

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Fakulta tělesné kultury

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

Bc. Libor Polách

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

VLIV PROGRAMU KNEERUGBYWOMEN NA TUHOST DOLNÍCH KONČETIN  
U RAGBISTEK STARŠÍCH 15 LET

Diplomová práce  
(magisterská)

Autor: Bc. Libor Polách, Trenérství a management sportu

Vedoucí práce: Prof. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.

Olomouc 2022

## Bibliografická identifikace

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Libor Polách

**Název magisterské práce:** Vliv programu KneeRugbyWomen na tuhost dolních končetin u ragbistek starších 15 let

**Pracoviště:** Katedra sportu

**Vedoucí bakalářské práce:** Prof. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.

**Rok obhajoby bakalářské práce:** 2022

### Abstrakt:

Cílem práce bylo ověřit u ragbistek vliv preventivního tréninkového programu KneeRugbyWomen na tuhost dolních končetin jako indikátoru neuromuskulárního řízení kolenního kloubu. Hodnocený výzkumný soubor zahrnoval dívky a ženy starší 15 let ( $n = 24$ ). Výzkumný soubor byl rozdělen na experimentální ( $n = 12$ , věk =  $20,05 \pm 4,43$  roků) a kontrolní skupinu ( $n = 12$ , věk =  $20,04 \pm 4,88$  roků). Experimentální skupina následně absolvovala 12týdenní, 10minutový preventivní tréninkový program KneeRugbyWomen, obsahující silová, balanční a plyometrická cvičení, který byl zařazen po rozcvičení 2krát týdně do běžných tréninkových jednotek. Kontrolní skupina absolvovala stejné rozcvičení a ve svém programu se věnovala rozvoji herních dovedností. Měření probíhalo před a po absolvování tréninkového programu. Neuromuskulární kontrola kolenního kloubu byla hodnocena pomocí parametrů absolutní tuhost dolních končetin (ALS) a relativní tuhost dolních končetin (RLS). Výsledky měření neprokázaly vliv tréninkového programu KneeRugbyWomen na absolutní tuhost dolních končetin ( $p < 0,05$ ). Signifikantní rozdíl ( $p < 0,05$ ) mezi vstupním a výstupním měřením byl potvrzen pouze u relativní tuhosti dolních končetin, avšak u experimentální i kontrolní skupiny se jednalo o negativní trend. Realizace programu KneeRugbyWomen u amatérských hráček sedmičkového ragby starších 15 let nevedla k pozitivním změnám tuhosti dolních končetin jako indikátoru rizika zranění LCA.

**Klíčová slova:** ragby, ženské ragby, trénink, kolenní kloub, zranění, prevence, tuhost dolních končetin

Diplomová práce byla zpracována s podporou vědeckého grantu IGA\_FTK\_2021\_008 Vliv programu KneeRugbyWomen na indikátory rizika zranění kolenního kloubu u ragbistek starších 15.

Souhlasím s půjčováním závěrečné písemné práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author's first name and surname:** Bc. Libor Polách

**Title of the master thesis:** Impact of KneeRugbyWomen program on leg stiffness in rugby women players older 15 years

**Department:** Department of sport

**Supervisor:** Prof. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.

**The year of presentation:** 2022

### **Abstract:**

The aim of the work was to verify the effect of the preventive training program KneeRugbyWomen on leg stiffness as an indicator of neuromuscular control of the knee joint. The evaluated research group included girls and women older than 15 years ( $n = 24$ ). The research group was divided into experimental ( $n = 12$ , age =  $20.05 \pm 4.43$  years) and control group ( $n = 12$ , age =  $20.04 \pm 4.88$  years). The experimental group then completed a 12-week, 10-minute preventive training program KneeRugbyWomen, containing strength, balance and plyometric exercises, which was included after warming up twice a week in regular training units. The control group underwent the same warm-up and focused on developing game skills in their program. The measurement took place before and after completing the training program. Neuromuscular control of the knee joint was evaluated using the parameters absolute leg stiffness (ALS) and relative leg stiffness (RLS). The measurement results did not show the effect of the KneeRugbyWomen training program on the absolute leg stiffness ( $p < 0.05$ ). A significant difference ( $p < 0.05$ ) between the input and output measurements was confirmed only in the relative leg stiffness, but in the experimental and control groups it was a negative trend. The implementation of the KneeRugbyWomen program in amateur sevens rugby players over the age of 15 did not lead to positive changes in leg stiffness as an indicator of LCA injury risk.

**Keywords:** rugby, women rugby, training, knee joint, injury, prevention, leg stiffness

The diploma thesis was supported by the research grant IGA\_FTK\_2021\_008 Impact of KneeRugbyWomen program on indicators of knee injury's risk in rugby women players older 15 years.

I agree with the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením prof. PaedDr. Michala Lehnerta, Dr., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 25. 4. 2022

.....

Děkuji prof. PaedDr. Michalu Lehnertovi, Dr. za jeho velmi cenné rady a poznatky, které obrovskou měrou přispěly k tvorbě mé diplomové práce.

## Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	PŘEHLED POZNATKŮ.....	11
2.1	Ženské sedmičkové ragby.....	13
2.1.1	Epidemiologie zranění v ženském sedmičkovém ragby.....	15
2.2	Epidemiologie zranění v kolektivních sportech žen.....	18
2.2.1	Epidemiologie zranění v ženském fotbale.....	18
2.2.2	Epidemiologie zranění v ženské házené.....	20
2.2.3	Epidemiologie zranění v ženském basketbalu.....	20
2.3	Tréninkové programy pro prevenci zranění v ženských kolektivních sportech...	21
2.3.1	Tréninkový program pro prevenci zranění v ženském ragby.....	23
2.4	Fyziologie svalů kolenního kloubu.....	24
2.4.1	Svalová tkáň a druhy svalových vláken.....	24
2.4.2	Princip svalového stahu.....	26
2.4.3	Energetické zdroje pro svalovou činnost.....	27
2.4.4	Fyziologická únava.....	29
2.5	Pohyb v kolenním kloubu a jeho řízení.....	31
2.5.1	Anatomie kolenního kloubu.....	31
2.5.2	Kineziologie kolenního kloubu.....	33
2.5.3	Biomechanika dolní končetiny.....	34
2.5.4	Neuromuskulární řízení pohybu.....	35
2.5.4.1	Cyklus protažení a zkrácení svalu.....	35
2.6	Rizikové faktory poranění měkkých tkání kolenního kloubu.....	38
2.6.1	Vliv únavy na vznik poranění LCA.....	40
2.6.2	Pohlaví jako rizikový faktor zranění LCA.....	41
2.7	Hodnocení neuromuskulární kontroly kolenního kloubu.....	43
2.7.1	Tuhost dolních končetin.....	44
3	CÍLE PRÁCE.....	46
4	METODY PRÁCE.....	47
4.1	Výzkumný soubor.....	47
4.2	Design studie.....	48
4.3	Metody a organizace sběru dat.....	49
4.4	Preventivní program KneeRugbyWomen.....	50
4.5	Statistické vyhodnocení dat.....	52
5	VÝSLEDKY PRÁCE.....	53

6	DISKUZE .....	54
7	ZÁVĚRY .....	60
8	SOUHRN .....	61
9	SUMMARY .....	62
10	REFERENČNÍ SEZNAM .....	63
11	SEZNAM PŘÍLOH.....	75



## Přehled používaných zkratek

A-Es	athlete-exposures = výskyt zranění na 1000 hodin zkoumané aktivity
ALS	absolute leg stiffness, absolutní tuhost dolních končetin
ANP	anaerobní práh
ATP	adenosintrifosfát
CNS	centrální nervová soustava
CP	kreatinfosfát
ČSTV	Československý svaz tělesné výchovy a sportu
EE	elastická energie
FG	fast glycolytic (twitch), rychlá glykolytická (vlákna)
LCA	ligament cruciate anterior, přední zkřížený vaz
LCP	ligament cruciate posterior, zadní zkřížený vaz
lig.	ligament, vaz
LS	tuhost dolních končetin (leg stiffness)
m.	muscle, sval
min.	minut
mm.	muscles muscle, svaly
ms.	milisekunda
<i>p</i>	hladina statistické významnosti
PES	paralelní elastická složka
RLS	relative leg stiffness, relativní tuhost dolních končetin
s	sekunda
SES	sériová elastická složka
SO	slow oxidative (twitch), pomalá oxidativní (vlákna)
SSC	stretch shortening cycle, cyklus protažení a zkrácení svalu

## 1 ÚVOD

Ženy stále více vstupují do dříve typických mužských sportů. V kolektivních sportech jako basketbal, fotbal nebo házená, jsou ženské týmy naprosto běžnou součástí sportovního odvětví. V posledních desetiletích se u žen prosazují i sporty jako ragby, které dříve, zřejmě díky své „tvrdošti“ nepatřily mezi ženami, k příliš vyhledávaným. Stále rostoucí oblibě se mezi ženami těší zejména sedmičková verze ragby.

Sedmičkové ragby je sport mající vysoké kondiční nároky na jednotlivé hráčky. Během utkání jsou hráčky nuceny řešit složité herní i pohybové úkoly, při kterých dochází ke zvýšenému namáhání dolních končetin. Jedná se o intermitentní sport s častými změnami směru, nečekaným brzděním, výskoky a následnými dopady. Zvýšené nároky jsou tak kladeny na dynamickou stabilitu kolenního kloubu, k jehož poranění jsou ženy mnohem náchylnější než muži.

V případě že nejsou ženy na tento styl hry dostatečně fyzicky připraveny, roste riziko poranění. Ve výše jmenovaných sportech patří k nejtěžším úrazům měkkých tkání kolenního kloubu poranění předního zkříženého vazů (LCA). Množství autorů se shoduje, že u žen dochází k vyššímu počtu jak kontaktních, tak i bezkontaktních poranění LCA oproti mužům. Vliv na tato poranění má zejména kloubní postavení a neuromuskulární spolupráce svalů, zajišťujících stabilitu kolenního kloubu, zejména při excentricko-koncentrických pohybech, tzv. Stretch shortening cycle (SSC). Mezi faktory určující schopnost odolávat silám vznikajícím při SSC se mimo jiné považuje také tuhost dolních končetin.

Tuhostí dolních končetin se zabývá i naše práce. Konkrétně změnami, vyvolanými pravidelnou pohybovou intervencí. Na základě dílčích měření se chystáme prokázat pozitivní vliv i krátkodobého, speciálně zaměřeného cvičení, na nárůst tuhosti dolních končetin u háček sedmičkového ragby. Tento nárůst by následně vedl k lepší dynamické stabilitě kolenního kloubu a tím i k redukci počtu úrazů LCA v tréninku i při hře.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

Zranění je nedílnou součástí aktivního života. Čím náročnější aktivita je provozována, tím vyšší je i riziko zranění. Porovnáním pohybových aktivit vzhledem k výskytu poranění se zabývali ve své studii Parkkari et al. (2004), kteří vybrali ve finské populaci náhodný vzorek 3363 obyvatel ve věku 15 až 74let. Tito během roku zaznamenávali fyzické aktivity delší 15 minut spolu s případným vznikem poranění. Při běžných rekreačních činnostech jako chůze, tanec, zahradničení nebo rybaření se pohybovala incidence zranění v rozmezí od 0,19 do 1,5 na 1000 hodin vybrané aktivity (A-Es). Znatelně vyšší riziko se však projevilo při individuálních i týmových kontaktních sportech, jako jsou karate, lední hokej, fotbal, florbal, basketbal apod. Zde se incidence pohybovala mezi 6,6 a 18,3 A-Es.

Kontaktní sporty, ať už se jedná o jejich individuální či kolektivní formy, jsou vždy nositelem zvýšeného rizika zranění. Zranění je přitom jevem vysoce nežádoucím, jelikož může sportovce vyřadit z tréninku i na několik měsíců, ve výjimečných případech znamená i konec kariéry. Může být tedy spojeno i s nepříjemnými finančními dopady (Jasny, 2021).

Z tabulky 1, která zobrazuje absolutní sportovní úrazovost v ČR v letech 1977-1983, je patrné, že počtem zranění jasně vévodí fotbal a hokej. Pokud si však stejnou tabulku zobrazíme v relativních hodnotách, tedy přepočteme počet úrazů na počet registrovaných sportovců, zjistíme, že se do čela tabulky dostane hned za boxem právě ragby (Tabulka 2). To se tak podle statistik ČSTV řadí spolu s ledním hokejem, házenou a basketbalem mezi nejrizikovější kolektivní sporty (Moster & Mosterová, 2007).

Tabulka 1

*Sportovní úrazy v ČSTV 1977-1983 (upraveno, Moster & Mosterová, 2007).*

Pořadí	Sportovní odvětví	Podíl v %
1.	Fotbal	47,96
2.	Lední hokej	26,87
3.	Házená	5,02
4.	Volejbal	3,78
5.	Basketbal	3,12
6.	Ragby	1,23
7.	Box	0,7
8.	Florbal	0,31

Tabulka 2

*Sportovní úrazovost v ČSTV 1977-1983 (upraveno, Moster & Mosterová, 2007).*

Pořadí	Sportovní odvětví	Sportovní úrazovost (počet úrazů na 100 sportovců)
1.	Box	5,3
2.	Ragby	5,09
3.	Lední hokej	5,08
4.	Házená	2,42
5.	Basketbal	2,02
6.	Fotbal	1,5
7.	Basketbal	1,41
8.	Florbal	1,31

Základní dělení příčin vzniku poranění je na kontaktní a nekontaktní (Read, Oliver, Croix, Myer, & Lloyd, 2016). Dle statistik ČSTV je zásadní rozdíl v poměru příčin vzniku zranění ve sportu mezi muži a ženami. Zatímco u mužů jsou způsobeny ze dvou třetin (68,9 %) kontaktem se soupeřem, u žen jsou naopak dvě třetiny (67,9 %) poranění nekontaktních (Tabulka 3). Převahu nekontaktních poranění u žen potvrzuje také statistika v tabulce 4, kde pád a chtěný pád představují dohromady 56,5 % všech sportovních zranění u žen.

Tabulka 3

*Příčiny vzniku sportovních úrazů v ČSTV 1977-1983 (Moster & Mosterová, 2007).*

Příčina úrazu	Muži v %	Ženy v %	Celkem v %
Druhá osoba	68,9	32,1	66,1
Technické	16,1	39,4	17,9
Klimatické	7,1	10,4	7,4
Chybná metodika	6,4	14,2	7
Subjektivní	1,2	3	1,3
Organizační	0,2	0,6	0,2
Nezjištěné	0,1	0,3	0,1
Celkem	100	100	100

Tabulka 4

*Úrazy podle mechanismu jejich vzniku v ČSTV 1977-1983 (Moster & Mosterová, 2007).*

Mechanismus úrazu	Muži v %	Ženy v %	Celkem v %
Úder	34	14,8	32,6
Pád	20,6	28,5	21,2
Srážka	20,3	7,4	19,3
Chtěný pád	10,8	28	12
Náraz	9,4	10,6	9,4
Nekoordinovaný pohyb	3,5	3,4	3,5
Výskok	0,5	5,1	0,9
Různý jiný	0,7	1,6	0,8
Nezjištěný	0,2	0,6	0,3
Celkem	100	100	100

Z výše uvedeného tedy jednoznačně vyplývá, že více než polovina sportovních poranění u žen je způsobena bezkontaktně. Autoři také uvádí, že 44 (Fuller, Taylor, & Raftery, 2017) až 80 % (Hartmut, Becker, Walther, & Hess, 2010) všech zranění připadá v ženských kolektivních sportech na úrazy dolních končetin, kde mezi nejtěžší poranění patří úrazy předního zkříženého vazů (LCA) (Lai, Ardern, Feller, & Webster, 2018).

## 2.1 Ženské sedmičkové ragby

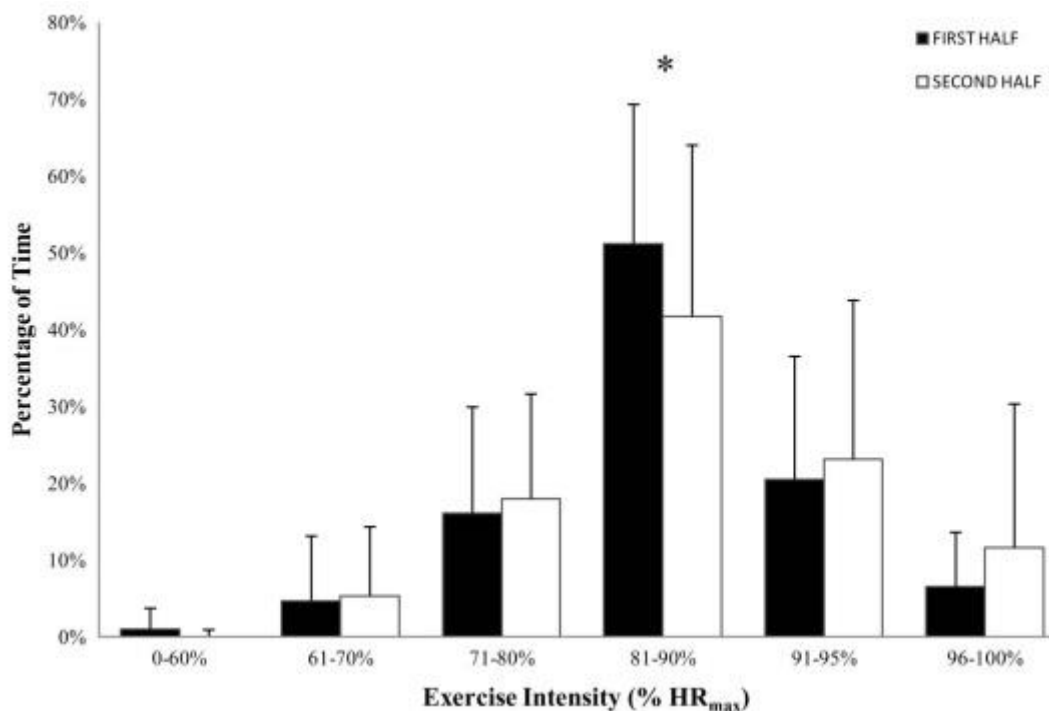
Ragby je mezinárodní kolektivní, kontaktní sport praktikovaný na amatérské i profesionální úrovni. Počet registrovaných hráčů stále stoupá. V roce 2019 registrovala světová ragbyová unie zhruba 8,5 milionu hráčů ze 121 zemí celého světa. Větší hráčské základně se těší patnáctkové ragby. To se hraje na dva 40minutové poločasy s 10minutovou přestávkou na hřišti o rozměrech 100 x 70m. Týmy se skládají ze 7 útočníků a 8 obránců. Vzhledem k vysokým fyzickým nárokům na hru se v jednom týdnu zpravidla nehraje více než 1 výjimečně 2 utkání. Poslední dobou však stále více nabírá na popularitě zkrácená verze klasického ragby nazývaná sedmičkové ragby (King et al., 2019).

Sedmičkové ragby se hraje na stejném hřišti jako klasické patnáctkové ragby. Rozdíl je pouze v délce poločasu a počtu hráčů. Jeden poločas trvá 7 minut s minutovou přestávkou, kdy proti sobě stojí dva týmy o sedmi hráčích (Táborský, 2004). Vzhledem ke kratší hrací době a menšímu počtu hráčů je hra mnohem intenzivnější. Celý zápas se

odehrává ve vysoké intenzitě, kdy velmi rychlé sprinty střídají prudká brždění a časté změny směru. Také struktura turnajů se liší. Oproti patnáctkovému ragby se turnaje pořádají i na více dní, kdy během jednoho dne může být odehráno až 5 utkání. To vše s sebou nese zvýšené riziko poranění způsobené mimo vysoké intenzity také hromadící se únavou. Sedmičkové ragby si získalo oblibu zejména u žen, kde je jejich hráčská základna mnohem širší v poměru ke klasickému ragby (Suarez-Arrones et al., 2012).

Od roku 2016, díky znovuzařazení sedmičkového ragby do Olympijských her, jeho obliba stále stoupala. To mělo samozřejmě negativní vliv na nárůst absolutní úrazovosti v tomto sportu (Ma et al., 2016), která je u hráčů sedmičkového ragby mnohem vyšší než u klasického patnáctkového ragby (Fuller, Taylor, & Molloy, 2010). Vliv na tento rozdíl mají zřejmě vyšší fyzické nároky na hru, kde se herní intenzita pohybuje většinu času nad 80 % maximální srdeční frekvence (Obrázek 1). Když se k tomu přičte fakt, že se mnohdy v jeden den hraje více zápasů, dochází tak k vyšší kumulaci únavy a tím i ke zvýšenému riziku výskytu poranění (Takahashi et al., 2006). Ragby patří mezi kolektivní sporty s největší úrazovostí. Nejčastěji se jedná o úrazy ramene, kolene, stehna, kotníku a také úrazy hlavy (Brooks & Kemp, 2008; Ellapen, Heerden, Taylor, Trend, & Merwe, 2016).

Hráčky sedmičkového ragby překonávají při hře větší relativní vzdálenosti, větší rychlosti s menším odpočinkem mezi jednotlivými fázemi hry (Suarez-Arrones et al., 2012). Při hře tak dochází ke střídání mnohačetných krátkých, avšak velmi intenzivních intervalům. To má za následek další kumulaci únavy, která se může na venek projevit snížením dynamické rovnováhy a snížením stability kolenního kloubu. Menší stabilita následně vede k přetížení pasivních struktur, jakými jsou menisky a kolenní vazy. Zvyšuje se tak riziko poranění LCA (Liederbach, Kremenic, Orishimo, Pappas, & Hagins, 2014), které patří k jednomu z nejméně závažných poranění a ženy jsou k němu mnohem náchylnější než muži (Ahmad et al., 2006; Montalvo et al., 2019; Myklebust et al., 2003; Taborri et al., 2021).



Obrázek 1. Procentuální vyjádření času tráveného v jednotlivých zónách srdeční frekvence, během utkání v ženském sedmičkovém ragby (Suarez-Arrones et al., 2012, 1861).

### 2.1.1 Epidemiologie zranění v ženském sedmičkovém ragby

Chalmers, Samaranayaka, Gulliver, a McNoe (2012) shromáždili během 28 týdnů data od 704 hráčů o úrazech při ragbyových turnajích. Ukázalo se, že 35 % všech zranění připadá na úrazy dolních končetin. Náchylnost ke zraněním dolních končetin při ragby prokázali ve své studii také Fuller, Taylor a Raftery (2016). Ti zjistili, že nejvíce zranění při ragby připadá na úrazy kolene (17,4 %), kotníku (15,9 %) a zadní části stehna (13,2 %). Nejčastějším typem jsou potom úrazy vazů a svalů. Vysokou úrazovost kolene při ragby potvrdili také Ellapen et al. (2016).

