu pro všechny klouby. V jedenáctém a dvanáctém sloupci je hodnocena detekce pro levé a pravé koleno. Červená hodnota představuje detekci kloubu z rozlišených částí těla. Modrá představuje detekci kloubů při fyzickém měření.

Z požadavku na detekci kloubu Kinectem vyplývá místnost s volným prostorem o délce alespoň 5,0 metrů. Vzdálenost ideální detekce postavy lze odvodit z tělesné výšky pacienta a úhlů snímaných senzorem. Samozřejmě záleží na umístění vlastního senzoru. Jednou možností je nastavitelný stojan, případně jeho zavěšení. Pro detekci kolene je vhodné mít Kinect v nižší vzdálenosti od podlahy, přibližně ve výšce kolene. Ve vzdálenosti 3,5 metru dochází k detekci sedících postav s pravděpodobností větší než 80 %. V případě pacienta s extrémní výškou je nutné jej instruovat k posunutí vpřed či vzad. Dalším technickým předpokladem je, že pacient bude vybaven senzorem Kinect, adaptérem pro spuštění se systémem Windows a využívá počítač splňující kritéria pro jeho použití, viz kap. 4.1.



## 5 NÁVRH TERAPEUTICKÉ HRY KOLÍNKO

V rámci diplomové práce je navržena biofeedbacková hra ke sledování kloubů. Hra usnadňuje rehabilitaci v oblasti kolenního kloubu. Účelem je asistovat pacientovi při domácím cvičení po propuštění ze zdravotnického zařízení a kontrolovat správnost jeho pohybu. Hra je založena na zpětné vazbě, kterou přístroji dodává snímáný pohyb. Pohyb je sledován zařízením Kinect One for Windows. Ideálem celého procesu je obnovení plné funkčnosti kolenního fyziologického rozsahu, který je  $10^{\circ}$ - $150^{\circ}$ . [49] Prováděny budou tři cviky se zapojením kompletního svalového řetězce.

Celá hra je navržena a realizována v programovacím jazyce C#, v prostředí Windows forms. Aplikace byla naprogramována ve Visual Studiu 2015. Samotná hra je tvořena formulářem (viz obr.5.4) a aktuálně probíhající hrou (viz obr.6.4).

### 5.1 Zanožování k míči



Obr. 5.1: Ideální sed

Pacient sedí na gymnastickém míči čelem ke snímači. Úkolem je se dotknout patou míče. Nerovnovážná poloha na míči zajišťuje nutnost zapojení celého středu těla. Správnou výchozí polohu na míči ukazuje obr. 5.1. Pacient sedí ve vrchní

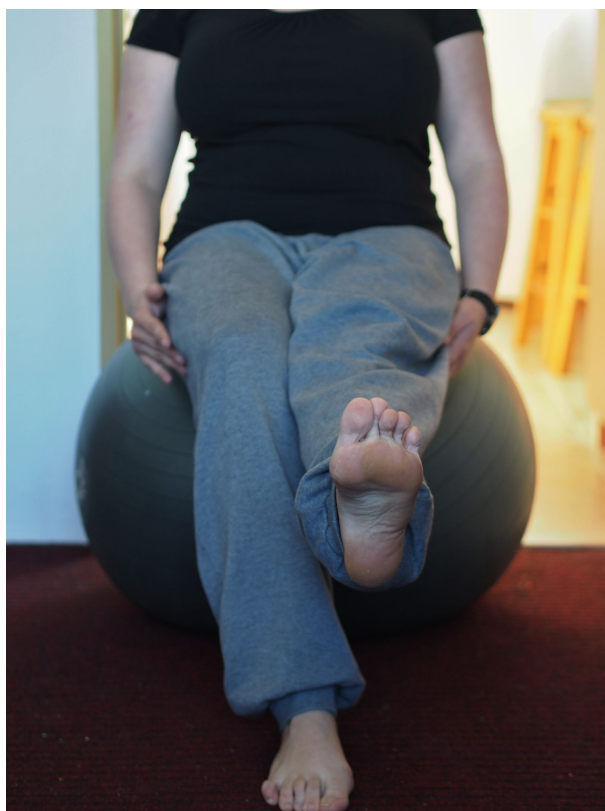


třetině míče, nikoliv na samotném vrcholu. Je potřeba zvolit z nabídky správnou velikost míče. Při správném sedu (viz obr. 5.1.) nesmí úhel mezi kyčlí, kolenem a kotníkem klesnout pod 90 stupňů. Je nutné bedlivě pozorovat postavení zad. Na pohybující se noze je detekována Z-souřadnice hlezenního kloubu. Špička nohy zůstává stále ve výchozí pozici, což vyžaduje její postupné přitahování k holeni. Očekávan je rozsah pohybu v řádu centimetrů. Celý cvik slouží ke zvýšení hybnosti v kolenním kloubu. [54]

Minimální počet opakování je 10. Při zvýšené bolestivosti je nutné cvičení okamžitě přerušit.

Nutné je podotknout, že obrázek 5.1 slouží pouze jako ilustrace správného sedu, nikoliv k demonstraci příprav cvičence pro terapeutickou hru, z důvodu nevhodně voleného oděvu. Část zakrývající kotník by detekci znemožnila nebo by vedla ke vzniku fantomů v oblasti kotníku.

## 5.2 Přednožování na míči



Obr. 5.2: Přednožování na míči

Pacient sedí na gymnastickém míči čelem k senzoru Kinectu. Výchozí pozice je stejná jako u cviku zanožování (viz obr.5.1). Pacient pohybuje dolní končetinou,

jeho zájmem je snaha o propnutí nohy v koleni. Špička nohy je přitažena k tělu, viz obr.5.2.

Senzor detekuje pohyb kotníku a kolene. Nejlepšího výsledku je ve hře dosaženo, pokud si odpovídají souřadnice Y u kotníku a kolenního kloubu. Vyžadován je zadaný počet opakování. Ten lze individuálně měnit dle výchozí fyzické kondice pacienta. Výsledek je hodnocen v procentech a přepočten na bodové hodnocení v nelineárním poměru, protože práce v prvních dvou třetinách pohybu je daleko méně náročná, než v poslední třetině. Nutné je zapojovat správně svaly středu těla, hlídat si postavení pánve, páteře a ramen. Pánev je v neutrální poloze. Páteř je vzpřímená po celou dobu cviku. Ramena směřují od uší. V průběhu zvedání nohy pacient vydechuje, nádech následuje s povolením. Při bolestivosti je nutné cvičení opět ukončit. Snažší variantou cviku je stejné cvičení na pevné podložce, například židli nebo posteli.

### 5.3 Přitahování kolen



Obr. 5.3: Přitahování kolen k hrudníku

V závěrečné fázi cvičení dochází k procvičování svalů zadní strany stehů. Pacient je vleže na zádech, činností nohou je válení míče směrem k hrudníku.

V základní pozici spočívá lýtko pacienta na míči. Úhel kotník - koleno - kyčel je pravý nebo větší.

V průběhu cviku pacient přitahuje obě kolena k hrudníku, viz obr.5.3. Vyžadována je kolmá poloha ke snímači. Detekuje se pohyb kolenních kloubů v  $x$  ose a poloha kyčle, se kterou je vykonaný pohyb srovnáván. Čím je větší rozdíl v  $X$  pozici,

tím je lepší výsledek. Cvik ukončuje shodné postavení kyčle a kolene (maximální vzdálenost v ose  $y$ , která je určena délkou stehenní kosti). Nutná je volní kontrola bederní páteře. Ruce jsou uloženy volně podél těla. Výdech je prováděn při přitažení kolen, nádech při uvolnění. Cvik je zaměřen na posílení zadní skupiny svalů stehna a zlepšení rozsahu aktivní flexe v koleni. Obojí je důležité pro každodenní činnosti.[54]

Vyžadováno je opět minimálně deset opakování cviku pro dosažení minimální efektivity. Při zvýšené bolestivosti je opět nutno cvičení ukončit. Důležité je u pacienta vypěstovat rozlišení mírné bolesti, kterou je nutné překonávat, od bolesti zvýšené, která je podmínkou k ukončení cvičení. Mírnou bolest pomáhá překonávat motivační charakter terapeutické hry.

## 5.4 Předpoklady

V terapeutické hře je počítáno se spolupracujícím a poučeným pacientem. Poučení pacienta spočívá v předání základní znalosti o sedu na gymnastickém míči a principu držení zpevněného středu těla. Je nutno pacienta navést k nošení oblečení nezakrývajícího koleno nebo oblečení obtaženého k pacientově postavě. Chyba detekce při volném oděvu dosahuje řádu procent, což je eliminováno přepočtem procent výkonu na body v úzké pětistupňové škále. Poučení pacienta provádí fyzioterapeut při prvních cvičeních.

Hra je navržena pro cvičení na gymnastickém míči, proto je míč nezbytnou součástí vybavení nutného k terapeutické hře.

## 5.5 Uživatelské prostředí

Po spuštění aplikace se na monitoru zobrazí vstupní formulář (obr. 5.4).

Do formuláře je nutné zadat jméno a příjmení pacienta, datum vyšetření a datum narození (viz obr. 5.4 pod číslem 1 a obr. 5.5 ). Datum narození pacient uvádí k jednoznačné identifikaci. Ve spojení se jménem je téměř nulová pravděpodobnost výskytu stejného jedince. S rodným číslem není nakládáno z důvodu ochrany osobních údajů pacienta a také nadbytečnosti této informace v domácím prostředí. Datum měření umožňuje pacientovi sledovat své zlepšení v čase. Pokud pacient neuvede výše požadované údaje, je na skutečnost upozorněn ve vyskakovacím okně. Dle vlastního uvážení může chybějící údaje opravit, nebo po odkliknutí pokračovat ve hře v anonymním módu, kde se do proměných jméno a příjmení načte defaultní hodnota "Name" a "Surname". Jako datum narození a vyšetření se v takovémto případě vyplní aktuální čas. Nevyplněním iniciál ale pacient přichází o možnost porovnávat své výsledky v čase, proto se tento postup nedoporučuje.

The screenshot shows a web form titled 'Vstup'. It contains the following elements:

- 1**: Points to the 'Jméno:' (Name) text input field.
- 2**: Points to the 'Příjmení:' (Surname) text input field.
- 3**: Points to the 'START' button.
- 4**: Points to the 'Počet opakování:' (Number of repetitions) input field, which has the value '10'.
- 5**: Points to the 'Rehabilitovaná končetina:' (Rehabilitated limb) section, which includes radio buttons for 'Levá' (Left) and 'Pravá' (Right).
- 6**: Points to the 'Dominantní končetina:' (Dominant limb) section, which also includes radio buttons for 'Levá' (Left) and 'Pravá' (Right).

Other visible fields include 'Datum narození:' (Date of birth) and 'Datum měření:' (Measurement date), both set to 'pátek 13. května 2016'. There are also three checkboxes: 'Zanožování', 'Přednožování', and 'Přítahování kolene'.

