

KARLOVA UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

Sjezdové lyžování s exartikulací v kolenním kloubu

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

PaedDr. Jan Hruša, CSc.

Vypracoval:

Filip Hruša

Praha, 2017

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl veškeré literární prameny, které byly během této práce použity. Zároveň souhlasím se zveřejněním této práce jak v tištěné, tak v elektronické podobě.

V Praze, dne

.....

Filip Hruša

Souhlasím se zapůjčením své bakalářské práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto bakalářskou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

Poděkování

Touto cestou bych rád vyjádřil své díky panu PaedDr. Janu Hrušovi, CSc. za poskytnutí cenných rad, pomoc s realizováním celého projektu a především za trpělivost, kterou se musel obrnit nejen po dobu vedení této práce. V neposlední řadě musím vyjádřit svou vděčnost firmě Otto Bock za propůjčení potřebného materiálu a jejich protetickému týmu za odborný dozor. Konkrétně bych svůj vděk rád směřoval na pana Bc. Vladana Prince, Aleše Boudu a Martina Skudlu.

Abstrakt

- Název:** Lyžování s exartikulací v kolenním kloubu.
- Cíl:** Vyhodnotit protetické možnosti osob s exartikulací v kolenním kloubu pro sjezdové lyžování na dvou lyžích.
- Úkoly:**
- 1) Navrhnout protetická řešení pro sjezdové lyžování s exartikulací v kolenním kloubu.
 - 2) Pomocí siloměrné desky L.A.S.A.R.-Posture, změřit polohu těžiště lyžaře na navržených protetických systémech a vyhodnotit podstatné funkce pro sjezdové lyžování.
- Metody:** Práce je empiricko-teoretického charakteru. Použité metody jsou komparativní analýza a pozorování s následnou deskripcí. Mezi sledované proměnné patřila poloha těžiště lyžaře a úhly v hlezenním a kolenním kloubu, při neutrálním postoji a základním sjezdovém postoji na siloměrné desce L.A.S.A.R.-Posture. Pro složitost a jedinečnost této problematiky jsme zvolili případovou studii.
- Výsledky:** V naší bakalářské práci jsme si ověřili, že jsou v České republice dostupné protézy, které umožňují osobám s exartikulací v kolenním kloubu bezpečně lyžovat na dvou lyžích.
- Klíčová slova:** stehenní amputace, amputace ve stehně, nadkolenní amputace, protéza, Genium, C-Leg, ProCarve, lyžařské možnosti amputovaných, lyžování amputovaných, těžiště, těžiště lyžaře

Abstract

Thesis title: Downhill skiing with exarticulation of the knee joint.

Main objectives: Evaluate prosthetic options for people with exarticulation in the knee joint for downhill skiing on two skis.

Goals:

- 1) Suggest prosthetic solutions for downhill skiing with exarticulation of the knee joint.
- 2) On the force measuring plate L.A.S.A.R.-Posture, measure gravity center of skier on proposed prosthetic systems and evaluate substantial features for downhill skiing.

Method: The work is empirical-theoretical nature. The methods are comparative analysis and observation with subsequent description. The monitored variables were skiers center of gravity position, and angles of the ankle and the knee joint at the neutral position and the base downhill ski position on the power measuring plate L.A.S.A.R.-Posture. Because of complexity and uniqueness of this issue, we chose a case study.

Results: In our thesis we verify that there are available prothesis in the Czech Republic, which allows to people with exarticulation of the knee joint, safe skiing on two skis.

Key words: femoral amputation, amputation in the thigh, above knee amputation, prosthesis, Genium, C-Leg, ProCarve, skiing possibilities with amputation, amputee skiing, center of gravity, gravity center of skier

1. ÚVOD	3
2. TEORETICKÁ ČÁST	4
2.1 Sjíždění a zatáčení na lyžích	4
2.2 Stručná historie lyžování	5
2.3 Lyžování amputovaných	6
2.3.1. Stručná historie amputací	7
2.3.2 Historie lyžování amputovaných	8
2.3.3 Klasifikace sjezdového lyžování hendikepovaných	8
2.4 Stehenní protézy dolní končetiny	9
2.4.1 Pahýlové lůžko	10
2.4.2 Protetické kolenní klouby	13
2.4.3 Protetická chodidla	18
2.4.4 Ceny vybraných systémů	21
2.5 L.A.S.A.R.-Posture.....	21
2.6 Základní pojmy biomechaniky lyžování	23
3. CÍL A ÚKOLY PRÁCE	27
4. METODIKA PRÁCE	28
5. VÝSLEDKY	29
5.1 Testovací jezdec A.B.	29
5.2 Vybraná protetická vybavení	29
5.3 Výsledky měření.....	31
5.4 Zkušenosti z testovacích jízd na jednotlivých systémech	38
6. DISKUZE	39
7. ZÁVĚR	41
Použitá literatura	43
Internetové zdroje	44
Přílohy	45

Seznam zkratk použitých v textu

DK - Dolní končetina

HK - Horní končetina

L.A.S.A.R. - Laser assisted static alignment reference

LW - Locomotor winter

ZSP - Základní sjezdový postoj

1. ÚVOD

Psychické následky ztráty končetiny bývají různé, protože dopad této skutečnosti je vzhledem k zaměstnání jednotlivce a jeho zájmovým činnostem velmi rozdílný. Velice důležitý je i věk a postoj okolí k postižené osobě. Účast v různých sportovních činnostech ve velké míře závisí i na odborné a lidské způsobilosti instruktora či trenéra, který mimo odborných předpokladů musí být schopen vcítit se do speciální situace postiženého sportovce.

Na zdraví a psychiku tělesně postižených působí velmi příznivě každý sport. U jedinců s nadkolenní amputací je z hlediska zdravého tělesného rozvoje a posturální korekce nejdůležitější plavání, kterému by se měl každý z nich věnovat alespoň doplňkově. (Hruša, 1999)

"Lyžování je sport, který také velmi pozitivně působí na psychiku hendikepovaných. Při jiných sportech se na postiženého pohlíží většinou s určitým soucitem. V čem je lyžování specifické, vystihuje nejlépe rakouský jednonohý lyžař dr. Hans Lietgeb ve svém vyznání: Vlastnost, která především charakterizuje mládí, je radost z pohybu. Může si nepostižený vůbec představit, jak je mladému člověku, kterého jeho mládí žene vpřed, ale jeho protéza ho jako brzda nutí k rozvážnému pohybu? A jestliže takový člověk pak zkusí lyžovat se stabilizátory a překoná počáteční potíže, může při sjezdu zažívat iluzi neztíženého pohybu. Berle, symbol bezmocnosti, se stávají sportovním náčiním a amputovaný sjíždí do údolí s takovou samozřejmostí, která nechává zmizet představu postiženého. Náhle se amputovaný lyžař nesetká s projevy soucitu a lítosti, ale naopak bývá širokým okolím dokonce obdivován". (Hruša, 1999)

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Sjíždění a zatáčení na lyžích

Základem postupu je nácvik dovedností ve všeobecné lyžařské přípravě a specializované přípravě. Východiskem pro nácvik oblouků na úrovni etapy základního lyžování jsou ty pohybové dovednosti, které směřují ke zvládnutí kročných oblouků. Vedle kročných oblouků nacvičujeme modifikované a alternativní oblouky.

Charakteristické pro kročný oblouk je jeho zahájení, tj. biomechanický princip pro uvedení lyží do točení zvýšením tlaku na vnější lyži při jejím současném postavení na vnitřní hranu.

Modifikované oblouky - tyto oblouky nacvičujeme pro zvládnutí náročných terénních a sněhových podmínek. Patří mezi ně - oblouky ke svahu, v pluhu, s přivrátu vyšší lyží, z rozšířené stopy aj.

Alternativní oblouky - jsou určitou obměnou nácviku techniky zatáčení na lyžích pro ty jedince, kteří nemohou absolvovat základní výukový program cestou kročných oblouků. Patří mezi ně oblouky z pluhu, oblouku z přivrátu nižší a snožné oblouky. (Gnad a kol., 2006).

Základní sjezdový postoj (ZSP)

"Obě lyže jsou v paralelním postavení. Lyže jsou od sebe vzdáleny na šířku pánve. Stojíme na plochách, hmotnost je rovnoměrně rozložena na obou lyžích. Hlezenní, kolenní a kyčelní klouby jsou mírně pokrčené. Trup je v mírném předklonu. Těžiště je v neutrálním postavení. Paže držíme před tělem mírně pokrčené v loketních kloubech ve vzdálenosti o něco větší, než je šíře ramen. Ruce jsou v zorném úhlu. Hole jsou v rovnoběžném postavení, hroty směřují těsně za patky vázání. Pohled směřuje vpřed". (www.is.muni.cz, 2017)

Struktura výuky techniky sjíždění a zatáčení na lyžích

Všeobecná lyžařská příprava

Cílem je osvojení základních lyžařských dovedností (přenášení hmotnosti těla z lyže na lyži, jízda po dvou i jedné lyži apod.) a jejich využití při dalším výcviku sjíždění a zatáčení. Dále pak vytvoření tzv. komplexních lyžařských vjemů (např. pocit skluzu, rychlosti atd.).