Velmi vysoká úrazovost v sedmičkovém ragby se potvrdila ihned po znovuzáření ragby mezi olympijské sporty. V roce 2016 na Letních olympijských hrách v Riu, byla zaznamenána průměrná incidence zranění u žen 71,1 A-Es a u mužů dokonce 124,5 A-Es. Muži tak výskytem zranění ženy vysoce převýšili. Pokud se však podíváme na incidenci zranění ze Sevens World Series (SWS) z předcházejících let, zjistíme, že v sezóně 2014/2015 a 2015/2016 byla ženská a mužská incidence poranění velmi podobná (Obrázek 2). Stejně tak místa poranění a četnost jejich výskytu se, až na poranění v oblasti kolenního kloubu, příliš nelišily. Zde však ženy vykazovaly 2krát více poranění

než muži. Zatímco u mužů představovalo poranění kolenního kloubu v průměru 12 % všech zranění, u žen se počet vyhoupl až na 22 %. Většina úrazů k oblasti kolene pak představovala poranění kolenních vazů (Obrázek 3). Na Letních olympijských hrách v Riu byly zaznamenány dva úrazy kolenních vazů v mužské a 2 v ženské kategorii, kdy se ve všech případech jednalo o poranění LCA s délkou léčení v jednotlivých případech přesahující 7 měsíců (Fuller et al., 2017).

Vysoká turnajová úrazovost v ženském sedmičkovém ragby byla potvrzena také dalšími studii. Jejich incidence však klesala spolu s úrovní soutěže. Ma et al. (2016) uvedli při American 7's Football League v letech 2010–2013 průměrnou incidenci zranění 46,3 A-Es, kdy na úrazy dolních končetin připadalo 44,5 % všech zranění. Většina úrazů v mužské i ženské kategorii byla kontaktních (Obrázek 4) (Fuller et al., 2017).

Gender/measure	2014/2015 SWS	2015/2016 SWS	2016 Rio
<b>Men</b>			
Match injuries	135	153	14
Exposure	1253.9	1394.2	112.5
Incidence	107.7 (90.9 to 127.4)	109.7 (93.7 to 128.6)	124.5 (73.7 to 210.2)
<b>Women</b>			
Match injuries	58	56	8
Exposure	655.2	511.7	112.5
Incidence	88.5 (68.4 to 114.5)	109.4 (84.2 to 142.2)	71.1 (35.6 to 142.2)

SWS, Sevens World Series.

*Obrázek 2.* Zobrazení počtu zranění v zápasech a incidence zranění na 1000h utkání (Fuller et al., 2017, 1274).

Gender, ranking	Most common injuries, (n, %)		
	2014/2015 SWS	2015/2016 SWS	2016 Rio
<b>Men</b>			
1	Concussion (21, 15.6)	Concussion (26, 17.0)	Knee ligament (2, 14.3)
2	Ankle ligament (20, 14.8)	Ankle ligament (23, 15.0)	Hand/finger fracture (2, 14.3)
<b>Women</b>			
1	Knee ligament (13, 22.4)	Concussion (12, 21.4)	Ankle ligament (2, 25.0)
2	Concussion (6, 10.3)	Knee ligament (5, 8.9)	Knee ligament (2, 25.0)
		Ankle ligament (5, 8.9)	

*Obrázek 3.* Nejčastější poranění při zápase, dle pohlaví (Fuller et al., 2017, 1277).



Nature/cause of injury onset	Proportion of all injuries (%; 95% CI)		
	2014/2015 SWS	2015/2016 SWS	2016 Rio
<b>Nature</b>			
<b>Men</b>			
Acute	95.6 (92.1 to 99.0)	94.8 (91.2 to 98.3)	92.9 (79.4 to 100)
Gradual	4.4 (1.0 to 7.9)	5.2 (1.7 to 8.8)	7.1 (0 to 20.6)
<b>Women</b>			
Acute	93.1 (86.6 to 99.6)	92.9 (86.1 to 99.6)	87.5 (64.6 to 100)
Gradual	6.9 (0.4 to 13.4)	7.1 (0.4 to 13.9)	12.5 (0 to 35.4)
<b>Cause</b>			
<b>Men</b>			
Contact	77.7 (70.5 to 84.8)	85.1 (79.4 to 90.9)	85.7 (67.4 to 100)
Non-contact	22.3 (15.2 to 29.5)	14.9 (9.1 to 20.6)	14.3 (0 to 32.6)
<b>Women</b>			
Contact	92.9 (86.1 to 99.6)	96.2 (90.9 to 100)	83.3 (53.5 to 100)
Non-contact	7.1 (0.4 to 13.9)	3.8 (0 to 9.1)	16.7 (0 to 46.5)

SWS, Sevens World Series.

*Obrázek 4.* Povaha a příčina zranění, dle pohlaví (Fuller et al., 2017, 1277).

Zranění v ženském sedmičkovém ragby se samozřejmě nevyskytují pouze při utkání, ale dochází k nim také při trénincích. Tréninková incidence poranění představuje mnohem nižší čísla, ale přesto ji nelze opomenout. Dle Schick, Molloy a Wiley (2008) představovala během mistrovství světa v ragby v roce 2006 incidence zranění při tréninku 3 A-Es. K podobnému číslu došli při rešerši literatury také King et al. (2019), kteří zjistili průměrnou incidenci poranění při tréninku 1,5 A-Es (0,8 až 2,2 A-Es).

King et al. (2019) uvádějí jako nejčastější poranění otřes mozku a úrazy v oblasti kolene. Mezi těžší úrazy měkkých tkání kolenního kloubu patří poranění LCA, vnitřního postranního vazy (MCL) nebo menisků. K těmto zraněním dochází kontaktně i bezkontaktně (Montgomery et al., 2018). U žen dochází až k 6krát vyšší míře nekontaktního poranění LCA než u mužů (Hägglund & Waldén, 2016; Gillot, L'Hermette, Garnier, & Tourny-Chollet, 2019). Vzhledem k incidenci poranění LCA v rozmezí 0,36 až 0,47 A-Es (Montalvo et al., 2019) patří ženské sedmičkové ragby v tomto směru mezi nejrizikovější ženské kolektivní sporty.

Vliv na úrazovost má vedle vnějších činitelů a momentální úrovně kondice, také vhodně zvolený trénink (Hislop et al., 2016). Pro prevenci zranění je v ragby doporučováno komplexní zvýšení fyzické kondice (Brooks & Kemp, 2008; Ellapen et al., 2016; Fuller et al., 2016; Chalmers et al., 2012), kdy se jako důležitý ukazatel prevence poranění LCA jeví tuhost dolních končetin (Hughes & Watkins, 2006). V rámci komplexnosti jsou tak, do preventivních programů, zařazovány mimo dynamických

a statických balančních cvičení, také silové cvičení s rezistenčním odporem a plyometrická cvičení s dopady a změnami směru (Hislop et al., 2016).

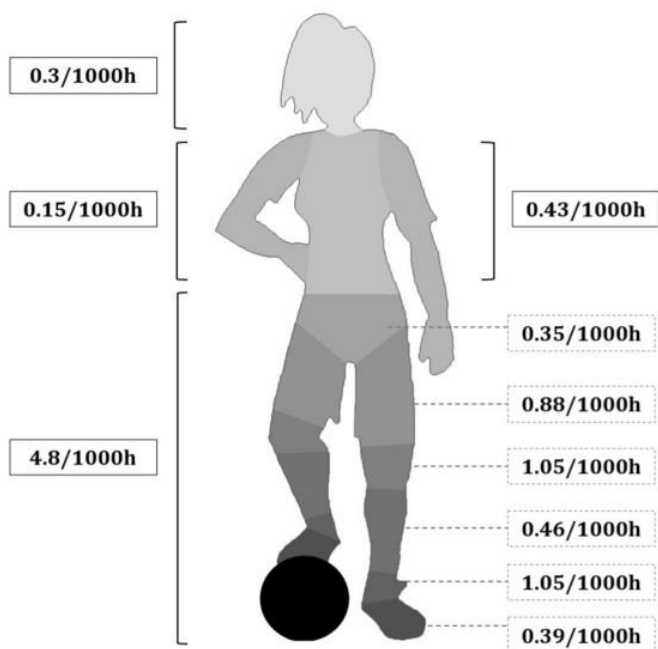
## **2.2 Epidemiologie zranění v kolektivních sportech žen**

Kolektivní kontaktní sporty, mezi které patří fotbal, basketbal, házená nebo hokej se vyznačují velmi podobnou mechanikou vzniku úrazů jako v ragby. Zejména potom jedná-li se o úrazy dolních končetin v oblasti kotníku a kolene. Všechny tyto sporty spojují dopady na jednu nohu, nečekané rotace a změny směru, které zvyšují pravděpodobnost bezkontaktního poranění LCA. Také fakt, že dochází ke kontaktu se soupeřkami, celkovou úrazovost dále zvyšuje (Cadens, Planas, Matas, & Peirau, 2021; Hartmut, Becker, Walther, & Hess, 2010; Liederbach, Kremenec, Orishimo, Pappas, & Hagins, 2014; Taborri et al., 2021; Tuominen et al., 2016).

### **2.2.1 Epidemiologie zranění v ženském fotbale**

Svou hráčskou základnou, je fotbal nejpopulárnějším ženským sportem na světě. V posledních letech zažívá ženský fotbal exponenciální růst. Na profesionální i amatérské úrovni se počet hráček za poslední dekádu téměř ztrojnásobil a to na více než 13 milionů (López-Valenciano et al., 2021). Vysoké tempo hry spolu s častými změnami směru v mnohdy nenadálých situacích s sebou přináší zvýšené riziko zranění. To může znamenat krátkodobé i dlouhodobé psychické, fyzické a v neposlední řadě také finanční následky pro hráčky i organizace (Cumps, Verhagen, Annemans, & Meeusen, 2008).

Dle publikovaných studií zabývajících se epidemiologií zranění žen ve fotbale, představovala incidence poranění v národních ligách 1,9 – 6,8 A-Es (Larruskain, Lekue, Diaz, Odriozola, & Gil, 2018; Hartmut, Becker, Walther, & Hess, 2010) a v mezinárodních soutěžích dokonce 4,9 – 13,5A-Es (Hagglund, Walden, & Ekstrand, 2009). Nejčastější zranění se vyskytují v oblasti dolních končetin (Obrázek 5), kde ženy vykazují dvakrát více těžkých zranění než muži. Poranění LCA se ve fotbale u žen vyskytuje dokonce až třikrát častěji než u mužů (Waldén, Hägglund, Werner, & Ekstrand, 2011).



Obrázek 5. Incidence zranění dle místa poranění ve fotbale žen (López-Valenciano et al., 2021, 433).

Larruskain et al., (2018) se zabývali ve své studii porovnáním výskytu poranění mezi muži a ženami ve španělské první lize v letech 2010 až 2015. Zjistili míru průměrné incidence zranění u žen při tréninku 3,43 A-Es a v zápase 22,57 A-Es, což bylo velmi podobné, jako u mužů, kteří vykazovali při tréninku incidenci 4,78 A-Es a při zápase 29,86 A-Es. Vzhledem k místu a typu poranění však ženy vykazovaly 2,25krát častější natažení kvadricepsu, 4,59krát častěji rupturu LCA a 5,36krát častěji podvrtnutí vazů v kotníku.

K podobným číslům došli i Hartmut et al. (2010), kteří se zabývali výskytem poranění u žen v německé Bundeslize. Při tréninku zjistili incidenci poranění 1,4 A-Es a v zápase dokonce 18,5 A-Es. Nejvyšší výskyt poranění byl z 81,7 % na dolních končetinách. Poranění kolena představovalo 31 % všech zranění, následoval kotník s 22,1 % a úrazy stehna (12,9 %). Ruptura LCA jako jedno z nejzávažnějších zranění se vyskytovalo s incidencí 0,03 A-Es v tréninku a 1,07 A-Es při zápase. 34,3 % všech poranění bylo způsobeno kontaktem se spoluhráčkou a 31,7 % úrazů bylo bezkontaktních.

Do preventivních programů, které mají snížit pravděpodobnost výskytu poranění, zejména pak LCA, v ženském fotbale doporučují autoři zařadit cvičení na posílení středu těla, balanční a plyometrická cvičení a cviky na posílení hasmtrungů. Délka cvičení by se měla pohybovat v rozmezí 10 až 20 minut s frekvencí 2 až 3krát týdně po dobu minimálně

12 týdnů (Gilchrist et al., 2008; Steffen, Myklebust, Olsen, Holme, & Bahr, 2008; Walden, Atroshi, Magnusson, Wagner, & Hagglund, 2012).

### **2.2.2 Epidemiologie zranění v ženské házené**

Házená je velmi dynamický a intermitentní kolektivní sport. Časté změny směru jsou zde střídány dopady na jednu nohu doprovázené kontaktem se soupeřkou. To vše s sebou přináší zvýše riziko poranění LCA (Cadens et al., 2021). Házená dokonce patří ke sportům s největším výskytem bezkontaktního poranění LCA (Montalvo et al., 2019).

Jasny (2021) zjistil ve své studii na základě dotazníkové metody, že 8 % dotazovaných házenkářek utrpělo během své kariéry jedno zranění, 52 % utrpělo mnohačetná poranění, 19 % utrpělo 10 až 20 zranění, 10 % utrpělo několik desítek zranění a zbývajících 11 % hráček utrpělo větší počet zranění, ale nedokázaly určit přesný počet. 71 % hráček utrpělo během své kariéry podvrtnutý kotník, 42 % utrpělo poranění svalů, 37 % mělo natržený LCA v koleni, 31 % úraz menisků, 17 % podvrtnuté koleno a 49 % hráček utrpělo během kariéry nějakou zlomeninu. 52 % hráček navíc uvedlo, že alespoň jednou v kariéře utrpěli zranění, které si vyžadovalo chirurgický zákrok a odstavilo je z tréninku na více než měsíc. Pokud si studii shrneme, zjistíme, že většina uváděných zranění se týká dolních končetin.

Incidence poranění v ženském nohejbale představuje průměrně 13 A-Es (Moller, Attermann, Myklebust, & Wedderkopp, 2012). Házenkářky mají také až pětkrát vyšší riziko poranění LCA než házenkáři (Myklebust et al., 2003; Montalvo et al., 2019). Míra poranění LCA u házenkářek je 0,7 – 2,8 A-Es (Cadens et al., 2021).

Jako prevence poranění LCA jsou doporučovány tréninkové programy obsahující 3 až 5 cvičení s celkovým trváním kolem 15 minut. Jejich součástí by mělo být zahřátí zejména dolních končetin pomocí různých poskoků a kmitů. Tréninkové programy by měly obsahovat agility, posilovací cvičení zaměřené na hamstringy, a také různá balanční a plyometrická cvičení (Cadens et al., 2021).

### **2.2.3 Epidemiologie zranění v ženském basketbalu**

Basketbal je kolektivním sportem, kde osobní dotyk hráče se soupeřem je označován za chybu (Táborský, 2004). Přesto se řadí ke sportům s velmi vysokou úrazovostí (Moster & Mosterová, 2007), představující u vysokoškolských studentek 4,06 A-Es při tréninku a 8,07 A-Es při zápase, kdy mezi nejčastěji poranění patří úrazy

kotníku, kolene, zápěstí a hlavy (Clifton et al., 2018). Mezi nejvážnější úrazy pak patří úrazy kotníku a kolene (McKay, Payne, Goldie, Oakes, & Stanley, 1996).

Nejnovější studie National Collegiate Athletic Association, která se zabývala výskytem zranění v ženském basketbalu v letech 2014/15 až 2018/19, vykázala incidenci zranění 5,93 A-Es při tréninku a 10,35 A-Es při utkání. Poranění kotníku (19 %), kolena (17,3 %) a hlavy (14,2 %) tvořily největší podíl všech zranění. Na poranění LCA připadalo 2,5 % všech poranění. Přibližně 33 % všech zranění bylo způsobeno kontaktem se spoluhráčkou a 23 % všech zranění bylo způsobeno bezkontaktně (Lempke et al., 2021).

Basketbal je „vertikální“ sport, vyžadující výskoky a doskoky až 3krát častěji než jiné týmové sporty, jako např. fotbal nebo volejbal. To, spolu s valgózním postavením kolen u žen, zvyšuje pravděpodobnost výskytu zranění mezi basketbalistkami, zejména v oblasti kolenního kloubu. Mezi nejvážnější úrazy kolen v basketbalu patří poranění LCA, ke kterému jsou ženy až 8krát náchylnější než muži (Taborri et al., 2021). Incidence poranění LCA je 0,22 A-Es (Agel, Rockwood, & Klossner, 2016).

Jako prevence proti poranění LCA je autory doporučováno zařadit do tréninku pravidelnou pohybovou intervenci, zahrnující kombinaci více druhů cvičení zaměřených na posílení hlubokého stabilizačního systému a dolních končetin. Do cvičení je vhodné zařadit také balanční a plyometrická cvičení spolu s cviky na udržení potřebné flexibility. Délka tohoto cvičení nemusí přesahovat 10 až 20 minut (Hadzovic, Ilic, Lilic, & Stankovic, 2020).

## **2.3 Tréninkové programy pro prevenci zranění v ženských kolektivních sportech**

### **Ženský fotbal**

Gilchrist et al. (2008) se zabývali ověřením vlivu tréninkového programu na poranění LCA u vysokoškolských fotbalistek s průměrným věkem 19,88 let. Experimentální skupina absolvovala tento 30minutový program, složený z počátečního zahřátí (cca 10 min.), strečinku, silových a plyometrických cvičení a agility, třikrát týdně po dobu 12 týdnů. Výsledkem byl signifikantní pokles úrazovosti LCA u experimentální skupiny (41 %). Pozitivní efekt tohoto tréninkového programu na úrazovost LCA v jeho redukované verzi potvrdili již dříve Mandelbaum et al. (2005). Ti zkrátili délku tréninkového programu na 20 minut (5 až 10 min. zahřátí) a to tak, že vynechali strečink a část silových a plyometrických cvičení. Výsledkem byl signifikantní pokles úrazovosti

LCA (74 až 88%) u kalifornských fotbalistek ve věku 14 až 18 let. Snížením úrazovosti měkkých tkání v oblasti kolenního kloubu se zabývali také Kiani et al. (2010) kteří potvrdili u švédských fotbalistek snížení úrazovosti o 77%. Preventivní program (cca 20 až 25 min.) absolvovaný experimentální skupinou zařadili na začátek tréninkové jednotky dvakrát týdně před sezónou a jednou týdně v sezónu. Obsahoval 5 částí: zahřátí (cca 10 až 15 min.), cviky na aktivaci svalů, balanční a silová cvičení a cviky na posílení středu těla.

Vzhledem k tuhosti dolních končetin se účinky preventivního programu zabývali De Ste Croix, Hughes, Ayala, Taylor, & Datson (2018) , kteří jeho efekt testovali na profesionálních anglických fotbalistkách ve věku 11 až 16 let. 16týdenní tréninkový program byl složen ze dvou částí (každá 10 až 20 minut), kdy první část cvičily hráčky jedenkrát týdně na tréninku jako rozcvičení a druhou dvakrát týdně individuálně dle svých časových možností. První část obsahovala dynamické zahřátí (cca 10 min.), dynamický strečink, plyometrická a rychlostní cvičení a druhá část silová a balanční cvičení a cviky na posílení středu těla. Dupočítané výsledky představovaly signifikantní nárůst tuhosti dolních končetin u experimentální skupiny ( $7,4 \pm 9,6$ ), což představovalo dvojnásobek nárůstu u skupiny kontrolní ( $3,7 \pm 6,4$ ). Potvrdilo se tak, že takto složený trénink vyvolává pozitivní změny vzhledem k riziku poranění měkkých tkání kolenního kloubu.

Na důležitost dodržování přesně stanovených tréninkových programů upozorňují Steffen et al. (2008), kteří přes velmi podobné složení preventivního tréninkového programu, jako výše uvedení autoři, nedosáhli pozitivních výsledků. Tento „neúspěch“ byl dle jejich názoru způsoben nízkou morálkou při plnění tréninkového plánu. Během prvních 4 měsíců byl preventivní program využit při 60 % fotbalových tréninků, ale pouze 14 z 58 fotbalových týmu absolvovalo více než 20 preventivních programů.

### **Ženská házená**

Petersen et al. (2005) zkoumali vliv tréninkového programu na incidenci poranění v oblasti kolene a kotníku u německých házenkářek ve věku 19 až 20 let. Experimentální skupina absolvovala třikrát týdně 10minutový preventivní tréninkový program, který byl zařazen jako rozcvička po zahřátí do osmitýdenního předsezónního období a do soutěžní období, kdy frekvence klesla na jedenkrát týdně. Tento program zahrnoval plyometrická a balanční cvičení. Výsledkem byl 5násobný pokles incidence poranění LCA u experimentální skupiny.

Také Zebis et al. (2016) se zabývali vlivem preventivního tréninkového programu na neuromuskulární a biomechanické řízkové faktory pro bezkontaktní poranění LCA

u házenkářek ve věku 15 až 16 let. Experimentální skupina prováděla po zahřátí preventivní tréninkový program třikrát týdně 10 minut místo rozcvičky, po dobu 12 týdnů. Tréninkový program obsahoval agilitu, silová, plyometrická a balanční cvičení. Výsledkem bylo výrazné zlepšení preaktivitu m. vastus lateralis a m. semitendinosus (43 %) při dynamických pohybech v kolenním kloubu, což může dle autorů znamenat snížení rizika poranění LCA.

### **Ženský basketbal**

Li, Liu, & Zhang (2018) zkoumali účinky preventivního tréninkového programu na snížení úrazovosti LCA během dopadu, mimo jiné také u vysokoškolských basketbalistek. Experimentální skupina zařadila na začátek tréninku po dobu 4 týdnů, 20minutový preventivní tréninkový program, který se skládal ze zahřátí (cca 10 min.) strečinku, silových, plyometrických a balančních cvičení. Vlivem tréninku došlo ke zlepšení spolupráce mezi m. quadriceps femoris a hamstringy, díky čemuž byl omezen dopředný pohyb tibie vůči femuru při dopadu a nedocházelo tak k nadměrnému zatěžování LCA.