Obr. 5.4: Vstupní formulář

This screenshot shows the same 'Vstup' form, but with the following changes:

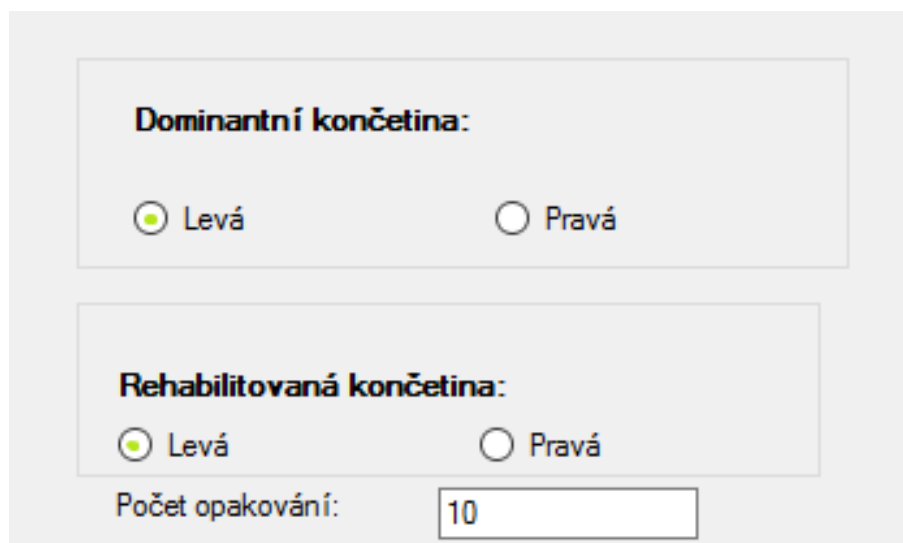
- The 'Jméno:' field contains the text 'Name'.
- The 'Příjmení:' field contains the text 'Sumame'.
- The 'Datum narození:' field is set to 'pátek 29. dubna 2016'.
- The 'Datum měření:' field is set to 'středa 18. května 2016'.

The other elements, including the 'START' button and the limb selection sections, are not visible in this cropped view.

Obr. 5.5: Vyplnění iniciál pacienta

Dotazem je zjišťováno, která dolní končetina bude rehabilitována a která je pacientova preferenční končetina (viz obr. 5.4 pod číslem 6 a 5). Preferenční končetinu, pokud ji pacient nezná, lze zjistit při sestupování zády ze schodku, případně po postrčení silným podnětem v nestřeženém okamžiku. Pro obnovení stability z reflexních důvodů vykročí preferenční nohou. Oba případy je vhodné alespoň pětikrát zopakovat. Se zjištěním preferenční končetiny pacientovi pomůže odesílající lékař. Dále se udává počet opakování cviku. Předdefinovaná zátěž je 10 opakování (viz obr. 5.4 pod číslem 4). Při nižším počtu opakování není terapie efektivní. Zátěž

je vhodné s postupující terapií zvyšovat.[54]



The image shows a user interface for selecting limbs and repetition count. It consists of two main sections, each with a title and two radio button options. The first section is titled "Dominantní končetina:" and has radio buttons for "Levá" (selected) and "Pravá". The second section is titled "Rehabilitovaná končetina:" and also has radio buttons for "Levá" (selected) and "Pravá". Below these sections is a label "Počet opakování:" followed by a text input field containing the number "10".

Obr. 5.6: Výběr preferenční a rehabilitované končetiny

Volba preferenční a rehabilitované končetiny je ošetřena použitím výběrového tlačítka (viz 5.6), jehož vlastností je, že v definované skupině ovládacích prvků může být aktivní pouze jeden. Předdefinovaná je levá končetina, cvičení opačnou nohou vede k selhání aplikace.

Pro výběr her slouží spodní část vstupního formuláře (viz obr. 5.4 pod číslem 2). Pro výběr hry se používá kontrolka checkbox, v českém ekvivalentu zaškrtačací rámeček. Lze zvolit libovolnou jednu, dvě nebo tři hry. Implicitně není označena žádná hra. Při spuštění bez výběru hry se program ukončí. Při výběru více než jedné hry proběhne přechod mezi hrami v pořadí, v jakém jsou vypsány ve formuláři (zanožování-přednožování-přitahování kolen). Přechod je možný až po kliknutí na ovládací prvek v právě ukončované hře. Optimálně by měl pacient projít všechny tři hry, protože tak je terapie nejefektivnější a dojde k procvičení všech svalů sloužících ke stabilizaci kolene. Ke spuštění vybrané hry nebo vybraných her dojde po stisku tlačítka s nápisem "START" (viz obr. 5.4 pod číslem 3).

## 5.6 Motivace pacienta

Krátkodobá motivace pacienta je vytvořena zpětnou vazbou probíhající v reálném čase na monitoru (viz obr.6.3 a 6.4). Pro dlouhodobou motivaci pacienta ke zvyšování rozsahu hybnosti je možností každý nový stupeň rozsahu bodově hodnotit a body teprve považovat za dosažený výsledek. Body by subjekt nezískával za každý provedený pohyb, ale až za každý stupeň rozsahu pohybu získaný navíc.

Dalším faktorem pro dlouhodobou motivaci je možnost sledovat svůj vývoj v čase. Informace o aktuálních výsledcích by se navázala na aktuální hráčský profil, propojila se s údajem o datu provádění cvičení a tyto informace uložila v přehledné statistice. Aktivita pacienta poroste a sledování výsledků přinese ochotu pokračovat ve cvičení.

Zvýšení motivace je možné zrealizovat i účastí v patientské lize. Po propojení se serverem lze výsledky dosažené pacienty navzájem porovnávat. Hlavním hodnoceným parametrem by měla být splněná procenta terapeutického plánu. Terapeutický plán by do aplikace zadával terapeut. Zadáním plánu by ve hře nedocházelo k získávání bodů při častějším cvičení nebo jiných praktikách vedoucích k nevhodnému zatěžování rehabilitovaného kloubu.

Pro porovnání by bylo vhodné hráče rozdělovat do skupin dle postižení, například dle aktuálně platné mezinárodní klasifikace nemocí (MKN 10). Rozlišení mezi pacientem po operaci předního zkříženého vazů a náhradě kolenního kloubu by zvýšilo porovnatelnost dosažených výsledků. S daty, jakožto citlivými informacemi o pacientech, by muselo být nakládáno obzvláště obezřetně a zajistit jim speciální kódovaný prostor.

Pro vybudování ligy by bylo nutné standardizovat využívané vybavení, pozice pacientů, vzdálenosti od senzoru a datové výstupy.

Přínosem ligy pro terapeuta by byl zisk vyhodnotitelných dat od pacientů. Došlo by k usnadnění individualizace terapeutických plánů v rehabilitační péči.

Největší zvýšení motivace však principu hry dodává zapojení virtuální reality, které částečně potlačuje bolest při cvičení.

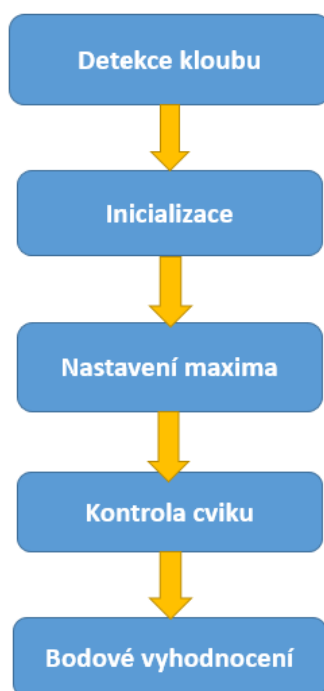
## 6 TERAPEUTICKÁ HRA KOLÍNKO

Kapitola detailněji popisuje realizaci každé hry. Hry vycházejí ze stejného herního prostředí, ve kterém je obsaženo okno s videonávodem ke správnému cvičení. Dále se nachází jedna z forem biofeedbacku a aktuální výsledek pacienta. Po ukončení daného počtu opakování je pacientovi zobrazena i přehledová tabulka s výsledky za aktuální cvičení.

Cílem každé hry je fyzioterapeuticky správné cvičení. Proto je nutná kontrola i v okolních kloubech a varování při nesprávném cvičení. Hra i její vyhodnocování probíhá v reálném čase. Při optimálním průběhu terapie jsou zvoleny všechny tři hry.

### 6.1 Realizace hry - Zanožování k míči

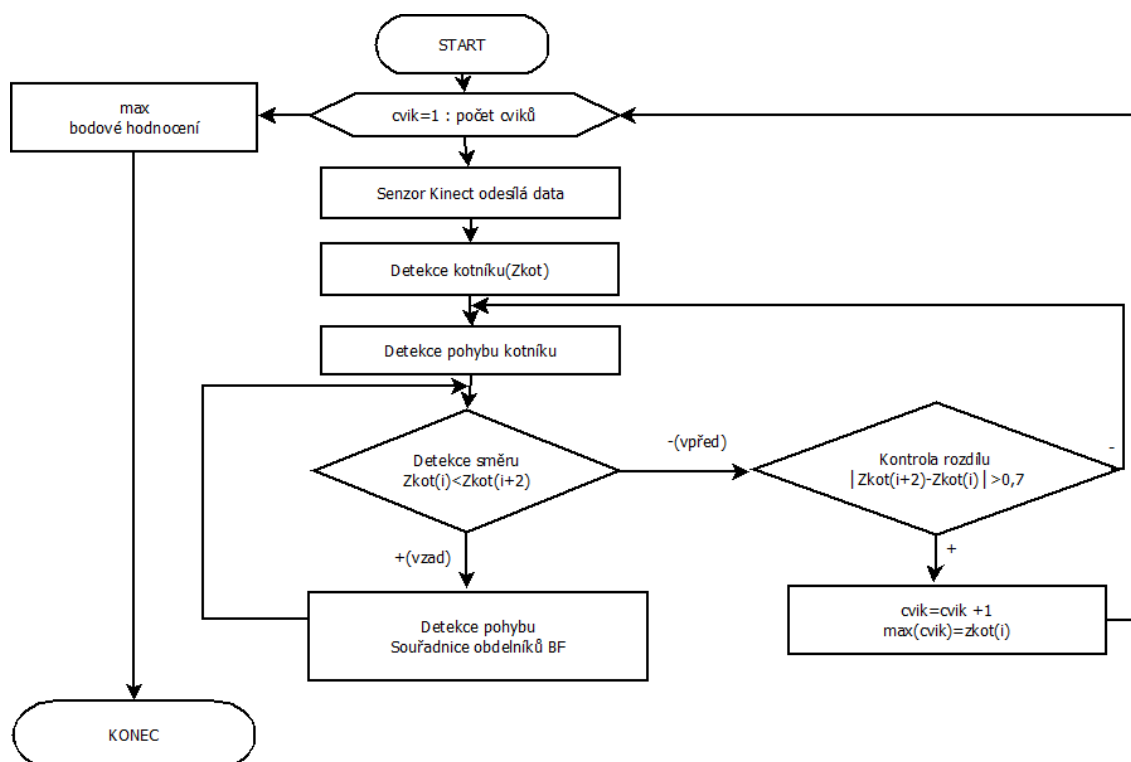
Jako první je zahájena hra se zanožováním dolní končetiny. V první hře se zapojují hlavně svaly přední strany stehna, kontroluje jim velký sval lýtkový. Schéma na obr.6.1



Obr. 6.1: Schéma hry zanožování

popisuje princip samotné hry. Cílem hry je se dotknout patou míče.