Specializovaná průprava

Při specializované přípravě opakujeme, procvičujeme a zdokonalujeme veškeré prvky, které jsme probrali ve všeobecné lyžařské přípravě. Poté sjezdové postoje, odšlapování, bruslení, brzdění a zastavování, pluh, zastavování vzpříčením lyží, sesouvání a terénní skok. Také nácvik pohybové činnosti dolních končetin v bočním směru (poloha lyží plocha - hrana).

První část etapy základního lyžování

V první části etapy základního lyžování definujeme nácvik na této úrovni následujícím způsobem:

- Po specializované přípravě nacvičujeme mírnou a zvýrazněnou vlnovku, ve které se lyžař poprvé seznámí s pohybovou činností, která je rozhodující pro uvedení lyží do točení v té nejjednodušší formě.
- Po vlnovce následuje nácvik tzv. základního kročného oblouku.
- Po nácviku základního kročného oblouku nacvičujeme tzv. “modifikované oblouky” a alternativní oblouky.

Druhá část etapy základního lyžování

Ve druhé části etapy základního lyžování zdokonalujeme a rozšiřujeme techniku základních oblouků. V této části jde především o nácvik modifikací v různých terénních podmínkách a v různých rychlostech. Dlouhé kročné oblouky nejezdíme s přihlédnutím k dosažené úrovni techniky ve velké rychlosti. (Gnad a kol., 2006)

2.2 Stručná historie lyžování

Rodištěm lyžařského sportu je Norsko, kde na počátku 19. století bylo lyžování rozšířeno více než kdekoli na světě. Za historický mezník v novodobé lyžařské historii jsou obecně pokládány závody v běhu na 5 km v norském Tromsø, které se konaly 2. dubna 1843. Tyto závody, jsou svým charakterem považovány za první novodobé závody a považují se za počátek rozvoje sportovního lyžování.

První lyžařský spolek v Evropě mimo Skandinávii vznikl v českých zemích. Stalo se tak v r. 1887, kdy si jeden z prvních průkopníků lyžování u nás,

Josef Rössler-Ořovský (1867-1933), objednal od firmy Heyde-Gustavsen v Oslo dva páry lyží a vzápětí založil při tehdejším Bruslařském klubu v Praze lyžařský kroužek (Český Ski Klub). V historii lyžování se toto datum považuje za počátek organizovaného lyžování v Evropě.

Podle dostupných zdrojů se první tři závody, které lze pokládat za počátek závodní činnosti ve střední Evropě, konaly v r. 1893. Dva byly pořádány v českých zemích, v Jilemnici a Lukové u Holešova, třetí závod rozsahem i účastí předešlé dva převyšoval a konal se v rakouském Mürzzuschlagu. Byla zde uspořádána i soutěž ve slalomu.

Mezinárodní lyžařská federace (FIS):

V období mezi 25.1.-4.2. 1924 se ve francouzském Chamonix konal pod záštitou MOV týden zimních sportů (mezinárodní závody), který byl zpětně prohlášen za první oficiální ZOH. V rámci těchto závodů se pořádal rovněž Mezinárodní lyžařský kongres, jehož hlavní náplní byla realizace a usnesení z r. 1923 v Praze - založení Mezinárodní lyžařské federace FIS. (Gnad a kol., 2006)

2.3 Lyžování amputovaných

Definice Amputace

"Amputace je definována jako odstranění periferní části těla včetně krytu měkkých tkání s přerušením skeletu, která vede k funkční anebo kosmetické změně s možností dalšího protetického ošetření." (Kubeš, 2005)

Exartikulace

Exartikulací rozumíme odstranění části končetiny jejím oddělením v kloubu, na rozdíl od amputace, která se provádí přerušením kosti. (www.lekarske.slovníky.cz, 2017)

Operační postup exartikulace v kolenním kloubu

Při samotné operaci se postupuje tak, že se nejprve provede kruhový řez kůží 4 až 7 cm pod tibiálním plateau. Je důležité dbát na to, aby se pod kolenní štěrbinou ponechalo co nejvíce kůže, protože v této oblasti může dojít k jejímu značnému smrštění - sešití kůže se tedy musí provést zcela bez jejího napětí. Potom se provede preparace na patelárním vazů nahoru až ke kloubní štěrbině, otevře se pouzdro a nakonec se postupně přetnou zkřížené vazy a pouzdro.

Za stálého tahu za bérce se potom přes kloub přetne přední a zadní pouzdro. Kloubní chrupavka se ponechá nedotčená, ale menisky se odstraní. Samotná česka se nefixuje k pahýlům zkřížených vazů, jak je to stále popisováno v učebnicích, jelikož to často způsobuje vadné polohování česky pod zátěžovou plochou.



Obr. 1: Schéma kolenní exartikulace (Greitemann, 2016)

Kostěný konec pahýlu je tvořen patelofemorálním kloubem - ten je plně koncově zatížitelný. Není pokrytý částmi lýtkového svalstva, z toho by jinak vznikla nadměrná délka. Navíc je nutno vycházet z faktu, že pokud by bylo možné bérce svalstvo přehnout okolo konce pahýlu, byla by možná ještě bérce amputace s krátkým pahýlem, která bývá zpravidla funkčně lepší než exartikulace v kolenním kloubu. (Greitemann, 2016)

2.3.1. Stručná historie amputací

Jak uvádějí ve své knize autoři Sosna, Vavřík, Kadlec, Pokorný a kolektiv (2001) Amputace jsou jedním z nejstarších chirurgických úkonů, záznamy o nich sahají 5000 let př.n.l. Hippokrates popsal 3 indikace k provedení tohoto chirurgického zásahu již 500 let př.n.l. Ty zůstávají platné i v dnešní době: odstranění neúčinných částí končetin, snížení invalidity a určitě to nejdůležitější a tím je záchrana lidského života. K největšímu rozmachu a pokroku v oblastech amputací logicky docházelo v období válečných konfliktů, kdy tyto operace byly nejčastěji pracovní náplní tehdejších chirurgů. (Kubeš, 2005)

2.3.2 Historie lyžování amputovaných

První závod v historii sportování tělesně postižených byl zaznamenán roku 1810 v chůzi. Konal se v Londýně a zúčastnili se ho také dva amputovaní s dřevěnými protézami.

První informace o lyžování amputovaných se stabilizátory byly zaznamenány v období druhé světové války. Po amputaci nohy si v roce 1941 přidělal k berlím krátké lyžičky němec Franz Wendel a o rok později se přihlásil k prvním lyžařským závodům. Koncem padesátých let vznikla lyžařská škola pro amputované v Salzburgu. Roku 1962 byla v USA založena první lyžařská škola. Zároveň měla prvního certifikovaného instruktora pro lyžování tělesně postižených osob s jednostrannou nadkolenní amputací. (Hruša a kol., 1999)

Zimní sporty hendikepovaných se oproti letním rozvíjely po druhé světové válce pomaleji. Až v roce 1970 se uskutečnily první mezinárodní závody v lyžování a v roce 1974 bylo ve Francii zorganizováno první mistrovství světa v klasickém i sjezdovém lyžování. První zimní paralympijské hry se poté konaly o dva roky později, v roce 1976, ve švédském městě Örnköldsvik. Zde se soutěžilo především ve sjezdovém a klasickém lyžování lyžařů s amputacemi a zrakovým postižením. (Kudláček, 2007)

Organizační struktura sportu

Český paralympijský výbor (ČPV) sdružuje Český svaz tělesně postižených sportovců (ČSTPS), který má sekce paraplegiků a amputářů. Obě organizace jsou členy mezinárodní organizace ISOD (International Sports Organization For Disabled), která byla založena v roce 1965.

V roce 1965 byl založen Český svaz tělesně postižených sportovců, který organizuje mistrovství České republiky a oblastní soutěže. (Gnad a kol., 2008)

2.3.3 Klasifikace sjezdového lyžování hendikepovaných

Soutěže v alpském lyžování pro hendikepované jsou určeny především pro jedince po míšních lézích, centrálních poruchách hybnosti, amputované a zrakově postižené. Závodí se v disciplínách, kterými jsou slalom, obří slalom, superobří slalom a sjezd, při kterých je v daných kategoriích možno používat pomůcky, jako stabilizátory či monoski.

Kategorická klasifikace je zde posléze rozdělena na "sedící" a "stojící" závodníky. Sedící jedinci používají monoski a stabilizátory, u stojících, mezi které se řadí amputáři, je to poté rozdělené dle tříd, do kterých jsou zařazeni.

Jednotlivé třídy:

- LW1 (Locomotor Winter): Postižení obou DK (dolní končetina), oboustranná nadkolenní amputace.
- LW2: Postižení obou DK, jednostranná nadkolenní amputace.
- LW3/1: Postižení obou DK, oboustranná podkolenní amputace.
- LW3/2: Postižení obou DK, střední až lehká diplegie.
- LW4: Postižení jedné DK, jednostranná podkolenní amputace.
- LW5/7: Postižení obou HK (horní končetina).
- LW6/8: Postižení jedné HK.
- LW9/1: Postižení jedné DK a jedné HK, kombinované amputace.
- LW9/2: Postižení jedné HK a jedné DK, kombinované amputace.