Vlivem tréninkového programu na poranění LCA u dospělých italských profesionálních basketbalistek se zabývali také Bonato, Benis, & La Torre (2018). Experimentální skupina zařadila jimi navržený 20minutový tréninkový program čtyřikrát týdně na začátek tréninkové jednotky po dobu celé sezóny. Preventivní trénink byl složen z pěti částí, a to úvodního rozběhání s míčem (zahřátí cca 5 až 10 min.), aktivního strečinku, všeobecného silového rozvoje, plyometrických a balančních cvičení a agility. Výsledkem bylo signifikantní snížení výskytu poranění LCA u experimentální skupiny ( $p = 0,038$ ).

### **2.3.1 Tréninkový program pro prevenci zranění v ženském ragby**

Pokud je nám známo, neexistují žádné studie, zabývající se vlivem preventivního tréninkového programu na míru poranění LCA u ragbistek v jakékoli věkové kategorii. Při tvorbě tréninkového programu jsme vycházeli ze studií (viz kapitola 2.3), zabývajících se prevencí zranění u žen v kolektivních sportech (fotbal, házená, basketbal), zejména potom prevencí poranění měkkých struktur kolenního kloubu jako je LCA. Dle dostupných studií se pohybuje délka cvičení v rozmezí od 10 do 25 minut, kdy tato doba v sobě nezahrnuje počáteční zahřátí (tzv. warm-up). Autoři dále uvádějí jako vhodnou frekvenci 1 až 3 tréninky týdně a to v závislosti na ročním tréninkovém cyklu,

kdy v předsezónním období doporučují 3 tréninky týdně a v sezoně potom redukci na jeden trénink týdně. Celková délka tréninkové intervence se u námi analyzovaných studií pohybovala v rozmezí od 4 týdnů do 8 měsíců. Také skladba cvičení se mírně lišila, kdy jednotlivé úspěšné tréninkové programy obsahovaly v různém poměru strečink, balanční, plyometrická i silová cvičení a agilitu (Mandelbaum et al., 2005; Petersen et al., 2005; Gilchrist et al., 2008; Kiani et al., 2010; Zebis et al., 2016; Bonato et al., 2018; De Ste Croix et al., 2018; Li et al., 2018).

Na základě zjištěných poznatků jsme se rozhodli ověřit účinnost preventivního programu KneeRugbyWomen (Tabulka 7), který byl zařazen do úvodních částí tréninkových jednotek (po zahřátí) po dobu 12 týdnů a to 2 x týdně, vždy po 10 minutách. Tento program vychází z dřívějších studií (Kiani et al., 2010; Zebis et al., 2016; De Ste Croix et al., 2018), které poukazují na možnost dosažení vysokého tréninkového efektu za kratší dobu. Při dlouhodobějším zařazení programu a dodržení komplexnosti i jeho cíleného zaměření upozorňují na možnost zkrátit dobu tréninku až na 10 minut při frekvenci dvou tréninků týdně. Tyto studie pak vybízejí k nutnosti zařadit do tréninku mimo cvičení na hamstringy, které zejména u žen zásadně ovlivňují náchylnost ke zraněním LCA, také cvičení na aktivaci a posílení abduktorů a extenzorů kyčelního kloubu, hlubokého stabilizačního systému i cvičení se změnou směru a plyometrická cvičení.

## **2.4 Fyziologie svalů kolenního kloubu**

### **2.4.1 Svalová tkáň a druhy svalových vláken**

Svalová tkáň je součástí podpůrně-pohybového systému a představuje jeho výkonovou část (Dostálová & Sigmung, 2017). Ta tvoří základ kosterního svalu, který je napojen na nervový a cévní systém. Největší množství aktivní hmoty připadá na příčně pruhovanou svalovou tkáň, řízenou mozkovými a míšními nervy. Ovládána je vůlí a její činnost je koordinována z oblasti mozkové kůry, tzv. volní inervace. Aby sval plnil svoji funkci, upíná se na kostru vždy tak, aby přemostoval jeden nebo více kloubů (Dylevský, 2011).

Svalové buňky, resp. svalová vlákna dokáží reagovat na podráždění změnou jejich délky či napětí. Dokáží také měnit chemickou energii v podobě ATP na energii mechanickou a tepelnou (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017). Pro lokomoci jsou nejdůležitější čtyři základní vlastnosti svalových buněk:



- excitabilita (dráždivost) – schopnost reagovat na podněty,
- kontraktibilita (stažlivost) – schopnost zkrácením generovat sílu a pohyb,
- pevnost – cca 4–12 kg na 1 cm<sup>2</sup> příčného průřezu;
- elasticita (pružnost) – schopnost návratu na původní délku (Botek et al., 2017).

Podle stavby, inervace a funkce rozlišujeme svalové vlákna na hladké, příčně pruhované a srdeční svalovinu. Nejdůležitější svaly pro lidskou lokomoci jsou příčně pruhované, jejichž základní jednotkou jsou mnohojaderná svalová vlákna spojená do snopců, tvořících základ kosterních svalů. Jejich činnost je jako jediná z trojice jmenovaných ovládána vůlí z center v mozkové kůře (Dylevský, 2011).

Dle energetického krytí a dalších klíčových vlastností rozeznáváme tři druhy svalových vláken: pomalá oxidativní (SO), rychlá oxidativně glykolytická (FOG) a rychlá glykolytická (FG) (Sharkey & Gaskill, 2019). Všechny svaly v lidském těle obsahují různý poměr těchto vláken (Petr & Šťastný, 2012).

#### **Pomalá oxidativní SO vlákna**

Z pohledu svalové práce jsou SO vlákna součástí pomalých motorických jednotek. Ty mají nižší práh dráždivosti a zapojují se tak do svalové činnosti jako první (Petr & Šťastný, 2012). Rychlost jejich kontrakce je pomalá a síla malá, na druhou stranu však disponují vysokou aerobní kapacitou, což je dělá ideálními pro vytrvalostní sporty (Sharkey & Gaskill, 2019). Vzhledem k jejich pomalé unavitelnosti jsou uplatněny ve svalech zajišťujících statické polohové funkce a pomalý pohyb. Říká se jim také tonická vlákna (Dostálová & Sigmung, 2017).

#### **Rychlá glykolytická FG vlákna**

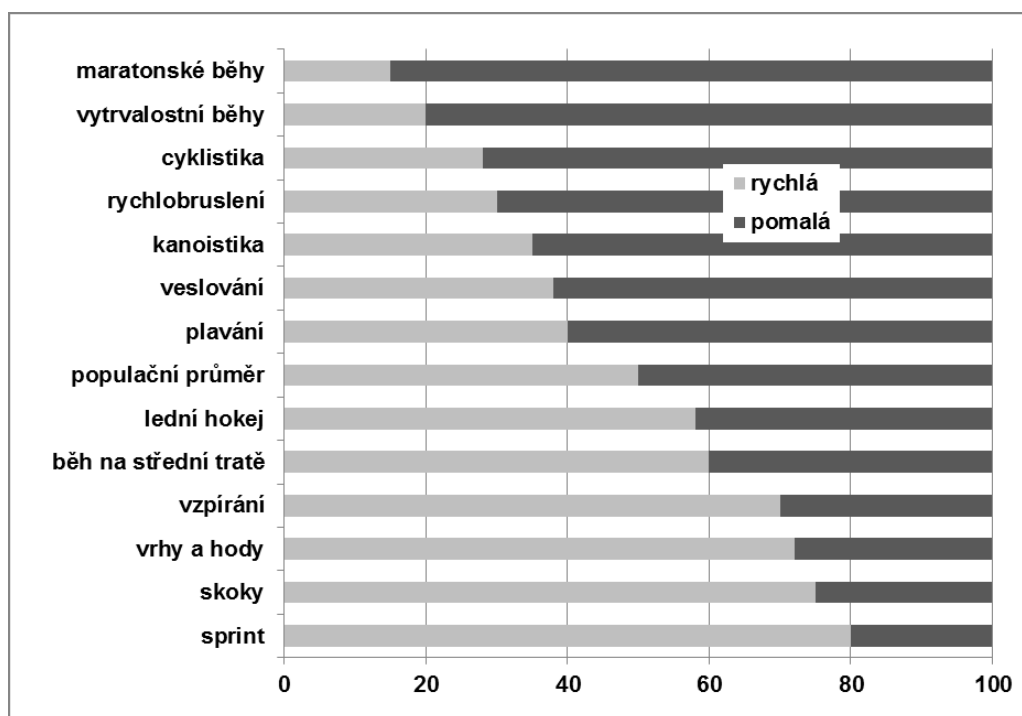
Z pohledu svalové práce jsou FG vlákna součástí rychlých motorických jednotek s menší vytrvalostní kapacitou. Ty mají vyšší práh dráždivosti a jsou tak zapojeny do svalové činnosti až po vyčerpání pomalých motorických jednotek (Petr & Šťastný, 2012). Rychlost jejich kontrakce je díky silně vyvinutému sarkoplazmatickému retikulu, které dokáže rychle vyplavovat i zpětně resorbovat vápníkové ionty, velmi vysoká (Dostálová & Sigmung, 2017). FG vlákna dokáží během krátkého času vyprodukovat velké množství energie, ovšem za cenu jejich rychlé unavitelnosti. Zapojují se především při krátkodobé, intenzivní a anaerobní činnosti (Sharkey & Gaskill, 2019).

#### **Rychlá oxidativně glykolytická FOG vlákna**

Tato vlákna v sobě kombinují vlastnosti obou předchozích, tedy SO a FG vláken. Do jisté míry by se daly popsat jako FG vlákna, která prošla aerobním tréninkem. Právě

druh tréninku a dlouhodobé pohybové činnosti u nich ovlivňuje, zda se budou funkčně ubírat spíše na stranu FG nebo SO vláken (Sharkey & Gaskill, 2019).

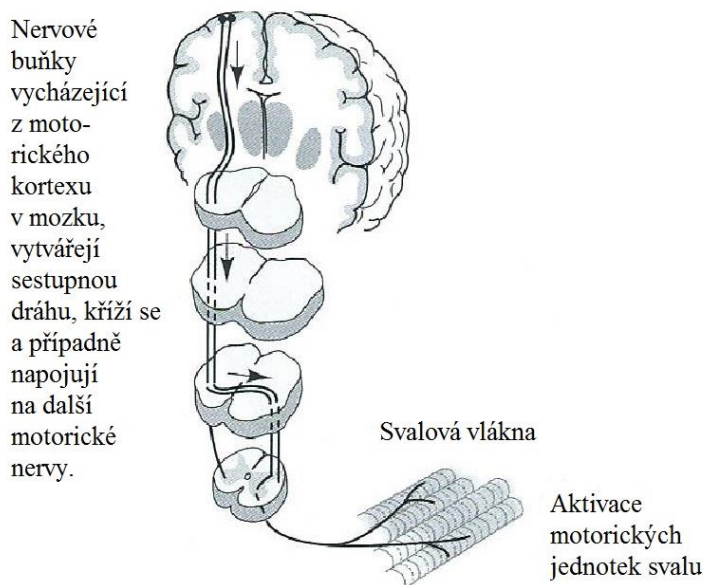
Poměr jednotlivých druhů svalových vláken je mimo genetiku ovlivněn také sportovní specializací (Obrázek 6) (Botek et al., 2017). Domníváme se, že sedmičkové ragby bude poměrem svalových vláken, vzhledem k pohybové náročnosti, někde na úrovni ledního hokeje.



Obrázek 6. Podíl rychlých a pomalých svalových vláken (%) vzhledem ke sportovní specializaci (Botek et al., 2017, 51).

#### 2.4.2 Princip svalového stahu

Každý sval se skládá z tisíce svalových vláken, které jím z části nebo po celé délce probíhají. Svalová vlákna obsahují nitkovité útvary zvané myofibrily, které obsahují svazky uspořádaných proteinů. Tyto se mohou posouvat jeden po druhém, což při stimulaci z CNS (Obrázek 7) prostřednictvím motoneuronu, způsobuje zkrácení (kontrakci) nebo uvolnění v případě, že stimulace ustane. Dva hlavní proteiny účastníci se této svalové kontrakce se nazývají aktin a myozin. Myozin má hlavičkovitou strukturu, která se dokáže vázat na aktin a ohýbat se v krčku, je-li stimulována. Toto postupné ohýbání myozinových hlaviček navázaných na aktin, způsobuje zasouvání jednoho proteinu podél druhého. Při aktivaci dostatečného počtu svalových vláken dojde ke zkrácení svalu a z toho plynoucímu pohybu (Dylevský, 2011; Sharkey & Gaskill, 2019).



Obrázek 7. Ovládání svalu prostřednictvím motoneuronu (Sharkey & Gaskill, 2019, 53).

Soubor svalových vláken inervovaný prostřednictvím jednoho motoneuronu se nazývá motorická jednotka. Ta může obsahovat jednotky až stovky svalových vláken. Množství svalových vláken rozhoduje o motorickém zaměření inervovaných svalů. Malé jednotky obsahující do 10 svalových vláken jsou zaměřeny na jemnou motoriku a velké obsahující až 1000 svalových vláken ovládají pohyby velkého rozsahu s potřebou značné síly, např. stehenní svaly (Botek et al., 2017).

### 2.4.3 Energetické zdroje pro svalovou činnost

Svaly vyžadují pro svou práci dostatečné množství energie. Tuto energii získávají z Adenosintrifosfátu (ATP), který je produktem metabolismu probíhajícího v buněčné cytoplasmě a mitochondriích. Proces získávání ATP je velmi složitý a nebudeme ho zde podrobně popisovat. Důležité pro svalovou práci je, že ATP lze získat buď aerobní (s  $O_2$ ) nebo anaerobní (bez  $O_2$ ) cestou, kdy můžeme rozlišit tři způsoby jeho produkce (Dovalil et al., 2012):

#### ATP-CP systém

ATP je získáváno prostřednictvím kreatinfosfátu (CP), který je enzymaticky štěpen a rozpadá se na kreatin a fosfát (Pi). Při této reakci dochází k uvolnění energie, jenž je následně využita k rychlé syntéze ATP. ATP-CP systém kulminuje již po několika málo sekundách vysoce intenzivní svalové činnosti. Po cca 2 sekundách jeho podíl na produkci

energie výrazně klesá. Vzhledem k tomu, že při jeho činnosti nedochází k produkci laktátu je označován jako anaerobně-alaktátový systém (Botek et al., 2017).

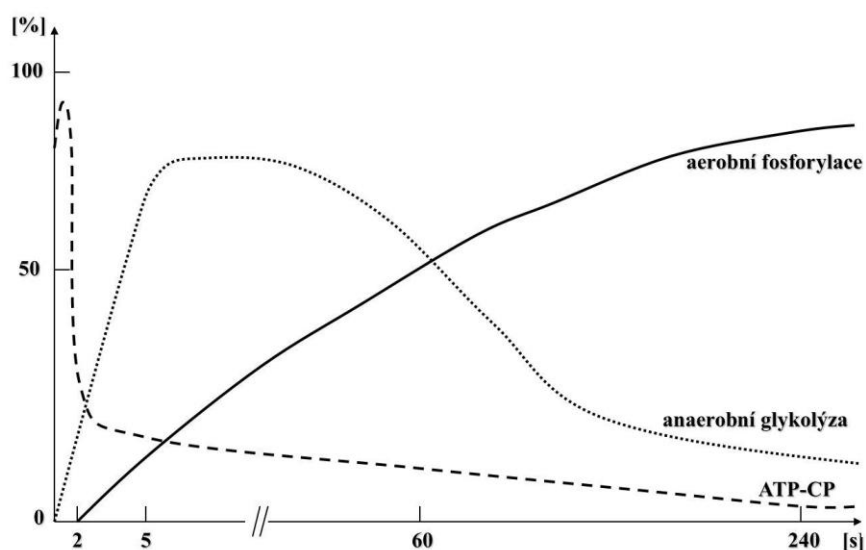
### **Anaerobní glykolýza**

Zdrojem pro anaerobní glykolýzu je svalový glykogen, resp. krevní glukóza, která je v buněčné cytoplasmě štěpena na jednodušší látky. Tento způsob získávání energie se se uplatňuje při maximální svalové práci do cca 60 s (Botek et al., 2017) až 120 s. Anaerobní glykolýza se označuje také jako anaerobní laktátový systém, jelikož při jejím zapojení dochází vlivem nedostatku kyslíku ke značné kumulaci laktátu. Hromadění laktátu s sebou přináší také kumulaci kyselých vodíkových iontů ( $H^+$ ), které postupně znemožňují další svalovou činnost (Dovalil et al., 2012; Sharkey & Gaskill, 2019).

### **Aerobní fosforylace**

Představuje pomalejší, ale neekonomičtější způsobem získávání ATP. Podmínkou pro aerobní fosforylaci je dostatečný přísun kyslíku. Energii dokáže produkovat ze všech druhů živin, z nichž žádoucí jsou sacharidy a lipidy. Lipidy tvoří v lidském těle jednorázově nevyčerpatelný zdroj energie. K jejich převážnému zapojení do procesu získávání energie však dochází až po zhruba 30 minutách svalové práce. Proto mu předchází spalování sacharidů za přístupu kyslíku, tzv. aerobní glykogenolýza (Sharkey & Gaskill, 2019).

Žádný ze systémů nepracuje odděleně. Jednotlivé systémy přechází, plynuje z jednoho na druhý (Obrázek 8). Jejich převaha při produkci ATP je závislá především na intenzitě zatížení (Botek et al., 2017).



Obrázek 8. Zapojení energetických systémů a jejich přibližný podíl na získávání energie při vysoce intenzivní práci (Botek et al., 2017, 22).

#### 2.4.4 Fyziologická únava

Únavu lze charakterizovat jako stav snížení výkonnosti vycházející z předchozí aktivity. Můžeme ji vnímat také jako pokles výkonnosti či neschopnosti pokračovat v další pohybové aktivitě. Představuje jakousi ochranu organismu před vyčerpáním, v krajním případě až ohrožením života způsobené např. dehydratací či hypoglykemií. Únava je nedílnou součástí každé činnosti, kdy signalizuje funkční změny z organismu. Pro takovou fyziologickou únavu je charakteristická určitá dynamika. Nastupuje tedy postupně. Rychlost jejího nástupu je ovlivněn různými faktory. Mezi nejdůležitější patří intenzita a délka pohybové aktivity, věk, trénovanost, biorytmy a vnější vlivy jako teplota, vlhkost či nadmořská výška (Gandevia, 2001; Botek et al., 2017).

Základním rysem fyziologické únavy je její nástup, kulminace a následné zotavení. Můžeme jí rozdělit dle několika aspektů:

1. **Fyzická a mentální** – fyzická vzniká během tělesné práce a na jejím vzniku se podílí periferní a centrální fyziologické faktory. Mentální únava není limitována tělesnou prací a projevuje se zejména snížením schopnosti vnímavosti a koncentrace.
2. **Lokální a globální** – lokální únava se týká pohybové činnosti, do které jsou zapojeny pouze místně příslušné svalové skupiny – např. benchpress. Naopak globální únava se týká činností, při kterých jsou zapojeny více než 2/3 svalových skupin – např. – běžecké lyžování.
3. **Subjektivní a objektivní** – subjektivní únava většinou předchází té objektivní. Je spojena s mírou percepce (vlastního vnímání) a vlastním vnímáním zátěže během pohybové aktivity. Objektivní míra únavy je pak určena na základě reálných fyziologických ukazatelů, např. vzestup srdeční frekvence nebo hromadění laktátu.
4. **Akutní a chronická.**
5. **Periferní (svalová) a centrální (CNS)** (Lehnert et al., 2014).

#### **Akutní a chronická únava**

Během intenzivní fyzické práce nastávají na úrovni svalového vlákna, resp. krve chemické a fyzikální změny. Tyto změny se projevují zvýšením parciálního tlaku  $\text{CO}_2$ , poklesem pH, souvisejícím s nárůstem koncentrace  $\text{H}^+$  a také zvýšením tělesné teploty. Společně pak vedou ke vzniku a kumulaci akutní únavy. Pokud nejsou dlouhodobě

respektovány signály takto vznikající únavy, například z důvodu disproporce mezi adaptační kapacitou organismu a objemem stresových podnětů, může akutní únava přerůst v chronickou (Botek et al., 2017).

### **Periferní svalová únava**

Je vyvolaná déle trvající nebo vysoce intenzivní svalovou prací a mezi zásadní fyziologické příčiny jejího vzniku patří:

1. Významné snížení využitelného množství energetických substrátů – sacharidů, CP, ATP. Rozhodující je intenzita zatížení na nebo nad úrovní ANP.
2. Kumulace metabolitů, jako laktát a  $H^+$ , ve svalové buňce a krvi. Opět závisí na vysoké intenzitě zatížení.
3. Dehydratace a hyponatrémie hrozící při vytrvalostní zátěži.
4. Iontová nerovnováha ve svalové buňce a na buněčné membráně ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Ca^{2+}$ ), která má souvislost s narušením funkce Na-K pumpy, čímž dochází k nižší dostupnosti ATP. Následná zvýšená koncentrace mezi tkáňového  $K^+$  vyvolává poruchy při průběhu či vzniku akčního potenciálu.

Při vysoce intenzivní svalové činnosti na nebo nad úrovní ANP je pro vznik únavy klíčová koncentrace  $H^+$ . Ta v krvi vyvolává následující změny:

- snižuje pH a inhibuje tak aktivitu fosfofruktokinázy (PFK), která je jedním ze základních enzymů umožňujících anaerobní glykolýzu,
- vytěsňuje  $Ca^{2+}$  ionty z vazby na troponin a narušuje tak možný průběh svalové kontrakce,
- prostřednictvím dráždění svalových nervových zakončení vyvolává nepříjemný pocit „pálení“. Tento varuje před možností poškození svalu,
- stimuluje nociceptory (receptory bolesti) v mozku a může vyvolat dezorientaci, nauzeu,
- a v neposlední řadě také snižuje senzitivitu aktin-myozinového komplexu na přítomnost  $Ca^{2+}$  (Lehnert et al., 2014; Botek et al., 2017).