Ve hře je sledován pohyb souřadnice Z kotníku. Poloha pro tento cvik je popsána v kapitole 5.1.

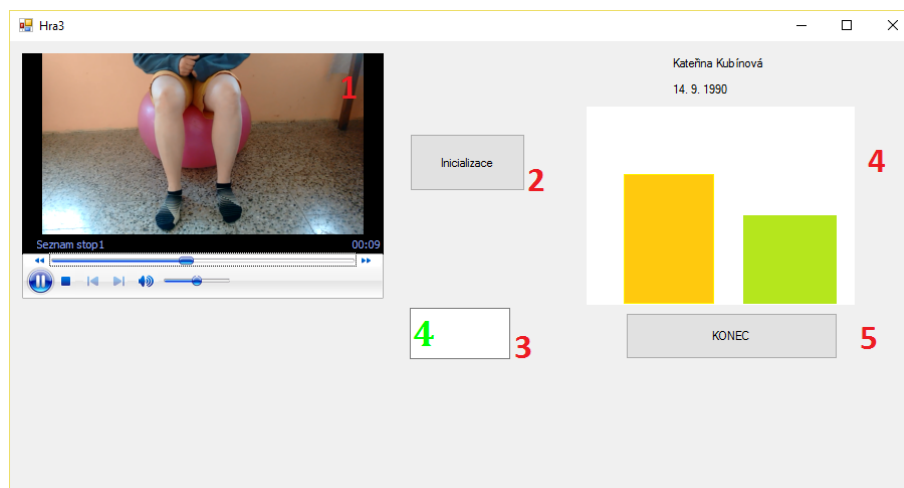


Obr. 6.2: Vývojový diagram hry zanožování

Ve vývojovém diagramu (obr. 6.2) je v hrubých obrysech zpracován postup pro zpracování dat z Kinectu. Diagram je zobrazen jak pro kontrolu samotného cviku, tak pro inicializaci. Po kontrole počtu opakování jsou filtrována data z Kinectu na souřadnici Z kotníku. Z dat je detekován pohyb a především jeho směr. Dokud se noha posouvá vzad, detekce pokračuje. Pokud se směr pohybu změní na směr vpřed, je hodnocena vzdálenost, o kterou se noha posunula. Když je větší než 0,7 lze pohyb hodnotit jako volný. Hodnotu 0,7 jsem stanovila experimentálně. Celé opatření působí jako ochrana před předčasným ukončením cviku, při sebemenším zaváhání pacienta. Během detekce dochází k současnému vykreslování obdélníků pro biofeedback podle kap. 6.3.2 .

Základem hry je inicializace rozepsaná v podkapitole 6.1.1. Po inicializaci je již stanoven maximální rozsah pohybu, kterého má cvičená noha dosáhnout. Dále probíhá kontrola každého jednotlivého cviku. Výsledek je pacientovi prezentován v číselné podobě během cvičení a po odcvícení všech her v přehledné tabulce. Na obrázku 6.3 je předvedeno prostředí této hry. V levém okně ve smyčce probíhá video, které zobrazuje správný postup cviku. Hra se od ostatních odlišuje nutností inicializace, ve které je pacient vyzván k pěti opakováním cviku zdravou nohou.





Obr. 6.3: Prostředí hry zanožování

### 6.1.1 Referenční pohyb

Z inicializačního cvičení je vyhodnocena maximální vzdálenost v ose  $z$ , která vede k dosažení patou na míč. Pro výpočet je použita eukleidovská vzdálenost souřadnice  $Z$  u kotníku a kolene. V okamžiku, kdy se detekuje pohyb kotníku vzad je zahájen jeden cvik. V maximální kladné výchylce od vstupní pozice je pozice vyhodnocena jako cílová pro zdravou nohu a následně ještě čtyřikrát ověřena. Pro maximální dosažitelnou vzdálenost rehabilitované nohy je tedy jako referenční hodnota brána dráha, kterou v ose  $z$  urazí noha zdravá.

Toto je vzorcem popsáno v rovnici 6.1. Proměnná  $cil$  označuje cílovou vzdálenost mezi výchozí polohou ( $Z_0$ ) a míčem ( $Z_{max}$ ).

$$cil = \sqrt{(Z_0 - Z_{max})^2} \quad (6.1)$$

dále je prostým průměrem z počtu pěti opakování vypočten celkový cíl.

$$cil_{celk} = \sum cil / 5 \quad (6.2)$$

Průměrování je zařazeno protože gymnastický míč jako nestabilní podložka neustále pracuje a posouvá se. A to i při cvičení. Průměrování má vést k eliminaci této chyby. Po odcvičení všech pěti opakování se ukončí inicializace a začíná samotná hra.

### 6.1.2 Průběh hry

Ve hře je nadále cvik definován jako pohyb od odsouhlasených  $Z$  souřadnic kolene a kotníku, ve směru kladné výchylky. To popisuje vzorec 6.3, kde jmenovatel představuje souřadnice rehabilitované nohy a  $cil$  hodnotu vzdálenosti, kterou při stejném

cviku urazí zdravá noha. Výsledný podíl je násoben číslem 100 pro získání procentuální reprezentace,  $(Z_0r)$  a  $(Z_{max}r)$  jsou hodnoty souřadnice Z reálného cvičení.

$$procenta = \frac{\sqrt{(Z_0r - Z_{max}r)^2}}{cil_{celk}} * 100 \quad (6.3)$$

### 6.1.3 Biofeedback

Pro předání zpětné vazby pacientovi je zvoleno vyplňování obdélníků na obrazovce. Funkce této zpětné vazby je podrobně popsána v kapitole 6.3.2 u hry přitahování kolen. Detekce takto malého pohybu není silnou stránkou Kinectu, ale cvik bylo nutné zařadit z důvodu dokončení cvičení v uzavřeném svalovém řetězci. Občasné selhávání detekce vedlo k vykreslování zborceného kostlivce, viz obr.4.7. To by mohlo být ale laikem velmi špatně pochopitelné a biologická zpětná vazba by neměla žádný účinek. Proto je ve hře zanožování jako zpětná biologická vazba zvoleno vykreslování dvou obdélníků. Jeden představuje 100% výkonu, kterého je možno dosáhnout. Velikost druhého sloupce se mění v závislosti na velikosti aktuálně provedeného pohybu.

### 6.1.4 Bodové hodnocení

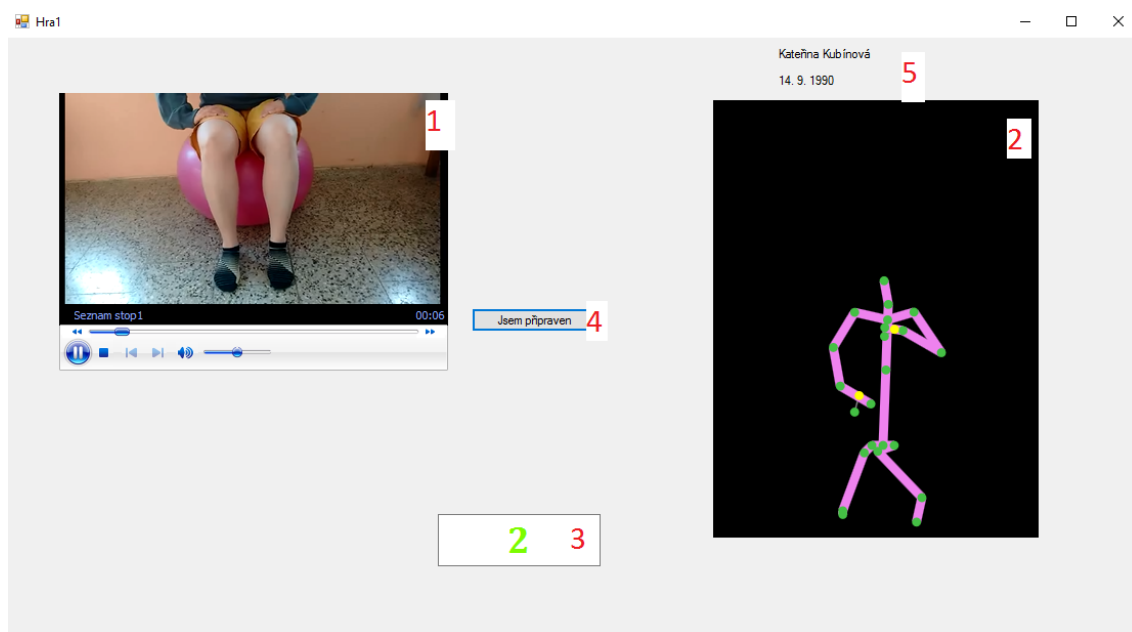
Zcela výjimečně je ve hře zanožování volen lineární převod výsledných procent na body. Bodová škála je pětistupňová. Z toho lze odvodit, že na každý bod je možné využít 20 % variability pohybu. Body za poslední provedený cvik jsou pacientovi přímo předávány v textovém poli na obrazovce. Bodové hodnocení tvoří část biofeedbacku. Pro lepší pochopení je biofeedback doplněn i obrazovou variantou v podobě obdélníků na obrazovce.

## 6.2 Realizace hry - Přednožování na míči

Na obrázku 6.4 je znázorněno prostředí hry. Pod číslem 1 v obr. 6.4 na obrazovce běží ve smyčce video, které pacientovi ukazuje jak má cvičit. Číslo 2 ukazuje na okno, kde se vykresluje pacientův avatar v režimu skeletal jako součást biofeedbacku. Pohled na pohybující se postavu dodá pacientovi přehled o jeho vlastním pohybu. Ve spodní části, pod číslem 3, hlásí pacientovi tabulka počet právě dosažených bodů za poslední cvik. Po stisku tlačítka s nápisem "Jsem připraven" (číslo 4) uprostřed okna zahájí Kinect inicializaci a sledování pacienta. Pro správnou inicializaci je vyžadována pacientova pozice vsedě, čelem ke snímači. Vhodné je mít střed těla zarovnan na střed kamery. Inicializace může trvat až 15 vteřin, po které by hráč měl zůstat v klidu. Průběh inicializace je viditelný na kostlivci v okně biofeedbacku.

Ve chvíli kdy je postava rozpoznána a detekována (viz kap.4.2) je zobrazen kostlivec. Pokud inicializace selže, hra zahlásí ve vyskakovacím okně chybu a ukončí se.

Dále hráč začne provádět cvik, který vidí na obrazovce. Tempo je libovolné. Hra se ukončí až po dosažení počtu opakování, které má pacient nastaveno ve vstupním formuláři.



Obr. 6.4: Prostředí hry přednožování

Celý princip hry shrnuje schéma na obrázku 6.5. Ve hře probíhá detekce kloubů přesně podle kap.4.2. Detekováno je koleno a kotník. Dalším krokem je nastavení dosažitelného maxima pohybu, které představuje vzdálenost kotníku a kolene v základní pozici. Tento blok je popsán pomocí rovnic v podkapitole 6.2.1. Následuje samotné cvičení pod kontrolou senzoru. Během cvičení je pacientovi předkládán výsledek posledního ukončeného cviku a biofeedback v podobě popsané v podkapitole 6.2.2. Po dosažení počtu opakování nastaveném ve vstupním formuláři je hra ukončena. Výsledky jsou předány do konečného vyhodnocení. Případně je zahájena hra další.