(Dařová, 2008)

2.4 Stehenní protézy dolní končetiny

V minulosti museli lyžaři s jednostrannou nadkolenní amputací lyžovat na jedné lyži, což mělo velmi negativní vliv na kloubní aparát. V současné době se situace mění díky novým technologiím ve vývoji bionických a jiných moderních kolenních kloubů. Lyžaři s jednostrannou nadkolenní amputací mají možnost se pokusit lyžovat na dvou lyžích.

Stavba protéz dolních končetin

Protézy rozdělujeme podle konstrukce na:

- endoskeletární - je použit většinou vnitřní trubkový systém
- exoskeletární - nosným prvkem je plášť protézy

Volba stavebnicových dílů protézy

Mezi stavebnicové díly patří chodidlo, spojovací trubky, kolenní kloub, adaptéry, vnitřní návleky, ventily. Jejich volba je ovlivněna několika kritérii. V první řadě je to délka pahýlu a dále hmotnost a aktivita pacienta.

Rozdělení kolenních kloubů

Kolenní klouby můžeme rozdělit následovně:

- 1) Kolenní kloub se závěrem - umožňuje fixaci v extenzi, která je ovládána vně protézy na dostupném místě. Při flexi je nutné kloub odjistit. Dalším režimem je trvale odjištěná aretace.
- 2) Jednoosý kolenní kloub - je zpravidla využíván pro přiblížení osy kolena co nejvýše. Nevýhodou je absence samosvorného účinku.
- 3) Víceosý kolenní kloub - nejčastěji používaný typ kloubu. Většinou bývá samosvorný, takže dokáže zablokovat flexi při zatížení. Počet os je dvě až čtyři a právě otáčením podle více os se více přibližujeme fyziologickému pohybu lidského kolena.
- 4) Kolenní kloub s hydraulickou brzdou - stejně důležité jako samosvornost je tlumení kyvu bérce. To nám umožňuje hydraulický tlumič, který odstraňuje nežádoucí záškuby a tvrdé dorazy v mezních polohách a plynulý průběh pohybu.
- 5) Bionický kolenní kloub - spojuje vlastnosti víceosého a hydraulického kloubu s možnostmi ovlivnění parametrů chůze během pohybu v závislosti na konkrétním přednastavení, popřípadě na vlastnostech povrchu, po kterém se pohybuje.
- 6) Exartikulační kolenní kloub - posouvá bod otáčení co nejbližší pahýlovému lůžku. U exartikulace v kyčli jsou klouby tři, které spolu dokážou komunikovat. (Půlpán, 2011)

2.4.1 Pahýlové lůžko

Lůžko jako spojující článek mezi člověkem a protézou je určujícím prvkem pro komfort uživatele protézy, neboť zajišťuje přímý kontakt mezi protézou a tělem. Ve stojné fázi je hlavní funkcí přenášet axiální a horizontální síly do protézy. Ve švihové fázi rozhoduje kvalita lůžka, jak dobře bude protéza držet.

I když se objevují stále nové podněty tomu, aby se využívalo osseointegrace (upevnění protézy přímo ke kosti), zcela jistě zůstane výroba lůžka nejčastěji voleným způsobem upevnění protézy k tělu.

Cílem zůstává, aby se síly přenášely na pahýl tak šetrně, aby pokožka vydržela zatížení i dlouhodobého charakteru. Pro zachycení objemu pahýlu pomocí dobrého ulpění se v protetice nejvíce využívá kombinace měkkých, elastických a flexibilních materiálů. Tuhá lůžka a spony umožňují cílené zahájení síly a vedení protézy.

Úkoly pahýlového lůžka:

- Pojmutí objemu pahýlu
- Přenos zátěží a sil (statických a kinetických)
- Přenos pohybů v chůzi
- Ulpění protézy na pahýlu

(www.ottobock.cz, 2016)



Obr. 2: Pahýlové lůžko (Otto Bock, 2016)

Podtlakové systémy

Dynamic Vacuum System (DVS)

Nachází se mezi pahýlem a pahýlovým lůžkem. Systém vypouští přebytečný vzduch z prostoru mezi pahýlovým lůžkem a linerem. Vytváří podtlak, kterým utěsňuje tento prostor. Protéza tak lépe přilne, což má za následek bezpečnější pohyb.

Pro přímé spojení je potřeba tzv. liner a utěšňovací nákolenka. Liner je speciální kopolymerový návlak, který se s pahýlovým lůžkem spojí pomocí zabudovaného magnetu.

Pro utěsnění podtlakového systému je třeba použít utěšňovací nákolenku kónického tvaru, která redukuje tvorbu záhybů v podkolenní jamce. Umožňuje pasivní vakuum ve švihové fázi.

(www.mojeproteza.cz, 2017)



Obr. 3: DVS Pumpa



Obr. 4: DVS Liner



Obr. 5: Derma ProFlex
utěšňovací náhlenka

Obrázková dokumentace převzata z produktového materiálu firmy Otto Bock (2015).

Harmony e-pulse

je elektronicky řízená mechanická pumpa, která reguluje podtlak v každém kroku. Podtlak lze regulovat dle potřeby, nebo zapnout automatický režim. Garantuje aktivní vakuum jak ve švihové, tak ve stojné fázi. (www.360oandp.com, 2017)

Technické specifikace:

- Maximální podtlak 600 mbar.
- Hmotnost uživatele do 150 kg.
- Hmotnost zařízení 200 g.



Obr. 6: Pumpa Harmony e-pulse



Obr. 7: Liner



Obr. 8: Těsnící náhlenka

Obrázková dokumentace převzata z produktového materiálu firmy Otto Bock (2015).

2.4.2 Protetické kolenní klouby

Kolenní klouby se v protetice uplatňují od exartikulací v kolenním kloubu a výše, nejčastěji pak při transfemorálních amputacích. Jedná se o stavební díl s největší zodpovědností, který musí zajistit stabilitu protézy jak ve stojné, tak ve švihové fázi. Podle složitosti samotného pohybu v kloubu můžeme rozlišit klouby jednoosé, dvouosé a polycentrické. Švihová fáze je zajištěna takzvaným tlumením. Nejjednodušší typ tlumení funguje pomocí smykového tření u jednoosých kloubů. Dokonalejší typy tlumení poté fungují na principu pneumatického či hydraulického pístu a jsou vyžadovány u nejdynamičtějších kolenních kloubů. Existují také kolenní klouby s tzv. "kolenním uzávěrem", který umožňuje fixaci kolene v extenzi a pomocí povolení uzávěru pacientovi umožňuje pouze sed. Nejmodernějším typem kloubů jsou klouby počítačově programovatelné a řízené čipem (bionické/mechatronické). Dle naprogramování může kloub měnit svoji aktuální dynamiku v závislosti na aktuální zátěži. Při celkovém sestavování protézy je poté důležité zvolit vhodnou kombinaci kolenního kloubu s protetickým chodidlem a je také nezbytné počítat s výškou jednotlivých komponent. (Dungl, 2014)

Protetické kolenní klouby, které mohou mít využití ve sportu

3R80, Otto Bock

Komponent 3R80 je hydraulický kolenní kloub s mechanickým uzávěrem. Vzhledem k jeho robustní konstrukci je přizpůsoben i pro požadavky vysoce aktivních uživatelů o tělesné hmotnosti do 150 kg. Rotační hydraulika vytváří odpor, který zabraňuje nechtěné flexi kloubu. (www.mojeproteza.cz, 2017)



Obr. 9: Kolenní kloub 3R80 (Otto Bock, 2015)

Mauch XG, Ossur

Hydraulický kolenní kloub Mauch XG funguje na principu řízeného odporu ve stejné fázi, umožňuje kontrolu chůze ze schodů i ze svahu a poskytuje oporu i v případě pádu. Disponuje třemi provozními režimy umožňující uživateli protézy vykonávat širokou škálu aktivit, jako například jízdu na kole nebo turistiku. Kompozitový skelet je vyroben z uhlíkových vláken a kevlaru. (www.ingcorporation.cz, 2017)



Obr. 10: Kolenní kloub Mauch XG (Ossur, 2016)

Rheo 3, Ossur

Protéza poskytuje přirozenou funkci kolene díky mikroprocesorem řízenému kolennímu kloubu, který detekuje chůzi pomocí 5-ti senzorů, včetně kinematické technologie senzorů. Přizpůsobuje se uživateli a prostředí v reálném čase. (www.ossur.cz, 2017)



Obr. 11: Kolenní kloub Rheo 3 (Ossur, 2016)

Vývoj protézy ProCarve

Původně koncept francouzské firmy Chabloz Orthopedie, pod názvem PRO-Carve. Byl vyvinut a skompletován na základě skrze dlouhodobě nabytých zkušeností zakladatele firmy Pierra Chabloze.

V roce 2010 přišla na trh nová verze PRO-CARVE pod názvem PRO CARVE 2, který byl ještě efektivnější a silnější než její, předchůdce posouvá hranice lyžování hendikepovaných.

System je od samého prvopočátku konstruován speciálně pro lyžování a snowboarding, ale vzhledem k jeho voděodolnosti je vhodný také pro vodní sporty jako je například windsurfing, nebo vodní lyžování. (www.chabloz-orthopedie.com, 2017)

Kolenní kloub ProCarve 3R2, Otto Bock

Sportovní protetický systém ProCarve sestává z monocentrického hliníkového kolenního kloubu vybaveného výkonnou hydraulickou tlumicí jednotkou a funkcí deaktivace, aby si uživatel mohl v případě potřeby pohodlně sednout. Tlumicí jednotka je kombinací pneumatické pružiny a hydrauliky a zajišťuje dynamický pohyb. Individuálně nastavitelný tlak vzduchu ovládá flekční pohyb a hydraulika pohyb extenční.

V aktivovaném stavu je flekční úhel omezen na 67°. Pokud si chce uživatel sednout, může koleno snadno ohnout bez tlumení zatažením za přípevněný pásek. V deaktivovaném stavu je maximální flekční úhel 80°. (www.mojeproteza.cz, 2017)

Technické parametry kolenního kloubu ProCarve 3R2:

- Maximální tělesná hmotnost 100 kg.
- Váha produktu 1.990g.
- Systémová výška 241mm.
- Maximální flekční úhel pozice sport 67°.
- Maximální flekční úhel pozice sed 80°.



Obr. 12: Kolenní kloub ProCarve 3R2 (Otto Bock, 2015)

C-leg, Otto Bock

Nejpoužívanější bionický kolenní kloub na světě. Od jeho příchodu na trh v roce 1997 jim bylo vybaveno více než 60 tisíc amputovaných. První hydraulický protézový systém dolních končetin na světě plně řízený mikroprocesorem.

Mikroprocesor řídí celý systém inteligentně a přizpůsobuje ho v reálném čase individuálnímu obrazu chůze. To vše má na starosti komplexní systém snímačů, který zaznamenává a vyhodnocuje údaje o aktuální fázi chůze uživatele, zda jde po rovině, střídavou chůzí ze schodů, nebo se nachází v obtížném terénu.

Pomocí dvou dodatečných režimů "MyModes" je možno nastavit kolenní kloub zcela individuálně podle osobních potřeb, třeba k tanci, jízdě na kole nebo na golf, či lyžování. (Otto Bock, 2016)



Obr. 13: Vývoj protézy C-Leg (Otto Bock, 2012)



Obr. 14: Kolenní kloub C-Leg (Otto Bock, 2015)

Technické parametry kolenního kloubu C-leg:

- Maximální tělesná hmotnost 136 kg.
- Váha produktu 1.235g.
- Systémová výška: S trubkovým adaptérem 2R57 289 mm, 2R67 329 mm.
- Úhel flexe kolene 130° bez flekčního dorazu.

(www.mojeproteza.cz)

Genium, Otto Bock

V roce 2011 se podařilo Německé firmě Otto Bock vyvinout průlomovou bionickou protézu, která vůbec poprvé byla schopna napodobit fyziologickou chůzi, která dokáže umožnit svému uživateli chůzi pozpátku a střídavou chůzi do schodů, což bylo do té doby nemyslitelné.



Obr. 15: Kolenní kloub Genium (Otto Bock, 2015)

Technické údaje:

- Maximální tělesná hmotnost 150 kg.
- Váha produktu 1.400g.
- Systémová výška: 298mm/330mm.
- Úhel flexe kolene 135° bez flekčního dorazu.
- Materiál Karbon.

(www.mojeproteza.cz, 2017)

2.4.3 Protetická chodidla

Protetické chodidlo je důležitým prvkem statické i dynamické stavby protézy. Podle stavby a použitého materiálu, můžeme rozlišovat chodidla pevná a dynamická. V pevných chodidlech se nejčastěji používají mechanicky odolné materiály s různou pružností, například kombinace tvrdého dřevěného jádra a patního klínu z elastického plastu. Princip dynamických chodidel spočívá ve zpracování a využití energie odvalu ke švihové fázi. V tomto případě nejefektivněji pracují chodidla na bázi uhlíkatých kompozitů. Pevná chodidla většinou, díky složitějšímu pohybu v hlezenním kloubu, lépe zvládají terénní nerovnosti při chůzi, ale zároveň vyžadují větší fyzickou zdatnost. Dynamická chodidla dokáží akumulovat energii v zátěžové fázi, ale nemají možnost pohybu v hlezenním kloubu. Adaptabilita na terén je zde tedy dána zejména pružností materiálu, ze kterého jsou chodidla vyrobena. (Dungl. 2014)

Některé typy protetických chodidel a jejich možné využití ve sportu

C-walk, Otto Bock

Dynamické karbonové chodidlo od firmy Otto Bock, vyvinuté pro vysokou aktivitu. Základní princip chodidla je založen na spojení karbonové planžety ve tvaru C se základní planžetou chodidla prostřednictvím řídicího kroužku. (www.professionals.ottobockus.com)



Obr. 16: Chodidlo C-Walk (Otto Bock, 2013)

1C60 Triton, Otto Bock

Chodidlo firmy Otto Bock vhodné pro aktivní uživatele. Nosná konstrukce je tvořena karbonovou planžetou přednoží společně s karbonovou patní planžetou. Vysoce výkonná polymerová základní pružina zase spojuje tyto prvky tak, aby tvořily ucelený systém. (www.professionals.ottobockus.com, 2017)



Obr. 17: Chodidlo 1C60 Triton (Otto Bock, 2014)

1E2/1E2=1 Chodidlo ProCarve, Otto Bock

Chodidlo ProCarve lze použít jako nezávislou jednotku v kombinaci s kolenním kloubem ProCarve, nebo dalšími klouby Ottobock. Je přímo připojeno na vázání lyží, nebo se kombinuje s krytem upraveným do tvaru, který je vhodný do bot na snowboard.

Podobně jako kolenní kloub ProCarve, chodidlo sestává z výkonné a odolné tlumící jednotky, která ovládá pohyb kolem čepu. Funkce i nastavení jsou stejné jako u tlumící jednotky kolenního kloubu. (www.mojeproteza.cz, 2017)



Obr. 18: Chodidla ProCarve 1E2=1 s dorazem (vlevo) a 1E2 bez dorazu (Otto Bock, 2013)

Doplňkový materiál k chodidlu ProCarve:



Obr. 19: Vysokotlaká pumpa



Obr. 20: Kryt chodidla



Obr. 21: Blokovací spona

Obrázková dokumentace převzata z produktového materiálu firmy Otto Bock (2013).

2.4.4 Ceny vybraných systémů

Přehled cen jednotlivých protetických systémů, dle sazebníku firmy Otto Bock k 1.1.2016.

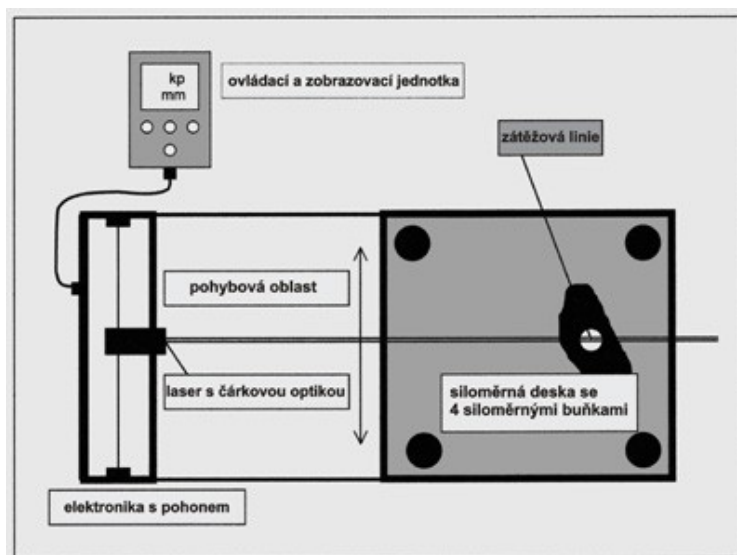
Porovnání cen jednotlivých protézových systémů	Genium	C-Leg	ProCarve	
			Chodidlo	Kolenní kloub
Cena bez DPH	1,017,355	567,335	65,760	84,940
DPH 15%	152,603	85,101	9,864	12,741
Cena celkem Kč	1,169,958	652,436	75,624	97,681
			173,305	

Tab. 1: Přehled cen jednotlivých systémů

2.5 L.A.S.A.R.-Posture

Siloměrná deska přístroje L.A.S.A.R.-Posture (Laser Assisted Static Alignment Reference) pracuje se čtyřmi integrovanými siloměrnými snímači, které v kombinaci s polohovacím systémem navádějí laser s čárovou optikou do odpovídající polohy. Nositelka vertikální složky základní reakční síly podložky se promítá laserovým paprskem na měřený objekt.

Pro zobrazení linie těžiště těla stojí subjekt frontálně popř. sagitálně oběma nohama na siloměrné desce. K měření zátěžové linie vstupuje subjekt na siloměrnou desku pouze jednou nohou. Druhou nohou vystoupí na desku pro kompenzaci výškových rozdílů.



Obr. 22: Schéma siloměrné desky L.A.S.A.R.-Posture (Otto Bock, 2012)

Laserový paprsek je posuvný. Držení těla, statickou stavbu ortopedických léčebných prostředků a ortopedických pomůcek je tak možné ověřit přímo na subjektu. (www.ortotikaprotetika.cz, 2017)

Komponentami přístroje L.A.S.A.R.-Posture jsou:

- Siloměrná deska se čtyřmi integrovanými siloměrnými buňkami.
- Projekční systém s laserem a čárkovou optikou.
- Polohovací systém s elektronikou a krokovým motorem.
- Ovládací a zobrazovací jednotka (display).
- Deska výškové kompenzace.

Rozměry:

- Složený stav: 550 x 700 x 150 mm.
- Rozložený stav: 550 x 1200 x 150 mm.
- Hmotnost: 9,5 kg.

Laser: Třída 2, Při patřičném provozu jsou hraniční hodnoty zpravidla nižší než hodnoty třídy laseru 1 (Din 60825).



Obr. 23: Siloměrná deska L.A.S.A.R.-Posture (Otto Bock, 2012)

2.6 Základní pojmy biomechaniky lyžování

Lyžař jako řízený systém

Na lyžaře - je možné se podívat jako na velmi složitý systém, tvořený celou řadou subsystémů. Z biomechanického hlediska můžeme pro naše potřeby charakterizovat člověka zjednodušeně jako komplex subsystémů.

Síla jako fyzikální veličina

Příčinou pohybu - řízeného pohybu lyžaře - vzhledem k okolí jsou síly (uvažováno fyzikálně). Síla je chápána jako vektorová veličina, která je dána podmínkami.

Statické účinky síly

Mezi statické účinky síly patří např. udržování rovnováhy ve stoji, zamezení pohybu jakéhokoliv tělesa ve směru tíhové síly, vlivem reakční síly podložky apod.

Dynamické účinky síly

Těleso může být účinkem síly uvedeno do pohybu, urychleno či přibrzděno v libovolném směru nebo zastaveno, nebo změněn jeho tvar. Při odpichu holemi dochází k urychlení pohybu na lyžích. Říkáme, že se mění pohybový stav tělesa.

Tělo lyžaře, resp. jeho segmenty, tvoří tzv. kinematický řetězec. Jednotlivé segmenty jsou navzájem spojeny kloubními spoji, vytvářejícími předpoklad k jejich vzájemně řízenému, závislému a omezenému pohybu. Hlavní a jedinou aktivní hybnou jednotkou je svalové vlákno resp. svaly a svalové skupiny, jejichž základní funkcí je schopnost vytvořit svým zkrácením sílu, která se v místech úponu, na základě zákona akce-reakce, stává silou přibližující oba konce segmentů těla, na něž se sval upíná.

Vnitřní síly - nemění pohybový stav tělesa

Svalové síly vznikající kontrakcí svalů - tento proces řídí CNS. Síly vznikající elastickými akumulacemi kinetické energie (např. elasticita šlach, vazů, chrupavek, kostí apod.).

Vnitřní svalové síly umožňují vzájemný pohyb jednotlivých segmentů těla.

Každá akční síla vytváří ve svém působišti sílu reakční, stejné velikosti, ale opačné orientace. V důsledku tohoto pravidla dochází k silovému přenosu přes jednotlivé segmenty těla - vyvolává se řetěz reakčních sil.

Obecně lze říci, že výsledná reakční síla ovlivňuje pohyb těžiště soustavy (např. odraz holemi směrem vzad vyvolává pohyb lyžaře směrem vpřed).

Kromě svalových sil existují vnitřní síly vznikající vydáváním nahromaděné energie, např. při ohybu kostí, napětí šlach a vazů. Tyto síly jsou relativně velké, ale působí po velmi krátkých drahách. Jejich znalost je důležitá, např. pro bezpečnost lyžování - nastavení vypínací síly bezpečnostního vázání. Síly pasivních odporů, např. kloubních spojení, nemají, pro naše účely praktický vliv na znesnadňování dílčích pohybových činností při lyžování.

Vnější síly - mění pohybový stav tělesa

- Tíhová síla - síla přitažlivosti (gravitace), reprezentovaná tíhovým zrychlením $g = 9,81 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$.
- Reakční síly na opěrných plochách (např. mezi sněhem a lyží apod.).
- Aerodynamické síly - odpor vzduchu, aerodynamický vztlak.
- Tření - zejména tření lyží o sníh, vlnový odpor, ztráty energie vznikající rozstříkáním částic sněhu.
- Odstředivé síly.
- Setrvačné síly.

Poznání a ovládnutí vlivu vnějších sil a jejich dynamického sepětí se silami vnitřními umožňují lyžaři:

- 1) Využití jich ke zdokonalení techniky pohybu na lyžích (např. využití tíhové síly při předskoku ve sjezdu - vznikne kratší bezoporová fáze).
- 2) Hledání optimalizace, nebo snížení jejich průběhu na minimum (mazání lyží snižuje tření, snížení těžiště těla ve fázi zahájení oblouku) umožňuje lyžaři provést účinněji fázi zahájení oblouku.

Při lyžování je většina pohybů prováděna ve skluzu po sněhu. Dochází ke vzájemné interakci vnitřních (např. svalových sil) se silami vnějšími, například reakčními.

Tlakové a reakční síly mezi lyží a sněhem

Skutečné rozložení tlakového pole, které je důsledkem akčních a reakčních sil mezi lyží a sněhovou podložkou, je zcela odlišné od zjednodušené představy jedné tlakové síly ve formě síly tíhové. Ta je teoretickým součtem všech tíhových sil působících v systému lyžaře a jeho výstroje a výstroje nad rovinou podrážky boty. Reakční silové pole je pak důsledkem akčních sil vznikajících tlakem lyže na sněhovou podložku. Schematicky a zjednodušeně jej můžeme znázornit graficky způsobem rovinného průřezu tenzorem tlakového pole. Opíráme se přitom o výpočty kontaktní úlohy metodou konečných prvků. Jde o matematický odhad tlakového pole proto, že jde o výpočet tenzoru tlakového pole mezi zatíženou lyží na rovině a tuhou podložkou.

Tlakové pole skutečné, mezi lyží a sněhovou podložkou při jízdě v oblouku bude mít odlišný charakter. Bude záviset na kvalitě povrchu a velikosti postavení ploch skluznic vůči povrchu sněhu (míra hranění - náklon lyže), poloze vektoru tíhové síly, modulu pružnosti odpovídajícímu reálné sněhové vrstvě, tuhosti lyže, velikosti styčných ploch, které jsou výrazně menší, než při jízdě po plochách.

Znaky jízdy v přímém směru

Jízdou v přímém směru rozumíme situaci, kdy lyže jedou po přímce.

Při základním sjezdovém postoji mohou nastat dva případy:

- a) Změny tečné složky k tíhové síle, setrvačných sil a třecí síly jsou takové, že nedojde ke změně podmínky zatížení přední části lyže. Výsledná síla působící v teoretickém těžišti směřuje do přední části lyže (před hlezenní kloub, v oblasti vymezené opornou plochou od hlezenního kloubu až po úroveň předních článků prstů dolní končetiny) po jistém rameni r . Lyžař nemusí zapojovat k udržení předozadní rovnováhy svalstvo, nevýhodné pro něj z hlediska možnosti korekce polohy teoretického těžiště. Tělo lyžaře - teoretické těžiště - je v každém okamžiku vzhledem k oblasti hlezenního kloubu sklápěno vpřed a k udržení rovnováhy používá lyžař mechanismy výhodnější, než v situaci ad. b). Jde zejména o využití plantárních extenzorů a extenzorů kolenního a hlezenního kloubu a vzpřimovače trupu.
- b) Součet uvedených sil je takový, že ve výsledku dojde ke změně zatížení z přední na zadní část lyže za oblast hlezenního kloubu - dorzálním směrem. (Jelen, Příbramský a Kohoutek, 2001)

3. CÍL A ÚKOLY PRÁCE

Cíl: Vyhodnotit protetické možnosti osob s exartikulací v kolenním kloubu pro sjezdové lyžování na dvou lyžích.

Úkoly:

- 1) Navrhnout protetická řešení pro sjezdové lyžování s exartikulací v kolenním kloubu.
- 2) Pomocí siloměrné desky L.A.S.A.R.-Posture, změřit polohu těžiště lyžaře na navržených protetických systémech a vyhodnotit podstatné funkce pro sjezdové lyžování.

4. METODIKA PRÁCE

Práce je empiricko-teoretického charakteru. Použitými metodami je komparativní analýza, pozorování s následnou deskripcí. Mezi sledované proměnné patřila poloha těžiště lyžaře a úhly v hlezenním a kolenním kloubu, při neutrálním postoji a základním sjezdovém postoji (ZSP) na siloměrné desce L.A.S.A.R.-Posture.

Nejdříve jsme provedli analýzu jednotlivých systémů, z nichž jsme vybrali ty nejvhodnější pro náš výzkum.

K dosažení stanoveného cíle jsme použili testování jednotlivých protetických systémů na siloměrné desce L.A.S.A.R.-Posture v laboratorních podmínkách. Další doplňující metodou byla analýza fotodokumentace protézových systémů pomocí počítačového programu Dartfish. Následnou indukcí jsme vyhodnotili, zda jsou tyto systémy vhodné pro sjezdové lyžování osob s exartikulací v kolenním kloubu.

Pro složitost a jedinečnost této problematiky jsme zvolili případovou studii.

Jednotlivá měření probíhala v termínu 10.-17.12.2016 v Italském středisku Passo del Tonale na lyžařském kurzu UK FTVS.