### **Centrální únava**

Mimo periférií v podobě svalových vláken vzniká únava také na úrovni řídicích a regulačních struktur, tedy v CNS. Únava je v tomto případě spojována s útlumem její aktivity. Je prokázáno, že nejméně unavitelné je nervové vlákno. Naopak první příznaky únavy se projevují v tzv. vyšších oddílech CNS a následně na nervosvalové ploténce. Únava je v tomto případě spojena s pohybovou aktivitou a činností neurotransmiterů, jako dopamin, acetylcholin nebo serotonin. Např. únava mozečku vede k zesílení

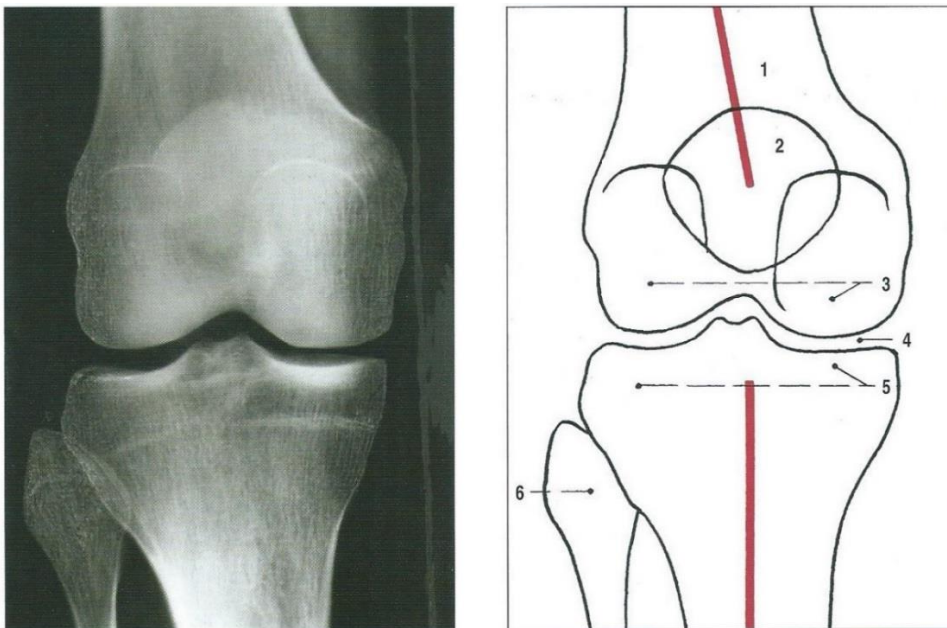
útlumových procesů a ke zhoršení úrovně koordinačních schopností a celkového řízení pohybu (Gandevia, 2001; Lehnert et al., 2014; Botek et al., 2017).

## 2.5 Pohyb v kolenním kloubu a jeho řízení

### 2.5.1 Anatomie kolenního kloubu

Kolenní kloub (Articulatio genus) je největším kloubem v lidském těle. Z hlediska členění se jedná o kloub složený, jelikož se v něm stýkají femur, tibia a patela. Mezi styčné plochy femuru a tibie jsou pak vloženy kloubní menisky (Čihák, 2011).

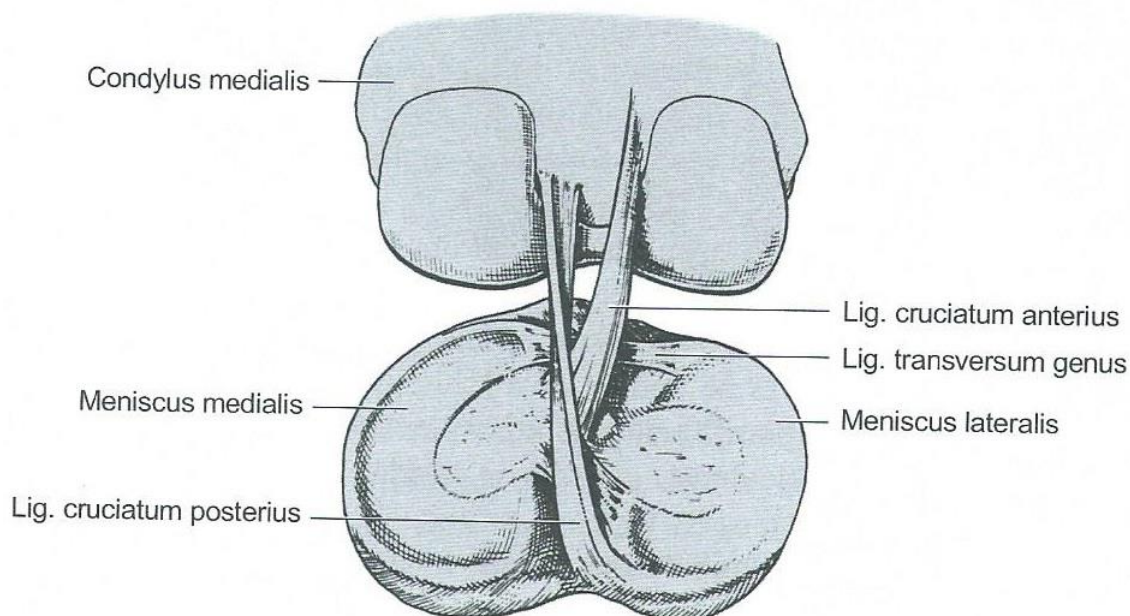
Kontakt mezi femurem a tibií prostřednictvím kloubních hlavic (kondylů) a menisků, je prakticky v horizontální rovině (Obrázek 9), kdy femur svírá s osou tibie úhel 170 až 175° tzv. fyziologický abdukční úhel. Velikost tohoto úhlu ovlivňuje postavení dolních končetin. To může být mimo fyziologického rozmezí, také valgózní (nohy do X), nebo varózní (nohy do O) (Přidalová, 2008). Styčné plochy jsou obaleny kloubním pouzdem. To se upíná při okrajích kloubních ploch na tibií i patele, a na femuru o něco dále tak, aby vynechalo epikondyly femuru. Na ty jsou připojeny svaly a vazy, které zajišťují pevnost a stabilitu kolenního kloubu. Dutina kloubního pouzdra je vyplněna synoviální tekutinou, která vyživuje kloubní chrupavku, udržuje jí pružnou a snižuje její tření a tím i opotřebení (Čihák, 2011).



Obrázek 9. Předozadní projekce kolenního kloubu; 1 – distální konec těla femuru, 2 – patella, 3 – condyli femoris, 4 – kloubní štěrbina s menisky, 5 – condyli tibiae, 6 – caput fibulae (Čihák, 2011, 324).

Zesilující vazivový aparát tvoří ligamenta kloubního pouzdra a nitrokloubní vazy. Mezi ligamenta kloubního pouzdra patří šlacha m. quadriceps femoris připojená vpředu přes patelu na tuberositas tibiae, postranní vazy zajišťující stabilitu kolene při extenzi kloubu i průběhu pohybu do částečné flexe a vzadu umístěný ligamentum popliteum obliquum odbočující z úponu m. semimembranosus (součást hamstringů) (Přidalová, 2008).

Pro naši práci jsou nejdůležitější nitrokloubní vazy LCA a LCP (ligamentum cruciate posterior) znázorněné na obrázku 10, zajišťující pevnost kolene zejména při flexi, kdy dochází k jejich napínání. LCA i LCP omezují též vnitřní rotaci v kolenním kloubu. Napnutý LCA táhne bérec do mírné zevní rotace (Čihák, 2011).



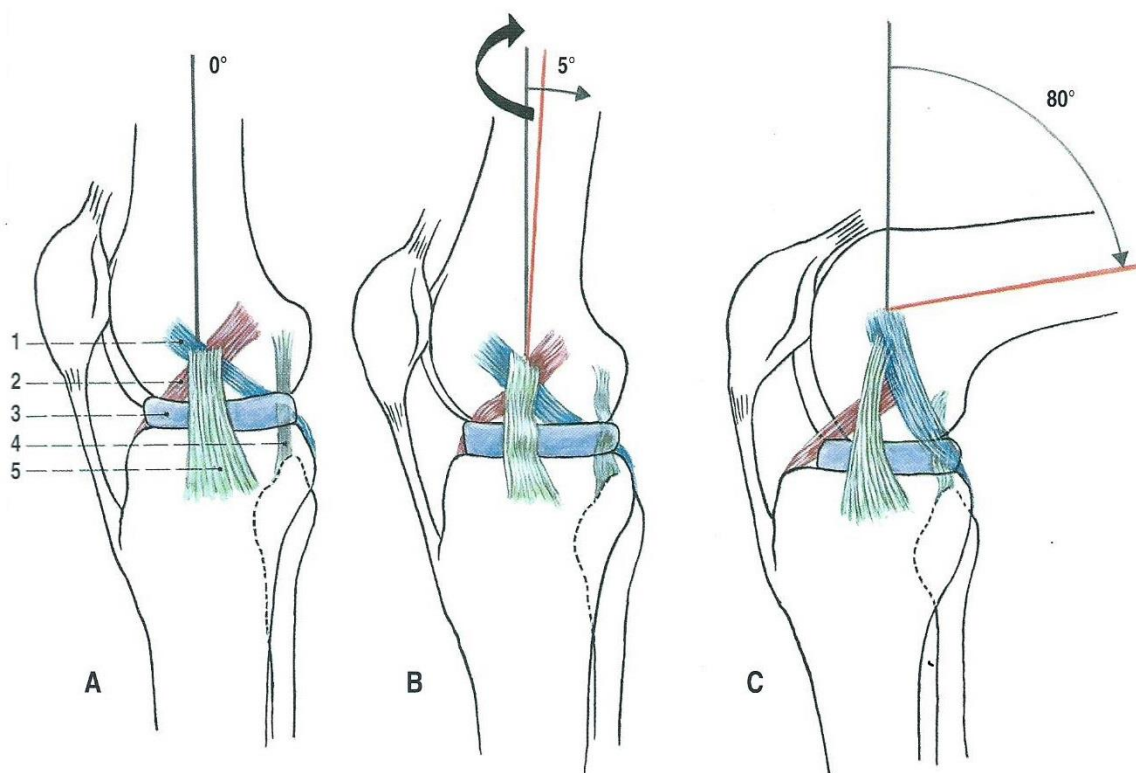
Obrázek 10. Nitrokloubní vazy kolenního kloubu (Přidalová, 2008, 126).

Pevnost a stabilita kolenního kloubu je zajištěna také pomocí svalů, které se upínají v jeho okolí. Mezi ty nejdůležitější patří m. quadriceps femoris a hamstringy. M. quadriceps femoris má čtyři části upínající se přes patelu na tuberositas tibiae a je flexorem kolenního kloubu. Jako hamstringy označujeme skupinu tří svalů na zadní straně stehna. Jsou to m. biceps femoris, m. semitendinosus a m. semimembranosus. Funkčně se podílejí na extenzi a vnitřní rotaci kolenního kloubu (Přidalová, 2008).



## 2.5.2 Kineziologie kolenního kloubu

Základní postavení kolenního kloubu je jeho plná extenze, která se označuje jako „uzamčené koleno“. Při plné extenzi se koleno nachází ve stabilní poloze. Postranní vazy i všechny vazivové části na zadní straně kloubu jsou napnuty (Obrázek 11-A). Jeho základní pohyby jsou flexe a zpětná extenze. Jedná se o dosti složitý pohyb (Obrázek 11) (Přidalová, 2008).



*Obrázek 11.* Schéma postavení postranních a zkřížených vazů kolena za extenze a v průběhu flexe; pohled z vnitřní strany. A – plná extenze; B – počáteční flexe „odemknutí kolena“; C – pokračující flexe; 1 – LCP; 2 – LCA; 3 – meniskus; 4 – lig. collaterale fibulare; 5 – lig. collaterale tibiale (Čihák, 2011, 333).

Počáteční flexe (prvních 5°) je spojena s mírnou rotací, při níž se tibia točí dovnitř. Dochází k uvolnění postranních vazů a LCA, tzv. „odemknutí kolena“, které v průběhu flexe zajišťují pohyb kolene a brání nežádoucím posuvným pohybům (Obrázek 11-B). Následně flexe pokračuje valivým pohybem femorálního epikondylu po plochách tvořených tibií a menisky. Flexe je ukončena posuvným pohybem v meniskotibiálním kloubu kdy menisky kolem femuru mění svůj tvar a spolu s kondyly se posouvají po tibií dozadu (Obrázek 11-C). Při extenzi je postup přesně opačný. Rozsah flexe je 130 – 160°,

kdy aktivně lze flexi provést maximálně do 140°. Další pohyb do maximálního rozsahu je možný pouze pasivně např. pomocí dřepu. Maximální extenze může pokračovat ještě asi 5° nad základním postavení při dosažení „uzamčeného kolene“, další rozsah nad tuto hranici je již označován jako tzv. hyperextenze (Čihák, 2011).

### **2.5.3 Biomechanika dolní končetiny**

Dolní končetina je orgánem opory a pohybu vzpřímeného těla po dvou končetinách. Nutné stability je dosaženo díky robustnější kostře dolních končetin, přítomností mohutnějších svalových skupin a omezenou hybností jednotlivých kloubů. Z vývojového hlediska znamenalo vzpřimování polohy těla postupnou vertikalizaci páteře. Podmínkou vzpřímeného postavení byla extenze dolních končetin, která je staticky nejvýhodnější. Snižuje totiž nároky na činnost antigravitačních svalů a zatížení tak směřuje do vertikálně orientovaných kostí dolní končetiny (Živčák, 2004).

Z biomechanického hlediska si lidské tělo můžeme představit jako těleso složené z více částí, na které je možné aplikovat zákony mechaniky zabývající se pohybem tuhých těles. Jeví se jako ohraničená soustava proměnlivého tvaru, jejíž části jsou vyztužené kostmi spojenými v kloubech. Samotné vykonávání pohybu pak také závisí na správném fungování centrálního nervového systému (CNS). Prostřednictvím vědomí a nervosvalových funkcí může člověk zaujmout základní polohy jako sed, leh, klik, vzpor apod. Může také vykonávat volní, mimovolní i reflexní pohybové děje, jejichž prostřednictvím dosahuje udržení určitých poloh. Tyto polohy jsou ovlivněny našimi potřebami popřípadě vnějšími silami, zejména potom silou tíhovou (Živčák, 2004).

Pro jakýkoliv pohyb dolní končetiny je nejprve nutná stabilizace trupu pomocí tzv. hlubokého stabilizačního systému (svaly podílející se na udržení trupu ve vzpřímeném postavení), kdy jeho aktivace předchází všem pohybům. Míra jeho zapojení ovlivňuje zásadním způsobem kvalitu a účelnost pohybu. Základním lokomočním pohybem, ze kterého vycházejí i další pohyby dolních končetin je chůze. Chůzi můžeme rozdělit na stojnou a švihovou fázi, pokud se bavíme o jedné končetině, popřípadě jednooporovou a dvouoporovou v případě celého krokového cyklu. Během stojné fáze jedné končetiny probíhá současně švihová fáze na končetině druhé. Délka stojné a švihové fáze následně ovlivňuje rychlost lokomoce a může vyústit až v běh (Kolář, 2009).

## 2.5.4 Neuromuskulární řízení pohybu

Jednou ze základních biologických vlastností živé hmoty je schopnost reagovat na změny vnitřního i vnějšího prostředí. To umožňuje živé hmotě dráždivost. U člověka pak nejde jen o jakoukoli odpověď či podráždění. Člověk je schopen prostřednictvím nervové soustavy zpracovávat specifické změny, kterým říkáme podněty (Dylevský, 2011).

Podnět představuje změnu vnitřního nebo vnějšího prostředí, který je zaznamenán specializovanými orgány, nazývanými čidla nebo také receptory. Ty převedou přijímané změny prostředí na vzruchy, nebo také impulzy, které představují specializovanou formu podráždění. Pomocí vzruchů lze přenášet informace na velké vzdálenosti. Z receptorů jsou tak vzruchy převáděny prostřednictvím nervové soustavy do centra a z centra směrem k výkonným orgánům – efektorům. Tímto efektozem v lidském těle je nervosvalová ploténka a sval (Botek et al., 2017). Převod vzruchu na svalový efektor, tzv. reflex je základním funkčním prvkem nervové soustavy (Dylevský, 2011).

Svaly pracují tak, že po odpovídajícím podnětu přicházejícím prostřednictvím nervové soustavy dochází k jejich smrštění principem „všechno nebo nic“ (Sharkey & Gaskill, 2019). Veškerý aktivní pohyb vykonávaný člověkem, jako chůze, běh, apod. jsou výsledkem koordinované souhry kosterního svalstva s CNS (Botek et al., 2017).

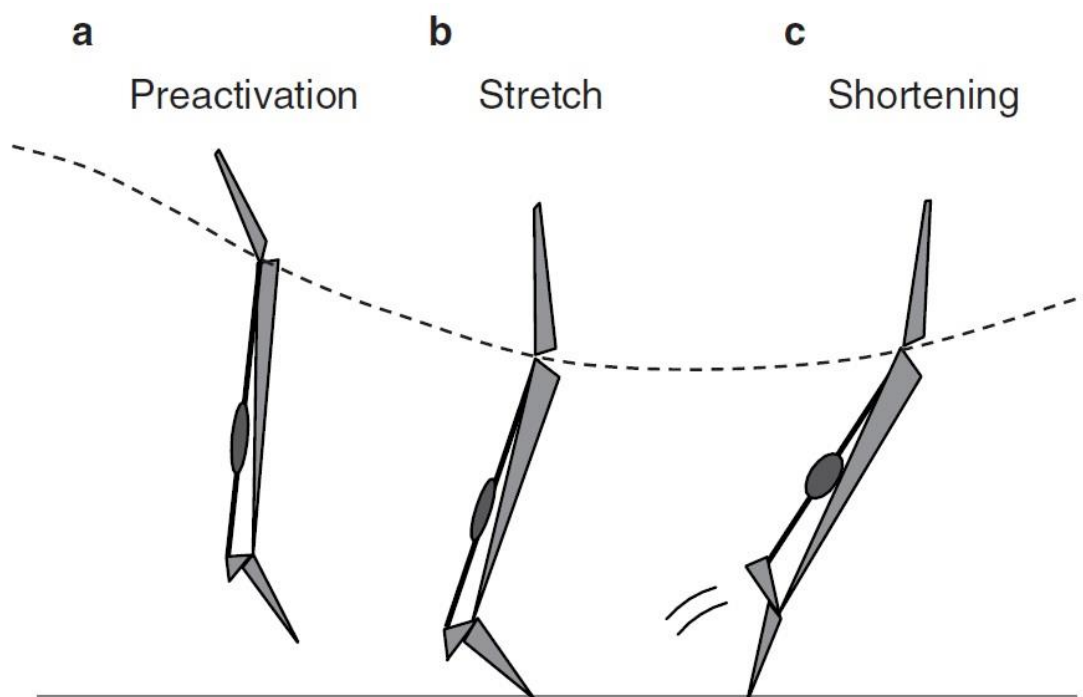
### 2.5.4.1 Cyklus protažení a zkrácení svalu

Cyklus protažení a zkrácení svalu (SSC) vychází z pozorování, že různé tělesné segmenty jsou nahodile i periodicky vystavovány nárazovým nebo tahovým silám. Děje se tak zejména při typicky lidských lokomočních činnostech jakými jsou běh, chůze a různé formy skoků. Dochází při nich k typickému střídání excentrické a koncentrické fáze. (Nicol, Avela, & Komi, 2006).

SSC vzniká pouze při bezprostředním přechodu z excentrické do koncentrické svalové kontrakce, kdy dochází k využití tzv. systému pružiny (Makaruk, Czaplicki, Sacewicz, & Sadowski, 2013). Všechny pohybové úkoly s SSC tak využívají elastických vlastností pojivové tkáně a svalových vláken, které svaly umožňují akumulovat elastickou energii (EE) prostřednictvím zpomalovací (excentrické) fáze a následně takto získanou energii uvolnit při akcelerační (koncentrické) fázi, čímž dochází k nárůstu momentální svalové síly a výkonu (Michailidis et al., 2013). Ve sportu jsou tyto pohyby typické pro činnosti zahrnující náhlé zrychlení či brzdění, střídání směru a vertikální i horizontální skoky, kde musí sportovci zpomalit pohyb tělesných segmentů ve směru

excentrické fáze až po dosažení nulové momentální rychlosti. Po ní následuje okamžité propulzivní obrácení pohybu v koncentrické fázi, která poskytuje účinný prostředek pro využití SSC (Komi, 2000).

Skutečná definice excentrického stahu při zpomalovací fázi naznačuje, že svaly během ní musí být aktivní (Nicol et al., 2006). Proto každá činnost s SSC vyžaduje předběžnou aktivaci extenzorů dolních končetin před kontaktem se zemí, tak aby byly připraveny odolat počátečnímu nárazu (Obrázek 12a) a excentrické fázi aktivního brzdění (Obrázek 12b).



Obrázek 12. Cyklus protažení a zkrácení při lokomoci (Nicol et al., 2006, 980).

Cornie, McGuigan a Newton (2011) objasnili souvislost mezi kontraktilními a elastickými prvky a poukázali na to, že jejich odlišné chování při zkracování délky je zásadní pro kumulaci EE při pohybech s SSC. Pro lepší pochopení EE je možné vzít v potaz mechanický model svalové funkce, který lze popsat jako součet tří složek: kontraktilní složka, jmenovitě aktin a myozin; paralelní elastická složka (PES), zahrnující sarkolemu a svalové fascie; a sériovou elastickou složku (SES), obsahující příčné můstky, strukturální bílkoviny a šlachy. PES je zodpovědná za pasivní sílu vyvíjenou svalem při jeho natažení nad klidovou délku. Jeho příspěvek akumulované mechanické energie je považován za malý. Naopak SES je stimulována silou vyvinutou aktivně kontrahovanými

svaly, které lépe odolávají protažení a při rychle provedeném pohybu tak u ní dochází k akumulaci značné zásoby EE (Turner & Jeffreys, 2010).

### **Kontraktilní filamenta a strukturální proteiny**

Pro kumulaci EE prostřednictvím kontraktilních filament je nutné udržení spojení aktin myozinového komplexu při svalovém stahu, tzv. příčného mostu. Doba, po kterou je možné toto spojení udržet je odhadována na 15 až 120 ms (Siff, 2003) což potvrzuje nutnost okamžité reakce v podobě koncentrického svalového stahu pro maximální využití takto uložené EE. Doba udržení příčného mostu je závislá také na typu svalových vláken, které mají různé viskoelastické vlastnosti (Turner & Jeffreys, 2010). V souvislosti s tím uvádí Siff (2003), že svaly které jsou bohaté na FG svalová vlákna dokáží vytěžit maximum z rychlých a krátkých pohybů s SSC (např. dřep s protipohybem), naopak SO vlákna mají vysoký předpoklad pro využití SSC při déle trvajících a méně intenzivních pohybech (např. běh). Tyto pohyby souvisí také s délkou kontaktu se zemí. Díky tomu lze rozdělit pohyby s SSC na rychlé a pomalé. U rychlých pohybů je doba kontaktu se zemí kratší než 250 ms, ve zvýšené míře se zde zapojují SO vlákna a dochází při nich k větší produkci momentu síly a také vyšší úrovni nervové excitace. Naopak u pomalých pohybů je doba kontaktu prodloužena nad 250 ms a zapojují se především FG vlákna která spolu s prodlouženou dobou kontrakce umožňují větší produkci síly (Turner & Jeffreys, 2010).