### 6.2.1 Průběh hry

V průběhu cvičení dochází k vyhodnocování  $y$  souřadnice kotníku a jeho vzdálenosti od  $y$  souřadnice kolene. Pro výpočty se používá vzorců 6.4 a 6.5. Proměnná  $vzda_l_a$  představuje výslednou vzdálenost mezi  $Y$  souřadnicemi kotníku ( $Y_{kol}$ ) a kolene ( $Y_{kot}$ ).

$$vzda_l_a = \sqrt{(Y_{kol} - Y_{kot})^2} \quad (6.4)$$



Obr. 6.5: Schéma hry přednožování

$$procenta = 1 - \frac{vzda_l(min)}{vzda_l(max)} * 100 \quad (6.5)$$

V rovnici 6.4 je vypočtena euklidovská vzdálenost mezi kotníkem a kolenem. V ose  $y$  dosáhne maxima přesně v kolmém postavení nohy, což je výchozí pozice u tohoto cviku. Na procenta z požadovaného výkonu pak minimální vzdálenost přepočteme dle rovnice 6.5.

### 6.2.2 Biofeedback

Ve hře přednožování funguje jako zpětná vazba pohyb uměle vytvořeného kostlivce po obrazovce. Kostlivec vzniká jako spojnice detekovaných kloubů. Kompletní je při zapojení všech 26 kloubů do detekce. V reálném čase může pacient vidět svůj pohyb a tím i kontrolovat, zda cvik provádí správně.

### 6.2.3 Bodové hodnocení

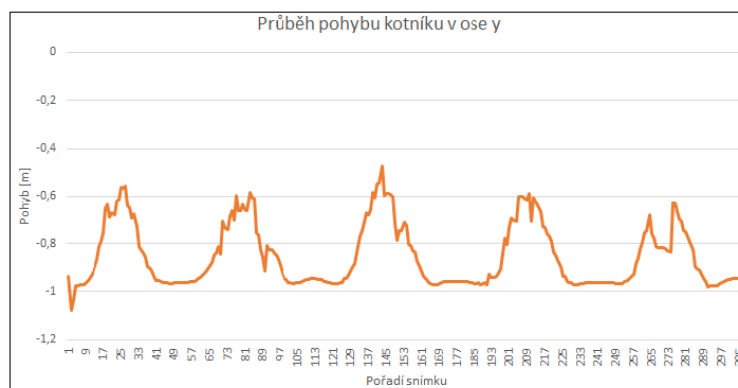
Pro celkové vyhodnocení hry jsou úspěchy pacienta přepočteny z procent výkonu na body. Ve cviku přednožování není hodnocení lineární, protože provádění cviku v prvních dvou třetinách pohybu je méně náročné než v třetině poslední. Pro převod

mezi procenty výkonu a body je využito tabulky 6.1, kde levý sloupec popisuje rozmezí procent výkonu a pravý sloupec přiřazené bodové hodnocení. Bodové hodnocení se zobrazuje kontinuálně po provedení cviku ve spodní části herního formuláře (viz obr.6.4).

Tab. 6.1: Přehled bodového hodnocení cviků

| Procenta výkonu | Bodové hodnocení |
|-----------------|------------------|
| 0-30 %          | 1                |
| 31-50 %         | 2                |
| 51-70 %         | 3                |
| 71-85%          | 4                |
| 86-100%         | 5                |

Detekce kolene i kotníku je při frontální poloze pacienta a snímače velmi přesná. Hra je oprostěna od rušení vlivem posunu do stran, protože je počítáno jen s jedním parametrem a to pohybem v ose y. Detekce v této hře je nejspolehlivější. Chyba, která může nastat, je špatná inicializace, pokud si pacient nevhodně postaví Kinect a míč. To pacienta uvede mimo detekovatelnou oblast. Po špatné inicializaci je hra ukončena s chybovou hláškou. Po stisku tlačítka "KONEC" je dle předvoleb zahájena další hra nebo ukončen program. V grafu 6.6



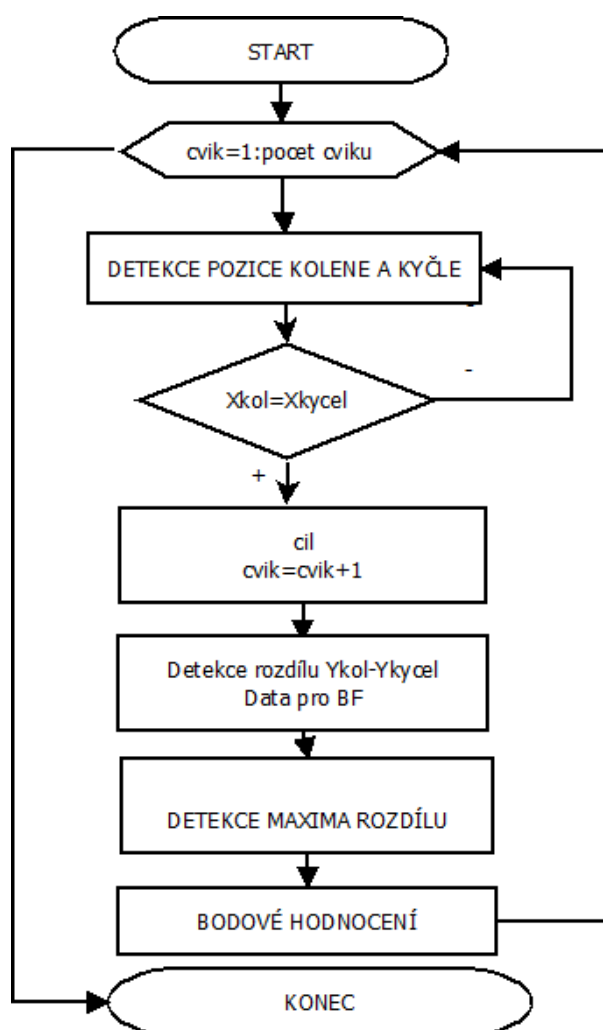
Obr. 6.6: Průběh souřadnice Y kotníku ve hře přednožování

je zobrazen průběh souřadnice Y kotníku při jednom cyklu cvičení s přednožováním. Tato informace by mohla být zajímavou pro lékaře indikujícího rehabilitační péči. Dále je informace využitelná pro porovnání s výsledky z laboratoře chůze. V grafu 6.6 lze vidět pět cvičicích cyklů. Ze snímkovací frekvence 30 snímků za sekundu (viz kap. 4.1) lze vypočítat, že pokud je v analyzovaném souboru 307

snímků, cvičení trvalo přibližně 10 sekund. V pátém cvičícím cyklu je zřetelný pokles z maximální úrovně a rychlý opětovný návrat k maximu. Jako vysvětlení tohoto jevu se nabízí vliv motivace biofeedbackem na dokončení cviku.

### 6.3 Realizace hry - Přitahování kolen

Hra se odlišuje vstupní inicializací vleže. Jiné poloze těla je nutno přizpůsobit technické předpoklady pro snímání kamery dle kapitoly 5.4. Pacient má nohy na míči (viz obr.5.3). Důležitá je poloha pacienta vzhledem k senzoru. Pracují současně obě končetiny.



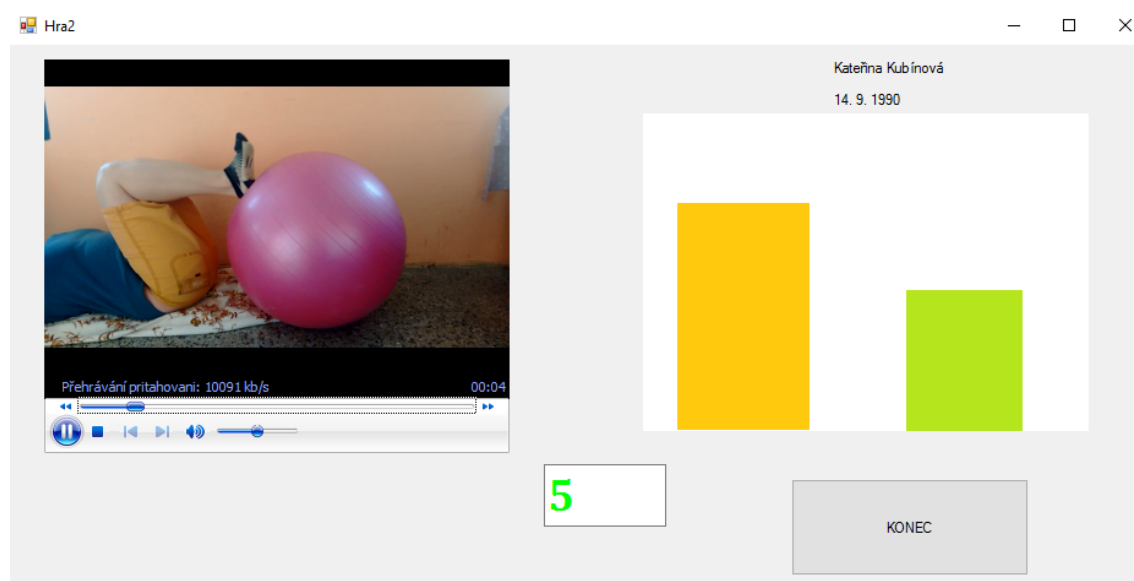
Obr. 6.7: Vývojový diagram hry přitahování kolen

Průběh hry znázorňuje vývojový diagram na obrázku 6.7. Každý cvik je zahájen v kolmé pozici kolene a kyčle. ( $X_{kycel}=X_{kol}$ ) Jejich rozdíl v této pozici se nastaví na hodnotu *cil*. A zahájí se další cvik. Ve cviku se hledá maximální vzdálenost

kolene od kyčle v ose  $y$  a ukončí se při dalším průchodu nulou. Při vyhodnocení maxima je aktuální výkon přepočten na body a zobrazen na monitor.

### 6.3.1 Průběh hry

Sledovaným parametrem je souřadnice  $X$  u kolene a kyčle. Pro inicializaci je vypočtena euklidovská vzdálenost mezi  $y$  souřadnicí kolene a kyčle v základní pozici. Za předpokladu, že je shodná jejich  $X$  pozice, vzdálenost představuje délku stehenní kosti a je považována za 100 % požadovaného výkonu. Vzdálenost  $X$  kolene a  $X$  kyčle je nastavena na hodnotu *cíl*. To ale nevypovídá o fyziologicky dosažitelné poloze kolene. Úhel rameno - kyčel - koleno fyziologicky nikdy nedosáhne 0 stupňů.



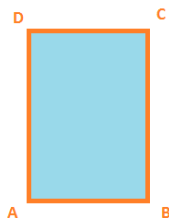
Obr. 6.8: Prostředí hry přitahování kolen

Výpočet procent dosaženého výkonu se řídí rovnicí 6.6. Proměnná procenta vyjadřuje poměr reálné vzdálenosti souřadnic  $X$  u kolene ( $X_{kol}$ ) a kyčle ( $X_{kycel}$ )

$$procenta = \frac{\sqrt{(X_{kol} - X_{kycel})^2}}{cíl} \quad (6.6)$$

### 6.3.2 Biofeedback

Prostředí v poslední hře je shodné s hrou zanožování (viz kap. 6.1). Kvůli občasně selhávající detekci je zpětná vazba nahrazena vykreslováním obdélníků. Pro vykreslení obdélníku byla zvolena velikost 100\*50 obrazových bodů. Souřadnice A, B, C, D pro první obdélník reprezentující 100% dosažitelného výkonu jsou tedy A[50,0], B[100,0], C[100,100], D[50,100].



Obr. 6.9: Obdélník s popisem vrcholů

Pro sestavení druhého obdélníku je využit přepočítání na aktuální hodnotu. Používá se k tomu výpočet procent z rovnice 6.6. Poté se pozice bodu C a D změní v závislosti na procentech výkonu na C [100,procenta] a D [50,procenta].

Znamená to, že v případě kolen maximálně přitažených k bradě bude velikost obou obdélníků srovnatelná. Naopak v základní pozici bude rozdíl mezi výškami jednotlivých obdélníků nejvíce markantní.

Sledování cvičence a zobrazení biofeedbacku probíhá v reálném čase.

### 6.3.3 Bodové hodnocení

Pro převod mezi výsledkem v procentech a body je použita tabulka 6.2. Body jsou pacientovi zobrazovány na monitor po provedeném cviku.

Tab. 6.2: Přehled bodového hodnocení cviků

| Procenta výkonu | Bodové hodnocení |
|-----------------|------------------|
| 0-10 %          | 1                |
| 11-20 %         | 2                |
| 21-40 %         | 3                |
| 41-75%          | 4                |
| 76-100%         | 5                |



## 7 VYHODNOCENÍ HRY

Terapeutická hra pro rehabilitaci kolene umožňuje zábavnější formu cvičení. I tato hra má svá omezení (viz kap. 7.1), ale též skvělé výsledky hodnocené z hlediska bodových zisků při cvičení (viz kap.7.2) ale i kladné hodnocení od uživatelů, vyplývající z vyplněných dotazníků (tab.7.3).

### 7.1 Omezení hry

Ve hře chybí ošetření pro pacienty s amputovanou končetinou. Z logiky cvičení na gymnastickém míči jsou tito pacienti vyloučeni. Z důvodu nosnosti většiny gymnastických míčů do 130 kg nebyla taktéž hra testována na subjektech s morbidní obezitou. Náhradní možností by bylo cvičení na židli, kde ale nutně nedochází k zapojování svalů středu těla. Hra není vhodná pro pacienty s poruchou stability, například po dětské mozkové obrně.

### 7.2 Dosažené přínosy hry

V navržené terapeutické hře dochází k rehabilitaci kolene. Primárním cílem je uživatelská přívětivost a přínos pro domácí péči pacienta. Práce byla tedy hodnocena pomocí zpětné vazby od potenciálních uživatelů této hry. Po zkušebním cvičení byl subjekt zkoumán pomocí dotazníkového šetření. K porovnání výkonnosti jsou uvedeny i výsledky jednotlivých subjektů dosažené ve hrách.

Tab. 7.1: Přehled dosažených výsledků testovaných subjektů

| ID | Hra 1(získané body) | Hra 2     | Hra 3     |
|----|---------------------|-----------|-----------|
| 1  | 5 4 5 4 5           | 5 5 5 5 5 | 5 4 4 4 4 |
| 2  | 5 4 5 4 5           | 5 5 5 5 5 | 5 4 4 4 4 |
| 3  | 5 4 5 4 5           | 5 5 5 5 5 | 5 5 4 4 4 |
| 4  | 5 4 5 4 5           | 5 5 5 5 5 | 5 4 4 4 4 |
| 5  | 5 4 5 4 5           | 5 5 5 5 5 | 5 4 4 4 4 |
| 6  | 5 4 5 4 5           | 5 5 5 5 5 | 5 4 4 4 4 |
| 7  | 5 4 5 4 5           | 4 3 4 2 5 | 3 3 3 3 3 |
| 8  | 5 5 5 5 5           | 5 5 5 5 5 | 3 2 2 2 3 |
| 9  | 5 4 5 4 5           | 5 5 5 5 5 | 5 4 2 3 3 |
| 10 | 5 4 5 4 5           | 5 5 5 5 5 | 5 4 4 4 4 |

Tabulka 7.1 uvádí body získané testovanými subjekty při zkušební hře. Při testování byl nastaven počet opakování na pět a zvoleny všechny tři hry. V tabulce sloupeček ID popisuje pořadí pacienta ve studii. Ve sloupečku Hra 1 jsou počty bodů získané ve hře zanožování. Sloupeček Hra 2 popisuje body získané při přednožování. Třetí sloupeček uvádí počty bodů, kterých probandi dosáhli ve hře přitahování kolen.

Účelem tabulky 7.2 bylo vyhodnotit fakt, že náročnost všech her je stejná. Po výpočtu mediánu a průměru bodů pro jednotlivé hry je zřejmé, že výsledek tuto hypotézu nepotvrdil.

Tab. 7.2: Výpočty na výsledcích bodového hodnocení her

| Pořadí hry | Medián | Průměr |
|------------|--------|--------|
| 1          | 5      | 4,64   |
| 2          | 5      | 4,86   |
| 3          | 4      | 3,84   |

## 7.3 Vyhodnocení dotazníků

V dotazníku se hráči vyjadřovali k právě dokončené hře (viz Dotazník, příloha A). Skupina dobrovolníků obsahovala 5 mužů a 5 žen rozložených do všech věkových skupin zmíněných v dotazníku A. Tři dobrovolníci již podstoupili operaci kolenního kloubu. Sedm subjektů absolvovalo léčebnou tělesnou výchovu. Pět subjektů označilo cvičení za zábavné, čtyři za spíše zábavné a jeden za spíše nezábavné. Fyzicky vyčerpan se cítil jeden subjekt. Pět dotazovaných odpovědělo, že cvičení spíše odpovídalo jejich fyzické zdatnosti. Zbylých pět se o této skutečnosti vyjádřilo negativně. Další pokračování ve cvičení by uvítali tři tazatelé. Bodové hodnocení bylo motivací do dalšího cvičení pro deset dotazovaných. Ovládání programu se zdálo snadné sedmi dotazovaným.

Přehledně lze odpovědi porovnat v tabulce 7.3.

Tab. 7.3: Přehled výsledků dotazníků

| Číslo | Otázka                                                                 | Odpovědi  |                |                 |               |               |           |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------|
| 1     | Jste:                                                                  | Muž<br>5  |                |                 | Žena<br>5     |               |           |
| 2     | Spadáte do věkové skupiny:                                             | 0-14<br>1 | 15-29<br>3     | 30-44<br>1      | 45-59<br>2    | 60-74<br>1    | > 75<br>2 |
| 3     | Prodělala jste operaci kolenního kloubu?                               | Ano<br>3  |                |                 | Ne<br>7       |               |           |
| 4     | Absolvoval/a jste klasickou léčebnou tělesnou výchovu?                 | Ano<br>7  |                |                 | Ne<br>3       |               |           |
| 5     | Bylo pro vás cvičení s programem zábavné?                              | Ano<br>5  | Spíše ano<br>4 | Nelze říct<br>0 | Spíše ne<br>1 | Vůbec ne<br>0 |           |
| 6     | Cítíte se po cvičení fyzicky vyčerpan/a?                               | Ano<br>1  | Spíše ano<br>0 | Nelze říct<br>0 | Spíše ne<br>2 | Vůbec ne<br>7 |           |
| 7     | Odpovídalo cvičení vaší fyzické zdatnosti?                             | Ano<br>0  | Spíše ano<br>5 | Nelze říct<br>0 | Spíše ne<br>5 | Vůbec ne<br>0 |           |
| 8     | Uvítal/a byste další pokračování ve cvičení?                           | Ano<br>3  | Spíše ano<br>0 | Nelze říct<br>0 | Spíše ne<br>4 | Vůbec ne<br>3 |           |
| 9     | Byl pro Vás číselný výsledek na obrazovce motivací do dalšího cvičení? | Ano<br>10 | Spíše ano<br>0 | Nelze říct<br>0 | Spíše ne<br>0 | Vůbec ne<br>0 |           |
| 10    | Ovládal se program snadno?                                             | Ano<br>7  | Spíše ano<br>0 | Nelze říct<br>2 | Spíše ne<br>1 | Vůbec ne<br>0 |           |

## 7.4 Technické hodnocení hry

V technickém pohledu je vhodné hru zhodnotit z hlediska spolehlivosti, rychlosti a přesnosti.

Všechny tyto vlastnosti jsou dány schopností konzoly Kinect hodnotit pohyb. Rychlost je velmi přijatelná, závisí pouze na snímkovací rychlosti, která dosahuje 30 snímků za sekundu.

Přesnost je dána schopností senzoru detekovat pozice kloubů. Vzdálenosti v osách  $x$  a  $y$  se měří v řádu desetin milimetru. Horší kvality dosahuje hloubková detekce, která dosahuje pouze centimetrové přesnosti. Všechny dosahované pohyby jsou hodnoceny v centimetrech, a tak je přesnost detektoru považována za dostatečnou. Spolehlivost správné detekce je pro koleno značně omezená. To dokládá obr. 4.8, kde lze jednoznačně určit, že šance na správnou detekci kolene je pod průměrem pro ostatní klouby.

## 8 DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Cílem této kapitoly je porovnat výsledky dosažené při vývoji terapeutické hry (viz kap.8.1). V podkapitole 8.2 jsou popsány možnosti využití terapeutické hry v klinické praxi. Třetí část popisuje možnosti dalšího rozšíření hry pro klinický provoz. Poslední část popisuje hlavní přínosy terapeutické hry.

### 8.1 Porovnání s existujícími projekty

Cílem této podkapitoly je porovnat nově vytvořenou hru s existujícími projekty. Metoda rehabilitace s Kinectem One for Windows je relativně nová, a proto ani komerčně dostupných produktů není mnoho. Častěji se lze setkat s terapeutickými programy pro konzoli XBox360. Řada lékařů do terapeutických her zařazuje i sportovní hry pod dozorem Kinectu, například bowling. Důvodem pro zařazení je ale spíše rehabilitace sociální, například u dětských onkologických pacientů [17]. Z tohoto hlediska by bylo vhodné do budoucna vyvinout možnost skupinového cvičení osob. Senzor Kinect je schopen snímat až šest osob, tudíž by terapie mohla mít pozitivní sociální vliv na skupinu.

Velkou výhodou všech her spojených se senzorem Kinect je to, že odpadá nutnost použití elektrod. Optická kontrola pacienta přináší pohodlí na straně terapeuta i pacienta. Pacient se cítí méně stresovaný. Terapeut se může věnovat individuálnímu cvičení se spolupracujícím a lépe poučeným pacientem. [43]

Senzor Kinect je na trhu se zdravotnickou technikou považován za levné a přenosné zařízení. Nákup příslušného počtu kusů pro nemocnici by finančně neohrozil její fungování. Nemocnice nebo zdravotní pojišťovna by dále mohla pacientům zapůjčovat zařízení Kinect s příslušným programovým vybavením do domácího prostředí za přiměřený poplatek.

Stále probíhá vývoj nových a lepších her. Většina terapeutických her se ale koncentruje na práci s horní končetinou. Cílovou skupinou pro vývojáře stále jsou lidé seniorského věku. Příkladem jsou hry na zotavení pacientů s mozkovou mrtvicí (CMP). [39] Cílem terapeutické hry pro pacienty s CMP je ovládat virtuální nástroje pomocí předpažené končetiny. Ve hře je několik stupňů obtížnosti.

Dalším příkladem je hra vyvinutá pro dětské pacienty s autismem, která je učí číst výrazy z tváří lidí. Na povel mají předvést udávanou grimasu, Kinect detekuje jejich tvář a vyhodnocuje úspěchy a neúspěchy.[48]

Lze tedy tvrdit, že terapeutická hra úzce specializovaná na kolenní kloub nemá přímou konkurenci. Tento jev si vysvětlují novostí produktu Kinect One for Windows a zatím nedostatečně zpracovanou detekcí ve složité oblasti dolních končetin.

## 8.2 Možnosti využití navržené hry ve zdravotnictví

Navržená terapeutická hra je zaměřená převážně na domácí rehabilitaci pacienta. Pro možnost využití ve zdravotnickém zařízení by bylo nutné ověřit výsledky na vyšším počtu pozorovaných osob. Pro zvýšení přesnosti detekce a výpočtů obsažených ve hře by bylo nutné standardizovat vzdálenost pacientů od sledovacího zařízení. Kinect má rozsah pole od 0,5 do 5,0 metrů. Pro měření v domácím prostředí jsem, v závislosti na výsledcích měření, zvolila za optimální vzdálenost 2,5 metru. Dalším diskutovatelným parametrem je osvětlení ve cvičební místnosti. Přímé osvětlení směřované na koleno má vliv na přesnost měření hloubky. Taktéž nebyl ověřen vliv tělesné konstituce pacienta. Lze předpokládat, že u velmi obézních pacientů by mohla detekce kolene i kotníku selhávat. I přes robustnost funkce skeletal lze očekávat

v těchto případech komplikace.

Hra má svůj unikátní přínos v úzké specializaci na kolenní kloub. Velkým přínosem práce se zpětnou vazbou je zvýšení atraktivity samotného cvičení.

Z praktického hlediska je při využívání terapeutické hry v domácím prostředí nutno zvážit, jestli je pacient dostatečně schopen obsluhovat jak zařízení, tak hru samotnou. U starších pacientů by bylo vhodné zajistit potřebné proškolení, nebo vyhradit technika, který jim zařízení doma nainstaluje a předvede. Samotná práce s programem se při několika opakováních denně stává rutinní operací.

## 8.3 Možnosti rozšíření využití ve zdravotnictví

Pro zvýšení využitelnosti terapeutické hry ve zdravotnickém zařízení se nabízí možnosti dalšího rozšiřování nabídky her. V první řadě se nabízí možnost rozšíření pro ostatní klouby dolní končetiny. Po konzultaci s fyzioterapeutem by bylo nutné navrhnout další cviky a ty do hry vhodně implementovat.

V druhé řadě by se aplikace dala doplnit telemedicínskou nástavbou, která by zabezpečovala komunikaci mezi pacientem a rehabilitačním lékařem nebo fyzioterapeutem. Lékař by měl přehled o pokrocích pacienta svěřeného mu do péče. Mohl by mu individuálně nastavovat nové terapeutické cíle. Pro pacienta by v konečném důsledku mohla být kontrola lékařem nebo fyzioterapeutem další motivací ke cvičení.

Třetím rozšířením by se mohla stát patientská liga, která by měla vliv jak na socializaci pacientů, tak na zvyšování přitažlivosti terapie.

Poslední možností vylepšení je využití senzoru Kinect One for Windows v laboratořích chůze. Zde je zatím nejčastější technikou snímání pomocí sítě vysokofrekvenčních kamer. Přesnost senzoru Kinect se při běžných pohybech dá s touto sítí srovnávat. Jeho kvalita je nedostačující až při náročnějších pohybech jako je

výskok nebo sprint. Frekvence snímkování pro náročnější pohyby je až 1000 snímků za sekundu.[19]

## 8.4 Přínosy terapeutické hry

Terapeutická hra přináší jedinečný přínos ve svém zaměření na rehabilitaci dolních končetin. Pro porovnání v rámci skupiny jednotlivých her je dobré zmínit, že největší smysl mají jako celek, kdy dochází k rehabilitaci v kompletním svalovém řetězci. Pokud ale pacient ještě není schopen některý z výše (viz kap.5) popsaných cviků provádět, nebo provádět správně, je vhodné danou hru z rehabilitace vypustit.

Z technického hlediska nejefektivněji pracuje hra přednožování, ve které jediná chyba, ke které může dojít je, pokud při cvičení opustí pacient zónu sledovanou Kinectem. Pak se hra ukončí bez navrácení jakékoliv hodnoty. Hra zanožování má své úskalí v přesnosti hloubkové detekce. Hra přitahování kolen je silně závislá na dokonale kolmé pozici pacienta. Každá sebedrobnější odchylka vede ke špatné detekci kolen a místo současného pohybu hodnotí pohyb jen pohyb jedné končetiny a to zdánlivě náhodně volené. Při práci s míčem v tomto případě může dojít i ke vzniku fantomové detekce, kde místo cvičeného je detekován pohyb míče.

## Závěr

Práce se zabývá návrhem a realizací terapeutické hry s biofeedbackem pro rehabilitaci dolních končetin.

V první kapitole jsem shrnula poznatky o pohybovém aparátu kolenního kloubu. V práci je anatomicky popsána topologie kolenního kloubu, kinematika kolenního kloubu, nejčastější nedostatky a poškození kolenního kloubu.

Druhá kapitola se zaměřuje na rehabilitaci kolene. Po seznámení s prvky léčebné tělesné výchovy, využívané v rehabilitaci kolene, jsou v práci uvedeny možnosti rehabilitace přístrojové. Přístrojová terapie primárně neslouží k obnovování plné hybnosti v kloubu, ale především jako podpůrná terapie k tišení bolesti a zvyšování hemodynamiky postižené končetiny.

Ve třetí kapitole popisují biologickou zpětnou vazbu a využití měření fyziologických a biomechanických veličin pro rehabilitaci. Biomechanické veličiny se lépe využívají pro přímé sledování pohybu v kloubech. Nepřímo lze měřit fyziologické veličiny, například EMG, popisující činnost svalů, která k pohybu vede.

Základem dobře provedené terapeutické hry se zpětnou biologickou vazbou je dobrá, čitelná a snadno pochopitelná prezentace dat o činnosti vyšetřovaných orgánů přímo k pacientovi.

Čtvrtá kapitola popisuje virtuální realitu a přibližuje pohybový senzor Kinect One for Windows. Při hraní terapeutických her ve virtuální realitě se snižuje vnímání bolesti a zvyšuje motivace k pohybu. Optická kontrola terapeutické hry zvyšuje komfort pacienta, protože odpadá nutnost použití elektrod pro získání signálu. Způsob trojrozměrného mapování pozic kloubů umožňuje v terapeutické hře vyhodnocení vzdáleností jejich souřadnic.

V návrhu hry jsem využila poznatků o fyziologii kolenního kloubu a vybrala tři cviky prováděné v posloupnosti splňující požadavky na uzavřený svalový řetězec. Navrhla jsem i případné rozšíření na terapeutickou ligu pro zvýšení motivace pacienta.

Na základě teoretických poznatků jsem naprogramovala hru Kolínko. Hra je naprogramována v programovacím jazyce C#, za použití Kinect for Windows SDK. Využila jsem vývojové prostředí Microsoft Visual Studio 2015 s poslední verzí jazyka C#. Hra je realizována v prostředí Windows forms a je členěna do 3 cyklů nezávislých herních postupů. Po vyplnění vstupního formuláře se na monitoru zobrazí formulář s aktuálně probíhající hrou. Každou hru tvoří jeden ze sady cviků. Ve hře je pacient instruován videem ke správnému provádění cviků. Hra je schopná v reálném čase vyhodnocovat pohyb pacienta. Dodává pacientovi informaci o jeho pohybu v jedné ze dvou podob biofeedbacku na obrazovku a hodnotit úspěšnost jeho cvičení.



Způsob hodnocení pozic kloubů jejich souřadnicemi je uveden ve vzorcích, které popisují u každého ze cviků. U hry Zanožování jsem vytvořila vývojový diagram s obecným popisem realizace hry a principem zpracování dat ve hře.

Z hlediska rychlosti je navržená hra dostatečně rychlá, při využití Kinect One je rychlost aplikace dána snímkovací rychlostí Kinectu, která je 30 snímků za sekundu. Z hlediska přesnosti je hra limitována vlastnostmi použité kamery, které má v osách  $x$  a  $y$  schopnost detekce s přesností na milimetr, přičemž pohyb kolene se hodnotí v centimetrech. Schopnost hloubkové detekce v ose  $z$  je udávána v centimetrech, což už není zcela dostačující.

Zabývala jsem se přínosy hry z hlediska pacienta i terapeuta. Pokusila jsem se vyhodnotit zábavnost hry vytvořením a vyhodnocením dotazníku, který testované osoby vyplňovaly.

Kinect One for Windows lze doplnit k běžnému počítači. Výhodou využití senzoru Kinect jsou i jeho rozměry, které zajišťují snadnou přenositelnost.

Z porovnání s již existujícími projekty vyšlo, že práce je díky své úzké specializaci na kolenní kloub jedinečná. Kinect One for Windows je v terapeutických hrách používán spíše pro rozpoznávání tváří nebo detekci pohybu horních končetin.

Pro využití terapeutické hry ve zdravotnickém zařízení by bylo nutné ověřit správnost detekce na větší skupině testovaných osob a všechny protokoly pro hry standardizovat.

Terapeutická hra má pozitivní vliv na motivaci pacienta. Využitím domácího prostředí je komfortní pro pacienta a nezatěžuje nemocnice a zdravotní pojišťovny.

# LITERATURA

- [1] ABHIJIT JANA. *Kinect for Windows SDK programing guide: build motion-sensing applications with Microsoft's Kinect for Windows SDK quickly and easily*. New Edition. Birmingham: Publishing, 2012. ISBN 18-496-9238-6.
- [2] BARTONÍČEK, Jan a Jiří HEŘT. *Základy klinické anatomie pohybového aparátu*. Praha: Maxdorf, 2004, 256 s. ISBN 80-734-5017-8.
- [3] BATES, Nathaniel a Timothy HEWETT. *Motion Analysis and the Anterior Cruciate Ligament: Classification of Injury Risk*. *Journal of Knee Surgery* [online]. : - [cit. 2015-12-17]. DOI: 10.1055/s-0035-1558855. ISSN 1538-8506. Dostupné z:<<http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0035-1558855>>
- [4] BEYNNON, B. D. Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective, Randomized, Double-Blind Comparison of Programs Administered Over 2 Different Time Intervals. *American Journal of Sports Medicine*. 2005, 33(3): 347-359. DOI: 10.1177/0363546504268406. ISSN 0363-5465. Dostupné také z:<http://ajs.sagepub.com/lookup/doi/10.1177/0363546504268406>
- [5] BREEN, P.P., A. NISAR a G. OLAIGHIN. Evaluation of a single accelerometer based biofeedback system for real-time correction of neck posture in computer users. 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society [online]. IEEE, 2009, : 7269-7272 [cit. 2015-12-31]. DOI: 10.1109/IEMBS.2009.5334726. Dostupné z:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5334726>
- [6] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. 3., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011, 1.sv. ISBN 978-80-247-3817-8.
- [7] DYLEVSKÝ, Ivan. *Základy funkční anatomie člověka*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2003, 213 s. ISBN 978-80-01-05249-5.
- [8] DOLEJŠ, Jan. Virtuální realita zase blíž. Svět androida [online]. 2015, 4.6.2015 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z:<http://www.svetandroida.cz/media/2015/06/ONETIMEUSE-729x478.jpg>
- [9] FREDRIKSON, M. a B. ENGEL. Learned control of heart rate during exercise in patients with borderline hypertension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1985, 54(3): 315-320.

- [10] GIGGINS, Oonagh M, Ulrik PERSSON a Brian CAULFIELD. Biofeedback in rehabilitation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation [online]. 2013, 10(1): 60-71 [cit. 2015-11-30]. DOI: 10.1186/1743-0003-10-60. ISSN 1743-0003. Dostupné z:<http://www.jneuroengrehab.com/content/10/1/>
- [11] HALADOVÁ, Eva a Ludmila NECHVÁTALOVÁ. Vyšetřovací metody hybného systému. Vyd. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1997, 135 s. ISBN 80-701-3237-X.
- [12] HASHIMOTO, Yosuke, Satoshi KOMADA a Junji HIRAI. Development of a Biofeedback Therapeutic Exercise Supporting Manipulator for Lower Limbs. 2006 IEEE International Conference on Industrial Technology [online]. IEEE, 2006, : 352-357 [cit. 2015-12-30]. DOI: 10.1109/ICIT.2006.372374. ISBN 1-4244-0725-7. Dostupné z:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4237696>
- [13] HEDDLE, Bob. Microsoft Time of Flight Technology. Kinect Genius Bar: Communauté des développeurs Kinect Rejoignez le mouvement [online]. 2013 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z:<http://kinectgeniusbar.com/tag/microsoft-time-of-flight-technology/>
- [14] HOLEČEK, Jan. Vývoj rozhraní pro interaktivní distribuovanou hru s ovládáním pomocí 2D i 3D obrazových senzorů [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/11892818-Diplomova-prace-vyvoj-rozhrani-pro-interaktivni-distribuvanou-hru-s-ovladanim-pomoci-2d-i-3d-obrazovych-senzor.html>. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc.Ing. Miloš Železný, PhD.
- [15] HYUNJUNG, S.,SEUNGKYU,L. Performance evaluation of time-of-flight and structured light depth sensors in radiometric/geometric variations. Optical Engineering [online]. 2012, 51(9) [cit. 2016-07-12]. DOI: 10.1117/1.OE.51.9.094401. Dostupné z:<http://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/article.aspx?articleid=1358733>
- [16] CHRISTIANSEN, Cory L., Michael J. BADE, Bradley S. DAVIDSON, Michael R. DAYTON a Jennifer E. STEVENS-LAPSLEY. Effects of Weight-Bearing Biofeedback Training on Functional Movement Patterns Following Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. Journal of Orthopaedic [online]. 2015, 45(9): 647-655 [cit. 2015-12-17]. DOI: 10.2519/jospt.2015.5593. ISSN 0190-6011. Dostupné z: <http://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2015.5593>

- [17] JANOTA, Marta. GRY MULTIMEDIALNE WSPARŁY REHABILITACJĘ ONKOLOGICZNĄ NAJMŁODSZYCH. In: TVP 3 Katowice: Aktualności TVP Katowice [online]. Katowice, 2015 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://katowice.tvp.pl/18832400/gry-multimedialne-wsparly-rehabilitacje-onkologiczna-najmlodszych>
- [18] JANOUSEK, O. Využití elektromyografických signálů v terapii. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 68 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jana Bardoňová, Ph.D.
- [19] JANURA, M. Metody biomechanického výzkumu. Olomouc, 2015. Dostupné také z: [http://ftk.upol.cz/fileadmin/user\\_upload/FTK-katedry/biomechanika/BIOM\\_Metody\\_biomechanickeho\\_vyzkumu.pdf](http://ftk.upol.cz/fileadmin/user_upload/FTK-katedry/biomechanika/BIOM_Metody_biomechanickeho_vyzkumu.pdf)
- [20] I.A. KAPANDJI. The physiology of the joints: Lower limb. 2. ed., repr. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1970. ISBN 04-430-0655-5.
- [21] KAČINETZOVÁ, Alena. Bolesti kolenních kloubů I. Vyd. 1. Praha: Triton, 2003, 191 s. Odborná léčba v moderní medicíně. ISBN 80-725-4427-6.
- [22] KAUSHIK, Reshma, Rajeev Mohan KAUSHIK, Sukhdev Krishan MAHAJAN a Vemreddi RAJESH. Biofeedback assisted diaphragmatic breathing and systematic relaxation versus propranolol in long term prophylaxis of migraine. Complementary Therapies in Medicine [online]. 2005, 13(3): 165-174 [cit. 2015-12-31]. DOI: 10.1016/j.ctim.2005.04.004. ISSN 09652299. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0965229905000439>
- [23] KOIZUMI, Daisuke. Efficacy of an Accelerometer-Guided Physical Activity Intervention in Community-Dwelling Older Women. Journal of Physical Activity and Health [online]. 2009, (6): 467-474 [cit. 2015-12-31]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Michael\\_E\\_Rogers/publication/38023482\\_Efficacy\\_of\\_an\\_accelerometer-guided\\_physical\\_activity\\_intervention\\_in\\_community-dwelling\\_older\\_women/links/53d96df50cf2a19eee87068a.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Michael_E_Rogers/publication/38023482_Efficacy_of_an_accelerometer-guided_physical_activity_intervention_in_community-dwelling_older_women/links/53d96df50cf2a19eee87068a.pdf)
- [24] KOLÁŘ, Pavel. Rehabilitace v klinické praxi. 1. vyd. Praha: Galén, 2009, xxxi, 713 s. ISBN 978-80-7262-657-1.
- [25] KRÁLOVÁ, Dagmar. *Léčebně-rehabilitační plán a postup u protuch měkkých struktur kolenního kloubu*. Brno, 2008. Dostupné také z: [is.muni.cz/th/176837/1f\\_b/KONECNA\\_VERZE.doc](http://is.muni.cz/th/176837/1f_b/KONECNA_VERZE.doc). Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Mgr. Jitka Tomíčková.

- [26] KUIKEN, Todd A, Hagay AMIR a Robert A SCHEIDT. Computerized biofeedback knee goniometer: acceptance and effect on exercise behavior in post-total knee arthroplasty rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2004, 85(6). DOI: 10.1016/j.apmr.2003.08.088. ISSN 00039993. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003999303010657>
- [27] MAYER, M. a D. SMÉKAL. Měkké struktury kolenního kloubu a poruchy motorické kontroly. *Rehabilitace a fyzikální lékařství: Rehabilitation and Physical Medicine : (volné pokračování Fysiatrického a revmatologického věstníku založeného v roce 1923)*. Praha: Česká lékařská společnost J.E.Purkyně, 2004, (3): 11-117. ISSN 1211-2658.
- [28] NAŇKA, Ondřej, Miloslava ELIŠKOVÁ a Oldřich ELIŠKA. *Přehled anatomie*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Galén, c2009, xi, 416 s. ISBN 978-80-7262-612-0.
- [29] NORDENVALL, R., S. BAHMANYAR, J. ADAMI, C. STENROS, T. WREDMARK a L. FELLANDER-TSAI. A Population-Based Nationwide Study of Cruciate Ligament Injury in Sweden, 2001-2009: Incidence, Treatment, and Sex Differences. *The American Journal of Sports Medicine* [online]. 2012, 40(8): 1808-1813 [cit. 2015-12-17]. DOI: 10.1177/0363546512449306. ISSN 0363-5465. Dostupné z:<http://ajs.sagepub.com/lookup/doi/10.1177/0363546512449306>
- [30] ORTIZ-VIGON URIARTE, Inigo, Begonya GARCIA-ZAPIRAIN a Yolanda GARCIA-CHIMENO. Game Design to Measure Reflexes and Attention Based on Biofeedback Multi-Sensor Interaction. *Sensors* [online]. 2015, 15(3): 6520-6548 [cit. 2015-11-29]. DOI: 10.3390/s150306520. ISSN 1424-8220. Dostupné z:<http://www.mdpi.com/1424-8220/15/3/6520/>
- [31] PAGLIARI, Diana a Livio PINTO. Calibration of Kinect for Xbox One and Comparison between the Two Generations of Microsoft Sensors. *Sensors* [online]. 2015, 15(11): 27569-27589 [cit. 2015-11-29]. DOI: 10.3390/s151127569. ISSN 1424-8220. Dostupné z:<http://www.mdpi.com/1424-8220/15/11/27569/>
- [32] PEKÁRKOVÁ, Barbora. Barborka [online]. 2014 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.bara-p.cz/files/110.jpg>

- [33] PROCHÁZKA, Pavel. Artroskopie. In: Procházka ortopedií [online]. 2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z:<http://www.ortopedie.estranky.cz/img/picture/9/injectionDiagram.jpeg>
- [34] PULZNER, Martin. Vyzkoušeli jsme finální virtuální realitu HTC Vive.: Je nejlepší. In: Mobilenet.cz [online]. 2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/clanky/vyzkouseli-jsme-finalni-virtualni-realitu-htc-vive-je-nejlepsi-29643>
- [35] SHOTTON, Jamie a a kol. Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images [online]. 2011, , 1-8 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://research.microsoft.com/pubs/145347/BodyPartRecognition.pdf>
- [36] TRNAVSKÝ, Karel a Vratislav RYBKA. Syndrom bolestivého kolena. 1. vyd. Praha: Galén, 2006, 225 s. ISBN 80-726-2391-5.
- [37] TRULSSON, Anna, Michael MILLER, Gert-?ke HANSSON, Christina GUMMESSON a Martin GARWICZ. Altered movement patterns and muscular activity during single and double leg squats in individuals with anterior cruciate ligament injury. BMC Musculoskeletal Disorders [online]. 2015, 16(1): 28- [cit. 2015-12-17]. DOI: 10.1186/s12891-015-0472-y. ISSN 1471-2474. Dostupné z:<http://www.biomedcentral.com/1471-2474/16/28>
- [38] VAN PEPPEN, RPS. Effects of visual feedback therapy on postural control in bilateral standing after stroke: a systematic review. Journal of Rehabilitation Medicine. 2006, 38(1): 3-9.
- [39] WEBSTER, David a Ozkan CELIK. Systematic review of Kinect applications in elderly care and stroke rehabilitation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation [online]. 2014, 11(1): 108- [cit. 2015-12-01]. DOI: 10.1186/1743-0003-11-108. ISSN 1743-0003. Dostupné z:<http://www.jneuroengrehab.com/content/11/1/108>
- [40] WESTLAKE, Adam. MIT hacked a Xbox Kinect to create a reflection-free camera. SlashGear [online]. 2016, 27.3.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z:<http://cdn.slashgear.com/wp-content/uploads/2014/06/kinect-v2.jpg>
- [41] WRIGLEY, Tim V., Milena SIMIC, Michael A. HUNT, Rana S. HINMAN a Kim L. BENNELL. Real-time movement biofeedback for walking gait modification in knee osteoarthritis. 2009 Virtual Rehabilitation International Conference [online]. IEEE, 2009, : 132-135 [cit. 2015-12-31]. DOI: 10.1109/ICVR.2009.5174219. ISBN 978-1-4244-4188-4. Dostupné z:<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5174219>

- [42] YOUNGKONG, Prakarnkiat, Sarayut HATSANAI a Parit WONGPHAE. NI PCI Powers a SensibleTAB Arm Rehabilitation Robot [online]. 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z:<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-16306#>
- [43] ZHAO, Wenbing, Deborah ESPY, Ann REINTHAL a Hai FENG. Feasibility Study of Using Microsoft Kinect for Physical Therapy Monitoring. Encyclopedia of Information Science and Technology, Third Edition [online]. IGI Global, 2015, s. 5542 [cit. 2016-05-15]. DOI: 10.4018/978-1-4666-5888-2.ch547. ISBN 9781466658882. Dostupné z:<http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-4666-5888-2.ch547>
- [44] Blog: Second Story. Second Story [online]. 2013 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: [https://2storypdx.files.wordpress.com/2013/12/kinect4win\\_v2\\_small\\_v2.png?w=605&h=366](https://2storypdx.files.wordpress.com/2013/12/kinect4win_v2_small_v2.png?w=605&h=366)
- [45] Chapter 4-Rehabilitation. In: World report on disability. 2011, s. 1-41. Dostupné také z:[http://www.who.int/disabilities/world\\_report/2011/chapter4.pdf](http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/chapter4.pdf)
- [46] Kinect hardware. Microsoft: Developer technologies [online]. 2015 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z:<https://dev.windows.com/en-us/kinect/hardware>
- [47] KINECT COORDINATE MAPPING: SUMMARY AND PITFALLS. Elon's Blog: For a better sense [online]. 2015 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z:<https://i-msdn.sec.s-msft.com/dynimg/IC757720.png>
- [48] Kinect Therapy for Autistic People. X-tech blog [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://x-tech.am/kinect-therapy-for-autistic-people/>
- [49] Kolenní kloub (II.): funkce jednotlivých svalů, tipy na cvičení po zranění. RONNIE.CZ. Internetový magazín Ronnie.cz [online]. 2014, 14.7.2014 [cit. 2015-11-11]. Dostupné z:<http://kulturstika.ronnie.cz/c-19293-kolenni-kloub-ii-funkce-jednotlivych-svalu-tipy-na-cviceni-po-zraneni.html>
- [50] Kolenní motorová dlaha SPECTRA CPM Machine - Kinetec. Medicínská technika [online]. 2013 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z:<http://www.medicinskatechnika.cz/kolenni-motorova-dlaha-spectra-cpm-machine-kinetec-p-620.html>
- [51] Plakáty rehabilitace. Rehabilitační pomůcky WEVE REHA s.r.o. [online]. [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.weve-reha.cz/images/533c03ca7a411/shopItemThumb>

- [52] Virtuální realita. In: Učení s počítačem [online]. 1995 [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: <http://it.pedf.cuni.cz/~bobr/ucspoc/virtreal.htm>
- [53] What is Biofeedback?20. University of Maryland Baltimore Washington Medical Center [online]. 2009 [cit. 2015-12-02]. Dostupné z:<http://www.mybwmc.org/library/33/000349>
- [54] 10 rehabilitačních cviků po operaci kolenního kloubu. Lepší péče [online]. 2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z:<http://lepsipece.cz/wp-content/uploads/2015/04/cviceni-koleno-340x340.jpg>



## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| EEG | Elektroencefalograf          |
| EKG | Elektrokardiograf            |
| EMG | Elektromyograf               |
| RSA | Respiratory sinus arrhythmia |
| ToF | Time of Flight               |
| CMP | Cévní mozková příhoda        |

# SEZNAM PŘÍLOH

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| A Dotazník spokojenosti     | 58 |
| B Porovnání modalit Kinectu | 60 |

# A DOTAZNÍK SPOKOJENOSTI

## DOTAZNÍK SPOKOJENOSTI

Dobrý den, právě jste se zúčastnil/a sezení s terapeutickou hrou. Chtěla bych Vás požádat o vyplnění dotazníku a zhodnocení Vaší zkušenosti s rehabilitační hrou. Dotazník je zcela anonymní, výsledky využiji ve své diplomové práci.

Dotazník obsahuje 10 otázek a jeho vyplnění Vám nezabere více než 5 minut.

Prosím, abyste Vámi vybranou odpověď zakroužkoval/a. U každé otázky vyberte jednu možnost.

Děkuji za spolupráci a za čas, který strávíte vyplňováním dotazníku.

---

### Otázka 1:

**Jste:**

Muž    Žena

### Otázka 2:

**Věková skupina, do které se řadíte:**

☐ 0-14    ☐ 15-29    ☐ 30-44    ☐ 45-59    ☐ 60-75    ☐ Více než 75

### Otázka 3

**Prodělal/a jste operaci kolenního kloubu (i v minulosti) ?**

a) Ano                      b) Ne

### Otázka 4:

**Absolvoval/a jste klasickou léčebnou tělesnou výchovu?**

a) Ano                      b) Ne

### Otázka 5:

**Bylo pro vás cvičení s programem zábavné?**

Ano    Spíše ano    Nelze říct    Spíše ne    Vůbec ne

### Otázka 6:

**Cítíte se po cvičení fyzicky vyčerpan/a?**

Ano    Spíše ano    Nelze říct    Spíše ne    Vůbec ne

### Otázka 7:

**Odpovídalo cvičení vaší fyzické zdatnosti?**

Ano   Spíše ano   Nelze říct   Spíše ne   Vůbec ne

**Otázka 8:**

**Uvítal/a byste další pokračování ve cvičení?**

Ano   Spíše ano   Nelze říct   Spíše ne   Vůbec ne

**Otázka 9:**

**Byl pro Vás číselný výsledek na obrazovce motivací do dalšího cvičení?**

Ano   Spíše ano   Nelze říct   Spíše ne   Vůbec ne

**Otázka 10:**

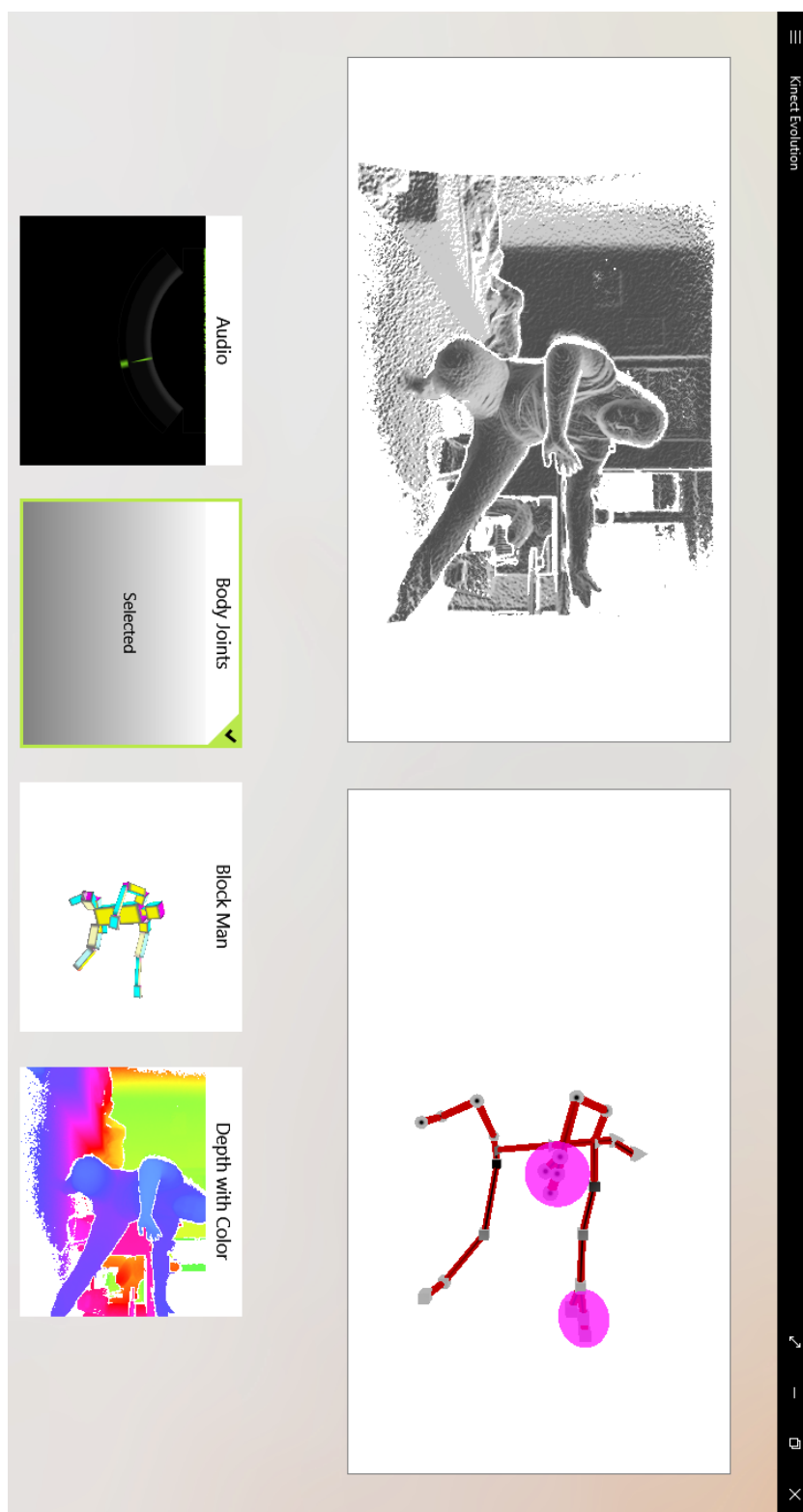
**Ovládal se program snadno?**

Ano   Spíše ano   Nelze říct   Spíše ne   Vůbec ne

**Dále můžete rozvést, co podle Vás hra postrádá, jaké jsou její silné a slabé stránky. Vše bude využito při případném dalším vývoji.**

**Děkuji za vyplnění dotazníku a přeji brzké obnovení plné mobility.**

## B POROVNÁNÍ MODALIT KINECTU



Obr. B.1: Porovnání modalit Kinectu