- 10.-12.12.: Testovací jízdy vybraných variant protetického vybavení.
- 13.-15.12.: Měření na siloměrné desce.
- 16.12.: Konzultace s protetickými odborníky a probandem ohledně proběhlých testovacích jízd a měření.
- 17.12.: Jsme následnou analýzou vyvodily závěry k použití jednotlivých protetických vybavení pro sjezdové lyžování osob s vybraným postižením.

5. VÝSLEDKY

5.1 Testovací jezdec A.B.

- Narozen 16.12.1976, do úrazu závodně lyžoval.
- Úraz leden 2003 - exartikulace v kolenním kloubu, pravé dolní končetiny.
- Lyžoval 6 let na jedné noze, s holemi a protézou obutou v tenisce.
- V březnu 2009 absolvoval první pokusy na obou lyžích, s bionickým kolenním kloubem C-leg a chodidlem C-Walk.
- Do roku 2012 probíhal vývoj úprav protézy pro lyžování. Kolenní kloub - nastavení tuhosti a rozsahu pohybu dolní polohy. Chodidlo 1H38 pro chůzi bylo upraveno tak, aby se lyžař mohl postavit do správného sjezdového postoje, proto byly odstraněny dorazy omezující pohyb v hlezením kloubu chodidla.

5.2 Vybraná protetická vybavení

Na základě analýzy dostupných protetických systémů v České Republice jsme vybrali firmu Otto Bock, která vyrábí bionické systémy pro chůzi a zároveň speciální protézu určenou pro sjezdové lyžování.

Bionická protéza Genium Otto Bock s chodidlem C-Walk

Protézu Genium jsme zařadili do našeho měření z toho důvodu, abychom zjistili, zda je možné na protetickém kompletu pro chůzi také lyžovat.

Systém Genium představuje v současnosti nejmodernější protetické vybavení. K využití této protézy na lyžování, bylo nutné provést testování lyžařských bot, protézových chodidel a jejich upevnění v lyžařské botě.

Pahýl byl stabilizován v lůžku pomocí podtlakového systému Harmony e-pulse.

Při prvních jízdách měl lyžař těžiště těla vzadu a kolenní kloub byl propnutý, proto bylo nutné podložit patní část chodidla, abychom posunuli těžiště dopředu a kolenní kloub posunuli nad špičku lyžařské boty.

Výsledky úprav:

Ve vybrané lyžařské botě Rossignol ALF track 100, bylo protézové chodidlo vypodloženo pod patou 14 mm a na vnější straně byla tibie utěsněna 14 mm podložkou. Použili jsme materiál PEDILEN 617S6, což je materiál na výrobu měkkého lůžka a KORKFANT, běžně používaného na vložky do bot.

Bionická protéza C-Leg s chodidlem ProCarve

Protéza je zkonstruována výrobcem pro chůzi. využití této protézy pro lyžování se zkouší delší dobu.

Po několikaletém testování jsme usoudili s probandem, že nejvhodnějším chodidlem pro lyžování na protéze C-Leg je chodidlo ProCarve. Toto chodidlo umožňuje dostatečný náklek a předozadní pohyb. Díky přímému připnutí chodidla do lyžařského vázání dochází k přesnějšímu přenosu sil na lyži než u protézové chodidla v lyžařské botě.

Kotva protézy byla na protézovém lůžku posunuta, abychom sklonili femur dozadu v úhlu 15 stupňů vzhledem k tibii. Zabránili jsme tím přepadnutí trupu dopředu.

Kolenní díl protézy C-Leg byl nastaven do módu lyžování a chodidlo ProCarve, nastaveno na tlak 23 barů. Pahýl byl stabilizován v lůžku pomocí podtlakového systému Harmony e-pulse.

Lyžařská protéza ProCarve

Velkou výhodou je možnost nastavení tlaku jak v kolenním kloubu, tak v chodidle. Můžeme tím plynule regulovat tuhost pohybu v kloubech.

Výsledkem těchto testovacích jízd je nastavení protézy: Kolenní kloub tlak 12 barů, chodidlo 23 barů.

Pahýl byl stabilizován v lůžku také pomocí podtlakového systému Harmony e-pulse.

5.3 Výsledky měření

Při měření na siloměrné desce L.A.S.A.R.-Posture vycházíme ze závěrů publikace Česká škola lyžování: Biomechanika a motorické předpoklady alpských disciplín. Praha 2001 autorů Jelen, Příbramský a Kohoutek:

"Při jízdě v přímém směru výsledná síla působící v teoretickém těžišti směřuje do přední části lyže (před hlezenní kloub, v oblasti vymezené opornou plochou od hlezenního kloubu až po úroveň předních článků prstů dolní končetiny). Teoretické těžiště je v každém okamžiku vzhledem k oblasti hlezenního kloubu sklápěno vpřed a k udržení rovnováhy používá lyžař mechanismy výhodnější než v situaci, kdy těžiště směřuje za oblast hlezenního kloubu - dorzálním směrem. Tělo je sklápěno vzad. Tato situace je nevýhodná z hlediska zvýšené svalové činnosti méně výkonných svalových skupin, zejména dorzálních flexorů".

Na základě tohoto tvrzení a systému měření na siloměrné desce L.A.S.A.R.-Posture se orientujeme na polohu těžnice lyžaře vzhledem k polovině podrážky boty.

Při testování na L.A.S.A.R.-Posture jsme provedli měření ve třech polohách:

- První měření: amputovaná DK je na siloměrné desce, druhá DK na kompenzační desce.
- Druhé měření: amputovaná DK na kompenzační desce, druhá DK na siloměrné desce
- Třetí měření: obě DK jsou na siloměrné desce.

Genium

První měření: těžnice směřuje 20 mm na přední část podrážky a při ZSP (základním sjezdovém postoji) 30 mm na její přední část.



Obr. 24: Genium první měření - neutrální postoj



Obr. 25: Genium první měření - ZSP

Druhé měření: těžnice směřuje 40 mm na **zadní** část podrážky a při ZSP 50 mm na její přední část.

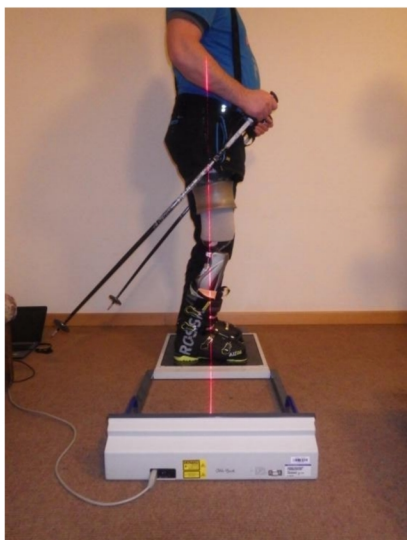


Obr. 26: Genium druhé měření - neutrální postoj

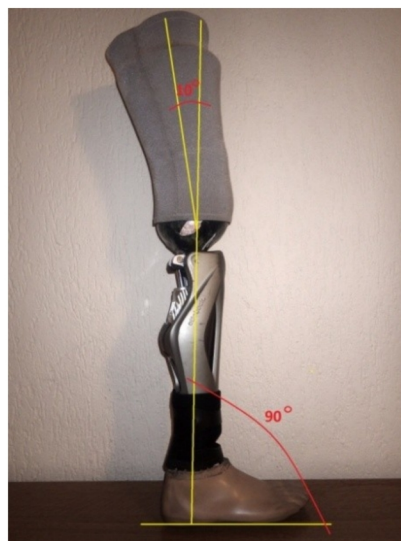


Obr. 27: Genium druhé měření - ZSP

Třetí měření: těžnice směřuje do poloviny podrážky, při ZSP 40 mm na její přední část



Obr. 28: Genium třetí měření - neutrální postoj



Obr. 29: Genium - jednotlivé úhly

U této protézy je úhel tibie 90° k podložce a femur je skloněn dozadu o 10° z tohoto důvodu je nutné podložit patní část protézového chodidla podložkou, aby těžnice směřovala do přední části chodidla.

Závěr: Těžnice při každém měření v ZSP směřuje do přední části podrážky boty. Patní část chodidla je podložena 14 mm silnou podložkou a tibie je vypořádána z vnější strany také 14 mm podložkou, abychom zamezili pohybu protézy v lyžařské botě. Přesto přenos sil na lyži nemůže být tak přesný jako u systému ProCarve.

C-leg

První měření: těžnice směřuje při neutrálním postoji 5 mm na přední část podrážky a při ZSP 70 mm do její přední části.



Obr. 30: C-Leg první měření - neutrální postoj

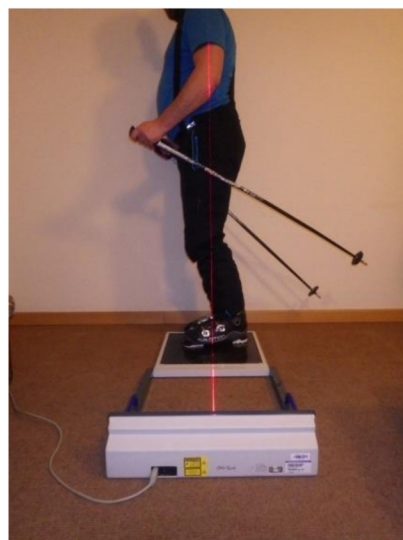


Obr. 31: C-Leg první měření - ZSP

Druhé měření: těžnice směřuje při neutrálním postoji 10 mm na přední část podrážky a při ZSP 40 mm do její přední části.



Obr. 32: C-Leg druhé měření - neutrální postoj



Obr. 33: C-Leg druhé měření - ZSP

Třetí měření: těžnice směřuje do poloviny podrážky, při ZSP 75 mm do její přední části.



Obr. 34: C-Leg třetí měření - neutrální postoj



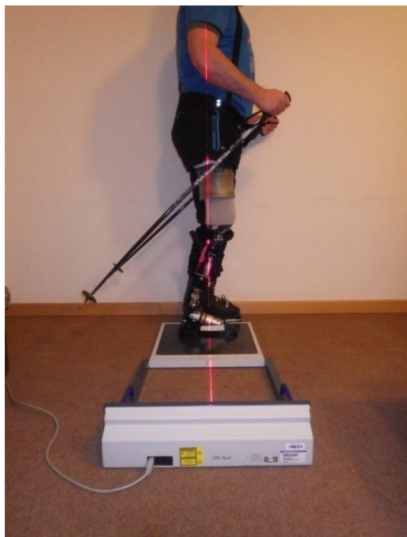
Obr. 35: C-Leg - jednotlivé úhly

Kombinace kolenního kloubu C-leg a chodidla ProCarve je zkompletována Protetikou Plzeň s.r.o. a firmou Otto Bock. Tibie je skloněna v úhlu 77° k podložce a kotva stehenního lůžka byla posunuta tak, aby osa femuru směřovala dorzálně v úhlu 20° , čímž zabráníme přepadu trupu vpřed.

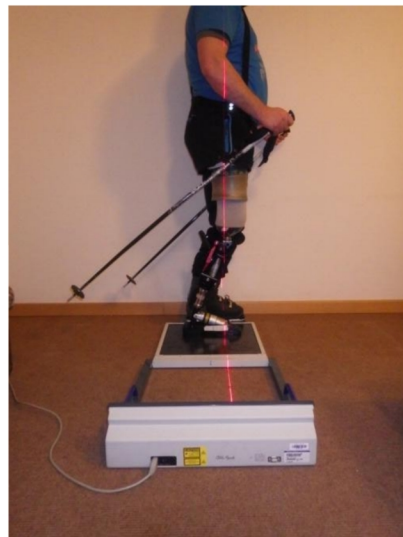
Závěrem můžeme říci, že protéza C-Leg také umožňuje vyvážený neutrální postoj a dostatečný rozsah pohybu na přední část podrážky boty. Důležité je použití chodidla ProCarve, které umožňuje lyžaři dostatečný náklek, přesný přenos sil na lyži a plynulé nastavení tuhosti chodidla podle hmotnosti lyžaře a jeho dovednostní úrovně.

ProCarve

První měření: těžnice směřuje do poloviny podrážky, při ZSP směřuje 60 mm do její přední části.



Obr. 36: ProCarve první měření - neutrální postoj



Obr. 37: ProCarve první měření - ZSP

Druhé měření: těžnice směřuje při neutrálním postoji 5 mm na zadní polovinu podrážky, při ZSP probanda směřuje 70 mm do její přední části.



Obr. 38: ProCarve druhé měření - neutrální postoj



Obr. 39: ProCarve druhé měření - ZSP

Třetí měření: při neutrálním postoji směřuje těžnice do poloviny podrážky a při ZSP 60 mm do její přední části.



Obr. 40: ProCarve třetí měření - neutrální postoj



Obr. 41: ProCarve - jednotlivé úhly

U protetického systému ProCarve tibiie směřuje v úhlu 70° frontálním směrem vzhledem k podložce. Lůžko kotvy je vyrobeno tak, že osa femuru je v úhlu 25° dorzálně vzhledem k tibiai, tím je zabráněno přepadu trupu vpřed.

Závěrem bychom mohli říci, že ProCarve umožňuje vyvážený neutrální postoj a dostatečný rozsah pohybu na přední část podrážky. Poloha kolenního kloubu je konstrukčně přednastavená výrobcem do polohy, kdy femur směřuje vzad. Tuhost kolenního kloubu a chodidla je volitelná podle hmotnosti lyžaře a jeho dovednostní úrovně.

5.4 Zkušenosti z testovacích jízd na jednotlivých systémech

Zkušenosti z testovacích jízd Genium:

- Nutná spolupráce s protetikem, který individuálně nastaví jednotlivé funkce protézy pomocí počítačového programu, který komunikuje s protézou pomocí Wi-fi sítě.
- Nezbytné individuální podložení a upevnění protézy v lyžařské botě.
- Protéza pracuje na základě zabudované baterie, která se musí dobíjet.
- Podtlakový systém Harmony dokonale plnil svou funkci při lyžování.
- Ovládač na přepínání módů není spolehlivý v minusových teplotách.

Zkušenosti z testovacích jízd C-Leg:

- Nutná spolupráce s protetikem, který individuálně nastaví jednotlivé funkce protézy pomocí počítačového programu, který komunikuje s protézou pomocí Wi-fi sítě.
- Protéza pracuje na základě zabudované baterie, která se musí dobíjet.
- Ovládač na přepínání módů není spolehlivý v minusových teplotách.
- Podtlakový systém Harmony umožňuje i přenos torzních sil z pahýlu na lyži.
- Chodidlo ProCarve plnilo dokonale všechny funkce, výhodou je plynulé nastavení tlaku pumpičkou.

Zkušenosti z testovacích jízd ProCarve:

- Snadná nastavitelnost tuhosti kolenního kloubu i chodidla pomocí vysokotlaké pumpičky, zároveň není k nastavení nutný protetik.
- Na protéze je přednastaven sklon femuru dorzálním směrem (není třeba posunutí kotvy lůžka).
- Absolutní odolnost vůči vodnímu prostředí.
- Přesný přenos sil z protézy na lyži.
- Snadné uvolnění kolenního kloubu pro jízdu na sedačkové lanovce, vytažením integrované západky.
- Podtlakový systém Harmony umožňuje i přenos torzních sil z pahýlu na lyži.

6. DISKUZE

Lyžování s jednostrannou nadkolenní amputací bylo do nedávné doby možné pouze na jedné lyži se stabilizátory. Nové technologie vytváří pro lyžaře s exartikulací v kolenním kloubu možnost lyžovat na dvou lyžích. Z těchto důvodů jsme se pokusili tuto problematiku prozkoumat.

Nejdříve jsme si stanovili úkol navrhnout protetická řešení pro takto postižené lyžaře.

Na základě zkušeností s lyžováním s exartikulací v kolenním kloubu jsme se rozhodli pro výrobky německé firmy Otto Bock, která vyrábí bionické protézy pro chůzi. Tyto protézy by mohli za určitých podmínek umožnit lyžování na dvou lyžích. Firma Otto Bock v nedávné době zahájila vývoj mechanicky jednoduché pneumaticko-hydraulické protézy pro lyžování.

Pro náš výzkum jsme zvolili dvě varianty protéz s bionickými kolenními klouby a jako třetí pneumaticko-hydraulické vybavení.

Všechny tři systémy jsme otestovali na siloměrné desce L.A.S.A.R.-Posture, kdy jsme chtěli zjistit, zda budou vyhovovat biomechanickým předpokladům o správné poloze těžiště lyžaře, která vychází z publikace Biomechanika lyžování autorů Jelen, Příbramský a Kohoutek 2001. Podle těchto autorů by těžnice lyžaře měla při jízdě směřovat na přední polovinu podrážky boty.

Protéza s bionickým kolenním kloubem Genium a dynamickým chodidlem C-Walk je nejmodernější, nejvýkonnější protetický systém, jehož cena činí 1,170,000,- Kč. Protéza byla vyrobena i pro pohyb v těžkém terénu a umožňuje chůzi po schodech. Adaptér nahrazující tibií směřuje k podložce v úhlu 90° a femur je skloněn dorzálně 10°. Abychom docílili správného sjezdového postoje museli jsme podložit patní část protézového chodidla 14 mm silnou podložkou, tím jsme dosáhli naklonění tibie dopředu (do nákleku) a těžiště lyžaře díky tomu směřuje do přední části lyžařské boty. Protézu jsme v oblasti lýtka vyplnili z vnější strany 14 mm vložkou, touto úpravou jsme docílili požadované polohy protézy v lyžařské botě a zároveň omezili její pohyb. Přesto přenos sil na lyži nemůže být tak přesný jako u systému ProCarve.

Bionický kolenní kloub C-Leg byl poprvé představen roku 1997 a v současné době je nejpoužívanější bionickou protézou pro chůzi. Současná cena je 650,000,- Kč. Systém v kombinaci s chodidlem ProCarve umožňuje vyvážený neutrální postoj a dostatečný rozsah pohybu nad přední část podrážky boty. Důležité je použití chodidla ProCarve, pro přesný přenos sil na lyži, dále možnost plynulého nastavení tuhosti chodidla podle hmotnosti lyžaře a jeho dovednostní úrovně. Adaptér tibie je skloněn v úhlu 77° a kotva pahýlového lůžka byla protetickým technikem posunuta tak, že osa femuru směřuje dozadu v úhlu 20° . Tato úprava vytvořila předpoklad pro správný sjezdový postoj a správnou polohu těžiště lyžaře při jízdě v obloucích.