### **Šlachy**

Šlachy jsou považovány za klíčové pro hromadění a uchování EE v rámci pohybů s SSC, a to díky svým elastickým vlastnostem. Elastické vlastnosti šlach jsou velmi důležité, jak pro generování, tak i pro následné využití potenciální EE a vysoce převyšují elastické vlastnosti svalů. Jelikož jsou ale svaly a šlachy uspořádány v sérii, jsou vystaveny stejným silám (Zatsiorsky & Kraemer, 2006). Pro maximální využití šlachového potenciálu je tak nutné provádění aktivního excentrického pohybu, kdy tuhost svalové tkáně umožňuje šlachám maximální napětí a tím i kumulaci EE (Turner & Jeffreys, 2010).

Pohyby s SSC jsou důležité nejen pro zvýšení okamžitého výkonu při výbušné silové aktivitě, ale také snižují metabolické náklady při submaximálním a maximálním úsilí (Read, Pedley, Eirug, Sideris, & Oliver, 2022), což z nich činí důležitou neuromuskulární komponentu pro efektivní sportovní lokomoci. Uplatnění pohybů s SSC hraje také významnou roli při stabilitě kolenního kloubu a tím i v prevenci jeho poranění

(Turner & Jeffreys, 2010). Trénink využívající SSC musí obsahovat cviky založené na generování maximální svalové síly v co nejkratším čase, což odpovídá plymetrickému cvičení (Markovic & Newton, 2007).

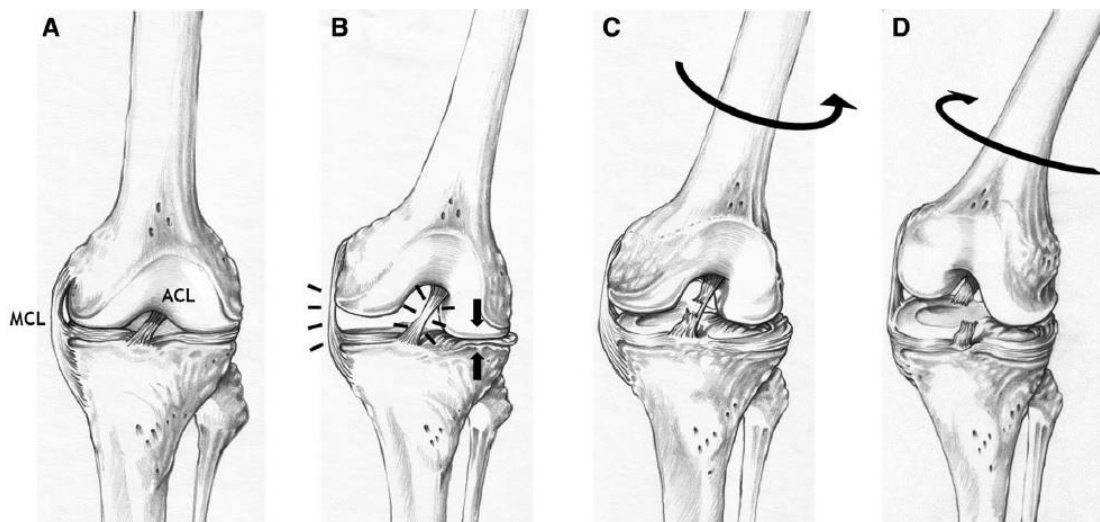
## **2.6 Rizikové faktory poranění měkkých tkání kolenního kloubu**

Kloub a jeho nitrokloubní struktury (menisky, vazy, apod.) patří ve sportovní traumatologii k nejčastěji poraněným částem pohybového aparátu (Moster & Mosterová, 2007). Jednotlivé mechanismy i lokalizace poranění jsou specifické pro různé sporty a jsou ovlivněny jejich pravidly i pohybovou charakteristikou (Knowles, 2010). Úrazy v oblasti kolene jsou typické pro kolektivní sporty, jakými jsou například ragby a fotbal. Příčina takového poranění může být buď vnitřní, nebo vnější, podle toho pochází-li zevnitř těla, nebo z jeho vnějšího okolí. Mezi vnější faktory patří například sportovní obuv, povrch, počasí a sportovně-specifické faktory. Vnitřní rizikové faktory potom zahrnují tři oblasti a to: anatomické, hormonální a neuromuskulární (Mayer & Smékal, 2004). Anatomické a hormonální faktory se jen velmi špatně ovlivňují a proto je i vzhledem k složení preventivních tréninkových programů důležité zaměřit se na neuromuskulární rizikové faktory (Knowles, 2010).

Z hlediska anatomických rizikových faktorů se jedná zejména o pasivní stabilizaci kolenního kloubu, kterou poskytují nekontraktilní součásti kolenního kloubu, jakými jsou zejména vazy, šlachy a menisky (Hughes & Watkins, 2006). Mezi nejčastější úrazy patří poranění mediálního menisku, který je fixován ke kloubnímu pouzdru a tím pádem méně pohyblivý a až 8krát náchylnější ke zranění než meniskus laterální. Na pasivní stabilitu v oblasti kolene mají však zásadní vliv kolenní vazy (viz kapitola 2.5.1). K těm nejvíce náchylným na zranění patří LCA (Višňa & Hoch, 2004), jehož poranění představuje jedno z nejzávažnějších sportovních zranění, a to jak pro svou dlouhou rekonvalescenci, tak i pro možné trvalé následky (Lai et al., 2018). Riziko poranění LCA ovlivňuje také rozsah pohybu, omezená flexe v kyčelním a kolenním kloubu, nárůst zevní nebo vnitřní rotace tibie a další neobvyklé postavení tělesných částí. Kombinace těchto faktorů může poté vyústit ve valgózní nebo varózní postavení dolních končetin (viz kapitola 2.5.7), což je příčinou přetěžování měkkých struktur kolenního kloubu. Toto postavení dolních končetin (Obrázek 13B), spolu s vnitřní rotací tibie vůči femuru (Obrázek 13C), bývá velmi často spojováno se zvýšenou úrazovostí LCA při dopadech na jednu nohu (Hewett et al., 2005; Koga et al., 2010). Také oslabení hamstringů vůči kvadricepsu a jejich

pomalá aktivace způsobující větší tlak na LCA jsou jednou z příčin jeho poranění (Ahmad et al., 2006).

Dynamická stabilita kolenního kloubu je zajišťována zejména neuromuskulárně. Jedním z nejdůležitějších faktorů vztahujících se k poškození LCA je časové rozložení stabilizace v posteroanteriorním a v mediolaterálním směru, kdy LCA zajišťuje koleno proti nežádoucím posuvným pohybům. K tomu dochází zejména při stejné fázi cyklu chůze, při doskoku nebo při korekci silových momentů působících dopředný posun tibie (Kvist & Gillquist, 2001; Mayer & Smékal, 2004). Pro podporu funkce LCA je při jmenovaných situacích nutná včasná aktivace hamstringů. Například při korekci dopředného pohybu tibie, zabírá preaktivace hamstringů až 40 % celé stabilizační doby (Hewett, Lindenfeld, Riccobene, & Noyes, 1999; Kvist & Gillquist, 2001). Pokud jsou tedy zapojeny do výše uvedených stabilizačních vzorců, a jejich aktivace je správně načasovaná, pak slouží hamstringy jako agonisté LCA a brání tak jejich poškození.



Obrázek 13. Mechanismy poranění LCA; A – nezatížené koleno; B – valgózní zatížené koleno; C – vnitřní rotace tibie; D – vnější rotace tibie (Koga et al., 2010, 7).

Pro stabilitu kolenního kloubu je také důležitá vyvážená aktivace m. vastus medialis a m. vastus lateralis. Dynamická stabilita kolene závisí i na mm. gastrocnemii, které táhnou femur oproti tibií dorzálně za současné komprese kloubu. Rizikovým faktorem poranění LCA se ukazuje i předčasná a nadměrná aktivace m. quadriceps femoris proti mm. gastrocnemii (Kvist & Gillquist, 2001).

### 2.6.1 Vliv únavy na vznik poranění LCA

Klíčem k tomu, jak se vyhnout zranění je schopnost sportovce podávat stabilní motorický výkon i při podmínkách při kterých hrozí vyšší kumulace únavy, vycházející z provozované sportovní aktivity. Všechny zapojené tělesné segmenty vzájemně spolupracují, a oslabení jednoho znamená oslabení celého systému čímž ve vztahu k rostoucí únavě, dochází také k nárůstu rizika poranění (Dingenen & Gokeler, 2017). Míra vzniku poranění je tak umocněna narůstající únavou. V preventivních programech se však často zapomíná právě na trénink odolnosti vůči únavě, která se jeví jako velmi důležitý činitel při nekontaktních poraněních LCA (Pol, Hristovski, Medina, & Balague, 2019). Mimo vysokou náročnost tréninkového zatížení (např. intenzita, objem, frekvence tréninků) je to právě kumulace únavy, která má významný vliv na poranění LCA (Windt & Gabbett, 2017).

Důležitým preventivním faktorem ve vztahu k únavě je dodržování dostatečného odpočinku, tedy poměru mezi zátěží a potřebnou regenerací. V případě že sportovec ignoruje potřebu dostatečného fyzického i psychického odpočinku vystavuje se zvýšenému riziku úrazu a také tzv. syndromu přetrénování (Williams & Andersen, 1998).

Únava CNS vyvolává negativní změny v proprioceptivním vnímání i posturální kontrole a může se následně projevit např. svalovým třesem (Gandevia, 2001). Při pohybu v sagitální rovině má většinou únava vliv na velikost flexe v kolenním kloubu, který se její kumulací zmenšuje. Koleni tak zůstává odemčeno a LCA jsou při dopadu dolní končetiny vystaveny velkému tlaku. Takovýto „tvrdý“ dopad spolu s větší reakční silou vystavuje sportovce výraznějšímu riziku poranění LCA (Laughlin et al., 2011). Vliv na „tvrdý“ dopad má únava kvadricepsu, která velmi omezuje excentrické zpomalení při dopadu a zhoršuje tak motorickou koordinaci v kolenním kloubu (Hewett, Webster, & Hurd, 2019).

Centrální únava může také vyvolávat zhoršení kognitivních funkcí, jako např. koncentrace. To následně snižuje schopnost sportovce plnit pohybové úkoly, vyžadující vysokou úroveň pozornosti a prodlužuje reakční čas (Wilkerson, Simpson, & Clark, 2017). Tím dochází k omezení schopnosti spontánně ovládat pohybové vzorce a správně načasovat jejich použití v dynamicky se měnícím herním prostředí bez rizika poranění (Sliwinski, Smyth, Hofer, & Stawski, 2006).

Únava má tedy poměrně zásadní vliv na dynamickou stabilitu v kolenním kloubu, která je důležitá při řešení neočekávaných herních situací. Může se projevit např.



sníženou rozhodovací schopností související s volbou nevhodnějšího pohybového scénáře při dopadu na dolní končetinu nebo sníženou stabilitou kolenního kloubu způsobenou vyčerpáním kvadricepsu. To vše s sebou přináší zvýšení rizika poranění LCA.

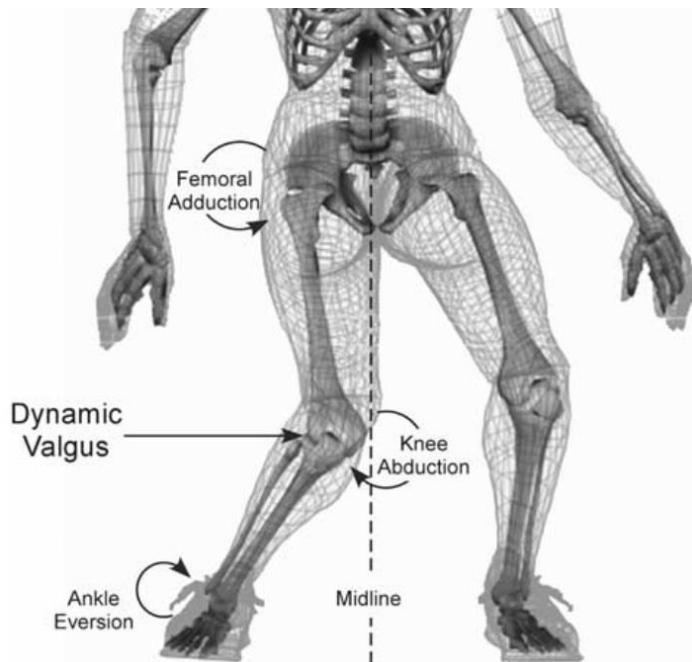
### **2.6.2 Pohlaví jako rizikový faktor zranění LCA**

Obecně platí, že ženám hrozí vyšší riziko úrazů měkkých tkání kolenního kloubu než mužům (Magnusson et al., 2007) a jsou také mnohem náchylnější na úrazy spojené z poraněním LCA. Oproti mužům, platí u žen 3 až 6krát vyšší pravděpodobnost, zejména nekontaktního poranění LCA (Koga et al., 2010; Parsons, Coen, & Bekker, 2021). Vyšší náchylnost k poranění LCA u žen ukazují také studie z fotbalu (Walden et al., 2012), házené (Montalvo et al., 2019) a basketbalu (Taborri et al., 2021).

Příčiny vyšší náchylnosti k poranění měkkých struktur kolenního kloubu u žen můžeme rozdělit na anatomické a biomechanické, hormonální a neuromotorické (Mayer & Smékal, 2004).

Z hlediska anatomických a biomechanických faktorů mají ženy větší antevertzi krčku femuru, tíhnou k větší valgozitě kolen a snížené aktivitě m. vastus medialis. Větší valgozita způsobuje zejména namáhání vnitřního postranního vazů (Obrázek 14) (Griffin, 1995), který se napíná a dochází k laterální kompresi (Obrázek 13B). U žen je také menší mezikondylární prostor, což přispívá k vyšší náchylnosti křížových vazů k poranění (Hewett et al., 1999).

Stav měkkých struktur kolene souvisí u žen úzce i s hormonálními faktory. Zejména pak na poměru estrogenu a progesteronu, který ovlivňuje pevnost a elasticitu kolagenu. Tato rovnováha je ovlivněna mimo jiné ženským cyklem, proto je nejvíce úrazů měkkých struktur kolenního kloubu zaznamenáno kolem ovulace. Také vinou hormonální nerovnováhy způsobující poruchy cyklu, chronického stresu či v důsledku užívání anabolik či glukokortikoidů dochází k narušení pevnosti a hydratace vaziva. Všechny tyto faktory zvyšují pravděpodobnost poranění v diskutované oblasti (Mayer & Smékal, 2004).



Obrázek 14. Vliv dynamického valgózního postavení v kolenním kloubu (Hewett et al., 2005, 495).

Zvýšené riziko poranění kolenního kloubu u žen úzce koreluje s úrovní trénovanosti a kondice (Griffin, 1995; Hewett et al., 1999). Z hlediska neuromotorických faktorů je zásadním preaktivace a reakční čas mezi m. quadriceps femoris a hamstringy, který je u žen pomalejší než u mužů. Důležitá pro stabilitu kolenního kloubu je také spolupráce mezi hamstringy a mm. vasti při zátěži, která je však u žen mnohem náchylnější k dysbalancím. Ženské koleno je proto oproti mužskému mnohem více závislé na ligamentech a má tendenci k hyperextenzi. Oproti mužům, kteří inklinují ke kontaktním poraněním v oblasti kolenního kloubu, tíhnou ženy spíše k poraněním bezkontaktním (Hewett et al., 1999).

Při tréninku autoři doporučují soustředit se na koaktivaci mezi m. vastus medialis a hamstringy. Riziková je zejména nekompenzovaná aktivace m. vastus medialis při malých flekčních úhlech. Proto je nutné využívat dynamické komplexní cviky, při kterých dochází ke spolupráci mezi m. vastus medialis a hamstringy (Kvist & Gillquist, 2001). Každý trénink dynamické stabilizace kolenního kloubu by měl brát v potaz provázanost propriocepce a neuromotoriky. Nesmí se také zapomínat na respektování únavy a nocicepce, kdy první náznaky únavy či bolestivosti by měly sloužit jako signál k ukončení tréninku, popřípadě přechodu k jiné aktivitě. Náročnost dynamického cvičení by měla postupovat od cviků v uzavřených kinematických řetězcích po cviky využívající řetězce otevřené. Postupně tak dochází k simulaci rizikovějších situací spojených

s trénovanou sportovní disciplínou. Pro stabilizaci kolenního kloubu jsou doporučovány senzomotorický a proprioceptivní trénink, plyometrická, inerciální a izokinetická cvičení, a v neposlední řadě také trénink lokomoční (Mayer & Smékal, 2004).

## **2.7 Hodnocení neuromuskulární kontroly kolenního kloubu**

Jako nejúčinnější se jeví hodnocení neuromuskulární kontroly, která prezentuje dynamickou stabilitu kolenního kloubu, pomocí vertikálních skoků. Ty umožňují hodnotit účinnost SSC, který se uplatňuje v řadě pohybů využívaných v kolektivních sportech, jako jsou ragby, fotbal či basketbal (Čoh, Živković, & Žvan, 2016).

Napříč autory jsou využívány vertikální skoky s maximální rychlostí provedení nebo skoky využívající maximálního odrazu (Hobara, Inoue, Kobayashi, & Ogata, 2014; Struzik et al., 2021). V obou variantách skoků je možné hodnotit SSC díky pružinovému modelu, který vertikální skoky nabízejí. Toto hodnocení úzce souvisí s tuhostí dolních končetin (LS), jelikož spolu s úhlem flexe v kolenních kloubech, ovlivňuje LS vertikální pohyb a tím i dobu kontaktu se zemí (Serpell, Ball, Scarvell, & Smith, 2012).

Autoři Dalleau, Belli, Viale, Lacour, a Bourdin (2004) popsali metodu výpočtu tuhosti dolních končetin při skocích submaximální intenzitou. Metoda počítala s kontaktními časy se zemí, dobou letu a hmotností probandů. Skoky byly prováděny na silové plošině s rukama v bok po dobu 10 s. Jejich frekvence byla měněna od 1,8 do 4,0 Hz, kdy k jejímu udržení byl využit metronom.

Testování neuromuskulární kontroly prostřednictvím skoků submaximální intenzitou využili ve své studii Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams (2009). Ti použili pro dopočet tuhosti dolních končetin data z 20 po sobě následujících skoků. Účastníci studie byli vyzváni, aby během testování drželi ruce v bok a udržovali tempo dle metronomu, které bylo určeno frekvencí 2,0 a 2,5 Hz. Tato frekvence vychází z dřívější studie Hobara et al. (2008) kteří prokázali, že frekvence 1,5 Hz byla příliš nízká pro zachování SSC a naopak při vyšší frekvenci (nad 3,0 Hz) bylo pro účastníky problematické udržet požadované tempo.

Jak jsme uvedli výše, pro testování neuromuskulární kontroly je možné využít také maximálních skoků, resp. maximálního odrazu. Dalleau et al., (2004) a Lloyd et al., (2009) využili pro dopočítání tuhosti dolních končetin pět po sobě následujících maximálních skoků. Kdy délka letu byla měřena pomocí kontaktní plošiny. Účastníci měření byli poučeni o nutnosti dosáhnout maximální výšky skoku, při současné

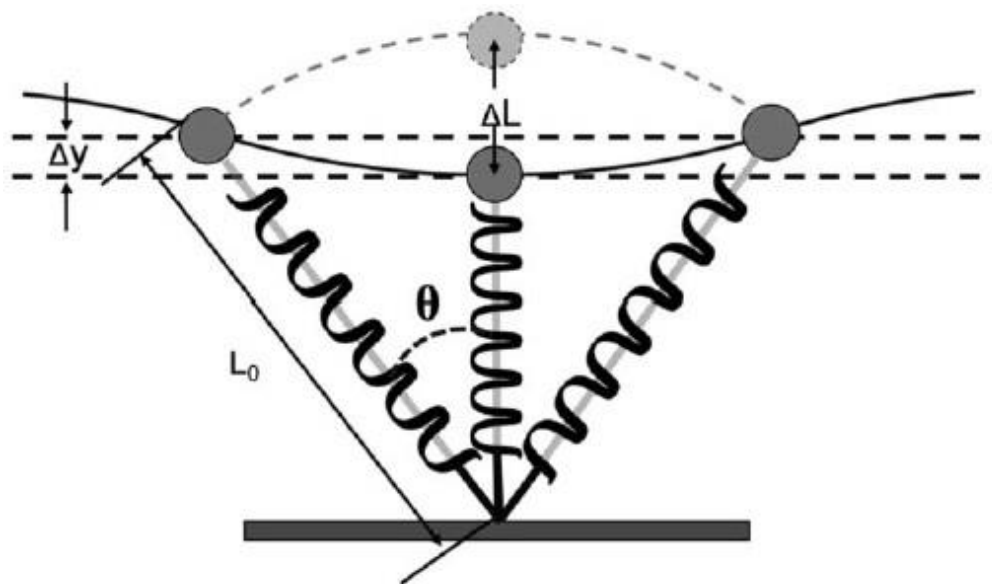
minimalizaci kontaktu s podložkou. Pro výpočet využili autoři čtyři skoky, kdy první z pěti sloužil jako startovní s protipohybem.

### **2.7.1 Tuhost dolních končetin**

Tuhost obecně představuje kvantitativní měřítko elastických vlastností těla a určuje jeho schopnost akumulovat potenciální elastickou energii. Klasický mechanický koncept tuhosti byl popsán jako elastická deformita těles pod působením vnějších sil. V sedmnáctém století odhalil britský fyzik Robert Hook proporcionální vztah mezi velikostí deformační síly ( $F$ ) a deformací těla ( $\Delta l$ ). Na základě toho byla tuhost ( $K$ ) definována jako poměr deformující síly (nebo změny sil) na jednotku deformace (nebo jako poměr k velikosti deformačního úhlu pro rotační pohyby) (Struzik et al., 2021).

Elasticky deformovatelná tělesa mají schopnost reverzibility, dokáží tedy získat zpět svůj tvar i velikost, pokud síly způsobující deformitu přestanou působit. Vlivem působení vnějších sil dochází u pružných těles k akumulaci potenciální elastické energie, která je následně při návratu na původní velikost uvolněna. Za předpokladu že nedochází vlivem tření a odporu ke ztrátám, rovná se velikost práce vykonané deformačními silami hodnotě uložené potenciální elastické energie. Jedná se o tzv. princip pružiny (Obrázek 15) (Struzik et al., 2021).

Schopnost absorbovat a vracet potenciální elastickou energii je znám také u muskuloskeletárních skupin v lidském těle. Tu je zde možné uložit prostřednictvím pasivních struktur (šlacha a aponeuróza). Při prodloužení svalově-šlachové jednotky dochází k uložení potenciální elastické energie, která je využita při jejím následném okamžitém zkrácení, tzv. Stretch Shortening Cycle (SSC). Díky tomuto je možné při stejném množství svalem vykonané práce snížit množství spotřebované energie (Li, Newton, Shi, Sutton, & Ding, 2019). To je důvodem proč se jeví tuhost dolních končetin jako důležitý faktor lidské lokomoce související s maximálním cyklickým výkonem ale také jednotlivými dynamickými pohyby. Z hlediska lokomoce se tak jedná o vertikální skok na místě, kdy je elastická energie orientovaná svisle dolů po celou dobu kontaktu nohy s podložkou, nebo o pohyb směrem vpřed (Obrázek 15). Pokud se tělo pohybuje dopředu je směr působení elastické energie šikmý, a je tedy k době kontaktu se zemí nutno započítat také úhel, který musí být překonán (Struzik et al., 2021).



Obrázek 15. Schéma SSC při pohybu vertikálně a směrem vpřed (Li et al., 2019, 1494).

Tuhost dolních končetin tedy ovlivňuje stabilitu kolenního kloubu při dynamických pohybech využívajících SSC, čímž prezentuje schopnost vytvářet potenciální sílu a odolávat deformacím vznikajících při přechodu z excentrické do koncentrické svalové kontrakce. Vyšší úroveň tuhosti dolních končetin vede k menší pravděpodobnosti zatížení pasivních struktur kolenního kloubu, jako je LCA a snižuje tak riziko jejich poranění (Lehnert et al., 2020).

### 3 CÍLE PRÁCE

#### Hlavní cíl

Cílem práce je ověřit u ragbistek starších 15 let vliv preventivního tréninkového programu KneeRugbyWomen na tuhost dolních končetin jako indikátor neuromuskulárního řízení kolenního kloubu.

#### Hypotéza

H1: Absolvování 12týdenního tréninkového programu KneeRugbyWomen zvyšuje tuhost dolních končetin amatérských hráček sedmičkového ragby starších 15 let.

Nezávislá proměnná: tréninkový program KneeRugbyWomen.

Závislé proměnné: ALS, RLS.

#### Kritéria pro potvrzení hypotézy:

Hypotéza bude potvrzena, pokud dojde po absolvování 12týdenního tréninkového programu KneeRugbyWomen k signifikantnímu nárůstu ( $p < 0,05$ ) a velkému efektu ( $r \geq 0,5$ ) u ALS i RLS u experimentální skupiny.

#### Úkoly práce

1. Shromáždit poznatky z oblasti epidemiologie a mechanismů poranění kolenního kloubu u žen, prevence jeho zranění, a tuhosti dolních končetin jako indikátoru rizika poranění LCA.
2. Provést analýzu a syntézu shromážděných poznatků.
3. U výzkumné skupiny aplikovat preventivní program KneeRugbyWomen.
4. Provést vstupní, a výstupní měření tuhosti dolních končetin za účelem ověření účinnosti navrženého preventivního programu v prevenci zranění LCA.
5. Na základě shromážděných poznatků a dat získaných během provedených měření vyhodnotit vliv preventivního programu KneeRugbyWomen na tuhost dolních končetin.

## 4 METODY PRÁCE

Tato diplomová práce je součástí projektu IGA\_FTK\_2021\_008 Vliv programu KneeRugbyWomen na indikátory rizika zranění kolenního kloubu u ragbistek starších 15 let, kde se hodnotila LS pomocí testu dvacetiskok snožmo, relativní silový index prostřednictvím pěti maximálních vertikálních skoků, valgozita a flexe v kolenním kloubu prostřednictvím vertikálního skoku s protipohybem odrazen jednož a rychlost se změnou směru pomocí 505 agility testu.

Celý výzkum byl schválen etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci pod číslem 23/2021 (Příloha č. 1). Před zahájením výzkumu byly hráčky a jejich zákonní zástupci seznámeny s cílem i metodikou studie a souhlasili s účastí ve výzkumu i s použitím získaných dat pro výzkumné účely. Dospělé hráčky podepsaly informovaný souhlas samy (Příloha č. 2), nezletilým hráčkám poté souhlas podepsal jejich zákonný zástupce (Příloha č. 3).

### 4.1 Výzkumný soubor

Výzkumu se zúčastnilo 31 amatérských hráček sedmičkového ragby z České republiky. Byly stanoveny tyto podmínky zařazení do výzkumného souboru:

1. Pravidelná účast (tj. dle klubem stanoveného rozpisu tréninků) na organizované sportovní činnosti.
2. V posledních šesti měsících absence vážného zranění stehna nebo kolenního kloubu vyřazující z tréninkového procesu na více jak 3 týdny.
3. Absence závislosti na alkoholu a drogách.
4. Aktuálně dobrý zdravotní stav dle vyšetřovací zprávy sportovního lékaře.

Výzkumný soubor byl rozdělen pomocí blokové randomizace na experimentální skupinu, která obsahovala 12 ragbistek (Tabulka 5), a kontrolní skupinu se stejným počtem hráček (Tabulka 6). Důvodem pro vyřazení z výzkumu byly zdravotní problémy, zranění během testování, nebo při provádění preventivního programu, či jiné indispozice zabraňující zapojení se do tréninku. Dalším z důvodů byla nedostatečná účast v tréninkovém procesu. Pokud absence překročila 2 týdny, což odpovídá absenci větší než 20 %, byla účastnice rovněž vyřazena. Ve výsledku byla data hodnocena u 24 hráček, jelikož 7 hráček bylo vyřazeno z jednoho z výše uvedených důvodů.

Tabulka 5

*Antropometrické charakteristiky experimentální skupiny.*

<b>Proměnná</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>Mdn</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>SD</b>	<b>V</b>
<b>Věk</b>	12	20,05	17,90	15,83	28,43	4,43	22,10
<b>Výška</b>	12	166,54	167,50	158,00	171,00	4,46	2,68
<b>Výška v sedu</b>	12	85,49	86,00	79,00	88,50	2,59	3,03
<b>Hmotnost</b>	12	64,65	63,65	56,00	76,00	6,44	9,96
<b>Délka dolní končetiny</b>	12	81,05	82,25	69,50	86,50	5,06	6,25

*Vysvětlivky:* N – počet probandek, M – průměr, Mdn – medián, Min – minimum, Max – maximum, SD – směrodatná odchylka, V – variační koeficient.

Tabulka 6

*Antropometrické charakteristiky kontrolní skupiny.*

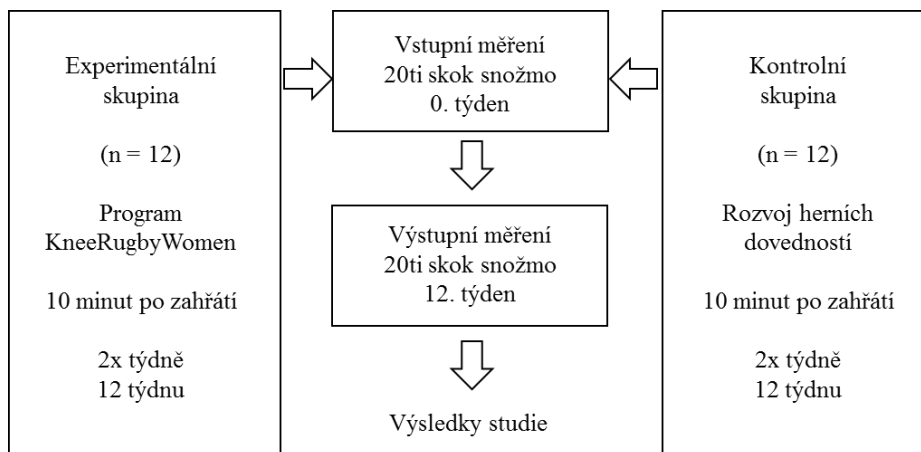
<b>Proměnná</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>Mdn</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>SD</b>	<b>V</b>
<b>Věk</b>	12	20,04	18,10	14,61	29,44	4,88	24,35
<b>Výška</b>	12	166,83	169,00	154,00	176,00	7,30	4,37
<b>Výška v sedu</b>	12	86,79	85,75	82,00	92,00	3,51	4,04
<b>Hmotnost</b>	12	69,83	66,70	55,00	98,50	12,84	18,39
<b>Délka dolní končetiny</b>	12	80,04	81,00	70,00	90,50	5,40	6,75

*Vysvětlivky:* N – počet probandek, M – průměr, Mdn – medián, Min – minimum, Max – maximum, SD – směrodatná odchylka, V – variační koeficient.

## 4.2 Design studie

Výzkum byl prováděn formou jednofaktorového experimentu (Obrázek 16). Jako nezávislá proměnná byl zvolen program KneeRugbyWomen. Závislou proměnnou byly absolutní (ALS) a relativní (RLS) tuhost dolních končetin, k jejímž měření byl využit test dvacetiskok snožmo.





Obrázek 16. Schéma designu studie (Vlastní zpracování).

Experimentální skupina absolvovala po dobu 12 týdnů dvakrát týdně preventivní program KneeRugbyWomen zaměřený na snížení rizika zranění kolenního kloubu, a to vždy po rozcvičení v době trvání 10 minut. Kontrolní skupina absolvovala stejné rozcvičení a ve svém programu rozvoj dovedností – přihrávky, což je standardní součást každé tréninkové jednotky.

Výzkumný soubor absolvoval dvě testování. První vstupní, před zahájením tréninkové intervence a druhé výstupní, po 12 týdnech tréninkové intervence.

### 4.3 Metody a organizace sběru dat

Den před testováním hráčky neabsolvovaly tréninkovou jednotku. Hráčkám byla před testováním měřena tělesná hmotnost pomocí přístroje InBody770 (MedSystem, Česká republika) a také tělesná výška ve stoje a v sedu pomocí Antropometru A-226 (Trystom, CR). Následně bylo zajištěno adekvátního rozcvičení, které jsou hráčky zvyklé absolvovat během tréninkových jednotek. To obsahovalo rušnou a mobilizační část i dynamické protažení, po kterém následoval test dvacetiskok snožmo.

#### Test dvacetiskok snožmo

Test dvacetiskok snožmo sloužil k získání dat, potřebných k výpočtu jak ALS tak i RLS (Lloyd et al., 2009). Hráčky byly vyzvány, aby zaujaly stoj mezi přijímací a vysílací linií přístroje OptoJump Next (Microgate, Bolzano, Italy), chodidla na šířku ramen, ruce v bok a s tělesnou hmotností rozloženou stejnoměrně mezi obě dolní končetiny. Poté byly hráčky vyzvány k provedení 20 submaximálních skoků s cílem udržet frekvenci 2,5 Hz, při minimálním pohybu v kolenou. Frekvence 2,5 Hz byla udržována pomocí mechanického metronomu Wittner (GmbH & Co. KG, Isny, Německo). Testování probíhalo ve sportovní obuvi, kterou si pro maximální pohodlí zvolily samy

hráčky. Hráčky provedly tři série skoků, kdy ke statistickému zpracování byla použita střední hodnota všech tří pokusů. Pro zachování dostatečného odpočinku mezi jednotlivými pokusy, stanoveného na 2 minuty, byly hráčky rozděleny do skupin po třech, takže všechny nejprve provedly první, poté druhý, a nakonec třetí pokus.

Tímto testováním jsme získali dobu letu (ms), která byla vypočtena jako průměr z deseti po sobě jdoucích skoků tak, že za první počítaný byl brán pátý skok a dobu kontaktu se zemí. ALS (kN/m) byla následně vypočtena dle Dalleau et al. (2004; Obrázek 17) z tělesné hmotnosti (kg), průměrné doby letu (ms) a délky kontaktu se zemí (ms). Lloyd et al. (2009), určili tento test za validní i reliabilní s korelačním koeficientem 0,93.

$$K_a = \frac{[M \times \pi(T_f + T_c)]}{T_c^2 [(T_f + T_c/\pi) - (T_c/4)]}$$

*Legenda:* M – hmotnost, T<sub>c</sub> – kontaktní čas (ms), T<sub>f</sub> – čas letu (ms).

*Obrázek 17.* Vzorec pro výpočet tuhosti dolních končetin (Dalleau et al., 2004).

Hodnoty relativní tuhosti dolních končetin jsme následně získali vydělením absolutní hodnoty tuhosti dolních končetin hmotnostmi a délkou končetin. Délka končetin byla určena jako rozdíl tělesné výšky ve stoje a v sedu (De Ste Croix, Hughes, Lloyd, Oliver, & Read, 2017).

#### 4.4 Preventivní program KneeRugbyWomen

Preventivní program KneeRugbyWomen (Tabulka 7) byl zařazen do úvodních částí tréninkových jednotek po dobu 12 týdnů a to 2krát týdně, vždy po 10 minutách. Program byl rozdělen na tři části a sestaven tak, aby nepodpořil vznik svalových dysbalancí. Balanční cvičení byla zaměřená na rozvoj propriocepce a hlubokého stabilizačního systému. Silová cvičení využívaly rezistenčního odporu pomocí odporové gumy a zaměřovaly se na svaly v oblasti kyčlí (extenzory, abduktory a adduktory), svaly stehna (kvadriceps a hamstringy) a další rozvoj hlubokého stabilizačního systému. Poslední, plyometrická část, byla zaměřena na cvičení s rychlou změnou koncentrické síly na excentrickou. Využívány byly zejména skoky na jedné noze. Maximální individualizace programu bylo dosaženo díky 4 úrovním provedení. Důležité pro výzkum bylo správné provedení cvičení, proto byli trenéři i hráčky před zahájením tréninkové intervence instruováni jakým způsobem správně provádět jednotlivá cvičení preventivního

programu. Familiarizace proběhla během dvou týdnů předcházejících vstupnímu měření v rámci čtyř tréninků. Následně všichni obdrželi písemné materiály s podrobným tréninkovým programem. Trenéři poté dohlíželi na správné technické provedení preventivních cvičení po celou dobu trvání intervence.

Tabulka 7

*Preventivní program KneeRugbyWomen.*

Typ Cvičení	Doba trvání	Úroveň 1	Úroveň 2	Úroveň 3	Úroveň 4
Balanční cvičení	30 s obě končetiny	Stoj na pravé/levé, skrčit přednožmo levou/pravou, ruce v bok	Podřep - přednožit dolů	Podřep - postupně přednožovat a zanožovat	Podřep postupně přednožovat, zanožovat a unožovat
	30 s obě končetiny	Výpady	Výpady s rotací trupu	Výpady s váhou předklonmo	Výpady s váhou předklonmo a rotací trupu
Silová cvičení	1 min, případně 30 s obě končetiny	Most na lopatkách	Most na lopatkách s rezistenční gumou nad koleny	Most na lopatkách na jedné noze	Most na lopatkách s posunem chodidel
	30 s obě končetiny	Laterální zvedání nohy vleže naboku	Škeble	Laterální zvedání nohou s rezistenční gumou	Škeble s rezistenční gumou
	30 s	Podřep do výponu	Podřep do výponu - vzpažit	Podřep do výponu s rezistenční gumou nad koleny	Podřep do výponu vzpažit s rezistenční gumou nad koleny
Plyometrická cvičení	30 s	Skoky snožmo dopředu a dozadu			
	30 s	Laterální skoky jednož			
	15 s obě končetiny	Laterální skoky jednož s rotací			
	30 s	Laterální skoky jednož křížmo			
	15 s obě končetiny	Poskoky jednož dopředu a dozadu			

*Poznámka.* Unilaterální cvičení probíhá v součtu obou končetin stejnou dobu cvičení bilaterálního.

#### 4.5 Statistické vyhodnocení dat

Statistická analýza byla provedena pomocí softwaru Statistica 12 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA). Normalita rozložení dat byla ověřena pomocí testu Kolmogorov-Smirnov. U sledovaných parametrů bylo užito popisné statistiky s využitím průměrů, směrodatných odchylek a variačních koeficientů. Pro ověření hypotézy byl využit Wilcoxonův párový test (vnitroskupinové porovnání) a Mann Whitney U test (meziskupinové porovnání). Statistická významnost byla určena na hladině  $p = 0,05$ . Věcná významnost byla posuzována podle koeficientu  $r$ . Vypočítané velikosti účinku byly klasifikovány jako malý ( $0,1 < r < 0,3$ ), střední ( $0,3 < r < 0,5$ ) a velký ( $r > 0,5$ ) efekt (Pallant, 2011).

## 5 VÝSLEDKY PRÁCE

Výsledky vstupního a výstupního měření hráček experimentální a kontrolní skupiny jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8

*Základní statistické charakteristiky absolutní a relativní tuhosti před a po absolvování tréninkového programu u experimentální a kontrolní skupiny.*

Proměnná		N	M	Mdn	Min	Max	SD	V
Experimentální skupina	ALS1	12	25,90	25,98	16,48	31,55	4,16	16,08
	ALS2	12	24,56	23,72	18,20	32,50	3,95	16,06
	RLS1	12	32,63	32,67	19,85	44,65	7,82	23,96
	RLS2	12	30,66	30,48	22,38	44,33	6,32	20,62
Kontrolní skupina	ALS1	12	24,87	23,04	17,64	36,81	5,31	21,37
	ALS2	12	23,35	22,60	17,02	32,51	3,50	15,00
	RLS1	12	29,99	27,58	24,15	41,01	5,59	18,63
	RLS2	12	27,31	26,92	23,02	34,77	3,39	12,42

*Vysvětlivky:* ALS1 – absolutní tuhost dolních končetin při vstupním měření, ALS2 – absolutní tuhost dolních končetin při výstupním měření, RLS1 – relativní tuhost dolních končetin při vstupním měření, RLS2 – relativní tuhost dolních končetin při výstupním měření, N – počet probandek, M – průměr, Mdn – medián, Min – minimum, Max – maximum, SD – směrodatná odchylka, V – variační koeficient.

Výsledky vnitroskupinového porovnání experimentální a kontrolní skupiny prostřednictvím Wilcoxonova párového testu ukazují na statisticky významnou změnu RLS po absolvování preventivního programu u kontrolní ( $Z = 1,96, p = 0,05, r = 0,4$ ) i experimentální skupiny ( $Z = 1,96, p = 0,05, r = 0,4$ ). V případě ALS nebyly zjištěny statisticky významné změny ani u jedné ze sledovaných skupin ( $p > 0,05$ ).

Pro porovnání rozdílů v ALS a RLS mezi kontrolní a experimentální skupinou před a po absolvování tréninkového programu jsme využili Mann Whitney U test. Výsledky meziskupinového porovnání nepotvrdily významné rozdíly ALS a RLS před absolvováním tréninkového programu (ALS:  $Z = 1,07, p = 0,29$ ; RLS:  $Z = 1,30, p = 0,19$ ), ani po jeho skončení (ALS:  $Z = 0,29, p = 0,77$ ; RLS:  $Z = 1,33, p = 0,18$ ).

## 6 DISKUZE

Vzhledem k četnosti výskytu poranění v ragby, ale také v dalších kolektivních sportech, je účinná prevence poranění velmi aktuálním problémem. Závažné jsou především úrazy, které vyžadují i mnohaměsíční rekonvalescenci a mohou sportovce ovlivnit po zbytek jeho kariéry. K těm patří poranění LCA, jehož výskyt je spojen s vysokým tempem hry a častými změnami směru v mnohdy nenadálých situacích, které kladou vysoké požadavky na stabilitu kolenního kloubu při uplatňování SSC (Cumps et al., 2008; Gans et al., 2018; Cadens et al., 2021; Taborri et al., 2021).

Dynamickou stabilitu kolenního kloubu, lze tedy charakterizovat jako schopnost odolávat vnitřním a vnějším vlivům způsobeným pohybem. Na úroveň dynamické stability kolenního kloubu při pohybech s SSC lze usuzovat pomocí parametrů neuromuskulárního řízení, jako například LS, kterou jsme proto hodnotili v naší studii. Předpokládá se, že čím vyšší úrovně LS je dosaženo, tím menší je pravděpodobnost zatížení pasivních struktur kolenního kloubu, čímž se snižuje riziko jejich poranění (Li et al., 2019; Lehnert et al., 2020; Struzik et al., 2021).

V naší studii nebyl prokázán vliv tréninkového programu KneeRugbyWomen na ALS ( $p > 0,05$ ). Wilcoxonův vnitroskupinový párový test potvrdil signifikantní rozdíl ( $p < 0,05$ ) u RLS, avšak u experimentální i kontrolní skupiny se jednalo o negativní trend. Zatímco u experimentální skupiny došlo k podobnému procentuálnímu poklesu průměrných hodnot ALS a RLS (ALS = 4,44 %, RLS = 4,54 %), změna ALS a RLS v kontrolní skupině se lišila (ALS = 4,17 %, RLS = 7,50 %). Výsledky tedy nepodporují formulovanou hypotézu H1.

Z výsledků práce se lze domnívat, že intervence využívající tréninkový program KneeRugbyWomen, nepředstavovala dostatečnou stimulaci nervosvalového systému hráček, která by se u nich projevila zvýšením hodnot LS a tím i snížením rizika zranění LCA. Při sestavování i porovnávání tréninkového programu jsme vycházeli ze studií zabývajících se prevencí zranění v pohybově podobných kolektivních sportech jako ragby. Navržená tréninková cvičení, spolu s délkou a frekvencí tréninkového programu tak vycházejí z úspěšných studií Kiani et al. (2010), Zebis et al. (2016) a De Ste Croix et al. (2018). Tyto studie prokázaly u dívek a žen starších 15 let pozitivní vliv na snížení úrazovosti LCA, již při délce tréninkového programu 12 týdnů s frekvencí 2krát týdně po 10 minutách. Dílčí rozdíl ve složení našeho preventivního tréninkového programu je patrný u Zebis et al. (2016), kteří oproti nám využili mimo balančních, silových

a plyometrických cvičení také cvičení agility. Absence agility v tréninkovém programu KneeRugbyWomen tak mohla mít negativní vliv na výsledky naší studie, avšak k této variantě se příliš nepřikláníme. Dle studií Kiani et al. (2010) i De Ste Croix et al. (2018) se domníváme, že agilita nepředstavuje klíčový prvek preventivního programu, jelikož tyto studie agilitu, stejně jako naše, neobsahovaly, a přesto byly vzhledem ke snížení úrazovosti LCA úspěšné.