Protetický systém ProCarve poprvé představený roku 2010, je první sériově vyráběnou lyžařskou protézou. Současná cena činí 175,000,- Kč. Výsledky měření ukázaly, že kolenní kloub a chodidlo ProCarve umožňují vyvážený neutrální postoj a dostatečný rozsah pohybu nad přední část podrážky boty. Kolenní kloub je výrobcem přednastaven do polohy, kdy femur směřuje dorzálně v úhlu 25° vzhledem k adaptéru tibie, která je skloněna v úhlu 70° směrem dopředu. Tuhost kolenního kloubu i chodidla je nastavitelná podle hmotnosti lyžaře a jeho dovednostní úrovně. Protézu je možné nastavit na požadovanou hodnotu bez přítomnosti protetika, což je nespornou výhodou. Podstatným kladem je ukotvení chodidla ProCarve přímo do lyžařského vázání. Tato speciální lyžařská protéza splňuje všechny předpoklady, pro sjezdové lyžování s exartikulací v kolenním kloubu na dvou lyžích.

7. ZÁVĚR

Cílem naší práce bylo vybrat protézové systémy dostupné na českém trhu, které by se daly použít při sjezdovém lyžování u osob s exartikulací v kolenním kloubu. Dále uskutečnit testovací jízdy a provést případné úpravy jednotlivých vybavení za dohledu protetického odborníka. Následně v laboratorních podmínkách otestovat vybrané systémy na siloměrné desce a analyzovat, zda naměřené výsledky umožní správný sjezdový postoj dle autorů Jelen, Příbramský a Kohoutek 2001.

U prvního vybraného bionického systému Genium a chodidla C-Walk, jež jsou primárně vyrobeny pro chůzi, bylo nutné provést několik úprav. Nastavit kolenní kloub protetikem, vypodložit chodidlo pod patní částí a celkově utěsnit protézu v lyžařské botě. I když celkové přenosy sil a jízdní vlastnosti nejsou tak přesné, jako u dalších dvou systémů. Tyto úpravy nám nakonec dovolily přesunout těžiště probanda do požadované polohy. Je nutné zmínit tržní cenu tohoto systému, která dosahuje téměř 1,170,000,- Kč. Dovolíme si tvrdit, že tímto faktem se stává pro většinu možných zájemců nedosažitelnou pomůckou.

Další vybraný protetický systém sestává z kombinace bionické kolenní jednotky C-Leg a pneumaticko-hydraulického chodidla ProCarve. U tohoto vybavení byla protetikem posunuta kotva pahýlového lůžka a kolenní kloub elektronicky nastaven do příslušného módu. Tento komplet, na základě našich měření, umožňuje vyvážený neutrální postoj a dostatečný rozsah pohybu kolene směrem nad přední část podrážky boty. Důležitým faktorem pro případné využití protézy C-leg je cena přesahující 650,000,- Kč.

Posledním testovaným systémem je pneumaticko-hydraulická protéza ProCarve. Protéza je vyrobena pro sjezdové lyžování, jediné nutné úpravy spočívaly v nastavení tlaku kolenního kloubu a chodidla na požadovanou tuhost. Dle našich měření tato speciální lyžařská protéza splňuje všechny předpoklady, pro sjezdové lyžování s exartikulací v kolenním kloubu na dvou lyžích. Jeden z hlavních důvodů pro volbu protézy ProCarve je pořizovací cena, která činí za komplet necelých 175,000,- Kč.

V naší bakalářské práci jsme si ověřili, že jsou v České republice dostupné protézy, které zprostředkují osobám s exartikulací v kolenním kloubu lyžování na dvou lyžích.

Největší překážkou jsou značné pořizovací náklady takové lyžařské protézy a dotace od pojišťoven je dnes prakticky nemožná. Proto chceme získat finanční zdroje ve spolupráci s firmou Otto Bock ČR s.r.o. a spolkem No Foot No Stress, které by umožnily nákup 8-10 kompletů protézy ProCarve a následně je amputovaným zájemcům za symbolickou cenu půjčovat.

Použitá literatura

- 1) DAŘOVÁ, Klára. *Klasifikace pro výkonnostní sport zdravotně postižených*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2008. s. 89 ISBN 978-802-4615-202.
- 2) DUNGL, Pavel. *Ortopedie* 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2014. s. 93-115. ISBN: 978-80-247-4357-8.
- 3) GNAD, Tomáš. *Kapitoly z lyžování*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2006. ISBN 80-246-0241-5
- 4) GNAD, Tomáš a kolektiv. *Základ teorie lyžování a snowboardingu*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2008. ISBN 978-80-246-1587-5
- 5) GREITEMANN B. a kolektiv. *Amputace a protetická péče*. 4. vydání, Stuttgart, Thieme Verlag 2016. ISBN 9783131361547
- 6) HRUŠA, Jan a kolektiv. *Lyžování tělesně postižených*. Svaz lyžařů České republiky, Praha 1999
- 7) HRUŠA, Jan. Sjezdové lyžování s jednostrannou podkolenní amputací. *Ortopedická protetika*. 2007, č. 13, s. 28-29. ISSN 1212-6705
- 8) JELEN, K., Příbramský, M. & Kohoutek, M.. Česká škola lyžování: biomechanika a motorické předpoklady alpských disciplín. Praha 2001: UK FTVS
- 9) KUBEŠ, R. *Amputace*. In DUNGL, P. a kol. *Ortopedie*. Praha: Grada Publishing, 2005, s. 165-175, 1280 s. ISBN 80-247-0550-8
- 10) KUDLÁČEK, Martin a kolektiv. *Aplikované pohybové aktivity pro osoby s tělesným postižením*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. s. 122 ISBN 978-80-244-1655-7.
- 11) PŮLPÁN, R., *Základy protetiky*. Praha: Epimedia Publishing, 2011. ISBN 978-80-260-0027-3
- 12) SOSNA, A. Vavřík, P., Kadlec, M., Pokorný, D., a kolektiv. *Základy ortopedie* 1. vyd. Praha: Triton, 2001, 175 s., obr. ISBN 8072542028

Internetové zdroje

- 1) 1E91 Runner. *Ottobock* [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://professionals.ottobockus.com/Prosthetics/Lower-Limb-Prosthetics/Feet/Higher-Activity-Feet-K3-K4/1E91-Runner/p/1E91>
- 2) 3R80. *Moje protéza* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://mojeproteza.cz/zivot-protezou/nase-produkty/kolenni-klouby/3r80>
- 3) C-Leg. *Moje Protéza* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://mojeproteza.cz/podpora-a-pomoc/pro-ortotiky-protetiky/brozury-prospekty>
- 4) C-leg. *Metodika VZP* [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: https://webevzp.blob.core.windows.net/media/Default/dokumenty/ciselniky/ostatni/metodika_982.pdf.
- 5) C-Walk. *Moje Protéza* [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://mojeproteza.cz/zivot-protezou/nase-produkty/chodidla/c-walk>
- 6) Dynamic Vacuum System. *Moje Protéza* [online]. [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: <http://mojeproteza.cz/zivot-protezou/nase-produkty/systemy-pripojeni/dynamic-vacuum-system>
- 7) Exartikulace. *Lékařský slovník* [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <http://lekarske.slovniky.cz/lexikon-pojem/exartikulace-2>
- 8) Harmony e-pulse. *Otto Bock* [online]. [cit. 2017-02-26] Dostupné z: <http://www.360oandp.com/products/206/Otto-Bock-Harmony%C2%AE-e-pulse.aspx>
- 9) L.A.S.A.R. Posture. *Praktické zkušenosti s měřicím přístrojem L.A.S.A.R.* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.ortotikaprotetika.cz/oldweb/Wcf5bbf9899dbb.htm>
- 10) Mauch XG. *Ossur*. [online]. [cit. 2017-02-26] Dostupné z: <http://www.ingcorporation.cz/cs/ossur/kolenni-kloub>

- 11) ProCarve. *Chabloz Ortopedie*. [online]. [cit. 2017-03-04] Dostupné z: <http://www.chabloz-orthopedie.com/en/orthopedics/Sport/5/Snow-sports/24>
- 12) Prothetic Solutions. *Flex-foot Cheetah* [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <https://www.ossur.com/prosthetic-solutions/products/sport-solutions/cheetah>
- 13) Rheo knee 3. *Protetická řešení* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://www.ossur.cz/proteticka-reseni/bionika/rheo-knee>
- 14) Stupně aktivity. *Moje protéza* [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <http://mojeproteza.cz/cerstva-amputace/stupne-aktivity>
- 15) Triton. *Moje Protéza* [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://mojeproteza.cz/zivot-protezou/nase-produkty/chodidla/triton>
- 16) Základní sjezdový postoj. *Sjezdové lyžování* [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: https://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/ps08/sjezd_lyze/web/pages/02_postoj.html

Přílohy

- 1) Přehled jednotlivých měření na siloměrné desce L.A.S.A.R.-Posture