Naopak za velmi vhodné považujeme zařazení plyometrického tréninku, jelikož systematický plyometrický trénink pozitivně ovlivňuje výkonnost při pohybech využívající SSC. Díky tomu dochází k signifikantně významným změnám v dynamické stabilitě kolenního kloubu, projevující se zlepšením skokového výkonu (Sankey, Jones, & Bampouras, 2008; Campo et al., 2009; Attene et al., 2015). Toto zlepšení hraje následně významnou roli při prevenci poranění měkkých tkání kolenního kloubu, jako jsou LCA (Turner & Jeffreys, 2010), kterou se zabýváme v naší práci.

Preventivní programy obsahující plyometrická cvičení, které byly současně zařazeny do přípravného i soutěžního tréninkové období, což odpovídá načasování našeho tréninkového programu, byly účinnější v prevenci poranění LCA než ty, které probíhaly buď v přípravném, nebo jen v soutěžním období (Anderson, Browning, Urband, Kluczynski, & Bisson, 2016). Stejně tak nalzáme s autory shodu v zapojení plyometrického tréninku v kombinaci se silovým tréninkem, kdy jmenovaní autoři považují tuto kombinaci za velmi účinnou. Také Attene et al. (2015) prokázali pozitivní vliv plyometrického tréninku, a to na zvýšení výkonu dolních končetin při pohybech s SSC u mladistvých basketbalistek (věk  $14,9 \pm 0,9$  roků), kde prostřednictvím plyometrického tréninku došlo k signifikantnímu nárůstu výšky skoku u vertikálního skoku s protipohybem. Tento nárůst tak vedl ke zvýšení dynamické stability kolenního kloubu a tím ke snížení rizika poranění LCA (Turner & Jeffreys, 2010). Podobné výsledky již dříve publikovali v mužském ragby u vysokoškolských hráčů Sankey et al. (2008) a v ženském profesionálním fotbale (věk  $23,0 \pm 3,2$  roků) Campo et al. (2009). Tyto zjištění nás utvrzují ve vhodnosti zařazení plyometrického tréninku do našeho tréninkového programu KneeRugbyWomen.

V rámci podobnosti ve sledovaných parametrech, se budeme dále detailněji zabývat uvedenou studií, De Ste Croix et al. (2018). Autoři zkoumali účinnost preventivního tréninkového programu na rizikové faktory poranění měkkých struktur kolenního kloubu u mladistvých fotbalistek ve věku 11 až 16 let. Studie se účastnilo celkem 125 elitních fotbalistek. Mimo jiné byla měřena a dopočítána také tuhost dolních končetin, a to před

a po 16týdenním tréninkovém programu. Tréninkový program byl složen ze dvou částí (každá 10 až 20 minut), kdy první část cvičily hráčky jedenkrát týdně na tréninku, jako rozcvičení a druhou dvakrát týdně individuálně dle svých časových možností. První část obsahovala dynamické zahřátí (cca 10 min.), dynamický strečink, plyometrická a rychlostní cvičení a druhá část silová a balanční cvičení a cviky na posílení středu těla. Výsledky prokázaly signifikantně významné změny pro tuhost dolních končetin, čímž se potvrdilo, že takto složený trénink vyvolává pozitivní změny vzhledem k riziku poranění měkkých struktur kolenního kloubu, kam patří také LCA. Signifikantní nárůst tuhosti dolních končetin u experimentální skupiny ( $7,4 \pm 9,6$ ) představoval dvojnásobek nárůstu u skupiny kontrolní ( $3,7 \pm 6,4$ ). Se studií De Ste Croix et al. (2018) se tak naše studie shoduje v typu prováděných cvičení i v délce preventivního tréninku. Rozdíl je však patrný v celkové délce tréninkové intervence (12 vs 16 týdnů) a také v týdenní frekvenci (2 vs 3krát týdně), které mohly být jedním z důvodů odlišnosti v pozorované účinnosti intervence realizované v této studii a v naší studii.

Na základě výše uvedených informací se domníváme, že složení tréninkových cvičení zařazených do našeho preventivního programu nebylo příčinou toho, že nedošlo k pozitivním změnám LS. Vhodné složení tréninkových cvičení v programu KneeRugbyWomen vzhledem k prevenci poranění LCA u žen a dívek starších 15 let podporují také další studie prováděné v kolektivních sportech (Mandelbaum et al., 2005; Olsen, Myklebust, Engebretsen, Holme, & Bahr, 2005; Gilchrist et al., 2008; LaBella et al., 2011; Li et al., 2018). V porovnání s naším programem KneeRugbyWomen zde však lze, stejně jako u studie De Ste Croix et al. (2018), pozorovat rozdíly v délce trvání samotného tréninku, jeho frekvence, nebo celkové délce preventivního programu, což mohlo negativně ovlivnit výsledky naší studie.

LaBella, et al. (2011) ve své studii aplikovali na basketbalistkách a fotbalistkách tréninkový program pro snížení rizika poranění dolních končetin. Tréninkový program byl aplikován po dobu 13 týdnů s průměrnou frekvencí 3,3 tréninků týdně a délce preventivního tréninku 18 minut. Celkově tak byl tréninkový program zařazen ve 43 tréninkových jednotkách v délce 13,6 hodin. V druzích cvičení se tento program od našeho nijak nelišil, a přesto jeho vlivem došlo k signifikantnímu poklesu úrazovosti LCA (0,07 vs. 0,026 A-Es), kdy tréninkový program byl oproti našemu hodnocen jako úspěšný.

Podobných zlepšení při frekvenci tréninků 3krát týdně a celkové délce intervence v rozmezí od 11,44 hodin do 13,5 hodin dosáhli také Mandelbaum et al. (2005) a Olsen et al. (2005), kteří rovněž zachovali délku preventivní tréninkové intervence 18 minut.



Mimo již zmiňovaných studií (LaBella et al., 2011; Mandelbaum et al., 2005; Olsen et al., 2005) potvrzuje vhodnou délku pohybové intervence přesahující celkově 10 hodin také meta-analýza, kterou provedli Taylor et al. (2013). Domníváme se, že jedním z důvodů majících vliv na rozdíl ve zjištěné účinnosti při srovnání těchto studií s naší studií, byla pravděpodobně celková doba trvání intervence, která byla ve výše uvedených studiích oproti naší přibližně trojnásobná.

A to i navzdory faktu, že Například Li et al. (2018) potvrdili u vysokoškolských házenkářek a basketbalistek ( $n = 16$ ) úspěšnost svého preventivního programu, který trval pouhé 4 týdny. V ostatních parametrech jsme se s naším tréninkovým programem shodovali. I když autoři neuvádí přesnou frekvenci tréninků, ale pouze zařazení preventivního tréninku v délce 20 minut (včetně zahřátí) na začátek každé tréninkové jednotky, domníváme se, že celková doba tréninkové intervence představovala mnohem méně, než 10 hodin. Přesto došlo vlivem takto krátkého preventivního tréninku u žen v experimentální skupině k signifikantnímu snížení rekčních sil vznikajících při dopadu na dolní končetinu (GRF, ground reaction force). Toto snížení bylo vyvoláno včasnou a vyváženou spoluprací mezi m. quadriceps femoris a hamstringy, díky čemuž byl omezen dopředný pohyb tibie vůči femuru při dopadu. Nedocházelo tak k nadměrnému zatěžování LCA, proto se autorům tento preventivní trénink jevil jako vhodný pro prevenci úrazů LCA v ženském basketbalu a volejbalu.

Přesto se přikláníme spíše k výsledkům studií, které potvrzují nutnost prodloužit celkovou dobu trvání preventivního tréninkového programu na více než 10 hodin (LaBella et al., 2011; Mandelbaum et al., 2005; Olsen et al., 2005; Taylor et al., 2013), jelikož úspěšné studie s dobou celkového trvání kratší než 10 hodin jsou spíše ojedinělé.

Na výsledek naší studie mohl mít výrazný vliv také počet hráček, které se experimentu účastnily. Ze studií zabývajících se prevencí poranění LCA, které jsme porovnávali (LaBella et al., 2011; Mandelbaum et al., 2005; Olsen et al., 2005) a také studií, ze kterých vycházel náš preventivní tréninkový program (Kiani et al., 2010; Zebis et al., 2016; De Ste Croix et al., 2018) usuzujeme, že se počet probandek účastnících naší studie ( $n = 24$ ), pohyboval na samé spodní hranici její realizovatelnosti. Pro porovnání uvádíme, že se počet probandek v 6 výše uváděných studiích pohyboval v rozmezí od 40 (Zebis et al., 2016) do 2851 (Mandelbaum et al., 2005), kdy průměrný počet účastnic v jedné studii představoval 1266 probandek s mediánem 1499, což při srovnání s naší studií představuje čísla mnohonásobně vyšší.

Výsledky naší práce mohly být také zásadně ovlivněny obdobím ročního tréninkového cyklu, jelikož vstupní měření probíhalo na začátku soutěžního a výstupní poté na konci přípravného období. Tento fakt byl způsoben eskalací pandemie covid-19. Pandemie zapříčinila nečekané prodloužení jarního přípravného období na úkor zkrácení letního soutěžního období na 6 týdnů, kde byly odehrány tři turnaje. Následně bylo vynecháno přechodné období a začala rovnou příprava na podzimní soutěžní období, na jehož konci proběhlo výstupní měření. Je tedy na místě domnívat se, že na výsledky naší práce mohla mít vliv kumulace únavy spojená s vysokým fyzickým zatížením během tréninků a utkání v takto zkrácené letní herní sezóně. Jak totiž ve své studii prokázali Oliver, Lloyd a Whitney (2015), hodnota LS se vlivem únavy během soutěžní sezóny snižuje. Oliver et al. (2015) sledovali skupinu dospělých ragbiových hráčů, po dobu 7 týdenního mezocyklu v herní sezóně, kdy na konci mezocyklu ukázalo měření signifikantní pokles hodnot LS oproti počátečním naměřeným hodnotám.

Díky tomuto zjištění se do budoucna jeví jako vhodné, provést v průběhu tréninkového programu ještě jedno kontrolní měření, které by bylo situováno do poloviny intervenční doby a zvolit aplikaci tréninkového programu tak, aby prvních šest týdnů probíhalo v přípravném období a druhých šest týdnů v období soutěžním. Tím bychom ověřili, zda v přípravném období prvních šesti týdnů hodnota LS vlivem tréninkového programu narůstá a následně vlivem únavy v šesti týdenním soutěžním období zase klesá (Oliver et al., 2015).

V rámci doporučení pro budoucí studie by bylo jistě zajímavé zařadit do výzkumu další, třetí tréninkovou skupinu (první skupina). Ta by preventivní trénink zařadila nad rámec tréninkové jednotky s tím, že by začala rozcvičení o 10 minut dříve než další dvě skupiny. První skupina by se po absolvování preventivního programu připojila ke druhé skupině (naše kontrolní skupina) při průpravných cvičení pro rozvoj herních dovedností. Třetí skupina (naše experimentální) skončila s preventivním programem a první a druhá skupina s rozvojem herních dovedností, všechny tři skupiny by společně zahájily hlavní část tréninkové jednotky. U první skupiny by tak vlivem doplnění preventivního tréninkového programu o rozvoj herních dovedností (Nessler, Denney, & Sampley, 2017) vznikl vysoký předpoklad pro dosažení nejlepších výsledků. Tento předpoklad potvrzuje i studie Attene et al. (2015), kteří prostřednictvím nácviku s využitím specifických herních cvičení dosáhli u mladistvých basketbalistek (věk  $14,9 \pm 0,9$  roků) nárůstu výkonu při vertikálním skoku, čímž prokázali zlepšení dynamické stability kolenního kloubu.

Limity naší studie spatřujeme, kromě výše uvedené realizaci intervence v přípravném i soutěžním období také, v malém počtu probandek, kdy jejich počet byl značně omezen vlivem pandemie covid-19. Ta rovněž způsobila, že intervence probíhala v přípravném i soutěžním období ročního tréninkového cyklu.

## 7 ZÁVĚRY

- U amatérských hráček ragby starších 15 let došlo po absolvování tréninkového programu KneeRugbyWomen u experimentální i kontrolní skupiny k signifikantnímu poklesu relativní tuhosti dolních končetin.
- U hráček experimentální i kontrolní skupiny nedošlo po absolvování tréninkového programu KneeRugbyWomen k signifikantním změnám absolutní tuhosti dolních končetin.
- Nebyl prokázán pozitivní vliv 12týdenního tréninkového programu KneeRugbyWomen realizovaného u amatérských hráček sedmičkového ragby starších 15 let na tuhost dolních končetin a s ním spojený pokles rizika zranění LCA v důsledku zlepšeného neuromuskulárního řízení kolenního kloubu. Hypotéza H1 byla zamítnuta.
- Vzhledem k našim zjištěním navrhujeme zaměřit se v další studii na ověření vlivu tréninkového programu s celkovým objemem zatížení v rámci tréninkové intervence minimálně 10 hodin.

## 8 SOUHRN

Cílem práce bylo ověřit u ragbistek starších 15 let vliv preventivního tréninkového programu KneeRugbyWomen na tuhost dolních končetin jako indikátoru neuromuskulárního řízení kolenního kloubu. V teoretické části práce byla popsána epidemiologie zranění a úspěšné tréninkové programy zaměřené na snížení rizika poranění dolních končetin v ženských kolektivních sportech a v sedmičkovém ženském ragby. Dále byla popsána fyziologie svalů kolenního kloubu, rizikové faktory poranění měkkých tkání kolenního kloubu spolu s neuromuskulárním řízením pohybu, cyklus protažení a zkrácení svalu a hodnocení neuromuskulární kontroly kolenního kloubu.

Výzkumu se zúčastnily amatérské hráčky sedmičkového ragby ve věku 15 až 29 let, které byly rozděleny na experimentální a kontrolní skupinu. Experimentální skupina následně absolvovala 12týdenní preventivní tréninkový program KneeRugbyWomen, který obsahoval silová, balanční a plyometrická cvičení a byl zařazen 2krát týdně do úvodních částí tréninkových jednotek, vždy po rozcvičení v době trvání 10 minut. Kontrolní skupina absolvovala stejné rozcvičení a ve svém programu se věnovala běžnému nácviku herních dovedností. Neuromuskulární kontrola kolenního kloubu byla hodnocena pomocí parametrů absolutní tuhost dolních končetin (ALS) a relativní tuhost dolních končetin (RLS). Tuhost dolních končetin byla hodnocena prostřednictvím testu dvacetiskok snožmo a dopočítána z charakteristik získaných pomocí přístrojů OptoJump Next (Microgate, Bolzano, Italy), InBody770 (MedSystem, Česká republika) a Antropometru A-226 (Trystom, CR). Měření probíhalo před a po absolvování preventivního programu, kdy vlivem pandemie covid-19 proběhlo vstupní měření na počátku zkráceného 6týdenního soutěžního období a výstupní měření na konci opět zkráceného 6týdenního přechodného období, což mohlo mít negativní vliv na výsledek naší studie.

Hlavními zjištěními naší studie bylo, že u amatérských hráček sedmičkového ragby starších 15 let došlo po absolvování tréninkového programu KneeRugbyWomen u experimentální i kontrolní skupiny k signifikantnímu poklesu relativní tuhosti dolních končetin, a naopak nedošlo k signifikantním změnám absolutní tuhosti dolních končetin ani v experimentální ani v kontrolní skupině. Vliv 12týdenního tréninkového programu KneeRugbyWomen na tuhost dolních končetin jako indikátoru rizika zranění LCA tak nebyl prokázán.

## 9 SUMMARY

The aim of the study was to verify the effect of the preventive training program KneeRugbyWomen on leg stiffness as an indicator of neuromuscular knee control in rugby players older than 15 years. The theoretical part of the thesis describes the epidemiology of injuries and successful training programs aimed at reducing the risk of lower limb injuries in women's team sports and in women's sevens rugby. The physiology of the knee muscles, the risk factors for soft tissue injuries of the knee joint together with neuromuscular motion control, the stretch-shortening cycle of the muscle and the evaluation of neuromuscular control of the knee joint were also described.

The amateur sevens rugby players aged 15 to 29 took part in the research, which were divided into an experimental and a control group. The experimental group then completed a 12-week preventive training program KneeRugbyWomen, which included strength, balance and plyometric exercises and was included twice a week in the introductory parts of the training units, always after warming up for 10 minutes. The control group underwent the same warm-up and focused on regular game skills training in their program. Neuromuscular control of the knee joint was evaluated using the parameters absolute leg stiffness (ALS) and relative leg stiffness (RLS). The leg stiffness was evaluated by means of a twenty sub-maximal bilateral hopping protocol and calculated from the characteristics obtained using OptoJump Next (Microgate, Bolzano, Italy), InBody770 (MedSystem, Czech Republic) and Anthropometer A-226 (Trystom, CR). The measurement took place before and after the completion of the prevention program, when due to the covid-19 pandemic the initial measurement took place at the beginning of the shortened 6-week competition period and the output measurement at the end of the shortened 6-week transition period again, which could have a negative effect on our study.

The main findings of our study were that amateur sevens rugby players older than 15 years experienced a significant decrease in relative leg stiffness in both experimental and control groups after completing the KneeRugbyWomen training program, and there were no significant changes in absolute leg stiffness in either experimental or control group. The effect of the 12-week KneeRugbyWomen training program on leg stiffness as an indicator of LCA injury risk has thus not been demonstrated.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Agel, J., Rockwood, T., & Klossner, D. (2016). Collegiate ACL injury rates across 15 sports: National Collegiate Athletic Association injury surveillance system data update (2004-2005 through 2012-2013). *Clinical Journal of Sport Medicine* 26, 518–523.
- Ahmad, C. S., Clark, A. M., Heilmann, N., Schoeb, J. S., Gardner, T. R., & Levine, W. N. (2006). Effect of gender and maturity on quadriceps-to-hamstring strength ratio and anterior cruciate ligament laxity. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(3), 370–374. doi: 10.1177/0363546505280426
- Anderson, J. M., Browning, M. W., Urband, E. C., Kluczynski, A. M., & Bisson, J. L. (2016). A systematic summary of systematic reviews on the topic of the anterior cruciate ligament. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 4(3), 1–23. doi: 10.1177/2325967116634074
- Attene, G., Iuliano, E., Cagno, A. Di, Calcagno, G., Moalla, W., Aquino, G., & Padulo, J. (2015). Improving neuromuscular performance in young basketball players: Plyometric vs. technique training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(1–2), 1–8.
- Bonato, M., Benis, R., & La Torre, A. (2018). Neuromuscular training reduces lower limb injuries in elite female basketball players. A cluster randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(4), 1451–1460. doi: 10.1111/sms.13034
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Brooks, J. H. M., & Kemp, S. P. T. (2008). Recent trends in rugby union injuries. *Clinics in Sports Medicine*, 27(1), 51–73. doi: 10.1016/j.csm.2007.09.001
- Cadens, M., Planas, A., Matas, S., & Peirau, X. (2021). Preventive training of anterior cruciate ligament injuries in female handball players: a systematic review. *Apunts Educació Física y Deportes*, (146), 68–77. doi: 10.5672/apunts.2014-0983.es.(2021/4).146.08
- Campo, S. S., Vaeyens, R., Philippaerts, R. M., Redondo, J. C., de Benito, A. M., &

- Cuadrado, G. (2009). Effects of lower-limb plyometric training on body composition, explosive strength, and kicking speed in female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1714–1722. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b3f537
- Clifton, D. R., Hertel, J., Onate, J. A., Currie, D. W., Pierpoint, L. A., Wasserman, E. B., ... Kerr, Z. Y. (2018). The first decade of web-based sports injury surveillance: descriptive epidemiology of injuries in US high school girls' basketball (2005–2006 Through 2013–2014) and National Collegiate Athletic Association women's basketball (2004–2005 through 2013–2014). *Journal of Athletic Training*, 53(11), 1037–1048. doi: 10.4085/1062-6050-150-17
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Sports Medicine*, 41(1), 17–38.
- Cumps, E., Verhagen, E., Annemans, L., & Meeusen, R. (2008). Injury rate and socioeconomic costs resulting from sports injuries in Flanders: data derived from sports insurance statistics 2003. *British Journal of Sports Medicine*, 42(9), 767–772. doi: 10.1136/bjism.2007.037937
- Čihák, R. (2011). *Anatomie I*. Praha: Grada Publishing.
- Čoh, M., Živković, V., & Žvan, M. (2016). Biodynamic analysis of the vertical jumping. *Research in Physical Education, Sport and Health*, 5(2), 3–10.
- Dalleau, G., Belli, A., Viale, F., Lacour, J.-R., & Bourdin, M. (2004). A simple method for field measurements of leg stiffness in hopping. *International Journal of Sports Medicine*, 25(3), 170–176. doi: 10.1055/s-2003-45252
- De Ste Croix, M., Hughes, J., Ayala, F., Taylor, L., & Datson, N. (2018). Efficacy of injury prevention training is greater for high-risk vs low-risk elite female youth soccer players. *The American Journal of Sports Medicine*, 46(13), 3271–3280. doi: 10.1177/0363546518795677
- De Ste Croix, M., Hughes, J. D., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., & Read, P. J. (2017). Leg stiffness in female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(11), 3052–3058. doi: 10.1519/JSC.0000000000001715
- Dingenen, B., & Gokeler, A. (2017). Optimization of the return-to-sport paradigm after



- anterior cruciate ligament reconstruction: a critical step back to move forward. *Sports Med*, 47(8), 1487–1500. doi: 10.1007/s40279-017-0674-6
- Dostálová, I., & Sigmung, M. (2017). *Pohybový systém: anatomie, dignostika, cvičení, masáže*. Olomouc: Poznání.
- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., & Bunč, V. (2012). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Dylevský, I. (2011). *Základy funkční anatomie*. Olomouc: Poznání.
- Ellapen, T., Heerden, H., Taylor, R., Trend, A., & Merwe, H. (2016). Knee injuries: a burden of schoolboy rugby players. *British Journal of Medicine and Medical Research*, 17(5), 1–7. doi: 10.9734/BJMMR/2016/21898
- Fuller, C. W., Taylor, A., & Molloy, G., M. (2010). Epidemiological study of injuries in international rugby sevens. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 20, 179–184.
- Fuller, C. W., Taylor, A. E., & Raftery, M. (2016). Should player fatigue be the focus of injury prevention strategies for international rugby sevens tournaments? *British Journal of Sports Medicine*, 50(11), 682–687. doi: 10.1136/bjsports-2016-096043
- Fuller, C. W., Taylor, A., & Raftery, M. (2017). 2016 Rio Olympics: an epidemiological study of the men's and women's Rugby-7s tournaments. *British Journal of Sports Medicine*, 51(17), 1272–1278. doi: 10.1136/bjsports-2016-097301
- Gandevia, C. S. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Reviews*, 81(4), 1725–1789.
- Gans, I., Retzky, J. S., Jones, L. C., & Tanaka, M. J. (2018). Epidemiology of recurrent anterior cruciate ligament injuries in National Collegiate Athletic Association Sports: the injury surveillance program, 2004-2014. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 6(6), 1-7. doi: 10.1177/2325967118777823
- Gilchrist, J., Mandelbaum, B. R., Melancon, H., Ryan, G. W., Silvers, H. J., Griffin, L. Y., ... Dvorak, J. (2008). A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1476–1483. doi: 10.1177/0363546508318188
- Gillot, T., L'Hermette, M., Garnier, T., & Tourny-Chollet, C. (2019). Effect of fatigue on

- functional stability of the knee: particularities of female handball players. *International Journal of Sports Medicine*, 40(07), 468–476. doi: 10.1055/a-0866-9482
- Griffin, Y. L. (1995). *Rehabilitation of the injured knee*. Saint Louis: Mosby.
- Hadzovic, M., Ilic, P., Lilic, A., & Stankovic, M. (2020). The effects of a knee joint injury prevention program on young female basketball players: a systematic review. *Journal of Anthropology of Sport and Physical Education*, 4(1), 51–56. doi: 10.26773/jaspe.200109
- Hägglund, M., & Waldén, M. (2016). Risk factors for acute knee injury in female youth football. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24(3), 737–746. doi: 10.1007/s00167-015-3922-z
- Hägglund, M., Walden, M., & Ekstrand, J. (2009). UEFA injury study--an injury audit of European Championships 2006 to 2008. *British Journal of Sports Medicine*, 43(7), 483–489. doi: 10.1136/bjism.2008.056937
- Hartmut, G., Becker, A., Walther, M., & Hess, H. (2010). Injuries in women's soccer: a 1-year all players prospective field study of the women's Bundesliga (German Premier League). *Clinical Journal of Sport Medicine*, 20(4), 264–271.
- Hewett, T. E., Lindenfeld, N. T., Riccobene, V. J., & Noyes, R. F. (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 27(6), 699–706.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., ... Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 492–501. doi: 10.1177/0363546504269591
- Hewett, T. E., Webster, K. E., & Hurd, W. J. (2019). Systematic selection of key logistic regression variables for risk prediction analyses: a five-factor maximum model. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 29(1), 78–85. doi: 10.1097/JSM.0000000000000486
- Hislop, M. D., Stokes, K. A., Williams, S., McKay, C. D., England, M., Kemp, S. P. T.,

- & Trewartha, G. (2016). The efficacy of a movement control exercise programme to reduce injuries in youth rugby: a cluster randomised controlled trial. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 2(1), 1-12. doi: 10.1136/bmjsem-2015-000043
- Hobara, H., Inoue, K., Kobayashi, Y., & Ogata, T. (2014). A comparison of computation methods for leg stiffness during hopping. *Journal of Applied Biomechanics*, 30, 154–159. doi: 10.1123/jab.2012-0285
- Hobara, H., Kimura, K., Omuro, K., Gomi, K., Muraoka, T., Iso, S., & Kanosue, K. (2008). Determinants of difference in leg stiffness between endurance- and power-trained athletes. *Journal of Biomechanics*, 41(3), 506–514. doi: 10.1016/j.jbiomech.2007.10.014
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sports Medicine*, 37, 411–428.
- Chalmers, D. J., Samaranayaka, A., Gulliver, P., & McNoe, B. (2012). Risk factors for injury in rugby union football in New Zealand: a cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 95–102. doi: 10.1136/bjsports-2011-090272
- Jasny, M. (2021). “Playing with injury”: the health-related aspects of a career in women’s handball. *Physical Culture and Sport. Studies and Research*, 93(1), 62–71. doi: 10.2478/pcssr-2021-0031
- Kiani, A., Hellquist, E., Ahlqvist, E., Ahlqvist, K., Gedeberg, R., & Byberg, L. (2010). Prevention of soccer-related knee injuries in teenaged girls. *Archives of Internal Medicine*, 170(1), 43-49. doi: 10.1001/archinternmed.2009.289
- King, D., Hume, P., Cummins, C., Pearce, A., Clark, T., Foskett, A., & Barnes, M. (2019). Match and training injuries in women’s rugby union: a systematic review of published studies. *Sports Medicine*, 49(10), 1559–1574. doi: 10.1007/s40279-019-01151-4
- Knowles, S. B. (2010). Is there an injury epidemic in girls’ sports? *British Journal of Sports Medicine*, 44, 38–44.
- Koga, H., Nakamae, A., Shima, Y., Iwasa, J., Myklebust, G., Engebretsen, L., ... Krosshaug, T. (2010). Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(11), 2218–2225.

doi: 10.1177/0363546510373570

Kolář, P. (2009). *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén.

Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1197–1206. doi: 10.1016/S0021-9290(00)00064-6

Kvist, J., & Gillquist, J. (2001). Sagittal plane knee translation and electromyographic activity during closed and open kinetic chain exercises in anterior cruciate ligament-deficient patients and control subjects. *The American Journal of Sports Medicine*, 29(1), 72–82.

LaBella, R. C., Huxford, R. M., Grissom, J., Kim, K.-Y., Peng, J., & Christoffel, K. K. (2011). Effect of neuromuscular warm-up on injuries in female soccer and basketball athletes in urban public high schools. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 165(11), 1033–1040.

Lai, C. C. H., Ardern, C. L., Feller, J. A., & Webster, K. E. (2018). Eighty-three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis of return to sport rates, graft rupture rates and performance outcomes. *British Journal of Sports Medicine*, 52(2), 128–138. doi: 10.1136/bjsports-2016-096836

Larruskain, J., Lekue, J. A., Diaz, N., Odriozola, A., & Gil, S. M. (2018). A comparison of injuries in elite male and female football players: A five-season prospective study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(1), 237–245. doi: 10.1111/sms.12860

Laughlin, W. A., Weinhandl, J. T., Kernozek, T. W., Cobb, S. C., Keenan, K. G., & O'Connor, K. M. (2011). The effects of single-leg landing technique on ACL loading. *Journal of Biomechanics*, 44(10), 1845–1851. doi: 10.1016/j.jbiomech.2011.04.010

Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D., Šťastný, P., Malý, T., ... Neuls, F. (2014). *Kondiční trénink*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

Lehnert, M., De Ste Croix, M., Svoboda, Z., Elfmark, M., Sikora, O., & Šťastný, P. (2020). Gender and age related differences in leg stiffness and reactive strength in

- adolescent team sports players. *Journal of Human Kinetics*, 74, 119–129.  
doi: 10.2478/hukin-2020-0020
- Lempke, L. B., Chandran, A., Boltz, A. J., Robison, H. J., Collins, C. L., & Morris, S. N. (2021). Epidemiology of injuries in National Collegiate Athletic Association Women's Basketball: 2014–2015 through 2018–2019. *Journal of Athletic Training*, 56(7), 674–680. doi: 10.4085/1062-6050-466-20
- Li, F., Newton, U. R., Shi, Y., Sutton, D., & Ding, H. (2019). Correlation of eccentric strength, reactive strength, and leg stiffness with running economy in well-trained distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(6), 1491–1499.
- Li, H., Liu, H., & Zhang, X. (2018). The effectiveness of neuromuscular training with augmented feedback on acl injury prevention. *ISBS Proceedings Archive*, 36(1), 948–951.
- Liederbach, M., Kremenec, I. J., Orishimo, K. F., Pappas, E., & Hagins, M. (2014). Comparison of landing biomechanics between male and female dancers and athletes, part 2. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(5), 1089–1095.  
doi: 10.1177/0363546514524525
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2009). Reliability and validity of field-based measures of leg stiffness and reactive strength index in youths. *Journal of Sports Sciences*, 27(14), 1565–1573.  
doi: 10.1080/02640410903311572
- López-Valenciano, A., Raya-González, J., Garcia-Gómez, J. A., Aparicio-Sarmiento, A., Sainz de Baranda, P., De Ste Croix, M., & Ayala, F. (2021). Injury profile in women's football: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 51(3), 423–442. doi: 10.1007/s40279-020-01401-w
- Ma, R., Lopez, V., Weinstein, M. G., Chen, J. L., Black, C. M., Gupta, A. T., ... Allen, A. A. (2016). Injury profile of American Women's Rugby-7s. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(10), 1957–1966. doi: 10.1249/MSS.0000000000000997
- Magnusson, S. P., Hansen, M., Langberg, H., Miller, B., Haraldsson, B., Kjoeller Westh, E., ... Kjaer, M. (2007). The adaptability of tendon to loading differs in men and women. *International Journal of Experimental Pathology*, 88(4), 237–240.  
doi: 10.1111/j.1365-2613.2007.00551.x

- Makaruk, H., Czaplicki, A., Sacewicz, T., & Sadowski, J. (2013). The effect of single versus repeated plyometrics on landing biomechanics and jumping performances in men. *Biology of Sport*, *31*(1), 9–14. doi: 10.5604/20831862.1083273
- Mandelbaum, B. R., Silvers, H. J., Watanabe, D. S., Knarr, J. F., Thomas, S. D., Griffin, L. Y., ... Garrett, W. (2005). Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, *33*(7), 1003–1010. doi: 10.1177/0363546504272261
- Markovic, G., & Newton, R. U. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, *41*(6), 349–355. doi: 10.1136/bjism.2007.035113
- Mayer, M., & Smékal, D. (2004). Měkké struktury kolenního kloubu a poruchy motorické kontroly. *Rehabilitace a Fyzikální Lékařství*, *11*(3), 111–117.
- McKay, G. D., Payne, W. R., Goldie, P. A., Oakes, B. W., & Stanley, J. J. (1996). A comparison of the injuries sustained by female basketball and netball players. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, *28*(1), 12–17.
- Michailidis, Y., Fatouros, I. G., Primpá, E., Michailidis, C., Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., ... Kambas, A. (2013). Plyometrics' trainability in preadolescent soccer athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(1), 38–49. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182541ec6
- Moller, M., Attermann, J., Myklebust, G., & Wedderkopp, N. (2012). Injury risk in Danish youth and senior elite handball using a new SMS text messages approach. *British Journal of Sports Medicine*, *46*(7), 531–537. doi: 10.1136/bjsports-2012-091022
- Montalvo, A. M., Schneider, D. K., Webster, K. E., Yut, L., Galloway, M. T., Heidt, R. S., ... Myer, G. D. (2019). Anterior cruciate ligament injury risk in sport: a systematic review and meta-analysis of injury incidence by sex and sport classification. *Journal of Athletic Training*, *54*(5), 472–482. doi: 10.4085/1062-6050-407-16
- Montgomery, C., Blackburn, J., Withers, D., Tierney, G., Moran, C., & Simms, C. (2018). Mechanisms of ACL injury in professional rugby union: a systematic video analysis

- of 36 cases. *British Journal of Sports Medicine*, 52(15), 994–1001. doi: 10.1136/bjsports-2016-096425
- Moster, R., & Mosterová, Z. (2007). *Sportovní traumatologie*. Brno: Masarykova univerzita.
- Myklebust, G., Engebretse, L., Braekken, H. I., Skjolberg, A., Olsen, E. O., & Bahr, R. (2003). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13(2), 71–78.
- Nessler, T., Denney, L., & Sampley, J. (2017). ACL injury prevention: What does research tell us? *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 10, 281–288. doi: 10.1007/s12178-017-9416-5
- Nicol, C., Avela, J., & Komi, P. V. (2006). The Stretch-Shortening Cycle. *Sports Medicine*, 36(11), 977–999. doi: 10.2165/00007256-200636110-00004
- Oliver, J. L., Lloyd, R. S., & Whitney, A. (2015). Monitoring of in-season neuromuscular and perceptual fatigue in youth rugby players. *European Journal of Sport Science*, 15(6), 514–522. doi: 10.1080/17461391.2015.1063700
- Olsen, O.-E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I., & Bahr, R. (2005). Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *British Medical Journal*, 330(7489), 449–452. doi: 10.1136/bmj.38330.632801.8F
- Pallant, J. (2020). *Survival manual. A step by step guide to data analysis using SPSS, 4. edition*. Berkshire: Allen & Unwin.
- Parkkari, J., Kannus, P., Natri, A., Lapinleimu, I., Palvanen, M., Heiskanen, M., ... Järvinen, M. (2004). Active living and injury risk. *International Journal of Sports Medicine*, 25(3), 209–216. doi: 10.1055/s-2004-819935
- Parsons, J. L., Coen, S. E., & Bekker, S. (2021). Anterior cruciate ligament injury: towards a gendered environmental approach. *British Journal of Sports Medicine*, 55(17), 984–990. doi: 10.1136/bjsports-2020-103173
- Petersen, W., Braun, C., Bock, W., Schmidt, K., Weimann, A., Drescher, W., ... Zantop, T. (2005). A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Archives of*

*Orthopaedic and Trauma Surgery*, 125(9), 614–621.  
doi: 10.1007/s00402-005-0793-7

Petr, M., & Šťastný, P. (2012). *Funkční silový trénink*. Praha: Univerzita Karlova.

Pol, R., Hristovski, R., Medina, D., & Balague, N. (2019). From microscopic to macroscopic sports injuries. Applying the complex dynamic systems approach to sports medicine: a narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, 53(19), 1214–1220. doi: 10.1136/bjsports-2016-097395

Přidalová, M. (2008). *Funkční anatomie I*. Olomouc: Hanex.

Read, P. J., Oliver, J. L., De Ste Croix, M., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2016). Consistency of field-based measures of neuromuscular control using force-plate diagnostics in elite male youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3304–3311. doi: 10.1519/JSC.0000000000001438

Read, P. J., Pedley, J. S., Eirug, I., Sideris, V., & Oliver, J. L. (2022). Impaired stretch-shortening cycle function persists despite improvements in reactive strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Strength and Conditioning Research*. doi: 10.1519/JSC.0000000000004208

Sankey, S. P., Jones, P. A., & Bampouras, T. M. (2008). Effect of two plyometric training programmes of different intensity on vertical jump performance in high school athletes. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 4(2), 123–130.

Schick, D. M., Molloy, M. G., & Wiley, J. P. (2008). Injuries during the 2006 Women's Rugby World Cup. *British Journal of Sports Medicine*, 42(6), 447–451. doi: 10.1136/bjism.2008.046672

Serpell, B. G., Ball, N. B., Scarvell, J. M., & Smith, P. N. (2012). A review of models of vertical, leg, and knee stiffness in adults for running, jumping or hopping tasks. *Journal of Sports Sciences*, 30(13), 1347–1363. doi: 10.1080/02640414.2012.710755

Sharkey, B. J., & Gaskill, S. E. (2019). *Fyziologie sportu pro trenéry*. Praha: Mladá fronta.

Siff, M. C. (2003). *Supertraining*. Supertraining Institute.



- Sliwinski, M. J., Smyth, J. M., Hofer, S. M., & Stawski, R. S. (2006). Intraindividual coupling of daily stress and cognition. *Psychology and Aging, 21*(3), 545–557. doi: 10.1037/0882-7974.21.3.545
- Steffen, K., Myklebust, G., Olsen, O. E., Holme, I., & Bahr, R. (2008). Preventing injuries in female youth football - a cluster-randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 18*(5), 605–614. doi: 10.1111/j.1600-0838.2007.00703.x
- Struzik, A., Karamanidis, K., Lorimer, A., Keogh, J. W. L., & Gajewski, J. (2021). Application of leg, vertical, and joint stiffness in running performance: a literature overview. *Applied Bionics and Biomechanics, 2021*, 1–25. doi: 10.1155/2021/9914278
- Suarez-Arrones, L., Nunéz, J. F., Pportillo, J., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Match running performance and exercise intensity in elite female rugby sevens. *Journal of Strength and Conditioning Research, 26*(7), 1858–1862.
- Taborri, J., Molinaro, L., Santospagnuolo, A., Vetrano, M., Vulpiani, M. C., & Rossi, S. (2021). A machine-learning approach to measure the anterior cruciate ligament injury risk in female basketball players. *Sensors, 21*(9), 3141. doi: 10.3390/s21093141
- Táborský, F. (2004). *Sportovní hry : sporty známé i neznámé*. Praha: Grada Publishing.
- Takahashi, I., Umeda, T., Mashiko, T., Chinda, D., Oyama, T., Sugawara, K., & Nakaji, S. (2006). Effects of rugby sevens matches on human neutrophil-related non-specific immunity. *British Journal of Sports Medicine, 41*(1), 13–18. doi: 10.1136/bjism.2006.027888
- Taylor, B. J., Waxman, P. J., Richter, J. S., & Shultz, J. S. (2013). Evaluation of the effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention programme training components: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine, 49*(2), 79–87. doi: 10.1136/bjsports-2013-092358
- Tuominen, M., Stuart, M. J., Aubry, M., Kannus, P., Tokola, K., & Parkkari, J. (2016). Injuries in women's international ice hockey: an 8-year study of the World Championship tournaments and Olympic Winter Games. *British Journal of Sports Medicine, 50*(22), 1406–1412. doi: 10.1136/bjsports-2015-094647

- Turner, A. N., & Jeffreys, I. (2010). The stretch-shortening cycle: proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength & Conditioning Journal*, 32(4), 87–99. doi: 10.1519/SSC.0b013e3181e928f9
- Višňa, P., & Hoch, J. (2004). *Traumatologie dospělých : učebnice pro lékařské fakulty*. Praha: Maxdorf.
- Walden, M., Atroshi, I., Magnusson, H., Wagner, P., & Hagglund, M. (2012). Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 12(3), 1–11. doi: 10.1136/bmj.e3042
- Waldén, M., Häggglund, M., Werner, J., & Ekstrand, J. (2011). The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 19(1), 3–10. doi: 10.1007/s00167-010-1172-7
- Wilkerson, G. B., Simpson, K. A., & Clark, R. A. (2017). Assessment and training of visuomotor reaction time for football injury prevention. *Journal of Sport Rehabilitation*, 26(1), 26–34. doi: 10.1123/jsr.2015-0068
- Williams, J. M., & Andersen, M. B. (1998). Psychosocial antecedents of sport injury: review and critique of the stress and injury model. *Journal of Applied Sport Psychology*, 10(1), 5–25. doi: 10.1080/10413209808406375
- Windt, J., & Gabbett, T. J. (2017). How do training and competition workloads relate to injury? The workload - injury aetiology model. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 428–435. doi: 10.1136/bjsports-2016-096040
- Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and practice of strength training*. Champaign, IL : Human Kinetics.
- Zebis, M. K., Andersen, L. L., Brandt, M., Myklebust, G., Bencke, J., Lauridsen, H. B., ... Aagaard, P. (2016). Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes: a randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 50(9), 552–557. doi: 10.1136/bjsports-2015-094776
- Živčák, J. (2004). *Základy bioniky a biomechaniky*. Prešov: ManaCon.

## **11 SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha č. 1:** Vyjádření etické komise FTK UP

**Příloha č. 2:** Informovaný souhlas

**Příloha č. 3:** Informovaný souhlas pro nezletilé účastníky studie

## Příloha č. 1: Vyjádření etické komise FTK UP



Fakulta  
tělesné kultury

### Vyjádření Etické komise FTK UP

**Složení komise:** doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D. – předsedkyně  
Mgr. Ondřej Ješina, Ph.D.  
doc. MUDr. Pavel Maňák, CSc.  
Mgr. Filip Neuls, Ph.D.  
Mgr. Michal Kudláček, Ph.D.  
prof. Mgr. Erik Sigmund, Ph. D.  
doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph. D.

Na základě žádosti ze dne 17.12.2020 byl projekt základního výzkumu

Autor /hlavní řešitel/: **Mgr. Ondřej Sikora**  
Spoluřešitelé: **doc. PaedDr. Michal Lehnert, Bc. Tereza Nolčová,  
Bc. Libor Polách, Bc. Michaela Rajnochová**

s názvem: **Vliv programu KneeRugbyWomen na indikátory rizika zranění  
kolenního kloubu u ragbistek starších 15 let**

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: **23/2021**

dne: **12. 1. 2021**

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směnicemi pro výzkum zahrnující lidské účastníky.

**Řešitelé projektu splnili podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.**

za EK FTK UP  
doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D.  
předsedkyně

Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci  
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc | T: +420 583 636 059  
www.ftk.upol.cz

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury  
Komise etická  
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc

**Příloha č. 2:** Informovaný souhlas

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI-FAKULTA TĚLESNÉ KULTURY**

***Informovaný souhlas***

**Vliv programu KneeRugbyWomen na rizikové faktory zranění kolenního kloubu u ragbistek starších 15 let**

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaná souhlasím s mou účastí ve studii. Je mi více než 18 let.
2. Byla jsem podrobně informována o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností. Porozuměla jsem tomu, že svou účast ve studii mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Moje účast ve studii je dobrovolná.
3. Při zařazení do studie budou moje osobní data uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena ochrana důvěrnosti mých osobních dat. Pro výzkumné a vědecké účely mohou být moje osobní údaje poskytnuty pouze bez identifikačních údajů (anonymní data) nebo s mým výslovným souhlasem.
4. Porozuměla jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis účastníka:

Datum:

Podpis řešitele pověřeného touto studií:

Datum:

**Příloha č. 3:** Informovaný souhlas pro nezletilé účastníky studie

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI-FAKULTA TĚLESNÉ KULTURY**

*Informovaný souhlas pro nezletilé účastníky studie*

**Vliv programu KneeRugbyWomen na rizikové faktory zranění kolenního kloubu u ragbistek starších 15 let**

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaný (á) souhlasím s účastí mé dcery ve studii.
2. Byl (a) jsem podrobně informován (a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se od mé dcery očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností. Porozuměl (a) jsem tomu, moje dcera může kdykoliv svou účast přerušit či odstoupit a že účast ve studii je dobrovolná.
3. Při zařazení do studie budou data mé dcery uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena ochrana důvěrnosti mých osobních dat. Pro výzkumné a vědecké účely mohou být údaje mé dcery poskytnuty pouze bez identifikačních údajů (anonymní data) nebo s mým výslovným souhlasem.
4. Porozuměl (a) jsem tomu, že jméno mé dcery se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis zákonného zástupce:

Datum:

Podpis řešitele pověřeného touto studií:

Datum: