

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

VLIV PROGRAMU KNEERUGBYWOMEN NA MODIFIKOVATELNÉ  
RIZIKOVÉ FAKTORY PORANĚNÍ KOLENNÍHO KLOUBU  
U AMATÉRSKÝCH RAGBISTEK

Disertační práce

Autor: Mgr. Ondřej Sikora

Studijní program: Kinantropologie

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

Olomouc 2024

## **Bibliografická identifikace**

<b>Jméno autora:</b>	Mgr. Ondřej Sikora
<b>Název práce:</b>	Vliv programu KneeRugbyWomen na modifikovatelné rizikové faktory poranění kolenního kloubu u amatérských ragbistek
<b>Vedoucí práce:</b>	prof. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.
<b>Pracoviště:</b>	Katedra sportu
<b>Rok obhajoby:</b>	2024

### **Abstrakt:**

Poranění předního zkříženého vazů (LCA) je jedním z nejzávažnějších poranění v ragby s nejdelší dobou rekonvalescence. K poranění LCA dochází při dopadech a rychlých změnách směru pohybu. Předejít těmto poraněním lze účinnými komplexními neuromuskulárními tréninkovými programy. Cílem studie bylo ověřit vliv komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen na modifikovatelné vnitřní rizikové faktory neuromuskulární kontroly kolenního kloubu, biomechaniku dopadu a rychlost se změnou směru pohybu u amatérských ragbistek. Tato dvanáctitýdenní experimentální studie zahrnovala experimentální skupinu ( $n = 12$ , věk:  $20,05 \pm 4,43$  let, tělesná výška:  $166,54 \pm 4,46$  cm, tělesná hmotnost:  $64,65 \pm 6,44$  kg, body mass index:  $23,32 \pm 2,26$  kg/m<sup>2</sup>) a kontrolní skupinu ( $n = 12$ , věk:  $20,04 \pm 4,88$  let, tělesná výška:  $166,83 \pm 7,30$  cm, tělesná hmotnost:  $69,83 \pm 12,84$  kg, body mass index:  $25,05 \pm 4,17$  kg/m<sup>2</sup>). Účastnice podstoupily vstupní měření v týdnu před intervencí a výstupní měření ihned po ukončení 12týdenní intervence. Zjišťována byla tuhost dolních končetin (absolutní a relativní), reaktivní síla dolních končetin (reaktivní silový index), biomechanika dopadu (LESS škála, Landing Error Scoring System) a rychlost se změnou směru pohybu (505 agility test). Experimentální skupina cvičila dvakrát týdně 10minutový neuromuskulární program KneeRugbyWomen složený z balančních cvičení, silových cvičení využívajících odporové gumy a plyometrických cvičení. Kontrolní skupina absolvovala ve svém programu 10minutový trénink přihrávek, tedy ragbyově specifických dovedností. Výsledky ukázaly, že statisticky významné účinky komplexního neuromuskulárního programu KneeRugbyWomen byly nalezeny pouze u reaktivního silového indexu. Výsledky naznačují, že účinnost neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen byla pouze omezená.

**Klíčová slova:** prevence, poranění, svalová tuhost, reaktivní síla, LESS škála, rychlost se změnou směru pohybu

Disertační práce byla zpracována s podporou projektu IGA „Vliv programu KneeRugbyWomen na indikátory rizika zranění kolenního kloubu u ragbistek starších 15 let“ (číslo projektu IGA\_FTK\_2021\_008).

Souhlasím s půjčováním disertační práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author:** Mgr. Ondřej Sikora  
**Title:** The Impact of a KneeRugbyWomen Program on Modifiable Knee Injury Risk of Injury in Amateur Female Rugby Players  
**Supervisor:** prof. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.  
**Department:** Department of Sport  
**Year:** 2024  
**Abstract:**

An anterior cruciate ligament (ACL) injury is one of the most serious injuries in rugby with the longest recovery time. ACL injuries occur during landings and rapid change of direction. These injuries can be prevented with effective and complex neuromuscular training programs. This study aimed to assess the impact of the comprehensive neuromuscular training program KneeRugbyWomen on modifiable intrinsic risk factors of neuromuscular knee joint control, landing biomechanics, and change of direction speed in amateur female rugby players. This twelve-week experimental study involved an experimental group (n = 12, age:  $20.05 \pm 4.43$  years, height:  $166.54 \pm 4.46$  cm, weight:  $64.65 \pm 6.44$  kg, body mass index:  $23.32 \pm 2.26$  kg/m<sup>2</sup>) and a control group (n = 12, age:  $20.04 \pm 4.88$  years, height:  $166.83 \pm 7.30$  cm, weight:  $69.83 \pm 12.84$  kg, body mass index:  $25.05 \pm 4.17$  kg/m<sup>2</sup>). Participants were tested before and after a 12-week intervention. The study assessed leg stiffness (absolute and relative), reactive strength (reactive strength index), landing biomechanics (Landing Error Scoring System, LESS), and change of direction speed (505 agility test). The experimental group performed the 10-minute KneeRugbyWomen neuromuscular program twice a week, consisting of balance exercises, strength exercises using resistance bands, and plyometric exercises. The control group engaged in a 10-minute training session focused on passing (rugby-specific skills). The results showed that statistically significant effects of the KneeRugbyWomen neuromuscular program were found only in reactive strength index. The findings suggest that the effectiveness of the KneeRugbyWomen comprehensive neuromuscular training program was limited.

**Key words:** prevention, injury, leg stiffness, reactive strength, LESS scale, change of direction speed



The doctoral dissertation was supported by the Palacký University Olomouc under an internal grant "Impact of KneeRugbyWomen program on indicators of knee injuries's risk in rugby women players older 15 years" (Grant Number IGA\_FTK\_2021\_008).

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

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

V Olomouci dne 30. 9. 2024

Děkuji prof. PaedDr. Michalu Lehnertovi, Dr. za jeho vedení, čas a odborný dohled při zpracování práce. Rovněž děkuji hráčkám a vedení klubů RC Olomouc a Strong Girls Velké Popovice za vstřícnost a ochotu zapojit se do výzkumu. Poděkování patří také Jonathanu Hughesovi, Ph.D. za pomoc při vytváření intervenčního programu. Velké díky patří manželce, rodině a přátelům za podporu při tvorbě práce.

## **OBSAH**

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>2. PŘEHLED POZNATKŮ</b> .....	<b>14</b>
2.1 Poranění v ragby .....	14
2.2 Nekontaktní poranění předního zkříženého vazů v kolektivních sportech.....	16
2.2.1 Mechanismy nekontaktního poranění předního zkříženého vazů .....	17
2.2.2 Další nekontaktní poranění dolních končetin v kolektivních sportech .....	20
2.3 Rizikové faktory nekontaktního poranění předního zkříženého vazů .....	21
2.3.1 Cyklus natažení a zkrácení svalu .....	27
2.3.2 Tuhost dolních končetin .....	28
2.3.3 Reaktivní síla .....	29
2.3.4 Biomechanika dopadu .....	30
2.3.5 Rychlost se změnou směru pohybu .....	31
2.4 Preventivní programy poranění ve sportu.....	32
2.4.1 Preventivní programy v kolektivních sportech.....	32
2.4.2 Preventivní programy v ragby .....	35
2.5 Shrnutí přehledu poznatků .....	36
<b>3. CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>38</b>
<b>4. METODIKA</b> .....	<b>40</b>
4.1 Výzkumný soubor .....	40
4.2 Design studie.....	42
4.3 Metodika sběru dat .....	43
4.4 Komplexní neuromuskulární program KneeRugbyWomen .....	49
4.5 Statistická analýza dat .....	52
<b>5. VÝSLEDKY</b> .....	<b>53</b>
<b>6. DISKUSE</b> .....	<b>61</b>
6.1 Tuhost dolních končetin .....	61

6.2	Reaktivní síla dolních končetin .....	64
6.3	Biomechanika dopadu .....	66
6.4	Rychlost se změnou směru pohybu .....	69
6.5	Limity .....	71
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚRY .....</b>	<b>72</b>
7.1	Závěry vzhledem k vlastnímu výzkumnému problému .....	72
7.2	Závěry a doporučení pro vědní obor .....	72
7.3	Doporučení pro praxi.....	73
<b>8.</b>	<b>SOUHRN.....</b>	<b>74</b>
<b>9.</b>	<b>SUMMARY.....</b>	<b>76</b>
<b>10.</b>	<b>REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>	<b>78</b>
<b>11.</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>99</b>

## Seznam zkratk

ALS	absolutní tuhost dolních končetin
CI	konfidenční intervaly
CV	variační koeficient
DDK	dominantní dolní končetina
ES	experimentální skupina
FTK UP	Fakulta tělesné kultury, Univerzita Palackého v Olomouci
ICC	koeficient vnitrotřídní korelace
IQR	mezikvartilové rozpětí
KS	kontrolní skupina
LCA	přední zkřížený vaz, ligamentum cruciatum anterior
LESS	Landing Error Scoring System
<i>M</i>	tělesná hmotnost
m.	sval, musculus
MD	Hoghes-Lehmann odhad mediánových rozdílů
n	počet
NDK	nedominantní dolní končetina
<i>p</i>	hladina statistické významnosti
RLS	relativní tuhost dolních končetin
<i>r</i>	koeficient velikosti účinku
$r_p$	korelační koeficient
RSI	reaktivní silový index
SSC	cyklus natažení a zkrácení svalu, stretch-shortening cycle
$T_c$	doba kontaktu (ms)

$T_f$	doba letu (ms)
$\pi$	matematická konstanta
$\alpha$	alfa, míra chyby typu I, hladina významnosti
$\beta$	beta, míra chyby typu II, síla testu

*Jednotky:*

mm – milimetr; cm – centimetr; m – metr; ms – milisekunda; s – sekunda; min. – minuta;  
kg – kilogram; kN/m – kilonewton na metr; Hz – hertz, m/s – metry za sekundu

# 1. ÚVOD

Ragby je sport s jednou z největších členských základen na světě a zároveň patří mezi nejvíce sledované sporty. Sedmičkové ragby se stalo součástí olympijských her a na nejvyšší úrovni se připravují specialisté na tuto formu ragby (Leung et al., 2017; Williams, Robertson, Starling, & McKay, 2022). V českém prostředí je ragby většinou amatérským sportem, ale s přijetím sedmiček na olympiádu vznikl jeden mužský profesionální tým a pro ženské ragby byla vyčleněna finanční podpora na jeho rozvoj. V současnosti úroveň ženského ragby v České republice roste, nicméně stále nedosahuje výkonnostní úrovně vyspělých ragbyových zemí. Specializace na sedmičkové nebo patnáctkové ragby je u českých ragbistek spíše výjimečná (České ragby, 2023).

Ragby je fyzicky náročný sport, který vyžaduje kombinaci mnoha faktorů včetně síly, rychlosti a vytrvalosti. Hráči jsou vystaveni vysokému riziku poranění (Palmer-Green et al., 2013). U mužů převládá zejména poranění hlavy a horních končetin v důsledku kontaktu. U žen naopak častěji dochází k poraněním dolních končetin bezkontaktním způsobem (Scantlebury et al., 2024), přičemž poranění kolene je mezi nejčastějšími a nejzávažnějšími (Palmer-Green et al., 2013). Vzhledem k tomu, že ragby je sport, kde dochází k častým rychlým změnám směru pohybu, je zde zvýšené riziko bezkontaktního poranění předního zkříženého vazů (LCA). Studie ukazují, že ženy mají oproti mužům vyšší riziko nekontaktního poranění LCA, což je přisuzováno rozdílům v biomechanice, hormonálním faktorům a neuromuskulární kontrole (Olivares-Jabalera et al., 2021; Scantlebury et al., 2024). Důležitým faktorem je také věk, přičemž mladší sportovci ve věku 14 až 19 let mají vyšší pravděpodobnost tohoto poranění (Crotti et al., 2024).

Poranění LCA má významný dopad na sportovce všech věkových kategorií a úrovní výkonnosti, jelikož se jedná o jedno z nejčastějších a zároveň nejzávažnějších poranění. Tento typ poranění může vést k dlouhodobé absenci ze sportovní aktivity, výraznému snížení výkonnosti a často vyžaduje náročnou rehabilitaci. Amatérští sportovci jsou často znevýhodněni nedostatečným přístupem k odborné péči a prevence poranění není vždy u amatérských klubů prioritou. Snížení počtu poranění, zejména těch nejzávažnějších s dlouhou dobou léčby, je důležité nejen s ohledem na zdraví hráče. Ukazuje se, že nižší výskyt poranění je úzce spjat s vyšší výkonností. Neopominutelnou položkou jsou i výdaje na léčbu, případně nižší peněžní zisky spojené s absencí ve sportu nebo s nižší výkonností. Zejména snížení kvality



života sportovce v důsledku poranění LCA by mělo být důvodem pro zvýšení důrazu na prevenci poranění ve sportu (Crotti et al., 2024; Olivares-Jabalera et al., 2021).

Programy prevence poranění se v ragby zaměřovaly převážně na snížení rizika poranění a bezpečnost v kontaktních situacích (Brown, Verhagen, Knol, Van Mechelen, & Lambert, 2016; Quarrie, Gianotti, Hopkins, & Hume, 2007). Ověřování programů prevence poranění dolních končetin bylo prováděno u mužských a mládežnických hráčů ragby. Bohužel v současné době existuje málo studií prevence poranění LCA zaměřujících se na ženy (Hislop et al., 2017; Scantlebury et al., 2024). V kolektivních sportech, zejména ve fotbale, došlo v minulých letech k výraznému pokroku v prevenci poranění LCA s ohledem na různé požadavky žen oproti mužům i pro různé věkové skupiny. Jako účinné se jeví zařazování neuromuskulárních programů do tréninkového procesu. Za vhodné se považuje zařazovat komplexní programy, které obsahují zejména balanční cvičení, silová cvičení a plyometrii. Zapomínat by se nemělo také na techniku provedení jednotlivých cviků a techniku dopadu (Bram, Magee, Mehta, Patel, & Ganley, 2020; Hewett, Ford, Hoogenboom, & Myer, 2010). Je prokázán účinek preventivních programů také u amatérských sportovců, nicméně tento účinek je menší (Barengo et al., 2014; Olivares-Jabalera et al., 2021).

Ukazuje se, že pro sledování rizika poranění dolních končetin je vhodné se zaměřovat na indikátory rizika poranění spojené s cyklem natažení a zkrácení svalu (SSC) (Olivares-Jabalera et al., 2021; Ramirez-Campillo et al., 2023), důležitou roli hraje také správná biomechanika dopadu (Begalle et al., 2015; Padua et al., 2009). Hráči a hráčky s horší úrovní rychlosti mohou v důsledku nižší reakční schopnosti a zhoršené efektivity absorpce mechanických sil čelit vyššímu riziku poranění. V kolektivních sportech je klíčová rychlost se změnou směru pohybu (Faude et al., 2017).

S ohledem na výše uvedené poznatky se tato disertační práce zaměřuje na ověření vlivu námi vytvořeného komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen na modifikovatelné vnitřní rizikové faktory neuromuskulární kontroly kolenního kloubu, biomechaniku dopadu a rychlost se změnou směru pohybu u amatérských ragbistek. Amatérské hráčky mají pouze omezený časový prostor pro trénink, kdy například hráčky z této studie mají k dispozici tři tréninky týdně. Z těchto důvodů došlo v naší studii ve shodě s odbornou literaturou k minimalizaci délky trvání neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen a frekvence uplatnění programu v tréninkových mikrocyclech.

## 2. PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Poranění v ragby

Mezi nejrozšířenější formy ragby patří tzv. patnáctkové ragby (patnáctky), které má jednu z největších členských základů na světě. Sedmičkové ragby (sedmičky) je součástí olympijských her. Obě varianty se sdružují pod hlavičkou Rugby union (Leung et al., 2017; Williams et al., 2022). Tato organizace sdružuje sportovce ze 121 zemí, celkem 8,5 milionu ragbistů (King et al., 2019). Aktuální údaje ukazují, že ragby hraje více než dva miliony žen (King, Hume, Hind, Clark, & Hardaker, 2022). Označení forem Rugby union vychází z počtu hráčů na hřišti. Patnáctkové ragby se hraje s osmi obránci a sedmi útočníky v poli. Utkání se dělí na dva 40minutové poločasy. Jednotlivé posty vyžadují různé fyzické i technické nároky. Pouze výjimečně se odehraje více než jedno utkání za týden. V sedmičkovém ragby má družstvo tři obránce a čtyři útočníky, nicméně posty jsou oproti patnáctkám univerzálnější. Sedmičky se také dělí na dva poločasy, jejichž délka je však pouze sedm minut. Hra je mnohem intenzivnější a během jednoho turnaje, který se může dělit i do více dní, se odehraje až pět utkání. Obě formy se hrají na hřišti o rozměrech 100×70 metrů (King et al., 2019; Suarez-Arrones, Nuñez, Portillo, & Mendez-Villanueva, 2012; Tůma & Heitman, 2017).

Ragby se řadí mezi nejvíce fyzicky náročné a kontaktní sporty, což se projevuje vysokou incidencí poranění. Míra úrazů v ragby je srovnatelná s jinými vysoce kontaktními sporty, jako jsou rugby league, australský a americký fotbal nebo lední hokej. Ve srovnání s polokontaktními kolektivními sporty, jako je fotbal, je však výskyt poranění v ragby až čtyřikrát vyšší (Palmer-Green et al., 2013). U elitních mužských ragbistů převládají poranění z utkání, která jsou skoro čtyřnásobná ve srovnání se poraněními z tréninku. Incidence poranění z utkání dosahuje 91 poranění na 1000 herních hodin s průměrnou dobou absence 27 dní, zatímco u tréninků je incidence 2,8 poranění na 1000 herních hodin (Williams et al., 2022). U žen je incidence poranění z utkání 39 poranění na 1000 herních hodin, ale s delší dobou absence 48 dní (Scantlebury et al., 2024). Incidence tréninkových poranění u žen dosáhla maximálně 2,2 poranění na 1000 herních hodin (King et al., 2019). K poranění dochází převážně ve druhé polovině utkání v patnáctkové podobě ragby nebo ve druhém dni sedmičkového turnaje pravděpodobně v důsledku narůstající únavy jako etiologického faktoru (Fuller, Taylor, & Raftery, 2016).

Zhruba tři čtvrtiny všech poranění v ragby vznikají během fyzického kontaktu mezi hráči, zejména při situacích jako skládka, mlýn, maul nebo ruck. Nicméně i přes vysokou frekvenci kontaktních poranění zůstává významný podíl poranění nekontaktního původu. Poranění dolních končetin tvoří více než jednu třetinu z celkového počtu poranění, kdy nejvíce poranění připadá na kolenní a hlezenní kloub a zadní část stehna (Ellapen, Van Heerden, Taylor, Trend, & Van der Merwe, 2016; Fuller et al., 2016; Chalmers, Samaranayaka, Gulliver, & McNoe 2012; Leung et al., 2017). Poranění kolene a ramena patří mezi nejzávažnější s nejvyšším počtem i dobou léčby (Palmer-Green et al., 2013).

Ukazuje, že studie o incidenci poranění v ragby se zaměřovaly převážně na muže a poranění ragbistek zatím nebylo dostatečně analyzováno (Scantlebury et al., 2024). Autoři zjistili, že incidence poranění byla mezi mužskými a ženskými hráči podobná. Nicméně byly zjištěny rozdíly v typu poranění, přičemž ženy častěji utrpěly poranění dolních končetin, zatímco muži měli větší podíl poranění hlavy a horních končetin (Scantlebury et al., 2024). U ragby bylo zjištěno, že takřka polovina všech poranění připadá na poranění dolních končetin (Fuller, Taylor, & Raftery, 2017) s tím, že mezi nejzávažnější poranění patří poranění LCA (Olivares-Jabalera et al., 2021), kdy je jeho incidence v sedmičkovém ragby v rozmezí 0,36 až 0,47 poranění na 1000 herních hodin (Montalvo et al., 2019). Sedmičkové ragby má větší počet poranění v přepočtu na 1000 herních hodin, ale rozdíly mezi typy úrazů v sedmičkovém a patnáctkovém ragby jsou minimální (Fuller et al., 2016). Výše uvedené rozdíly mohou být způsobeny rozdílnými fyzickými nároky, kdy se u sedmiček pohybuje intenzita herního zatížení po většinu času nad 80 % maximální srdeční frekvence, hráči absolvují větší vzdálenosti ve vyšších rychlostech a s menším intervalem odpočinku (Suarez-Arrones et al., 2012). U elitních ragbistů převládají bezkontaktní typ poranění, zatímco u středoškoláků dochází k poranění více při kontaktu. Důvodem mohou být méně rozvinuté ragbyové dovednosti mladších ragbistů. Ukazuje se, že nižší výskyt bezkontaktních poranění koreluje s vyšší výkonností (Takazawa et al., 2015).

Nemělo by se zapomínat ani na finanční ztrátu spojenou s absencí, výdaji na léčbu a případně na nižší prémie spojené s nižší výkonností, a zejména na snížení kvality života poraněného jedince (Crotti et al., 2024; Olivares-Jabalera et al., 2021).

## 2.2 Nekontaktní poranění předního zkříženého vazů v kolektivních sportech

Zatímco u mužů v kolektivních sportech dochází k poranění z více než dvou třetin po kontaktu se soupeřem (68,9 %), u žen je naopak podobný počet poranění způsobeno nekontaktně (67,9 %) (Moster & Mosterová, 2007). To se potvrzuje i v ragby, kde u mužů je více poranění spojeno s kontaktem s jinými hráči, zatímco u žen jsou častější poranění bez přímého kontaktu (Scantlebury et al., 2024). V kolektivních ženských sportech dochází k velké incidenci poranění dolních končetin, kdy nejvíce poranění připadá na kolenní kloub s nejdůležitějším poraněním LCA, hlezenní kloub a zadní část stehna (Fuller et al., 2017; Olivares-Jabalera et al., 2021; Scantlebury et al., 2024).

Jelikož je LCA jedním ze dvou nitrokloubních vazů kolenního kloubu, které ovlivňují jeho stabilitu a pohyblivost (Oatis, 2009), představuje jeho poranění významný problém, zejména u sportů s vysokou frekvencí rychlých změn směru a intenzivního pohybu, jako je ragby. Z celkového počtu poranění kolenního kloubu dochází nejčastěji k poranění LCA a ligamentum collaterale mediale (vnitřní postranní vaz). Zhruba polovina poranění LCA pochází z nekontaktních situací. LCA je klíčovým stabilizátorem kolenního kloubu a jeho poranění bývají vážná, protože vyžadují delší dobu zotavení, a i přes úspěšný návrat sportovců je predispozice k opětovnému poranění vysoká (Olivares-Jabalera et al., 2021). Časté jsou také dřívější degenerativní procesy, jako je vznik osteoartrózy (Carrasco-Huenulef et al., 2019; Takazawa et al., 2015). Riziko a incidence poranění LCA je vyšší u žen než u mužů, což je částečně způsobeno rozdíly v biomechanice, hormonálních faktorech a neuromuskulární kontrole (Hewett et al., 2010; Stanley, Kerr, Dompier, & Padua, 2016). U žen se také vyskytuje větší počet opakovaných poranění (Vila, Barreiro, Ayán, Antúnez, & Ferragut, 2022).

V posledních letech se zvýšila frekvence poranění LCA u mladých sportovců ve věku 14-18 let. To může být spojeno s intenzivnějším tréninkem a soutěžními požadavky, které kladou vysoké nároky na stále se vyvíjející organismus. Incidence poranění LCA u sportovců ve věku 14-18 let byla až 215 poranění na sto tisíc obyvatel za rok, zatímco u jiných věkových kategorií byla incidence maximálně 175 poranění na sto tisíc obyvatel za rok dle dané kategorie (Crotti et al., 2024). Adolescentní dívky mají až šestkrát větší šanci poranění LCA oproti jejich mužským vrstevníkům ze stejného sportu (Bram et al., 2020). Zároveň se vyskytuje v této věkové kategorii vyšší výkonnostní pokles po prodělaném poranění LCA ve srovnání se starší skupinou ženských i mužských hráčů ragby (Takazawa et al., 2015). Důvodem se jeví rychlejší

návrat ke sportu u mladších ragbistů. Zároveň nelze opomenout psychologické faktory, zejména strach ze znovuoobnovení poranění (Takazawa et al., 2015). Období adolescence představuje kritické období, kdy probíhá intenzivní vývoj motorických dovedností a zároveň dochází k růstovým změnám, které mohou ovlivnit stabilitu a koordinaci (Renstrom et al., 2008).

### **2.2.1 Mechanismy nekontaktního poranění předního zkříženého vazů**

Kolenní kloub je nejsložitějším kloubem v těle a označuje se jako složený. Setkávají se zde femur, tibia a patella s menisky. Lze jej rozdělit na patelofemorální část, která se skládá z pately a přední plochy femuru, a tibiofemorální část spojující proximální část tibia s distální částí femuru. Základním postavením kolenního kloubu je plná extenze, kdy jsou vazy napnuty. Nitrokloubní vazy zajišťují stabilitu kolenního kloubu při flexi. Při tomto pohybu se napínají a zabraňují vnitřní rotaci kolenního kloubu (Čihák, 2011). Stabilitu kolenního kloubu z funkčního pohledu zajišťují pasivní a dynamické stabilizátory (Wikstrom, Tillman, Chmielewski, & Borsa, 2006). Zároveň je důležité pro správnou funkčnost, aby si kolenní kloub zachoval i mobilitu a také byl centrovaný, což je stav, který zajišťuje optimální statické zatížení s rovnoměrným rozložením tlaku na kloubní plochy a s minimálním fyziologickým namáháním okolních struktur kloubu. Při biomechanicky neoptimální pozici kolenního kloubu (decentralizaci) hrozí poškození chrupavky, vazů i svalů (Honová, 2013).

Mezi pasivní stabilizátory kolenního kloubu se řadí kosti (femur, tibia a patella), menisky (meniskus medialis a meniscus medialis), kloubní pouzdro a vazy (vazy kloubního pouzdra zejména ligamentum collaterale mediale, ligamentum collaterale laterale a ligamentum patellae, a nitrokloubní vazy LCA a ligamentum cruciatum posterior) (Čihák, 2011). Vazivové stabilizátory lze rozdělit podle jejich umístění na centrální, laterální a mediální (Dungl, 2004). Z důvodu výše zmíněné závažnosti a délky poranění si dále popíšeme jen LCA. Je však nutné dodat, že při poranění kolenního kloubu dochází k poranění i dalších pasivních stabilizátorů, které se mohou i sdružovat, například poranění mediálního menisku se často pojí s narušenou stabilizační funkcí LCA, poranění laterálního menisku poté s rupturou LCA. Známé jsou nešťastná triáda (unhappy triad), kdy se poraní postranní vaz, zkřížený vaz a vnitřní meniskus, nebo Trillatova pentáda, kdy dochází k poranění všech struktur kromě ligamenta collaterale mediale (Čihák, 2011; Wilson et al., 2018). LCA patří mezi centrální stabilizátory, které zajišťují stabilitu převážně v sagitální rovině. LCA spojuje distální femur a proximální část tibia. LCA zabraňuje anterotibiálnímu posunu a vnitřnímu rotačnímu zatížení. Nejčastěji

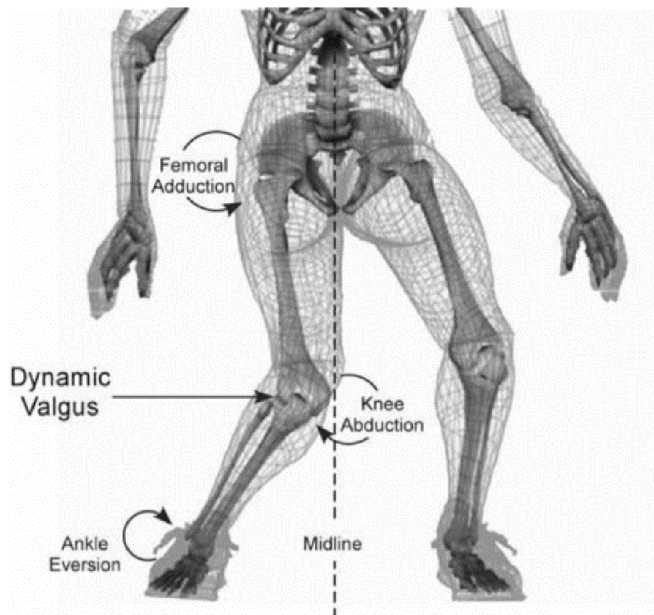
vzniká poranění LCA na jeho femorálním úponu, kde dochází k největšímu zatížení (Dungl, 2004). LCA je tvořeno třemi svazky. Jsou jimi posterolaterální, intermediální a anteromediální pruh, který čelí díky své délce a umístění u povrchu největšímu riziku poranění (Čihák, 2011). Oproti mužům mají ženy LCA kratší a méně pevné, což zvyšuje riziko jeho poranění (Hansen et al., 2009).

Dynamické stabilizátory jsou tvořeny svaly stehna. Na přední straně se nachází m. quadriceps femoris, který je složen ze čtyř svalů. Největší vliv na stabilitu mají m. vastus medialis a m. vastus lateralis, dále zde patří m. vastus intermedius a m. rectus femoris. Zadní stranu tvoří hamstringy (m. semimembranosus, m. semitendinosus a m. biceps femoris) a m. gastrocnemius (Hughes & Watkins, 2006). Stabilizační funkce kolenního kloubu je dána kontrakcí agonistů a antagonistů (m. quadriceps femoris a hamstringy) a popisuje se jako Lombardův paradox (Hughes & Watkins, 2006). Včasná aktivace svalů lépe absorbuje síly působící na klouby a redukuje zatížení vazů (Read, Oliver, De Ste Croix, Myer, & Lloyd, 2016).

Při nekontaktním poranění LCA dochází k prvotnímu selhání dynamických stabilizačních struktur (Hughes & Watkins, 2006). Ve většině případů k nekontaktnímu poranění LCA dochází během rychlého zpomalení či zastavení a při změnách směru pohybu (Benjaminse et al., 2008). Zvýšené riziko poranění LCA nastává také při pohybech ve vysokých rychlostech (Takazawa et al., 2015). Typickou situací vedoucí k poranění LCA je pohyb, při kterém se dolní končetina dostane do polohy nebo pohybu, kdy se distální část femuru pohybuje směrem dovnitř a distální část tibie směrem ven od středu těla. Tento jev se označuje jako dynamický valgus (Obrázek 1) (Begalle et al., 2015; Hewett et al., 2005; Powers, 2003). Valgózní kolaps kolenního kloubu vzniká při relativní extenzi kolena a lehké rotaci tibie, přičemž nezáleží na tom, zda jde o rotaci vnitřní nebo vnější. Noha je v této situaci laterálně od kolene s kontaktem se zemí (Olsen, Myklebust, Engebretsen, & Bahr, 2004). Výrazná změna valgosity až o 12 stupňů ihned po počátečním kontaktu se zemí spolu s vnitřní rotací femuru o 8 stupňů je spojena s rizikem poranění LCA (Koga, Nakamae, Shima, Bahr, & Krosshaug, 2010).

## Obrázek 1

*Dynamický valgus kolenního kloubu (Hewett et al., 2005)*



Rovněž flexe kolena menší než 30 stupňů zvyšuje napětí na LCA a má výrazný vliv na riziko jeho poranění (Koga et al., 2010; Myer, Ford, & Hewett, 2004; Oatis, 2009). Napětí je největší při plné extenzi kolena (Koga et al., 2010; Oatis, 2009). Dominance m. quadriceps femoris způsobuje anteriorní posun tibie vůči femuru zejména při excentrické kontrakci, kdy dochází k nedostatečné koaktivaci hamstringů a jejich tahu posteriorním směrem. Při pasivní stabilizaci jsou namáhány LCA a ligamentum collaterale mediale, u kterých se zvyšuje riziko poranění (Hewett et al., 2010; Read et al., 2016).

Po počátečním kontaktu se zemí se doba, kdy dochází ke vzniku nekontaktního poranění, pohybuje mezi 17 až 50 ms (Krosshaug et al., 2007). V takto krátkém časovém úseku však není možné uplatnit zpětnovazební mechanismy (tzv. feedback) neuromuskulární kontroly (Read et al., 2016).

Mechanismus poranění se může mezi pohlavími lišit. U žen se ukazuje poranění dolních končetin jako komplexní problém, neboť dochází k přednostnímu zapojení m. quadriceps femoris před hamstringy, které ženská populace aktivuje až o 50 ms pomaleji než muži, což vytváří napětí na LCA vlivem výše popsaného anteriorního posun tibie vůči femuru. Také dochází k preferenčnímu zapojení m. vastus lateralis při rychlých změnách směrů pohybu oproti mužům, kteří preferenčně zapojují m. vastus medialis. Přednostní zapojení m. vastus

lateralis má vliv na zvýšenou abdukci kolenního kloubu, která může podněcovat v kombinaci s opožděnou aktivací hamstringů vznik bezkontaktního poranění LCA (Flaxman, Smith, & Benoit, 2014; Myer, Ford, & Hewett, 2005; Zebis et al., 2008).

## **2.2.2 Další nekontaktní poranění dolních končetin v kolektivních sportech**

Jak bylo popsáno výše, poranění LCA patří mezi nejzávažnější poranění dolních končetin, ale nelze opomenout další typické poranění, a to hamstringů a hlezenního kloubu. Pro správnou dynamickou stabilizační funkci hamstringů je důležitá jejich včasná aktivace, která zabraňuje nadměrné rotaci a anteriornímu posunu tibie vůči femuru, a tedy snížení působících sil na kolenní kloub (Smékal & Mayer, 2004). Pro částečnou nebo úplnou rupturu hamstringů jsou typické situace, kdy dochází k vysokým rychlostem, jako jsou akcelerace, decelerace a změny směru pohybu. Obvykle dochází k poranění při letové fázi běhu při flexi v kolenním a extenzi v kyčelním kloubu (Peterson & Renström, 2017) a v místě přechodu mezi šlachou a svalem nebo šlachou a kostí (Fritz et al., 2020). Mezi nejčastěji poraněné svaly patří m. biceps femoris caput longum a m. semimembranosus (Peterson & Renström, 2017). Pro dynamickou stabilizaci LCA hraje roli také míra únavy, kdy nedochází k včasné aktivaci hamstringů a správnému načasování následného zapojení m. quadriceps femoris a svalů bérce (Crotti et al., 2024; Smékal & Mayer, 2004). Pro hodnocení rizika poranění hamstringů se jeví jako důležitý poměr síly hamstringů a kvadricepsu (Hewett et al., 2010), kdy se uvádí zejména poměr síly hamstringů v excentrické svalové činnosti a kvadricepsu v koncentrické svalové činnosti, který je shodný s pohyby typickými pro ragby jako běh, nebo kopání do míče (Lehnert, Šťastný, Tufano, & Štolfa, 2017). Při výrazném oslabení hamstringů vůči kvadricepsu stoupá riziko poranění hamstringů i LCA. Jako klíčová se uvádí hodnota 60 % práce hamstringů oproti práci kvadricepsu (Ayala, De Ste Croix, Sainz de Baranda, & Santonja, 2012). K poranění hlezenního kloubu dochází v situacích, které jsou spojeny s dopadem po výskoku, nebo se změnou směru pohybu. Důležitý je technicky zdařilý dopad, neboť k rupturám vazů hlezenního kloubu dochází převážně při dopadu na laterální stranu nohy (Fritz et al., 2020). Nejzávažnější jsou poranění laterálních vazů ligamentum talofibulare anterius, ligamentum calcaneofibulare a ligamentum talofibulare posterius (Fritz et al., 2020), kdy dochází k nadměrné inverzi a vnitřní rotaci hlezenního kloubu (Kristianslund, Bahr, & Krosshaug, 2011).



## 2.3 Rizikové faktory nekontaktního poranění předního zkříženého vazů

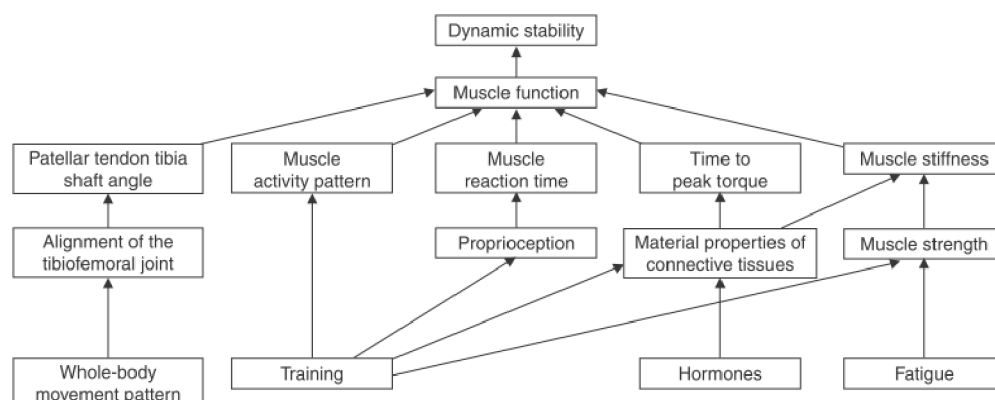
Vysoký výskyt poranění lze snížit zjištěním nedostatků v pohybu a výkonu sportovce. Tyto nedostatky identifikujeme jako rizikové faktory poranění a dají se dále specifikovat na určitý typ poranění (Dolan et al., 2023). Rizikové faktory ovlivňující poranění kolenního kloubu hrají klíčovou roli v jejich prevenci. Proto je vhodné pochopit celou jejich šíři, včetně faktorů, které nemůžeme ovlivnit v tréninku. Mezinárodní olympijská komise už na začátku tisíciletí uchopila prevenci celistvě (Renstrom et al., 2008). Tato komise upozorňuje, že je nejprve potřeba zkoumat anatomii, fyziologii a neurofyziologii kolenního kloubu, poté se zaměřit na biomechaniku pohybu a mechanismy poranění. Analýzou anatomicko-fyziologických a neuromuskulárních rizikových faktorů lze identifikovat věkové i genderové rozdíly.

Rizikové faktory nekontaktních poranění LCA lze rozdělit na vnitřní, které se týkají přímo sportovce a do kterých se řadí faktory anatomické a biomechanické, pohlaví, věk, síla, flexibilita, či dovednosti, a vnější, které jsou ovlivněny daným sportem, prostředím, vybavením, tréninkovými podmínkami, či povětrnostními podmínkami (Crotti et al., 2024). Dále se rizikové faktory člení na nemodifikovatelné faktory, jako jsou genetické predispozice, anatomické a hormonální charakteristiky, a modifikovatelné faktory, jako jsou neuromuskulární kontrola a biomechanika pohybu. Modifikovatelné faktory lze ovlivnit prostřednictvím tréninku a prevence (Benjaminse et al., 2008).

Dynamickou stabilitu kolenního kloubu ovlivňuje mnoho vnitřních i vnějších rizikových faktorů. Jak je patrné z Obrázku 2, tréninkovým procesem (tj. vhodným tréninkovým zatížením a zatěžováním) lze ovlivnit modifikovatelné vnitřní rizikové faktory a tím i dynamickou stabilitu kolenního kloubu. Vysoký výskyt poranění LCA u žen je přičítán komplexnímu vzájemnému působení mnoha faktorů, což vyžaduje multifaktoriální přístup k prevenci, který zahrnuje neuromuskulární trénink, biomechanickou analýzu a zohlednění anatomických rozdílů mezi pohlavími (Hughes & Watkins, 2006).

## Obrázek 2

*Faktory ovlivňující dynamickou stabilitu kolenního kloubu (Hughes & Watkins, 2006)*

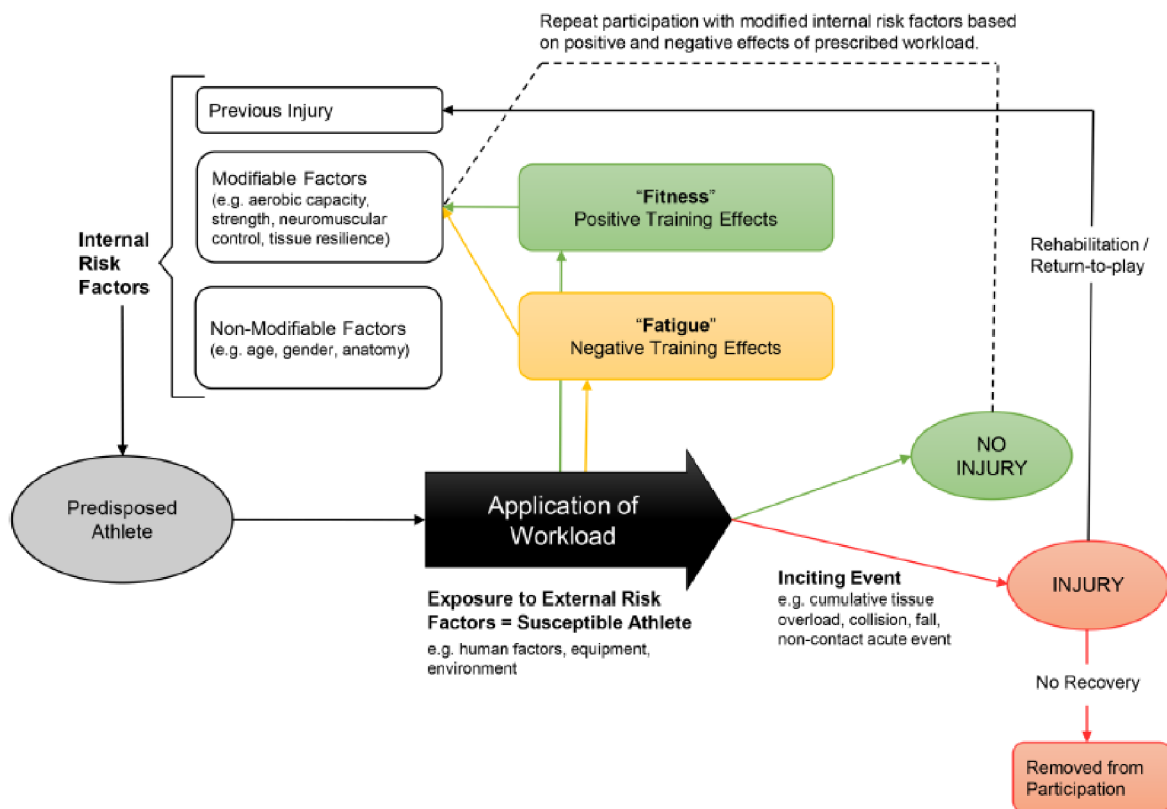


Z hlediska etiologie poranění je třeba vycházet ze skutečnosti, že příčinou poranění je obvykle interakce více rizikových faktorů a určité sekvence událostí, které vedou ke vzniku poranění. Dynamický model multifaktoriální etiologie poranění ukazuje vzájemný vztah těchto faktorů, kdy vnitřní rizikové faktory, jako je zhoršená svalová síla a neuromuskulární kontrola, jsou modifikovatelné a vytvářejí predispozici k poranění. Vnější rizikové faktory představují aktivátory, které u predisponovaného jedince zvyšují riziko poranění. Tento model se uplatňuje v dynamických a cyklických kruzích, kdy dochází k opakovanému vystavování se adaptačním nebo maladaptačním změnám. Při opakovaném vlivu událostí, nebo rizikovým faktorům může docházet k snížení, nebo zvýšení rizika poranění. Je nutné dodat, že k poranění dochází po podněcující situaci, rizikové faktory sami o sobě nevyvolávají poranění. Příklady podněcujících situací mohou být náročná herní situace, pozice na hřišti, interakce s ostatními hráči nebo i náročný tréninkový program. Jedním z nejvýznamnějších faktorů zvyšujících riziko poranění je jeho předchozí výskyt. Proto je zásadní preventivní opatření zaměřená na zabránění prvního poranění. Efektivní strategií pro snížení počtu nekontaktních poranění je úprava a řízení modifikovatelných vnitřních rizikových faktorů během tréninku, stejně jako vnějších rizikových faktorů (De Ste Croix, Hugher, Lloyd, Oliver, & Read, 2017; Meeuwisse, Tyreman, Hagel, & Emery, 2007). Novější model etiologie poranění (Obrázek 3) oproti výše zmíněnému modelu zahrnuje detailnější objasnění vlivu zatížení na riziko poranění. Podle tohoto modelu se zvyšuje zatížením riziko poranění prostřednictvím vystavení se vnějším rizikovým faktorům a potenciální podněcující událostí. Absolvované zatížení však neustále

mění predispozici k poranění vzhledem k potenciálnímu negativnímu nebo pozitivnímu efektu zatížení, respektive zatěžování (Windt & Gabbett, 2016).

### Obrázek 3

*Model etiologie poranění v souvislosti se zatížením a změnou modifikovatelných rizikových faktorů (Wind & Gabbett, 2016)*



Neuromuskulární kontrolou se rozumí nevědomá aktivita dynamických stabilizátorů, která se aktivuje při přípravě na pohyb kloubu a během jeho provádění, a jejíž cílem je udržet nebo obnovit funkční stabilitu kloubu. Tato dynamická stabilita je zapříčiněna přenosem aferentních informací do centrálního nervového systému a následně eferentní motorické odpovědi (Wikstrom et al., 2006). Neuromuskulární kontrolu lze také chápat jako postupnou aktivaci svalů ve správném vzorci, jak z hlediska časování, tak i vývoje momentů sil v čase a prostoru (Smékal & Mayer, 2004). Zejména se jedná o koordinaci a koaktivaci agonistů a antagonistů kolenního kloubu (Hewett et al., 2005). Neuromuskulární kontrola je klíčová při aktivitách zahrnující sprinty, skoky, dopady, či změny směru pohybu (Garetxana et al.,

2024; Hewett et al., 2010). Deficit v neuromuskulární kontrole je považován za rizikový faktor poranění dolních končetin a je spojen s nižší výkonností ve sportu (Faude et al., 2017).

Neuromuskulární kontrola se mezi pohlavími liší. U mladých mužů oproti ženám v průběhu puberty dochází v důsledku tzv. neuromuskulárnímu spurtu ke zlepšení neuromuskulární kontroly způsobenému především zvýšením síly (Lloyd, Oliver, Faigenbaum, Myer, & De Ste Croix, 2014). U dívek je neuromuskulární kontrola často nižší v důsledku hormonálních vlivů a odlišného svalového rozvoje. Během puberty se u dívek často zhoršuje kontrola kolenního kloubu při dynamických pohybech, což zvyšuje riziko poranění (Myer et al., 2004). Během puberty u chlapců dochází k významnému nárůstu síly a výkonnosti v důsledku neuromuskulárního rozvoje, zatímco u dívek tyto změny nejsou pozorovány (Lloyd et al., 2014). Ukazuje se, že nedostatečná síla a špatná koordinace svalů dolních končetin může vést k přílišnému zatěžování kolenního kloubu a následnému poranění. Při dynamických pohybech dochází k nedostatečné aktivaci hamstringů v kombinaci s nadměrnou aktivací m. quadriceps femoris (Hewett et al., 2010). Mezi další typické odchylky v neuromuskulární kontrole patří ligamentová dominance, končetinová dominance a trupová dominance (Hewett et al., 2010). Asymetrie dolních končetin může souviset nejen s výskytem poranění, ale také s negativním ovlivněním výkonů. U mládežnických mužských fotbalistů byla nalezena korelace mezi asymetrií dolních končetin a výsledky odrazu z dominantní a nedominantní dolní končetiny v testu vertikální skok jednož s protipohybem i při obou otočkách 505 agility testu (Michailidis, 2023).

V kontextu pochopení genderového rozdílu u neuromuskulární kontroly kolenního kloubu je důležité zmínit, že u žen dochází k odlišné strategii při aktivaci dynamických stabilizátorů kolenního kloubu. Zohlednit se při posuzování rizika poranění u žen musí také hormonální změny. Rozdíly lze spatřovat v průběhu menstruačního cyklu žen. Zejména u těch žen, které neužívají hormonální antikoncepci. Většímu riziku poranění čelí ženy v proliferační fázi menstruačního cyklu (Alentorn-Geli et al., 2009). Důvodem je kolísání hormonů a s tím spojené změny vlastností LCA, zejména laxicity kolenního kloubu a tuhostí svalů, což přispívá ke zvýšenému výskytu nekontaktních poranění (Adachi, Nawata, Maeta, & Kurozawa, 2018; Shultz et al., 2012). K poraněním dochází u žen s nižší hodnotou testosteronu a vyšší hladinou hormonů z řad estrogenů a progesteronu (Stijak et al., 2015). Estrogen, který ovlivňuje metabolismus ve svalové tkáni, na molekulární úrovni přispívá k rozvolňování kolagenových vláken (Ekenros, Papoutsis, Fridén, Dahlman Wright, & Lindén Hirschberg, 2017; Khowailed, Petrofsky, Lohman, Daher, & Mohamed, 2015). Významným

faktorem se ukazuje výše popsáný problém pozdějšího zapojení hamstringů (Flaxman et al., 2014; Myer et al., 2005; Zebis et al., 2008), celkově nižší hodnoty svalové síly oproti mužům, i vyšší valgozita kolenního kloubu během počátečního kontaktu při dopadu, menší flexe kolenního kloubu a menší rotace a abdukce v kyčelním kloubu (Donelon et al., 2024). V ženských kolektivních sportech byly identifikovány vnitřní rizikové faktory, jako je laxnost vaziva kolenního kloubu, malá a úzká šířka interkondylární rýhy, oslabení síly hamstringů vůči kvadricepsu, svalová únava, snížení síly středu těla, nízké úhly flexe trupu, kyčle a kolena, velká dorzální flexe hlezenního kloubu, laterální posun trupu, addukce v kyčelním kloubu v kombinaci s vyšší dynamickou valgozitou kolene, zvýšená vnitřní rotace kyčle a vnější rotace tibie s i bez pronace chodidla (Alentorn-Geli et al., 2009). Ženy mají obvykle širší pánev a větší úhel mezi femurem a tibií (tzv. Q-úhel), což může zvyšovat napětí na LCA. U mužů se uvádí 10 stupňů, u žen poté 15 stupňů (Prodromos, 2017).

Neuromuskulární kontrola je úzce spojena s motorickými dovednostmi. Motorika patří mezi nejzákladnější funkce živých organismů, kde se její aktivita projevuje svalovou činností. Během motorického úkolu dochází k neuromuskulární koordinaci více svalových skupin (Ambler, 2011). Základem neuromuskulární koordinace je motorická jednotka. Podle typu motoneuronů a svalových vláken se rozlišuje motorická jednotka fázičká s kratší dobou záškubu i relaxace a tonická, u které je tato doba delší. Jedná se o komplex svalových vláken, které jsou spojeny s motoneuronem. Nervosvalovou ploténkou se rozumí spojení mezi nervovým zakončením a svalovým vláknem. Impulz šířící se přes nervosvalovou ploténku vyvolává svalovou akci, která může být inhibiční, tzn. chránící sval před námahou, nebo exitační, tedy zahajující svalovou akci (Ambler, 2011). Senzomotorický systém má vliv na udržování funkční kloubní stability během tělesného pohybu. Pojem senzomotorika spojuje příjem informací důležitých pro hybnost, jejich následné zpracování a integraci v centrálním nervovém systému, a výsledkem je svalová činnost. Tento proces zahrnuje vnímání smyslových podnětů (senzorických vstupů), jejich interpretaci a rozhodnutí o vhodné motorické reakci (výstupu), která je pak realizována prostřednictvím periferního nervového systému (Riemann & Lephart, 2002). Neuromuskulární koordinace funguje na základě feedforward (dopřednovazebná aktivace) a feedback mechanismů. Feedforward regulace nastává asi 20 ms před zatížením kolenního kloubu a opírá se o předchozí pohybové zkušenosti, což umožňuje rychlejší stabilizaci kloubu. Feedback regulace aktivuje svalovou činnost na základě podnětů přicházejících z receptorů prostřednictvím aferentních drah. První korekce odchylek je

částečná, ale s opakováním se regulace stává přesnější (Read et al., 2016; Wikstrom et al., 2006).

Rovněž špatná propriocepce může vést k vyššímu riziku poranění. Propriocepce se definuje jako schopnost organismu vnímat vibrační čítí, polohu a pohyb částí těla z proprioceptorů, které jsou uloženy ve svalech, šlachách, kloubech a kůži. Dochází ke zpracování aferentních informací v centrální nervové soustavě i přenosu eferentních impulzů zapříčiňujících aktivaci svalu a zajištění kloubní stability a pohybu pomocí dostačujícího silového impulzu, který chrání před případným traumatem (Riemann & Lephart, 2002; Wikstrom et al., 2006). Tento jev je umocněn únavou, která má špatný vliv na včasné zapojení svalů. Dochází k negativnímu vlivu na techniku dopadu, zhoršuje se dynamická stabilita kolene i rovnovážné schopnosti (Benjaminse et al., 2008).

Efektivní biomechanika dopadu pomáhá snižovat mechanické síly působící na kolenní kloub, což redukuje zátěž na LCA a ve svém důsledku snižuje riziko poranění (Flaxman et al., 2014). Klíčovým prvkem je technika dopadu, kdy její nesprávné provedení může po dopadu zvýšit riziko poranění LCA. Biomechanika dopadu se ukazuje jako modifikovatelný rizikový faktor poranění LCA (Padua et al., 2015). Na absorbování sil při dopadu se podílí souhra pohybů hlezenního, kolenního a kyčelního kloubu a trupu (Begalle et al., 2015). Tzv. měkký dopad je účinnou formou absorpce mechanických sil. Tento efektivní typ dopadu se vyznačuje vyššími úhly flexe v kyčelním a kolenním kloubu i větší dorzální flexí v hlezenním kloubu už při počátečním kontaktu s podložkou, než je tomu u tzv. tvrdého dopadu, který se vyznačuje vzpřímenějším postavením jedince (Leppänen et al., 2017). Dopad s napnutými koleny nebo nesprávná rotace dolních končetin je pro efektivní práci nežádoucí (Myer et al., 2004; Oatis, 2009). Důležitým ukazatelem se ukazuje také větší valgozita kolene (Begalle et al., 2015; Hewett et al., 2005; Powers, 2003). Proto se za klíčové rizikové faktory poranění LCA považují zejména nedostatečná flexe během dopadů, valgozita kolene při dopadech, svalová nerovnováha mezi dolními končetinami a nedostatečná neuromuskulární kontrola trupu (trupová dominance), která se vyznačuje neschopností dostatečné kontroly pozice trupu a tím odolávat vychýlení těžiště, kdy dochází zejména k lateroflexi trupu (Carrasco-Huenulef et al., 2019; Hewett et al., 2010). Ke zvýšenému riziku poranění LCA může vést také asymetrie dolních končetin. Při nerovnoměrném zatěžování dolních končetin může docházet k jednostranné absorpci síly a ztrátě stability, která udržuje nárazové síly v čelní rovině. U oslabené dolní končetiny může dojít k poranění i průměrným zatížením (Guan et al., 2022).

Významným vnitřním etiologickým faktorem, který zvyšuje riziko poranění, je svalová únava. S únavou dochází ke snížení dynamické stability kolene a zhoršení koordinace pohybů, což vede k vyšší pravděpodobnosti chyb při dopadu nebo změně směru. Únavou postižený muskuloskeletální systém reaguje pomaleji, což může vést ke špatnému načasování a nesprávným pohybovým vzorcům, které zvyšují riziko poranění LCA (Benjaminse et al., 2008; Crotti et al., 2024).

Snížení počtu nekontaktních poranění je do určité míry možné ovlivněním vnějších rizikových faktorů. V případě ragby lze zmínit povrch hřiště, kdy hra na umělé trávě je spojena s vyšším rizikem poranění ve srovnání s přírodní trávou, dále nevhodný typ obuvi, klimatické podmínky (Crotti et al., 2024). Tyto faktory však do studie nebyly zahrnuty, a proto se jimi nebudeme detailněji zabývat. Nicméně je potřeba brát je na zřetel, a to zejména při porovnávání týmů, které mají jiné tréninkové zázemí (přírodní/umělá tráva, vnitřní prostory apod.) nebo u týmů z jiných podnebních pásů a jiných klimatických podmínek.

### **2.3.1 Cyklus natažení a zkrácení svalu**

SSC je klíčovou neuromuskulární akcí (Ramirez-Campillo et al., 2023). Jedná se o proces, při kterém dochází k rychlé excentrické kontrakci-natažení svalu, následované okamžitou koncentrickou kontrakcí-zkrácení svalu. Dochází k uložení potenciální elastické energie při prodloužení svalově-šlachové jednotky, která je využívána při okamžitém zkrácení svalu. Zejména se tomu děje při dopadech a následném pohybu, kdy segmenty těla odolávají nárazovým silám (Garetxana et al., 2024). Zároveň dochází ke snižování metabolických požadavků při vykonávání pohybů využívajících SSC, což zefektivňuje lokomoci (Turner & Jeffreys, 2010). Tento cyklus je uplatňován při širokém spektru sportovních pohybů, zejména u výbušných pohybů, jako jsou skoky a sprinty (Garetxana et al., 2024). Tyto pohyby vyžadují vysokou úroveň neuromuskulární koordinace a rychlou produkci svalové síly svalů dolních končetin. Proto je efektivní práce SSC nezbytná pro prevenci úrazu, ale i pro samotnou výkonnost, kdy dochází k využívání SSC při vykonávání sportovních dovedností (Comuk & Erden, 2012).

Pohyby využívající SSC lze rozdělit na rychlé a pomalé. Při rychlých pohybech SSC s typickou dobou kontaktu do 250 ms dochází k zapojení rychlých glykolytických vláken, naopak při pomalých pohybech dochází k prodloužení doby kontaktu nad 250 ms a k většímu zapojení pomalých oxidativních vláken (Turner & Jeffreys, 2010).

Pro hodnocení rizikových faktorů poranění LCA jsou klíčové ty indikátory neuromuskulárních mechanismů, které posuzují funkční stabilitu kolenního kloubu, tedy neuromuskulární kontrolu při SSC (Olivares-Jabalera et al., 2021). Pro hodnocení účinnosti SSC se jeví jako vhodné využívat vertikální skoky (Čoh, Živković, & Žvan, 2016). Uplatňují se zejména testy s maximální rychlostí provedení nebo skoky využívající maximálního odrazu (Hobara, Inoue, Kobayashi, & Ogata, 2014). Hodnocení SSC pomocí vertikálních skoků je možné díky pružinového modelu, který je u tohoto druhu skoků využíván (Serpell, Ball, Scarvell, & Smith, 2012). V případě využití vertikálních skoků na místě je energie směřována svisle dolů. Pokud se jedná o šikmý směr, dochází k připočítání úhlu dopadu k době kontaktu a době letu (Struzik, Karamanidis, Lorimer, Keogh, & Gajewski, 2021).

### **2.3.2 Tuhost dolních končetin**

Tuhost dolních končetin je měřítkem odolnosti svalů a šlach vůči změně délky pod zatížením, zejména při přechodu z excentrické na koncentrickou svalovou kontrakci (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2009). Vyšší tuhost dolních končetin může být spojena s lepší schopností uchovávat a uvolňovat elastickou energii, což přispívá k efektivnímu a výkonnému pohybu (Garetxana et al., 2024; Padua, Garcia, Arnold, & Granata, 2005) a ke snížení pravděpodobnosti nadměrného zatížení LCA (Hughes & Watkins, 2006). Schopnost produkovat svalovou sílu a odolávat deformacím při pohybu se ukazuje jako klíčová v prevenci poranění LCA v kontextu schopnosti svalů kolenního kloubu odolávat nežádoucím pohybům mezi tibií a femurem a tím redukovat zatížení LCA a riziko jeho poranění (Padua et al., 2006).

Ukazuje se spojitost mezi SSC a tuhostí dolních končetin (Garetxana et al., 2024), kdy tuhost dolních končetin souvisí se schopností odolávat deformaci, která vzniká během SSC (Padua et al., 2006). Z funkčního hlediska ukazuje tuhost dolních končetin na neuromuskulární kontrolu při vícekloubovém pohybu SSC, tzv. vertikální tuhost (Padua et al., 2006). Vyšší hodnoty tuhosti dolních končetin vyžadují efektivní SSC, neboť dochází k předběžné aktivaci a napínacímu reflexu dolních končetin (Comuk & Erden, 2012). Tuhost dolních končetin je z neuromuskulárního hlediska regulována feedforward a feedback mechanismem, což je důležité pro dynamickou stabilitu kolenního kloubu při pohybech využívajících SSC (Read et al., 2016).



Ženy vykazují nižší hodnoty absolutní tuhosti dolních končetin (ALS) než muži, což může být způsobeno více faktory, klíčová je úroveň svalové síly (Riemann & Lephart, 2002) a dále hrají roli hormonální rozdíly či odlišná biomechanika pohybu (Adachi et al., 2018; Laffaye, Choukou, Benguigui, & Padulo, 2016). K nárůstu hodnot tuhosti dolních končetin dochází především mezi 17-20 lety života (Padua et al., 2006; Ward et al., 2019).

Užití relativní tuhosti dolních končetin (RLS) pro diagnostické účely se doporučuje zejména v adolescenci, kdy se mění tělesná hmotnost i proporcionální délka končetin dospívajících (De Ste Croix, 2012). RLS vychází z ALS a je normalizovaná tíhovou silou odpovídající tělesné hmotnosti a délce dolní končetiny (Lloyd et al., 2009).

Jak bylo výše zmíněno, pro zjišťování účinnosti SSC se využívají testy využívající maximálních výskoků (Hobara et al., 2014). Nicméně se ukazuje, že pro zjištění tuhosti dolních končetin má test 20 submaximálních vertikálních skoků vyšší korelační koeficient ( $r_p = 0,94$  při frekvenci 2 Hz,  $r_p = 0,93$  při frekvenci 2,5 Hz) než test 5 maximálních vertikálních skoků ( $r_p = 0,89$ ) (Lloyd et al., 2009) při opakovaných měřeních.

### 2.3.3 Reaktivní síla

Stejně jako tuhost dolních končetin i RSI je indikátor nervosvalových mechanismů důležitých pro funkční stabilitu při SSC (Raschner et al., 2012; Toumi et al., 2006). Reaktivní síla dolních končetin je schopnost vytvořit co největší silový impulz v SSC do 250 ms od začátku pohybu a podstatou je plyometrická svalová kontrakce (Haff & Triplett, 2015). Může být vyjádřena reaktivním silovým indexem (RSI), který je poměrový ukazatel výšky výskoku a doby kontaktu s podložkou a hodnotí schopnost rychle a efektivně přecházet z excentrické fáze do koncentrické fáze během skoku, posuzuje schopnost sportovce rychle produkovat sílu a monitoruje stres na svalově-šlachový komplex při SSC (Flanagan & Comyns, 2008; Ramirez-Campillo et al., 2023; Young, 1995). RSI je důležitým ukazatelem reaktivní síly a schopnosti produkovat výbušnou sílu. Vyšší hodnoty RSI jsou spojeny s efektivním využitím svalové elasticity a zlepšenou neuromuskulární kontrolou svalů, naopak nízké hodnoty ukazují na pokles tolerovat síly při dopadu (Flanagan & Comyns, 2008; Jarvis, Turner, Read, & Bishop, 2022) Zároveň jsou vyšší hodnoty RSI obvykle spojeny s vyšší výkonností, kdy vyšší hodnoty prokázali elitní hráči (Flanagan & Comyns, 2008; Garetxana et al., 2024). Je vhodné poznamenat, že ve studii provedené u hochů (De Ste Croix et al., 2021) autoři uvádí, že sportovci s vyššími hodnotami RSI měli i vyšší tréninkovou účast, která může ovlivňovat

úroveň výkonnosti. Hodnocení RSI se často používá pro testování sportovní výkonnosti (Suchomel, Sole, Bailey, Grazer, & Beckham, 2015). RSI je považován za indikátor rizika poranění LCA (De Ste Croix, Lehnert, Maixnerova, Ayala, & Psotta, 2021; Raschner et al., 2012). Ukazuje se, že RSI je spolehlivým ukazatelem kvality SSC (De Ste Croix et al., 2017) a že jeho nízké hodnoty ukazují na špatnou funkci SSC, kdy dochází k poklesu tolerance svalově-šlachového komplexu na excentrické zatížení (Lloyd et al., 2009; Toumi et al., 2006; Young, 1995). Stejně jako u tuhosti dolních končetin dochází k předběžné aktivaci a napínacímu reflexu dolních končetin u vyšších hodnot RSI (Comuk & Erden, 2012). Ženy ve srovnání s muži vykazují nižší hodnoty (Laffaye et al., 2016; Rubio-Peiretén, García-Pinillos, Jaén-Carrillo, Cartón-Llorente, & Roche-Seruendo, 2021). Ukazuje se, že pro posuzování RSI jsou vhodné vertikální skoky, jako 5 maximálních vertikálních skoků, vertikální skok jednož s protipohybem, výskok ze dřepu, či skoky jednož, které jsou pro všechny zmíněné testy validní a reliabilní s hodnotou koeficientu vnitrotřídní korelace ICC > 0,93. (Ebben & Petushek, 2010).

### **2.3.4 Biomechanika dopadu**

Zhoršená aktivita svalů podílejících se na dynamické stabilitě kolenního kloubu se projevuje změnami v biomechanice dopadu, což může zvýšit riziko poranění LCA (Gokeler et al., 2014). Při dopadu na podložku z výšky dochází k absorbování mechanické energie a snížení nárazových sil. Dopad se zahajuje počátečním kontaktem nohy se zemí. Navazuje koordinace pohybů s flexí v kyčelním, kolenním a hlezenním kloubu, což jako celek brzdí pohyb a zabraňuje pádu a poranění (Zhang, Bates, & Dufek, 2000). Pro efektivní posuzování biomechaniky dopadu se používají 3D metody, které jsou ovšem časově i finančně náročné. Proto byly vytvořeny klinické hodnotící nástroje ve 2D, které se užívají pro hromadné screeningové hodnocení (Padua et al., 2009).

K posuzování biomechaniky dopadu se používá škála LESS (Landing Error Scoring System). Ta se ukazuje jako platný a spolehlivý hodnotící nástroj identifikující pohybové vzorce při dopadu, které jsou spojené s bezkontaktními poraněními LCA (O'Malley, Murphy, Persson, Gissane, & Blake, 2017; Padua et al., 2009), nicméně byla využívána v méně kontaktních sportech jako basketbal a fotbal. Výhodnou oproti 3D metodám je její jednoduchá aplikace v terénu (Hanzlíková, Athens, & Hébert-Losier, 2021). Originální testovací protokol využíval vertikálního výskoku obouž po seskoku z 30 cm vysokého stupínku (Padua et al.,

2009). Škála LESS byla v předešlých studiích použita pro zkoumání účinnosti programů prevence poranění na biomechaniku dopadu (O'Malley et al., 2017; Padua et al., 2009; Pfile, Gribble, Buskirk, Meserth, & Pietrosimone, 2016). Při posuzování škály LESS testem vertikální skok jednož s protipohybem dochází k přiblížení protokolu ke sportovně specifickým činnostem (Lehnert, Krejčí, Janura, & De Ste Croix, 2022).

### **2.3.5 Rychlost se změnou směru pohybu**

Jak bylo popsáno výše, rychlé zpomalení či zastavení a změna směru pohybu byly identifikovány jako primární akce nekontaktního poranění LCA a zároveň jako klíčový prvek výkonu v kolektivních sportech (Benjaminse et al., 2008; Dos'Santos, Thomas, Jones, & Comfort, 2019; Nimphius, Callaghan, Bezodis, & Lockie, 2018). Rychlost se změnou směru pohybu může být definována jako schopnost zpomalit, otočit se, nebo změnit směr pohybu, a poté znovu akcelerovat (Jones et al., 2009), nebo jako schopnost změnit počáteční směr pohybu na předem určený bod (Nimphius, 2014). Při spojení reakce na určitý podmět s rychlostí se změnou směru pohybu hovoříme o testech agility (Nimphius et al., 2018).

Lineární rychlost je jednou ze složek rychlosti se změnou směru pohybu a zároveň jedním z klíčových faktorů pro prevenci poranění, protože zvyšuje schopnost sportovců efektivně absorbovat a reagovat na náhlé mechanické síly. Sportovci s nižší úrovní rychlosti často nemají dostatečnou kapacitu k rychlé a správné reakci, což může vést k nesprávnému postavení těla, nedostatečné stabilitě a následně vyššímu riziku poranění (Faude et al., 2017). Ukazuje se také spojitost mezi výsledky testů rychlosti se změnou směru pohybu a prevencí poranění. U testů rychlosti se změnou směru pohybu dochází ke stabilizaci kloubů při pohybovém zatížení, kde při vyšší rychlosti dochází k efektnímu přenosu sil a jejich momentů. (Havens & Sigward, 2015). Složkami rychlosti se změnou směru pohybu je kromě lineární rychlosti také akcelerace, decelerace (zpomalení) a změna směru pohybu. Ukazuje se, že klíčovou komponentou testů rychlosti se změnou směru pohybu je zejména decelerace (Clarke, Read, De Ste Croix, & Hughes, 2022). Rychlost se změnou směru pohybu je určována také reaktivní silou a silou svalů dolních končetin (Horníková & Zemková, 2024).

Problematikou testování rychlosti se změnou směru pohybu, včetně výstupních charakteristik testování, se zabývají studie zaměřené jak na prevenci rizika poranění, tak na sportovní výkonnost. Z hlediska prevence rizika poranění je při analýze výsledků v testech rychlosti se změnou směru pohybu důležité zohlednit jednotlivé proměnné těchto testů, využít

se dají například hodnocení reakčních sil, nebo kinematiky pohybu. Naopak měření čistého času se využívá převážně pro hodnocení sportovního výkonu (Nimphius et al., 2018).

Důležitým atributem pro výběr testu rychlosti se změnou směru pohybu jsou stupně změny směru pohybu, které ovlivňují kontaktní čas a intenzitu v provádění těchto pohybů. Jako klíčové se ve sportu s častými změnami směru pohybu ukazují rychlé a ostré směrové změny, které ovlivňuje úroveň neuromuskulární kontroly sportovce a jeho schopnost rychle produkovat silový impulz (Dos'Santos, Thomas, Comfort, & Jones, 2018). Změna směru pohybu se u testů pohybuje mezi 45 až 180 stupni. Mezi nejvíce používané testy rychlosti se změnou směru pohybu patří 505 agility test (změna směru pohybu o 180 stupňů), T-test (90 stupňů), Y-test (45 stupňů), Pro-agility shuttle test (180 stupňů), nebo Illinois agility test (90, nebo 180 stupňů (Nimphius et al., 2018)). Vhodné testy rychlosti se změnou směru pohybu v pohybově podobném fotbalu jsou zejména T-test a 505 agility test. Tyto testy ukazují nejvyšší hodnoty korelačního koeficientu, kdy jeho hodnota dosahuje až 0,99 (Altmann, Ringhof, Neumann, Woll, & Rumpf, 2019). Byly zjištěny signifikantní rozdíly při otočkách přes dominantní a nedominantní dolní končetinu 505 agility testu (Dos'Santos et al., 2019), což může naznačovat zvýšené riziko poranění, které může být identifikováno asymetrií dolních končetin, proto se doporučuje provádět otočky přes obě dolní končetiny.

## **2.4 Preventivní programy poranění ve sportu**

### **2.4.1 Preventivní programy v kolektivních sportech**

Zkoumání incidence a mechanismu poranění s následnou identifikací rizikových faktorů umožňuje vytvářet cílené strategie pro snížení výskytu poranění ve sportu. Úrazovost ve sportu lze rovněž ovlivnit modifikací pravidel a bezpečnostními změnami a doporučeným vybavením (Emery & Pasanen, 2019). Vedle vnějších činitelů a momentálnímu fyzickému stavu, je důležité komplexní zvýšení fyzické kondice, kterou lze ovlivnit vhodně zvoleným tréninkem (Fuller et al., 2016; Hislop et al., 2016). Jako klíčová se v prevenci poranění jeví neuromuskulární kontrola, kterou lze ovlivňovat cíleným tréninkem. V minulosti vznikaly různé druhy tréninkových programů, jejichž uplatnění mělo za cíl snížit riziko poranění v kolektivním sportu s velkým zastoupením programů prevence poranění dolních končetin. Nejúčinnější preventivní programy prokázaly, že riziko poranění LCA lze snížit až o polovinu (Olivares-Jabalera et al., 2021).

Pokud nejsou rizikové faktory ovlivňovány během adolescence, mohou se v dospělosti projevit zvýšeným výskytem poranění. Správná neuromuskulární kontrola pozitivně ovlivňuje stabilitu kolena, což přispívá ke snížení rizika poranění LCA (Carrasco-Huenulef et al., 2019). Bylo prokázáno, že u sportovců, kteří absolvovali tréninkové programy zaměřující se na neuromuskulární trénink se významně snížil výskyt poranění LCA ve srovnání s těmi, kteří se takového programu neúčastnili (Carrasco-Huenulef et al., 2019; Mandelbaum et al., 2005). Proto je nutné aplikovat cílené tréninkové programy a zlepšit neuromuskulární kontrolu, a tedy dynamickou stabilitu kolene (Carrasco-Huenulef et al., 2019; Myer et al., 2004). I přes zavádění neuromuskulárních tréninkových programů, které mají snížit výskyt poranění LCA, případů poranění LCA u adolescentů naopak stále narůstá, zejména pak u dívek. Důvodem mohou být zvýšený počet sportujících dětí, neúčinnými tréninkovými programy, nebo jejich špatnou aplikací. Rizikovými sporty jsou zejména ženský fotbal, americký fotbal, ale také gymnastika, lakros, házená, basketbal či ragby (Bram et al., 2020; Hewett et al., 2010).

Klíčovým prvkem prevence poranění LCA je zejména u žen naučení správné techniky dopadu při skoku, dále zlepšení neuromuskulární kontroly, síly a propriocepce (Hewett et al., 2010). Účinným neuromuskulárním tréninkem lze snížit zatížení kloubů během dynamických činností, jako jsou skoky a dopady. Neuromuskulární trénink je koncepční model, který zahrnuje obecné i specifické silové činnosti, jako je dynamická stabilita, silová cvičení s odporem, silová cvičení zaměřená na hluboký stabilizační systém, plyometrická cvičení a agility (Myer et al., 2011). Neuromuskulární tréninkové programy ověřované v publikovaných studiích zahrnovaly plyometrická cvičení, balanční cvičení, cviky na zlepšení techniky dopadu (Hewett et al., 2010), silová cvičení s odporem a trénink dovedností (Read, Oliver, Dobbs, & Wong, 2021). Pro snižování počtu nekontaktních poranění LCA i kolenního kloubu se ukazuje jako účinné zařazení hlavně plyometrických cvičení. Bylo prokázáno, že takové programy nejúčinněji snižují incidenci poranění LCA bez rozdílu pohlaví (Al Attar, Bakhsh, Khaledi, Ghulam, & Sanders, 2022; Mehl et al., 2018). Jelikož k poranění během dopadu dochází převážně při dopadu na jednu dolní končetinu, je vhodné zařazovat unilaterální cvičení, u kterých dochází k většímu uplatnění koordinace (Stephens, Lawson, DeVoe, & Reiser, 2007). Aplikací komplexního preventivního programu se zařazováním balančních cvičení dochází k redukci počtu poranění i hlezenního kloubu u sportujících žen (Caldemeyer, Brown, & Mulcahey, 2020). Zapomínat by se nemělo na optimální rozvoj flexibility (Crotti et al., 2024; Monajati, Larumbe-Zabala, Goss-Sampson, & Naclerio, 2016). Z hlediska biomechanických rozdílů mezi pohlavími bychom u žen při snižování rizika poranění LCA

měli zaměřit na posílení hamstringů a zlepšení kontroly pohybu kolene vzhledem k vyšší valgozitě při dopadu (Donelon et al., 2024). Hamstringy fungují jako antagonisté kvadricepsů a pomáhají stabilizovat koleno a hrají klíčovou roli při kontrole přední translace tibie vůči femuru (Myer et al., 2004).

Pro prevenci a snížení výskytu poranění ve fotbale byl vytvořen program FIFA 11+, ve kterém se jako klíčové složky ukazují silový trénink zaměřený na svaly dolních končetin, zejména na hamstringy a kvadricepsy a trénink propriocepce zejména formou balančních cvičení. Program se skládá z 15 částí a důležitou součástí je také trénink techniky dopadu a individualizace tréninku. Doba aplikace programu se ve studiích systematického přehledu lišila, kdy v některých studiích byla účinnost programů ověřována již po čtyřtýdenní intervenci. Výjimkou naopak nebyly programy, kde docházelo k výstupnímu měření po ročním tréninkovém cyklu. Frekvence aplikace intervencí zařazených do systematického přehledu byla minimálně dvakrát týdně (Olivares-Jabalera et al., 2021). Účinky programu byly ověřeny u ženských hráček ve věku 13 až 19 let, kdy došlo v intervenční skupině ke snížení poranění kolenního kloubu o 77 %, což představovalo incidenci 0,04 poranění kolenního kloubu na 1000 herních hodin. U bezkontaktních poranění byl zjištěn pokles o 90 % (Kiani et al., 2010).

U mládežnických házenkářů, kde ve výzkumném souboru byly zastoupeni muži i ženy, byl potvrzen účinek neuromuskulárního intervenčního programu na riziko poranění LCA i celého kolenního kloubu. Program zahrnoval proprioceptivní a silové cviky zaměřené na kvadriceps, hamstringy a hluboký stabilizační systém, plyometrická cvičení a cvičení zaměřená na biomechaniku dopadu. Program byl aplikován dvakrát až třikrát týdně, kdy docházelo k progresivnímu zvyšování úrovně jednotlivých cvičení (Achenbach et al., 2018). V netballu, nekontaktním sportu populárním u žen, byl vytvořen preventivní program poranění dolních končetin, který cílil na herní situace spojené s dopadem, změnou směru pohybu a rychlým zastavením. Program zahrnoval dynamické rozcvičení, balanční cvičení, silová cvičení i běžecká cvičení specifická pro netball. Důraz byl kladen na techniku dopadu. Signifikantní změny byly nalezeny v testech zkoumajících biomechaniku dopadu. Jedním z posuzovaných parametrů byla i škála LESS, kdy průměrné hodnoty hráček klesly z  $7,9 \pm 2,1$  chyb na  $4,9 \pm 1,6$  chyb (Belcher, Whatman, Brughelli, & Borotkanics, 2021).

Také další programy prevence poranění dolních končetin ukazují, že minimální účinky intervenčních programů byly prokázány při cvičení dvakrát až třikrát týdně v rozmezí 10 až 20 minut v jedné tréninkové jednotce, kdy jako efektivní se ukazuje cvičení přesahující

30 minut týdně. Ověřování účinnosti programů proběhlo po čtyřech až 12 týdnech cvičení (Read et al., 2021; Steib, Rahlf, Pfeifer, & Zech, 2017; Waldén, Atroshi, Magnusson, Wagner, & Hägglund, 2012).

Účinnost programů prevence poranění je prokázána (Lutz et al., 2024). Pro implementaci v praxi a zvýšení efektivity programů prevence v mládežnických kolektivních sportech (Lutz et al., 2024) i u dospělých (Olivares-Jabalera et al., 2021) je však nutné vzdělávání trenérů včetně jejich zapojení do plánování a samotné vedení rozcvičení s programem prevence. Zapomínat by se nemělo na zpětnou vazbu techniky i monitorování pokroku v daných ukazatelích. Příkladem dobré praxe implementace programu prevence poranění je fotbalový tréninkový program FIFA 11+, který byl úspěšně zařazen do tréninku v mnoha zemích (Barengo et al., 2014).

#### **2.4.2 Preventivní programy v ragby**

Díky úpravě pravidel došlo v ragby ke snížení počtu úrazů, převážně páteře a hlavy. Toto se však ukázalo jako nedostatečné, a proto vznikl v roce 2001 vzdělávací program RugbySmart (Quarrie et al., 2007) zaměřený na prevenci poranění páteře a míchy v oblasti krku. Program zahrnoval kondiční trénink a techniky jednotlivých ragbyových hráčských úkolů. Zvýšilo se také užívání ochranných pomůcek, jako je helma (Macqeen & Dexter, 2010). Tato kombinace se ukázala jako účinná, nicméně se program zaměřoval hlavně na poranění vycházející z kontaktu. Na tento program volně navazovaly programy jako jihoafrický BokSmart (Brown et al., 2016) a australský SmartRugby (Gianotti, Quarrie, & Hume, 2009) obsahující vzdělávací moduly zaměřující se na techniku, bezpečnost a kondici.

Anglický program Activate zaměřující se na prevenci poranění u středoškolských hráčů a dospělých ragbistů, měl za úkol snížit riziko poranění dolních končetin, hlavy a krku (Attwood, Roberts, Trewartha, England, & Stokes, 2018; Barden, Hancock, Stokes, Roberts, & McKay, 2022; Hislop et al., 2017). Program zahrnoval dynamické rozcvičení, silová cvičení, balanční cvičení, plyometrii a cviky zaměřující se na flexibilitu. Snížení incidence poranění bylo prokázáno s narůstající týdenní frekvencí cvičení preventivního programu. Sportovci při aplikaci více než tří intervencí týdně dosáhly nejvyššího snížení, kdy tréninková poranění byla snížena o 67 % a zápasová poranění o 32 %. U této skupiny se vyskytlo i nejméně zápasových poranění dolních končetin s incidencí 6,2 poranění na 1000 herních hodin (Barden et al., 2022). Bohužel do studií nebyly nezahrnuty ženy.

Preventivní programy poranění kolenního kloubu také vytvořilo Oslo Sport Trauma Research Center, a to pro více než 50 různých sportů včetně ragby. Program je složen ze tří úrovní a obsahuje plyometrická cvičení, balanční cvičení a silová cvičení zaměřující se na hamstringy i hluboký stabilizační systém. Implementace tohoto programu je však, bez ohledu na sport, velice malá (Al Attar et al., 2021).

Autoři (Scantlebury et al., 2024) zdůrazňují, že ačkoli se fyziologické a biomechanické rozdíly mezi muži a ženami často zmiňují jako důvody pro odlišné přístupy k prevenci a léčbě poranění, nedostatek empirických dat data z analýz pohybového obsahu herního výkonu z ženského ragby omezuje možnosti výzkumu a aplikace účinných preventivních strategií.

## **2.5 Shrnutí přehledu poznatků**

Poranění LCA představuje v ragby závažný problém, který může mít dlouhodobé následky na výkonnost a zdraví sportovců (Palmer-Green et al., 2013). Současné poznatky ukazují, že k tomuto typu poranění často dochází během dopadů a rychlých změn směru. Poranění LCA jsou častější u žen, což je přisuzováno rozdílům v anatomii, biomechanice i hormonálních faktorech (Olivares-Jabalera et al., 2021; Scantlebury et al., 2024). Klíčové v prevenci poranění jsou rizikové faktory, které lze ovlivňovat cíleným tréninkem, jako je neuromuskulární kontrola, biomechanika dopadu a velikost produkované síly (Begalle et al., 2015; Olivares-Jabalera et al., 2021; Padua et al., 2009; Ramirez-Campillo et al., 2023). Preventivní programy, které zahrnují trénink neuromuskulární kontroly kolenního kloubu, kde jsou zařazeny balanční cviky, cviky na zlepšení svalové síly, plyometrické cviky a je kladen důraz na správnou techniku pohybu, jsou zásadní pro snížení rizika těchto poranění (Hewett et al., 2010; Read et al., 2021). Preventivní programy byly uplatňovány v kolektivních sportech, které jsou pohybově blízké ragby, zejména se jedná o fotbal (Kiani et al., 2010). Bohužel preventivní programy v ragby se často zaměřovaly na snížení rizika poranění a bezpečnost v kontaktních situacích (Brown et al., 2016; Quarrie et al., 2007). Preventivní programy nekontaktních poranění dolních končetin byly uplatňovány u dospělých ragbistů a školní populaci. U žen tyto studie schází (Hislop et al., 2017; Scantlebury et al., 2024). Vzhledem k výše zmíněným rozdílům mezi muži a ženami je vhodné diferencovat výzkum a vytvořit a ověřit komplexní neuromuskulární program vhodný pro ženy. Jelikož se ukazuje, že u amatérských sportovců není vždy prevence poranění prioritou a nižší úroveň výkonnosti je spojena s vyšším výskytem poranění (Faude et al., 2017), lze považovat za aktuální provést



výzkum i u hráček s nižší úrovní výkonnosti. Získané poznatky mohou přispět k pochopení specifík ženského amatérského kolektivního sportu s následnou aplikací v tréninkovém procesu, což by vedlo ke zlepšení obsahu preventivních programů poranění LCA i samotné jejich realizace. Z těchto důvodů jsme se rozhodli vytvořit komplexní neuromuskulární tréninkový program KneeRugbyWomen a ověřit vliv tohoto programu na neuromuskulární kontrolu kolenního kloubu, biomechaniku dopadu a rychlost se změnou směru pohybu v ženském amatérském ragby.

### 3. CÍLE PRÁCE

#### Hlavní cíl

Hlavním cílem disertační práce je ověřit vliv komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen na modifikovatelné vnitřní rizikové faktory neuromuskulární kontroly kolenního kloubu, biomechaniku dopadu a rychlost se změnou směru pohybu u amatérských ragbistek.

#### Dílčí cíle

1. Zjistit u amatérských ragbistek, jak se změní tuhost dolních končetin po absolvování komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen.
2. Zjistit u amatérských ragbistek, jak se změní reaktivní síla po absolvování komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen.
3. Zjistit u amatérských ragbistek, jak se změní biomechanika dopadu po absolvování komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen.
4. Zjistit u amatérských ragbistek, jak se změní rychlost se změnou směru po absolvování komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen.

#### Výzkumné hypotézy

H<sub>1</sub>: Komplexní neuromuskulární tréninkový program KneeRugbyWomen zvyšuje hodnoty absolutní tuhosti dolních končetin u amatérských ragbistek.

Nezávisle proměnná: *komplexní neuromuskulární program KneeRugbyWomen*

Závisle proměnná: *absolutní tuhost dolních končetin*

H<sub>2</sub>: Komplexní neuromuskulární tréninkový program KneeRugbyWomen zvyšuje hodnoty relativní tuhosti dolních končetin u amatérských ragbistek.

Nezávisle proměnná: *komplexní neuromuskulární program KneeRugbyWomen*

Závisle proměnná: *relativní tuhost dolních končetin*

H<sub>3</sub>: Komplexní neuromuskulární tréninkový program KneeRugbyWomen zvyšuje hodnoty reaktivního silového indexu u amatérských ragbistek.

Nezávisle proměnná: *komplexní neuromuskulární program KneeRugbyWomen*

Závisle proměnná: *reaktivní silový index*

H<sub>4</sub>: Komplexní neuromuskulární tréninkový program KneeRugbyWomen snižuje skóre škály Landing Error Scoring System u amatérských ragbistek.

Nezávisle proměnná: *komplexní neuromuskulární program KneeRugbyWomen*

Závisle proměnná: *skóre škály LESS*

H<sub>5</sub>: Komplexní neuromuskulární tréninkový program KneeRugbyWomen snižuje času 505 agility testu u amatérských ragbistek.

Nezávisle proměnná: *komplexní neuromuskulární program KneeRugbyWomen*

Závisle proměnná: *čas v 505 agility testu [s]*

*Kritéria pro nezamítnutí výzkumných hypotéz:*

Výzkumné hypotézy H<sub>1</sub>-H<sub>5</sub> nebudou zamítnuty, pokud bude zjištěn signifikantní nárůst daného indikátoru rizika poranění kolenního kloubu při hladině významnosti  $p \leq 0,05$  a středního koeficientu velikosti účinku Wilcoxonova  $r$ , který bude určen podle Pallant (2011) jako malý, střední a velký s hladinami 0,1, 0,3 a 0,5.

## 4. METODIKA

Před začátkem samotného výzkumu bylo nutné zajistit, aby všechny účastnice bez ohledu na věk, plně porozuměly cílům a metodice této studie. Každá hráčka byla detailně informována o tom, co bude výzkum obnášet, jaká data budou sbírána a jakým způsobem budou tato data využita. Tento postup byl v souladu s Helsinskou deklarací (1983) a byl schválen etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci (Příloha 1). Před zahájením výzkumu byly získány souhlasy od všech účastnic. Pro nezletilé hráčky byl připraven formulář souhlasu s účastí na výzkumu, který podepisovali jejich zákonní zástupci (Příloha 2). Dospělé účastnice pak podepsaly vlastní informovaný souhlas (Příloha 3). Souhlas s účastí na výzkumu zahrnoval i povolení k použití získaných dat pro výzkumné účely. Tento souhlas zaručoval, že data budou využita pouze k výzkumným aktivitám a že budou zpracována anonymně. Celý výzkum proběhl pod vedením autora této práce a vyškolených odborníků z FTK UP a trenérů.

### 4.1 Výzkumný soubor

Výpočet velikosti souboru byl proveden pomocí softwaru G\*Power 3.1.9.7. Pro výpočet byl použit nepárový t-test se standardní oboustrannou hypotézou, která předpokládá pozitivní i negativní vliv na sledované parametry. Síla testu byla nastavena na 80 % ( $\beta = 0,20$ ), hladina významnosti poté na pět procent ( $\alpha = 0.05$ ). Dřívější studie (De Ste Croix et al., 2018) zkoumající vliv tréninkového program na RLS a studie (O'Malley et al., 2017) analyzující vliv tréninkového programu na skóre LESS byly použity pro výpočet požadavků na velikost souboru. T-test pro dvě nezávislé skupiny určil, že pro identifikaci rozdílu průměrných hodnot mezi experimentální (ES) a kontrolní skupinou (KS) ve vstupním a výstupním měření je zapotřebí velikost celkového souboru mezi 16 a 21 účastnicemi. Potenciální míra odstoupení účastnic ze studie může být až 30 % (De Ste Croix et al., 2018), proto bylo pro zajištění dostatečné statistické síly do naší studie zahrnuto 31 účastnic. Tento přístup umožňuje kompenzovat jakoukoli ztrátu účastníků během studie, a tím udržet dostatečnou velikost souboru pro validní statistickou analýzu a dosažení spolehlivých závěrů. Z hlediska výzkumného souboru je limitou naší studie, že nebyl proveden náhodný výběr ze souboru amatérských hráček v České republice, neboť studie se zúčastnily hráčky, jejichž kluby byly po oslovení ochotné se měření i intervence zúčastnit.

Studie se zúčastnilo 31 amatérských ragbistek, které v roce měření dosáhly minimálně 15 let, startovaly v soutěžích dospělých a dosud se neúčastnily žádného cíleného tréninkového programu zaměřeného na prevenci poranění. Další podmínkou zařazení do výzkumného souboru bylo, že ragbistky v posledních šesti měsících neutrpěly vážné poranění stehna nebo kolenního kloubu vyřazující z tréninkového procesu na více jak tři týdny. Hráčky byly blokovou randomizací rozděleny na experimentální ( $n = 16$ ) a kontrolní ( $n = 15$ ) skupinu. Jednalo se o amatérské hráčky z klubů RC Olomouc a Strong Girls Velké Popovice. Důvodem pro nezařazení do souboru pro finální analýzu bylo neúčast na vstupním, nebo výstupním měření a absence více než 20 % na klubem stanoveném rozpisu tréninků, tj. absence na pravidelné účasti na organizované sportovní činnosti. Tyto podmínky nesplnilo sedm ragbistek. U čtyřech hráček se jednalo o nesplnění pravidelné účasti na organizované sportovní činnosti. Zbylé tři hráčky se nezúčastnily výstupního měření.

Konečný soubor obsahoval v ES 12 ragbistek (průměr  $\pm$  směrodatná odchylka: věk  $20,05 \pm 4,43$  let, tělesná výška  $166,54 \pm 4,46$  cm, tělesná hmotnost  $64,65 \pm 6,44$  kg, body mass index  $23,32 \pm 2,26$  kg/m<sup>2</sup>), kdy 11 z nich mělo dominantní pravou a pouze jedna levou dolní končetinu (stanoveno podle preference dolní končetiny při kopu do míče). V KS bylo 12 hráček (průměr  $\pm$  směrodatná odchylka: věk  $20,04 \pm 4,88$  let, tělesná výška  $166,83 \pm 7,30$  cm, tělesná hmotnost  $69,83 \pm 12,84$  kg, body mass index  $25,05 \pm 4,17$  kg/m<sup>2</sup>) a všechny preferovaly pravou dolní končetinu. Meziskupinové porovnání pomocí Mann Whitneyova testu prokázalo, že u finálního souboru nebyl zjištěn signifikantní rozdíl mezi experimentální a kontrolní skupinou ve věku, tělesné výšce, tělesné hmotnosti, ani body mass indexu ( $p < 0,05$ ). Úroveň flexibility hamstringů byla u ragbistek zjišťována pouze při vstupním měření testem hlubokého předklonu, kde byl určen dotyk bérce jako znak hypomobility, dotyk prstů ruky jako normální rozsah a dotyk dlaněmi země jako znak hypermobility (Janda, 2004). V ES jevíly dvě hráčky znaky hypomobility hamstringů, tři hráčky byly v normě a sedm hráček vykazovalo známky hypermobility. V KS se vyskytly dvě hráčky se znaky hypomobility, čtyři hráčky byly v normě a šest ragbistek dosáhly úrovně hypermobility hamstringů.

Hráčky v průměru trénovaly třikrát týdně, kdy tréninková jednotka trvala 90 minut. Po vstupním měření hráčky absolvovaly šestitýdenní soutěžní období, ve kterém byly odehrány tři turnaje v sedmičkovém ragby. Kvůli specifikům roku 2020, který byl ovlivněn pandemií covid-19, bylo vynecháno přechodné období a následovalo šestitýdenní přípravné období na podzimní část sezóny. To bylo dominantně zaměřeno na rozvoj herních dovedností, které měly připravit na turnaje v sedmičkovém ragby i utkáním patnáctek (České rugby, 2023).

Z kondičních schopností byla rozvíjena hlavně rychlost. U ragbistek docházelo k rozdílům v poměru zapojení do jednotlivých forem ragby podle jejich ochoty zapojit se do činnosti reprezentačních výběrů a jejich tréninkovému procesu jako tréninkové partnerky. Hráčky na konci přípravného období absolvovaly výstupní měření.

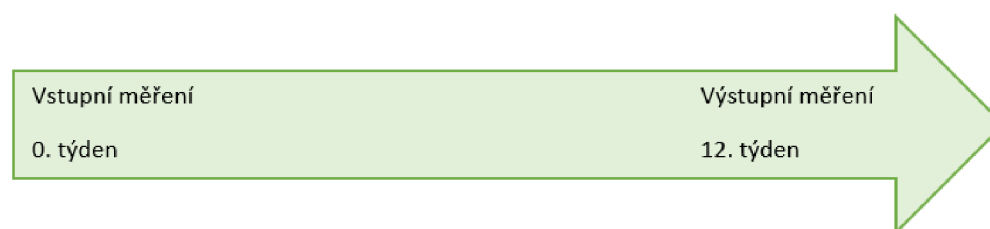
## 4.2 Design studie

Výzkum měl charakter randomizované kontrolované studie. Schéma designu výzkumu znázorňuje Obrázek 4. Jako nezávislá proměnná (experimentální faktor) byl zvolen komplexní (vícesložkový) neuromuskulární program KneeRugbyWomen. Závislými proměnnými (experimentální efekt) byly indikátory modifikovatelných vnitřních rizikových faktorů poranění LCA, a to ALS, RLS, RSI, skóre škály LESS a rychlost se změnou směru pohybu, které byly stanoveny na základě terénních testů. ES i KS absolvovala dvě testování. V týdnu před začátkem tréninkové intervence a ihned po skončení neuromuskulárního programu po 12 týdnech. Ragbistky 48 hodin před oběma testováními nevykonávaly žádnou náročnou fyzickou aktivitu, která by zapříčinila únavu během testování.

### Obrázek 4

*Schéma designu studie*

Experimentální skupina	Kontrolní skupina	Sledované charakteristiky
(n = 16)	(n = 15)	Tuhost dolních končetin (absolutní a relativní)
Program KneeRugbyWomen	Příhrávky	Reaktivní silový index
10 min po rozcvičení	10 min po rozcvičení	Biomechanika dopadu (škála LESS)
12 týdnů	12 týdnů	Rychlost se změnou směru
Dvakrát týdně	Dvakrát týdně	



### **4.3 Metodika sběru dat**

Vstupní i výstupní měření proběhlo v laboratořích FTK UP a bylo zahájeno hodnocením antropometrických ukazatelů. Poté proběhlo patnáctiminutové rozcvičení, které bylo shodné pro všechny účastnice výzkumu. Obsahem rozcvičení byl běh nízkou intenzitou, mobilizační cviky i dynamické protažení. Před každým testem absolvovaly ragbistky tři zkušební pokusy. Následovalo hodnocení sledovaných parametrů neuromuskulární kontroly kolenního kloubu, biomechaniky dopadu a rychlosti se změnou směru pohybu pomocí vybraných motorických testů. Účastnice nosily při všech testováních kromě antropometrického měření svou vlastní sportovní obuv. Familiarizace testování, která slouží ke snížení ovlivnění výsledků studie, proběhla dva týdny před vstupním měřením v rámci tréninkového procesu. Pro naučení správného provedení testů bylo využito přímých i nepřímých (videonahrávky se správným provedením) ukázek a slovních instrukcí.

#### **Použité přístroje a metody testování**

Tělesná hmotnost byla stanovena pomocí InBody770 (Biospace, Soul, Jižní Korea) a tělesná výška ve stoji a v sedě byly stanoveny pomocí stadiometru A-226 (Trystom, Olomouc, Česká republika). ALS a RLS byly stanoveny testem 20 submaximálních vertikálních skoků a RSI testem 5 maximálních vertikálních skoků. Oba testy byly prováděny na optickém časovacím systému Optojump Next (Microgate, Bolzano, Itálie) s přesností 0,001 s podle specifikace výrobce. Rychlost se změnou směru pohybu byla hodnocena pomocí 505 agility testu. Využit byl rovněž optický přístroj Optojump Next (Microgate, Bolzano, Itálie) a fotobuňky (PR1aW, ALGE-TIMING GmbH, Lustenau, Rakousko). Pro posouzení biomechaniky dopadu byl použit test vertikální skok jednož s protipohybem. Provedení pohybu hráček byl zaznamenáváno pomocí dvou videokamer (Sony HXR-NX5E, Sony Corporation, Tokyo, Japonsko) se standardní frekvencí 25 Hz. Biomechanika dopadu byla následně hodnocena pomocí škály LESS.

#### **Test 20 submaximálních vertikálních skoků**

Test 20 submaximálních vertikálních skoků umožnil získat údaje o době kontaktu a době letové fáze potřebné pro výpočet ALS i RLS (Lloyd et al., 2009). Testované hráčky absolvovaly 20 opakovaných skoků s cílem udržet frekvenci 2,5 Hz (mechanický metronom

Wittner, GmbH & Co. KG, Isny, Německo). Počáteční polohou byl stoj rozkročný s rovnoměrně rozloženou tělesnou hmotností na obou dolních končetinách. Hráčky byly dále instruovány, aby po celou dobu testu skákaly na jednom místě, dopadaly s nataženými dolními končetinami, a přitom držely ruce v bok a dívaly se před sebe do stejného místa. Hráčky absolvovaly celkem tři série skoků s odpočinkem dvě minuty mezi sériemi.

Absolutní tuhost dolních končetin (kN/m) byla vypočtena z parametrů tělesné hmotnosti (kg), doby letu (ms) a doby kontaktu (ms) pomocí rovnice dle Dalleau, Belli, Viale, Lacour & Bourdin (2004):

$$K_N = \frac{[M * \pi(T_f + T_c)]}{T_c^2 * \left[ \left( T_f + \frac{T_c}{\pi} \right) - \left( \frac{T_c}{4} \right) \right]}$$

*Vysvětlivky: M – tělesná hmotnost, T<sub>c</sub> – doba kontaktu (ms), T<sub>f</sub> – doba letu (ms), π – matematická konstanta*

Pro výpočet byly využity hodnoty průměru z šestého až patnáctého skoku z každé série (Dalleau et al., 2004). Pro následnou statistickou analýzu byla použita průměrná hodnota ze všech tří pokusů. RLS byla následně vypočtena vydělením ALS tělesnou hmotností a délkou dolních končetin, která byla určena jako rozdíl mezi výškou ve stoje a výškou vsedě (De Ste Croix et al., 2017; Lloyd et al., 2009).

Test je považován za validní i reliabilní (Dalleau et al., 2004; Lloyd et al., 2009) s korelačním koeficientem  $r_p = 0,93$  při zvolené frekvenci a hodnotou koeficientu vnitrotřídní korelace pro děti a dorostence  $ICC = 0,93$ . Pro ženy uvádějí De Ste Croix et al. (2018) variační koeficient  $CV = 8,2 \%$ , který se dá snížit dvojnásobným opakováním testu na  $7,2 \%$ . Korelační koeficient  $r_p = 0,98-0,99$ , koeficient vnitrotřídní korelace  $ICC = 0,82-0,86$  a variační koeficient  $CV = 5,9-6,8 \%$  ukazuje na vysokou validitu i reliabilitu přístroje Optojump při měření tuhosti dolních končetin a naznačuje vhodné užití tohoto přístroje, kdy na rozdíl od jiných přístrojů (Myotest) nedochází k nadhodnocování výsledků (Ruggiero, Dewhurst, & Bampouras, 2016).

### **Test 5 maximálních vertikálních skoků**

Test 5 maximálních vertikálních skoků z místa umožnil získat parametry potřebné pro výpočet RSI. Počáteční poloha hráček byla stejná jako u testu 20 submaximálních vertikálních skoků, tj. stoj rozkročný s rovnoměrně rozloženou tělesnou hmotností na obou dolních končetinách. Ragbistky také dodržovaly stejné instrukce – držet ruce v bok



pro odstranění odchylek z horní části těla, skákat na jednom místě, minimalizovat dobu kontaktu s podložkou, ale zároveň skákat co nejvýše a dívat se před sebe do stejného místa. Hráčky provedly tři pokusy, mezi kterými měly odpočinek dvě minuty.

RSI (m/s) představuje poměr výšky výskoku (mm) a doby kontaktu s podložkou (ms) (Flanagan & Comyns, 2008). V každém pokusu první skok sloužil jako skok s protipohybem a byl z výpočtu odstraněn. Z následujících čtyřech skoků byl vypočítán aritmetický průměr. Pro statistickou analýzu se použil pokus s nejvyšším průměrem.

RSI má vysokou validitu i reliabilitu, kdy  $\alpha > 0,95$ , korelační koeficient  $r_p = 0,90$  a koeficient vnitrotřídní korelace ICC = 0,90 (Flanagan & Comyns, 2008; Lloyd et al., 2009). Vysokou reliabilitu RSI jako indikátoru poranění LCA potvrzují rovněž Raschner et al. (2012), kteří uvádějí vysoký koeficient vnitrotřídní korelace ICC = 0,92 u mužů, u žen dokonce ICC = 0,97.

### **Test vertikální skok jednož s protipohybem**

Test vertikální skok jednož s protipohybem umožnil získat informace o technice dopadu po výskoku a byl proveden podle dříve publikovaných protokolů (Lehnert, Krejčí, Janura, & De Ste Croix, 2022). Hráčky se po dvou krokovém rozběhu odrazily jednož z preferované dolní končetiny s cílem vyskočit co nejvýše a s představou, že vyskakují pro míč nad hlavou. Po výskoku dopadaly na obě nohy. Úkolem také bylo provést pohyb plynule. Hráčkám nebyla poskytnuta žádná zpětná vazba ohledně techniky dopadu, instruovány byly pouze, pokud prováděly špatně fázi odrazu. Hráčky absolvovaly tři série skoků. Mezi pokusy byl dvouminutový odpočinek.

Provedení testu vertikální skok jednož s protipohybem bylo zaznamenáno pomocí dvou videokamer stojících 3,5 m před a napravo od místa dopadu. Kamery byly upevněny na stativech s objektivem ve výšce 1,3 m od podlahy. Videá byla zpracována zaškoleným hodnotitelem pomocí softwaru Kinovea (verze 0.8.15, <https://www.kinovea.org/>). K hodnocení byl využit 17položkový formulář LESS (Obrázek 5), který posuzuje odchylky od fyziologického provedení dopadu a měří počet chyb v jednotlivých položkách (Padua et al., 2009). U položek 1-15 je nula chyb zaznamenáno při správném provedení a jednou chybou při nedostatečném provedení. U položek 16 a 17 je hodnocen i celkový dojem provedení dopadu a chyby jsou hodnoceny v rozmezí 0-2. Biomechanika dopadu byla sledována v momentu počátečního kontaktu s podložkou a v maximálně flektované pozici. Hodnoceními

tělesnými segmenty byly hlezenní, kolenní, a kyčelní kloub a trup (Padua et al., 2009). Pro účely statistické analýzy bylo využito průměrné skóre LESS ze všech pokusů (Hanzlíková, Athens, & Hébert-Losier, 2020).

Test s originálním testovacím protokolem se ukazuje jako vhodný pro posuzování biomechaniky dopadu s koeficientem vnitrotřídní korelace ICC = 0,84 (Padua et al., 2015) a korelačním koeficientem  $r_p = 0,96$  (Schneider & DeBeliso, 2021).

## Obrázek 5

*Škála LESS (Padua et al., 2009, upraveno)*

Položka LESS	Definice položek	Hodnocení
1. Úhel flexe kolene: IC	Koleno je v okamžiku IC flektováno více než 30°	0 = Ano 1 = Ne
2. Úhel flexe kyčle: IC	Kyčelní kloub je v okamžiku IC flektován, stehno není v linii s trupem	0 = Ano 1 = Ne
3. Úhel flexe trupu: IC	Trup je v okamžiku IC v předklonu, není kolmo k zemi nebo v záklonu	0 = Ano 1 = Ne
4. Plantární flexe v kotníku: IC	Dopadá-li chodidlo testované DK v pořadí špička – pata, tak je skóre ANO. Dopadá-li na celé chodidlo nebo v pořadí pata – špička, skóre je NE	0 = Ano 1 = Ne
5. Valgozita v koleni: IC	Vertikála spuštěná ze středu patelly k zemi prochází mediálně od chodidla v okamžiku IC	0 = Ne 1 = Ano
6. Lateroflexe trupu: IC	Trup je v okamžiku IC ukloněn vlevo či vpravo	0 = Ne 1 = Ano
7. Šířka postoje – široké	V okamžiku plného kontaktu chodidel se zemí je jejich vzdálenost od sebe je větší, než je šířka ramen. V případě vnitřně nebo zevně rotovaných chodidel se hodnocení provádí podle umístění pat	0 = Ne 1 = Ano

8. Šířka postoje – úzké	V okamžiku plného kontaktu chodidel se zemí je jejich vzdálenost od sebe menší, než je šířka ramen. V případě vnitřně nebo zevně rotovaných chodidel se hodnocení provádí podle umístění pat	0 = Ne 1 = Ano
9. Pozice chodidla – vnitřní rotace	Chodidlo se nachází ve vnitřní rotaci větší než 30° kdykoliv od iniciálního kontaktu do okamžiku maximální flexe v koleni	0 = Ne 1 = Ano
10. Pozice chodidla – zevní rotace	Chodidlo se nachází v zevní rotaci větší než 30° kdykoliv od iniciálního kontaktu do okamžiku maximální flexe v koleni	0 = Ne 1 = Ano
11. Symetrický dopad chodidel	Pokud chodidla dopadají současně, skóre je ANO. Pokud nedopadají současně nebo jedno z nich dopadá v pořadí pata – špička, skóre je NE	0 = Ano 1 = Ne
12. Změna velikosti flexe v koleni	Změna velikosti flexe v koleni testované DK je větší než 45° (od IC do okamžiku maximální flexe v koleni)	0 = Ano 1 = Ne
13. Změna velikosti flexe v kyčli	Flexe v kyčelním kloubu se od IC do okamžiku maximální flexe v koleni zvětšila	0 = Ano 1 = Ne
14. Změna velikosti flexe v trupu	Flexe (předklon) v trupu se od IC do okamžiku maximální flexe v koleni zvětšila	0 = Ano 1 = Ne
15. Změna ve valgózním postavení kolene	V okamžiku maximálního valgózního postavení kolene prochází vertikála spuštěná ze středu patelly palcem nebo mediálně od něj	0 = Ne 1 = Ano
16. Tvrdost dopadu	Změna flexe v koleni, kyčli a trupu od IC do okamžiku maximální flexe je velká – skóre je MĚKKÉ, změna je průměrná – skóre je PRŮMĚR a změna velmi malá – skóre je TVRDÉ	0 = Měkké 1 = Průměr 2 = Tvrdé
17. Celkové hodnocení dopadu	Dopad je MĚKKÝ a ve frontální rovině nedochází k pohybu kolene testované DK – skóre je EXCELENTNÍ, dopad je TVRDÝ a dochází k pohybu kolene testované DK ve frontální rovině – skóre je SLABÝ a všechny ostatní dopady mají skóre PRŮMĚR	0 = Excelentní 1 = Průměr 2 = Slabý

Vysvětlivky: IC – iniciální kontakt, DK – dolní končetina

## 505 agility test

505 agility test umožnil získat parametry u hráček nutné pro zhodnocení rychlosti se změnou směru pohybu. Stanoven byl nejen celkový čas testu, ale také jednotlivé části, a to deset metrů dlouhý segment 1, kde docházelo k akceleraci, pět metrů dlouhý segment 2 (decelerace), kontaktní čas změny směru pohybu o 180° a pět metrů dlouhý segment 3, kde docházelo k opětovné akceleraci (Obrázek 6). Změna směru pohybu byla provedena přes dominantní i nedominantní dolní končetinu (Dos'Santos et al., 2019). Počáteční pozice hráček byla 50 cm před startovní čarou. Celkový čas i časy jednotlivých segmentů byly zaznamenávány v setinách sekundy fotobuňkami, které byly umístěny na startovní čáře a na konci segmentu 1 ve výšce kyčelního kloubu hráček a v místě otočky na zemi. Kontaktní čas byl měřen pomocí optického přístroje, který byl umístěn na místě otočky. Oproti standardnímu času 505 agility testu, který je stanoven bez segmentu 1, jsme se rozhodli zařadit do celkového času i tento segment, který odpovídá provedení testu sprintu na 10 metrů. U tohoto testu byla prokázána inverzí spojitost s deficitem ve změnách směru pohybu (Dos'Santos et al., 2019).

### Obrázek 6

*505 agility test (Dos'Santos et al., 2019, upraveno)*



Ragbistky absolvovaly celkově šest pokusů, kdy tři pokusy byly na jednu dolní končetinu a poté tři na druhou. Mezi pokusy byla dvouminutová pauza. Dominantní směr otáčení byl určen dle nejrychlejšího času (Draper & Lancaster, 1985). Pro statistickou analýzu byla použita průměrná hodnota ze všech tří pokusů pro otočku přes obě dolní končetiny.

Tento test měřící rychlost se změnou směru pohybu je vysoce reliabilní s variačním koeficientem  $CV = 1,9-2,4 \%$  a koeficientem vnitrotřídní korelace  $ICC = 0,73-0,94$  (Clarke, Read, De Ste Croix, & Hughes, 2020). U žen byl prokázán 505 agility test jako spolehlivý pro hodnocení změny směru pohybu v softballu a netballu (koeficient vnitrotřídní korelace  $ICC > 0,93$  resp.  $ICC = 0,96-0,97$ ) (Barber, Thomas, Jones, McMahon, & Comfort, 2016).

#### **4.4 Komplexní neuromuskulární program KneeRugbyWomen**

Experimentální skupina absolvovala 10minutový komplexní neuromuskulární tréninkový program KneeRugbyWomen (Tabulka 1) po dobu 12 týdnů dvakrát týdně pod dohledem autora práce. Na začátku hlavní části tréninkové jednotky proběhlo standardní 15minutové rozcvičení, které předcházelo neuromuskulárnímu programu a bylo společné pro ES i KS. Kontrolní skupina ve svém programu absolvovala rozvoj dovedností – přihrávek, což je standardní součást každé tréninkové jednotky. Program KS trval také 10 minut.

Sestavený intervenční program vychází ze současných trendů v programech prevence poranění LCA v kolektivních sportech (De Ste Croix et al., 2018; Kiani et al., 2010). Obsah programu a jeho realizovatelnost vzhledem k časovým nárokům i úrovni trénovanosti hráček byl rovněž konzultován a akceptován trenéry z klubů účastnících se výzkumu. Program se skládal z balančních cvičení, silových cvičení a plyometrických cvičení. Program byl individualizován pomocí čtyř úrovní provedení daného cvičení. U plyometrických cvičení docházelo k prodlužování délky skoku či dynamiky provedení daného cvičení, kde bylo hlavním atributem dodržování správné techniky provedení. Po správném zvládnutí techniky docházelo k nárůstu až do maximálního úsilí. Do programu byla zahrnuta dvě balanční cvičení, první cvičení bylo prováděno ve stoji na jedné dolní končetině, kdy nejjednodušší varianta obsahovala statický cvik a postupně došlo k ztěžování cvičení pomocí pohybů druhé končetiny. Druhý cvik byl dynamický, kde pro ztížení varianty byly využity rotace a změna těžiště. Silová cvičení využívala odporové gummy pro zvýšení úrovně cvičení. Celkem byly prováděny tři cvičení z této kategorie, přičemž první cvičení bylo zaměřeno na hamstringy a gluteální svaly, druhé cvičení na abduktory kyčelního kloubu a třetí cvičení bylo komplexního charakteru se zapojením většiny svalů dolních končetin. Do programu bylo zařazeno pět plyometrických cvičení, kde pouze první bylo s odrazem z obou dolních končetin. Při ostatních cvičeních se hráčky odrážely z jedné dolní končetiny a současně prováděly pohyby v různých rovinách, včetně rotací. Interval odpočinku mezi cvičeními byl definován jako polovina času předešlého

cvičení. Cvičení byla vybírána tak, aby zabránila vzniku svalových dysbalancí. Klíčovou součástí programu bylo správné provedení cvičení, proto bylo podmíněno zvýšení úrovně daného cvičení zvládnutím správné techniky. Před intervencí proběhla familiarizace, kde se hráčky učily správnému technickému provedení jednotlivých cviků. Kromě praktického předvedení a slovního instruování byly využity videoukázky. Během intervence docházelo ke korekci techniky autorem práce a trenéry při každém cviku. Zpětná vazba u plyometrických cvičení spočívala zejména v korekci správné techniky dopadu, kdy klíčovým prvkem byl měkký dopad, a tedy koordinace pohybů při dopadu s důrazem na postavení kolen.

## Tabulka 1

### *Komplexní neuromuskulární program KneeRugbyWomen*

Typ cvičení	Doba trvání	Úroveň 1	Úroveň 2	Úroveň 3	Úroveň 4
Balanční cvičení	30 s obě končetiny	Skrčit přednožmo	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 odporovou gumou nad koleny	Most na lopatkách na jedné noze	Most na lopatkách s posunem chodidel (walking bridge)
	30 s obě končetiny	Laterální zvedání dolní končetiny vleže naboku	Laterální zvedání dolní končetiny vleže naboku pokrčmo („škeble“)	Laterální zvedání dolní končetiny s odporovou gumou	Laterální zvedání dolní končetiny vleže naboku pokrčmo s odporovou gumou („škeble“)
	30 s	Podřep do výponu	Podřep do výponu s rezistenční gumou nad koleny		
Plyometrická cvičení	30 s	Skoky snožmo dopředu a dozadu			
	30 s	Laterální skoky jednož			
	30 s	Laterální skoky jednož s rotací			
	30 s	Laterální skoky jednož křížmo			
	15 s obě k.	Poskoky jednož dopředu a dozadu			

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

## 4.5 Statistická analýza dat

Statistická analýza byla provedena v Microsoft Excel (Microsoft 365, verze 2109, Microsoft Corp, Redmond, USA) a RStudio (verze 1.1.463 a verze 4.0.5, R Core Team, Vídeň, Rakousko). Normalita rozložení dat byla ověřena pomocí Kolmogorov-Smirnov testu s hladinou významnosti nastavenou na  $\alpha = 0,05$ . Data nebyla normálně rozložena, proto byly využity neparametrické statistické metody. Pro každé měření bylo užito základní popisné statistiky s využitím mediánů a mezikvartilové rozpětí (IQR). Pro porovnání změn mezi vstupním a výstupními měřeními bylo použito Wilcoxonova párového testu. Rozdíly mezi experimentální a kontrolní skupinou bylo provedeno pomocí Mann-Whitneyova U testu. Rozdíl mezi skupiny byl kvantifikován Hodges-Lehmann odhadem mediánových rozdílů (MD) s 95 % konfidenčními intervaly (interval spolehlivosti) [dolní, horní]. U každého výsledku došlo ke čtyřem statistickým operacím, proto byla použita Bonferroniho metoda pro kontrolu statistické chyby typu 1. Hladina významnosti pro každý ze čtyř testů byla nastavena na  $\alpha_B = 0,05/4 = 0,0125$ . Věcná významnost byla posuzována podle koeficientu velikosti účinku Wilcoxonova  $r$  ( $r = z/\sqrt{n}$ ), kde  $z$ -skóre bylo získáno pomocí testovacího postupu Wilcoxonova nebo Mann-Whitneyova testu, s velikostí souboru reprezentovanou jako  $n$  (Fritz, Morris, & Richler, 2012). Efekt byl určen podle Pallant (2011) jako malý, střední a velký s prahovými hodnotami  $r = 0,1, 0,3$  a  $0,5$ .



## 5. VÝSLEDKY

Meziskupinové porovnání hodnot ALS mezi ES a KS neprokázalo významné rozdíly před intervencí (MD = 1,51 [-2,43–5,64],  $p = 0,285$ ,  $r = 0,22$  [0,01–0,62]) ani po intervenci (MD = 0,81 [-1,40–4,78],  $p = 0,751$ ,  $r = 0,07$  [0,00–0,53]).

U ES i KS došlo ke snížení hodnot mediánů v porovnání vstupního a výstupního měření, avšak tato snížení nebyla signifikantní (Tabulka 2).

**Tabulka 2**

*Porovnání výsledků testů pro absolutní tuhost dolních končetin (kN/m)*

Skupina	Medián (IQR)		MD [95 % CI]	$p$	$r$ [95 % CI]
	Vstupní měření	Výstupní měření			
ES	25,98 (5,75)	23,72 (5,29)	1,58 [-0,65–3,11]	0,110	0,48 [0,07–0,89]
KS	23,04 (4,92)	22,60 (1,34)	0,78 [-0,94–4,35]	0,339	0,29 [0,02–0,82]

Vysvětlivky: ES – experimentální skupina, KS – kontrolní skupina, IQR – mezikvartilové rozpětí, MD – Hoghes-Lehmann odhad mediánových rozdílů, CI – konfidenční intervaly,  $p$  – hladina statistické významnosti,  $r$  – velikost efektu.

Hodnoty RLS se mezi ES a KS významně nelišily před intervencí (MD = 3,44 [-4,33–8,62],  $p = 0,198$ ,  $r = 0,27$  [0,01–0,67]), ani po intervencí (MD = 2,97 [-1,29–7,47],  $p = 0,184$ ,  $r = 0,28$  [0,01–0,67]).

Stejně jako u ALS došlo při porovnání vstupního a výstupního měření u ES i KS ke snížení hodnot mediánů RLS. Toto snížení však nebylo statisticky významné (Tabulka 3).

**Tabulka 3**

*Porovnání výsledků testů pro relativní tuhost dolních končetin*

Skupina	Medián (IQR)		MD [95 % CI]	$p$	$r$ [95 % CI]
	Vstupní měření	Výstupní měření			
ES	32,67 (7,86)	30,48 (7,69)	2,07 [-0,13–3,98]	0,052	0,57 [0,11–0,89]
KS	27,58 (6,92)	26,92 (4,34)	1,68 [-0,22–5,76]	0,052	0,57 [0,07–0,89]

Vysvětlivky: ES – experimentální skupina, KS – kontrolní skupina, IQR – mezikvartilové rozpětí, MD – Hoghes-Lehmann odhad mediánových rozdílů, CI – konfidenční intervaly,  $p$  – hladina statistické významnosti,  $r$  – velikost efektu.

Jak ukázalo meziskupinové porovnání, hodnoty RSI se mezi ES a KS před intervencí (MD = -0,06 [-0,27–0,17],  $p = 0,632$ ,  $r = 0,11$  [0,01–0,49]) významně nelišily. Naopak po intervenci (MD = 0,21 [0,07–0,39],  $p = 0,007$ ,  $r = 0,55$  [0,21–0,78]) měly hráčky ES hodnoty RSI významně vyšší, než hráčky KS.

Z hlediska vnitroskupinového porovnání došlo po absolvování komplexního neuromuskulárního programu KneeRugbyWomen k signifikantní změně hodnot RSI pouze u ES. Hodnoty věcné významnosti ukazují na velký efekt neuromuskulárního programu na RSI (Tabulka 4).

**Tabulka 4**

*Porovnání výsledků testů pro reaktivní sílu dolních končetin (m/s)*

Skupina	Medián (IQR)		MD [95 % CI]	$p$	$r$ [95 % CI]
	Vstupní měření	Výstupní měření			
ES	0,58 (0,30)	0,86 (0,30)	-0,19 [-0,31– -0,03]	0,012 <sup>+</sup>	0,70 [0,27–0,88]
KS	0,63 (0,33)	0,59 (0,19)	0,04 [-0,07–0,14]	0,531	0,19 [0,01–0,70]

Vysvětlivky: ES – experimentální skupina, KS – kontrolní skupina, IQR – mezikvartilové rozpětí, MD – Hoghes-Lehmann odhad mediánových rozdílů, CI – konfidenční intervaly,  $p$  – hladina statistické významnosti,  $r$  – velikost efektu, + statisticky významné rozdíly uvnitř skupin (Wilcoxonův párový test).

V případě škály LESS se hodnoty ES a KS významně lišily před intervencí (MD = -1,99 [-3,33– -0,67],  $p = 0,008$ ,  $r = 0,55$  [0,19–0,81]) i po intervenci (MD = -2,33 [-3,00– -1,00],  $p = 0,003$ ,  $r = 0,60$  [0,23–0,84]) s vyšším počtem chyb u KS.

Z hlediska vnitroskupinového porovnání nedošlo po absolvování neuromuskulárního tréninkového programu u ES ani u KS k signifikantním změnám LESS, efekt u ES byl stanoven jako malý (Tabulka 5).

### Tabulka 5

*Porovnání výsledků testů pro hodnoty škály Landing Error Scoring System (počet chyb)*

Skupina	Medián (IQR)		MD [95 % CI]	$p$	$r$ [95 % CI]
	Vstupní měření	Výstupní měření			
ES	5,00 (2,00)	4,33 (1,33)	0,50 [-0,83–1,66]	0,366	0,27 [0,00–0,82]
KS	7,33 (0,67)	6,17 (1,33)	0,17 [-1,16–1,67]	0,906	0,05 [0,00–0,69]

Vysvětlivky: ES – experimentální skupina, KS – kontrolní skupina, IQR – mezikvartilové rozpětí, MD – Hoghes-Lehmann odhad mediánových rozdílů, CI – konfidenční intervaly,  $p$  – hladina statistické významnosti,  $r$  – velikost efektu.

Jak ukázalo meziskupinové porovnání, hodnoty celkového času 505 agility testu se mezi ES a KS před intervencí u otočky přes dominantní dolní končetinu (MD = -0,24 [-0,46–0,01],  $p = 0,064$ ,  $r = 0,38$  [0,04–0,73]) ani u otočky přes nedominantní dolní končetinu (MD = -0,21 [-0,47–0,01],  $p = 0,069$ ,  $r = 0,38$  [0,06–0,69]) významně nelišily. Po intervenci se hodnoty celkového času 505 agility testu mezi ES a KS u otočky přes dominantní dolní končetinu (MD = -0,34 [-0,55– -0,14],  $p = 0,002$ ,  $r = 0,637$  [0,31–0,82]) i u otočky přes nedominantní dolní končetinu (MD = -0,29 [-0,50– -0,09],  $p = 0,007$ ,  $r = 0,55$  [0,24–0,78]) významně lišily.

Vnitroskupinové porovnání prokázalo u ES statisticky nevýznamné zlepšení u otoček přes obě dolní končetiny, avšak u otočky přes dominantní dolní končetinu byl nalezen střední efekt. Naopak u KS nedošlo ke snížení mediánů časů 505 agility testu u otoček přes obě dolní končetiny (Tabulka 6).

### Tabulka 6

*Porovnání výsledků testů pro čas 505 agility testu (s)*

Skupina	Medián (IQR)		MD [95 % CI]	$p$	$r$ [95 % CI]
	Vstupní měření	Výstupní měření			
ES DDK	4,64 (0,27)	4,53 (0,15)	0,05 [-0,03–0,17]	0,147	0,43 [0,02–0,89]
KS DDK	4,85 (0,45)	4,92 (0,44)	-0,04 [-0,17–0,05]	0,272	0,33 [0,02–0,82]
ES NDK	4,70 (0,19)	4,66 (0,19)	0,04 [-0,05–0,13]	0,327	0,30 [0,02–0,75]
KS NDK	4,93 (0,52)	4,96 (0,42)	0,02 [-0,15–0,05]	0,540	0,24 [0,01–0,81]

Vysvětlivky: ES – experimentální skupina, KS – kontrolní skupina, DDK – dominantní dolní končetina, NDK – nedominantní dolní končetina, IQR – mezikvartilové rozpětí, MD – Hoghes-Lehmann odhad mediánových rozdílů, CI – konfidenční intervaly,  $p$  – hladina statistické významnosti,  $r$  – velikost efektu.

Vnitroskupinové porovnání neprokázalo u ES statisticky významné zlepšení u jednotlivých segmentů u otoček přes obě dolní končetiny, pouze u segmentu 1 u otočky přes dominantní dolní končetinu byl nalezen střední efekt.

Porovnání hodnot mezi provedením otoček přes dominantní a nedominantní dolní končetinu neprokázalo signifikantní změnu u ES a KS ve vstupním, ani výstupním měření ( $p > 0,05$ ). Významné rozdíly nebyly identifikovány ani u jednotlivých segmentů. Kompletní výsledky jednotlivých segmentů jsou znázorněny v Tabulce 7.

### Tabulka 7

*Porovnání výsledků jednotlivých segmentů 505 agility testu (s)*

	ES medián (IQR)		KS medián (IQR)	
	Vstupní měření	Výstupní měření	Vstupní měření	Výstupní měření
<b>Otočka DDK</b>				
Segment 1	2,01 (0,09)	2,01 (0,13)	2,14 (0,09)	2,08 (0,14)
Segment 2	1,06 (0,08)	1,02 (0,13)	1,06 (0,11)	1,10 (0,17)
Kontaktní čas	0,449 (0,14)	0,405 (0,13)	0,418 (0,09)	0,447 (0,17)
Segment 3	1,57 (0,17)	1,57 (0,22)	1,64 (0,31)	1,68 (0,24)
<b>Otočka NDK</b>				
Segment 1	2,04 (0,12)	2,05 (0,13)	2,16 (0,20)	2,16 (0,17)
Segment 2	1,06 (0,13)	1,02 (0,08)	1,08 (0,14)	1,07 (0,05)
Kontaktní čas	0,408 (0,14)	0,440 (0,09)	0,515 (0,13)	0,433 (0,10)
Segment 3	1,60 (0,13)	1,54 (0,21)	1,74 (0,26)	1,70 (0,17)

Vysvětlivky: ES – experimentální skupina, KS – kontrolní skupina, DDK – dominantní dolní končetina, NDK – nedominantní dolní končetina, IQR – mezikvartilové rozpětí.

Výsledky vnitroskupinového porovnání ES mezi vstupním a výstupním měřením pro otočku přes dominantní dolní končetinu:

- Segment 1 (MD = 0,04 [-0,03–0,10],  $p = 0,195$ ,  $r = 0,38$  [0,02–0,82]).
- Segment 2 (MD = 0,03 [-0,40–0,11],  $p = 0,346$ ,  $r = 0,28$  [0,01–0,75]).
- Kontaktní čas (MD = 0,03 [-0,04–0,13],  $p = 0,380$ ,  $r = 0,27$  [0,00–0,73]).
- Segment 3 (MD = -0,02 [-0,16–0,12],  $p = 0,859$ ,  $r = 0,07$  [0,01–0,67]).

Výsledky vnitroskupinového porovnání ES pro otočku přes nedominantní dolní končetinu:

- Segment 1 (MD = 0,01 [-0,06–0,06],  $p = 0,859$ ,  $r = 0,05$  [0,01–0,63]).
- Segment 2 (MD = 0,01 [-0,06–0,11],  $p = 0,625$ ,  $r = 0,15$  [0,01–0,65]).
- Kontaktní čas (MD = 0,03 [-0,06–0,11],  $p = 0,569$ ,  $r = 0,18$  [0,00–0,68]).
- Segment 3 (MD = 0,03 [-0,09–0,13],  $p = 0,844$ ,  $r = 0,07$  [0,00–0,66]).

Vnitroskupinovým porovnáním u KS nebyly zjištěny statisticky významné změny, pouze u segmentu 1 u otočky přes nedominantní dolní končetinu byl nalezen střední efekt.

Výsledky pro otočku přes dominantní dolní končetinu:

- Segment 1 (MD = 0,02 [-0,03–0,06],  $p = 0,456$ ,  $r = 0,23$  [0,01–0,74]).
- Segment 2 (MD = 0,05 [-0,21–0,06],  $p = 0,476$ ,  $r = 0,25$  [0,01–0,85]).
- Kontaktní čas (MD = 0,00 [-0,11–0,11],  $p = 0,970$ ,  $r = 0,02$  [0,00–0,66]).
- Segment 3 (MD = -0,02 [-0,09–0,07],  $p = 0,583$ ,  $r = 0,17$  [0,01–0,70]).

Výsledky vnitroskupinového porovnání KS pro otočku přes nedominantní dolní končetinu:

- Segment 1 (MD = -0,03 [-0,09–0,01],  $p = 0,230$ ,  $r = 0,33$  [0,02–0,77]).
- Segment 2 (MD = 0,00 [-0,09–0,11],  $p = 0,969$ ,  $r = 0,02$  [0,01–0,66]).
- Kontaktní čas (MD = 0,03 [-0,12–0,18],  $p = 0,622$ ,  $r = 0,16$  [0,00–0,71]).
- Segment 3 (MD = 0,03 [-0,11–0,12],  $p = 0,622$ ,  $r = 0,16$  [0,00–0,68]).

Výsledky meziskupinového porovnání jednotlivých segmentů se mezi ES a KS významně lišily u segmentu 1 při otočce přes dominantní dolní končetinu u vstupního i výstupního měření se středním efektem.

Výsledky meziskupinového porovnání vstupního měření pro otočku přes dominantní dolní končetinu:

- Segment 1 (MD = -0,11 [-0,19– -0,02],  $p = 0,021$ ,  $r = 0,48$  [0,08–0,76]).
- Segment 2 (MD = 0,01 [-0,07–0,07],  $p = 0,885$ ,  $r = 0,04$  [0,01–0,45]).
- Kontaktní čas (MD = 0,04 [-0,06–0,10],  $p = 0,881$ ,  $r = 0,01$  [0,01–0,48]).
- Segment 3 (MD = -0,13 [-0,26–0,03],  $p = 0,882$ ,  $r = 0,35$  [0,04–0,68]).

Výsledky meziskupinového porovnání vstupního měření pro otočku přes nedominantní dolní končetinu:

- Segment 1 (MD = -0,07 [-0,19–0,04],  $p = 0,203$ ,  $r = 0,26$  [0,02–0,63]).
- Segment 2 (MD = -0,02 [-0,11–0,07],  $p = 0,623$ ,  $r = 0,11$  [0,01–0,52]).
- Kontaktní čas (MD = 0,04 [-0,15–0,07],  $p = 0,590$ ,  $r = 0,12$  [0,01–0,53]).
- Segment 3 (MD = -0,13 [-0,25–0,03],  $p = 0,348$ ,  $r = 0,44$  [0,06–0,73]).

Výsledky meziskupinového porovnání výstupního měření pro otočku přes dominantní dolní končetinu:

- Segment 1 (MD = -0,11 [-0,23–0,01],  $p = 0,037$ ,  $r = 0,43$  [0,06–0,71]).
- Segment 2 (MD = -0,07 [-0,17–0,02],  $p = 0,157$ ,  $r = 0,30$  [0,02–0,62]).
- Kontaktní čas (MD = -0,07 [-0,19–0,06],  $p = 0,386$ ,  $r = 0,18$  [0,01–0,54]).
- Segment 3 (MD = -0,13 [-0,28–0,01],  $p = 0,069$ ,  $r = 0,38$  [0,05–0,68]).

Výsledky meziskupinového porovnání výstupního měření pro otočku přes nedominantní dolní končetinu:

- Segment 1 (MD = -0,09 [-0,19–0,06],  $p = 0,064$ ,  $r = 0,38$  [0,04–0,70]).
- Segment 2 (MD = -0,04 [-0,09–0,04],  $p = 0,213$ ,  $r = 0,26$  [0,01–0,63]).
- Kontaktní čas (MD = 0,00 [-0,09–0,07],  $p = 0,885$ ,  $r = 0,04$  [0,01–0,46]).
- Segment 3 (MD = -0,14 [-0,28–0,01],  $p = 0,053$ ,  $r = 0,40$  [0,07–0,71]).



## 6. DISKUSE

Tato studie je pravděpodobně první experimentální studií zaměřenou na prevenci poranění LCA u amatérských ragbistek. Hlavním zjištěním provedeného výzkumu bylo, že statisticky významné účinky komplexního neuromuskulárního programu KneeRugbyWomen byl nalezeny pouze u indikátoru RSI, kdy byl efekt hodnocen jako velký. Tento výsledek naznačuje, že účinnost programu byla omezená a nevedla k očekávanému zlepšení rizikových faktorů neuromuskulární kontroly kolenního kloubu, biomechaniky dopadu a rychlosti se změnou směru pohybu.

### 6.1 Tuhost dolních končetin

V naší studii byly použity testy založené na opakovaném provedení vertikálních skoků, abychom posoudili, jak se v důsledku tréninkové intervence změnila tuhost dolních končetin a RSI, které jsou základními indikátory efektivního chování SSC (Comuk & Erden, 2012). Dřívější studie naznačují, že RSI má s tuhostí dolních končetin pouze omezenou spojitost, což může vysvětlit rozdílnost mezi výsledky RSI a ALS s RLS (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2011).

Hodnoty ALS u ES a KS při vstupním měření jsou srovnatelné s hodnotami hráček z kolektivních sportů soutěžní kategorie U16 (Lehnert et al., 2020), kdy jsou hodnoty U16 oproti naší ES nepatrně nižší, zatímco oproti KS nepatrně vyšší (U16:  $24,60 \pm 5,00$  kN/m, ES: 25,98 kN/m, KS: 23,04 kN/m). Při porovnání uvedených skupin sportovkyň je třeba zohlednit, že naše skupiny mají oproti hráčské kategorii U16 větší věkové rozmezí (ES:  $20,05 \pm 4,43$  let, KS:  $20,04 \pm 4,88$  let) a že mezi 17-20 lety života lze předpokládat nárůst hodnot tuhosti dolních končetin (Ward et al., 2019). Dále je potřeba vzít v úvahu, že skupina soutěžní kategorie U16 byla složena z elitních hráček kolektivních sportů, zatímco naše skupiny byly složeny z amatérských ragbistek. Výkonnostní úroveň by proto mohla mít vliv na hodnoty ALS (Jarvis et al., 2022). Podobné výsledky jako u našeho souboru byly pozorovány u zdravé populace žen ve věku od 21 do 31 let (Granata, Padua, & Wilson, 2002), pro kterou byly zjištěny hodnoty ALS  $26,30 \pm 6,50$  kN/m. Je však třeba vzít v úvahu, že i když byl použit podobný testovací protokol jako v naší studii, byl využit odlišný měřicí přístroj, což mohlo ovlivnit výsledky. U jednoho ze dvou klubů, které se této studii účastnily,

proběhlo měření na dospělých amatérských hráčích ragby (průměr  $\pm$  směrodatná odchylka: věk  $24,00 \pm 2,70$  let, tělesná výška  $180,80 \pm 5,00$  cm, tělesná hmotnost  $82,30 \pm 9,80$  kg), kteří dosáhli hodnot ALS  $37,10 \pm 6,85$  kN/m. Statisticky významné rozdíly byly pozorovány při srovnání s částí ragbistek z našeho výzkumného souboru ( $30,20 \pm 5,95$  kN/m), které odpovídaly věkovému složení jejich mužských spoluhráčů (průměr  $\pm$  směrodatná odchylka: věk  $24,20 \pm 3,10$  let, tělesná výška  $167,80 \pm 6,40$  cm, tělesná hmotnost  $69,20 \pm 7,70$  kg) (Hlavatý, 2022). Rozdíly v hodnotách ALS mezi vybranými hráčkami pro srovnání s muži (Hlavatý, 2022) a celým výzkumným souborem z naší studie jsou v souladu s nárůstem ALS během dospívání (Laffaye et al., 2016). Při sledování hodnot ve věkové kategorii od 11 do 20 let (Laffaye et al., 2016) docházelo ke zvyšování průměrných hodnot ALS, kdy v kategorii 11-12 let byly u dívek zjištěny hodnoty  $26,60 \pm 9,0$  kN/m, v kategorii 15-16 let  $30,80 \pm 10,30$  kN/m a v kategorii 19-20 let hodnoty  $39,4 \pm 10,9$  kN/m. U dívek mezi 16-18 rokem života bylo oproti chlapcům stejného věku nalezeno snížení hodnot ALS, které autoři přisuzují procentuálnímu zvýšení tělesného tuku u dívek v tomto věku.

Porovnání hodnot RLS ze vstupního měření ES a KS se stejnou hráčskou kategorií U16 (Lehnert et al., 2020) jako u parametru ALS, ukazují se hodnoty vyšší u kategorie U16 (ES:  $32,67$ , KS:  $27,58$ , U16:  $34,10 \pm 6,80$ ). To může být způsobeno rozdíly v antropometrických hráček. V naší studii měly hráčky vyšší tělesnou hmotnost při podobné tělesné výšce (tělesná výška ES:  $166,54 \pm 4,46$  cm, tělesná hmotnost ES:  $64,65 \pm 6,44$  kg, výška KS:  $166,83 \pm 7,30$  cm, tělesná hmotnost KS:  $69,83 \pm 12,84$  kg, tělesná výška U16:  $166,10 \pm 5,80$  cm, tělesná hmotnost U16:  $59,10 \pm 7,90$  kg). Při srovnání s mužskými amatérskými hráči z klubu účastnícího se studie byly naměřeny hodnoty RLS  $39,60 \pm 6,83$  oproti  $36,70 \pm 6,76$  u jejich spoluhráček, které byly součástí našeho výzkumného souboru, což nepředstavovalo statisticky významný rozdíl. Rozličenost ve výsledcích ALS a RLS vysvětlujeme především vyšší tělesnou hmotností mužů (muži:  $82,30 \pm 9,80$  kg, ženy:  $69,20 \pm 7,70$  kg) (Hlavatý, 2022).

Absence zlepšení tuhosti dolních končetin po absolvování komplexního neuromuskulárního programu KneeRugbyWomen naznačuje, že nedošlo k ovlivnění schopnosti odolávat deformaci, která vzniká během SSC (Padua et al., 2006). U obou skupin nedošlo ke statisticky významné změně, nelze však opomenout, že u ES i KS došlo ke snížení hodnot mediánů. Vzhledem k tomuto zjištění u obou ukazatelů tuhosti dolních končetin lze předpokládat, že nedošlo ke zlepšení neuromuskulární kontroly během SSC, snížení

pravděpodobnosti zatížení pasivních struktur kolene a LCA, a tedy ve svém důsledku ke snížení rizika poranění LCA během specifických pohybů v ragby (Komi, 2000; Padua et al., 2006).

Výsledky provedené studie mohou být ovlivněny výkonnostní úrovní, věkem, pohlavím, celkovým počtem tréninkových jednotek (Faude et al., 2017) celkovou délkou programu v týdnech (Kiani et al., 2010), frekvencí uplatnění preventivních cvičení ve sledovaném mikrocyklu (De Ste Croix et al., 2018; LaBella et al., 2011), nebo kvalitou technického provedení uplatněných cvičení, zejména dopadu (Padua et al., 2009). V předchozích studiích byla větší efektivita intervence nalezena u hráčů kolektivních sportů na vysoké hráčské úrovni ve srovnání s hráči na nízké úrovni a u starších hráčů ve srovnání s mladšími (Faude et al., 2017). Ragbistky, které se zúčastnily naší studie, jsou amatérskými hráčkami trénujícími pouze třikrát týdně, což mohlo snížit efektivitu programu. Z hlediska frekvence preventivního tréninkového programu v mikrocyklu je doporučováno zařazení alespoň 1,5krát týdně (Barengo et al., 2014). Tento požadavek hráčky ES splnily, jelikož podmínkou pro finální zařazení do studie, bylo absolvování komplexního neuromuskulárního programu KneeRugbyWomen dvakrát týdně. Při ověřování účinnosti dlouhodobých intervencí výzkumníci rovněž pracovali s měnící se frekvencí během ročního tréninkového cyklu, např. třikrát během přípravného období a pouze jednou během soutěžního období. V omezených časových možnostech amatérského sportu je vhodné mít na paměti, že dlouhodobá aplikace programů prevence poranění se jeví jako klíčová a může být účinná i s omezenou a proměnlivou frekvencí během ročního tréninkového cyklu (Kiani et al., 2010; Mandelbaum et al., 2005). Pravděpodobně jako nedostatečná se ukazuje celková doba trvání zatížení v rámci komplexního neuromuskulárního programu KneeRugbyWomen, která byla přibližně čtyři hodiny. Studie, které potvrdily efekt preventivního tréninkového programu na riziko poranění dolních končetin (LaBella et al., 2011; Taylor, Waxman, Richter, & Shultz, 2013), vykazovaly celkovou dobu trvání zatížení minimálně 10 hodin. Jen v omezené míře byl zjištěn efekt programu s podobnou skladbou, který měl kratší celkovou dobu trvání (Li, Liu, & Zhang, 2018). Zde je však nutné poznamenat, že u ES i KS docházelo ke stejnému rozcvičení v době trvání 15 minut, které předcházelo intervenci a bylo standardní součástí všech tréninkových jednotek. Proto je otázkou, zdali by k intervenčním změnám v tuhosti dolních končetin došlo po zařazení programu do tréninku hráček po delší časové období. Při tvorbě našeho programu jsme vycházeli z dlouhodobé studie, kde měl program podobnou délku trvání a složení, avšak obsahoval standardizované 10minutové rozcvičení (Kiani et al., 2010), které v naší studii nebylo zahrnuto. Také další studie vycházel ze specifického

neuromuskulárního rozcvičení, kdy kontrolní skupina absolvovala obvyklé rozcvičení (LaBella et al., 2011). Z výše zmíněných úspěšných studií vyplývá úvaha pro další ověření komplexního neuromuskulárního programu KneeRugbyWomen, zda zařazení standardizovaného rozcvičení v rámci tohoto programu zvýší jeho účinnost.

V kontextu úspěšných intervenčních programů prevence poranění náš neuromuskulární program neobsahoval trénink rychlosti se změnou směru pohybu (De Ste Croix et al., 2018; Zebis et al., 2016). U jednoho z úspěšných programů, z kterého jsme čerpali, byl trénink realizován jednou týdně v rámci řízené tréninkové jednotky a dvakrát týdně v rámci individuální přípravy. Složení i délka programu byly podobné naší intervenci, avšak lišily se frekvencí (dvakrát oproti třikrát týdně) i celkovou dobou intervence (12 oproti 16 týdnům). Diskutabilní se jeví kontrola techniky provedení jednotlivých cvičení v rámci individuální přípravy (De Ste Croix et al., 2018), od čehož jsme v naší studii upustili.

Zjištění studie, včetně tuhosti dolních končetin, mohly být ovlivněny specifiky sezóny, ve které byla intervenční studie provedena. Jak ukazuje měření u dospělých ragbyových hráčů, po absolvování soutěžního období, došlo vlivem únavy k signifikantnímu poklesu hodnot tuhosti dolních končetin (Oliver, Lloyed, & Whitney, 2015). Nicméně je nutné dodat, že u našeho vzorku došlo po konci soutěžního období k absolvování přípravného období, které by mělo tento pokles eliminovat.

Rozdílnost výsledků výše uvedených studií, ve kterých byla, oproti naší studii, potvrzena vysoká účinnost programů prevence poranění může být také vysvětlena rozdíly ve věkovém složení. Většina předchozích studií se zaměřovala na mladé sportovkyně ve věku 13 až 19 let (Kiani et al., 2010), 11 až 16 let (De Ste Croix et al., 2018), případně pouze na mladší věkově homogenní skupinu s průměrem 14,9 let (Attene et al., 2015). Jednalo se převážně o výzkum v období zvýšeného rizika poranění LCA do 19 roku života (Crotti et al., 2024; Renstrom et al., 2008).

## **6.2 Reaktivní síla dolních končetin**

RSI je indikátorem neuromuskulární kontroly, který ukazuje na schopnost svalů vytvořit co největší silový impuls a rychle a efektivně realizovat dynamické pohyby (Garetxana et al., 2024; Haff & Triplett, 2015). Vyšší hodnoty RSI jsou asociovány s efektivní neuromuskulární kontrolou a využitím elastické energie v SSC (Flanagan and Comyns, 2008; Jarvis et al., 2022).

Při porovnání námi sledovaných hráček se skupinou elitních hráček pohybově podobných kolektivních sportů fotbalu, házené, florbalu a basketbalu z kategorie U16 (Lehnert et al., 2020) sledujeme výrazně nižší hodnoty RSI při vstupním měření u obou námi měřených skupin (ES: 0,58 m/s, KS: 0,63 m/s, U16:  $1,34 \pm 0,24$  m/s) a ani po absolvování neuromuskulárního programu hodnoty RSI (výstupní měření ES: 0,86 m/s) nedosahovaly úrovně hráček výše zmíněné kategorie U16. Nižší hodnoty RSI v našem výzkumu mohou být zdůvodněny nižší úrovní výkonnosti (Flanagan & Comyns, 2008). I přes nižší hodnoty data naznačují, že mohlo dojít ke zlepšení napínacího reflexu, pozitivnímu vlivu na rychlost rozvoje síly a desensibilizaci Golgiho šlachových tělísek, což vše ukazuje na rozvoj nervosvalových mechanismů podílejících se na snižování rizika poranění (Lloyd et al., 2009; Lloyd et al., 2011). Při srovnání mužů z jednoho klubu účastnícího se studie a části ragbistek z našeho výzkumného souboru, které odpovídaly věkovému složení ragbistů, nebyly zaznamenány signifikantní rozdíly mezi skupinami. U ragbistů byly naměřeny hodnoty  $0,87 \pm 0,4$  m/s a u ragbistek  $0,71 \pm 0,25$  m/s (Hlavatý, 2022).

Po absolvování komplexního neuromuskulárního tréninku KneeRugbyWomen byl nalezen významný nárůst hodnot RSI u ES. Zatímco mezi skupinami nebyly před intervencí zaznamenány významné rozdíly, po intervenci dosáhla ES výrazně vyšších hodnot RSI ve srovnání s KS. Tento nárůst reaktivní síly po neuromuskulární intervenci je v souladu s předchozími studiemi (Flanagan & Comyns, 2008; Rebelo et al., 2022), které ukazují, že trénink zaměřený na neuromuskulární koordinaci může vést k významnému zlepšení RSI.

Zlepšení RSI ukazuje na zvýšenou schopnost náboru motorických jednotek, a tedy rychlé produkce svalové síly a tím i zvýšení tolerance hráček vůči excentrickému zatížení svalově-šlachové jednotky v průběhu SSC. Zlepšení neuromuskulární kontroly tak mohlo snížit síly působící na svaly a vazy při pohybech typických pro ragby, jako je dopad na jednu nohu nebo změna směru a snížit tak riziko poranění LCA hráček (Faude et al., 2017). Zjištění současně ukazuje na potenciál komplexního neuromuskulárního programu KneeRugbyWomen pro zlepšení herního výkonu v ragby žen, neboť zvýšení reaktivní síly se mohlo pozitivně projevit v kvalitě herní lokomoce, zejména v rychlosti a efektivitě sprintů a rychlých změn směru, které jsou klíčové pro úspěšné provádění herních situací (Flanagan & Comyns, 2008; Garetxana et al., 2024; Jarvis et al., 2022).

Zjištěné signifikantní změny RSI u ES by mohly být rovněž vysvětleny tím, že při testu 5 maximálních vertikálních skoků dochází ke shodě ve využití SSC (Comuk & Erden, 2012) s plyometrickými cvičeními obsaženými v komplexním neuromuskulárním programu

KneeRugbyWomen. Signifikantní nárůst hodnot RSI u ES může souviset také s nárůstem relativní maximální síly, která ovlivňuje úroveň RSI (Beattie, Carson, Lyons, & Kenny, 2017). Předpokládáme, že neuromuskulární program KneeRugbyWomen stimuloval úroveň síly kombinací silových cviků specificky zaměřených na dolní končetiny, balančních a plyometrických cvičení (Attwood et al., Barden et al., 2022; Hislop et al., 2017; Read et al., 2021). Kombinace různých druhů cvičení umocňuje účinky daných programů (Olivares-Javalera et al., 2021), přičemž zejména spojení silových a plyometrických cvičení se ukazuje jako účinné (Anderson, Browning, Urband, Kluczynski, & Bisson, 2016). Zařazení plyometrických cvičení hraje roli při ovlivňování dynamické stability kolenního kloubu, což se může projevit i ve zlepšení výkonu ve skokovém testu (Attene et al., 2015; Campo et al., 2009). Účinnější programy obsahovaly trénink plyometrie po celý roční cyklus a nediferencovaly prevenci podle přípravného nebo soutěžního období (Anderson et al., 2016). Jak bylo uvedeno výše, jako vhodné se ukazuje spojení komplexních programů prevence poranění s běžeckými cvičeními, zejména s tréninkem rychlosti se změnou směru pohybu, což může vést k celkovému snížení incidence poranění LCA (Olivares-Javalera et al., 2021). K nárůstu hodnot RSI může přispět i individualizace, která má za cíl dosažení maximální efektivity programu (Olivares-Jabalera et al., 2021). Individualizaci zatížení jsme v naší studii uplatnili především vzhledem k tomu, že ragbistky zařazené do výzkumu vykazovaly různou úroveň fyzické připravenosti, měly rozdílný věk i antropometrické ukazatele.

### **6.3 Biomechanika dopadu**

Dalším indikátorem rizika poranění LCA, který byl v této práci využit, je škála LESS. Pomocí skóre škály LESS byla posouzena biomechanika dopadu při testu vertikální skok jednož s protipohybem, který je svým obsahem podobný pohybům v některých sportovních hrách včetně ragby (Lehnert et al., 2022). Důvodem zařazení testu bylo, že při nesprávných dopadech dolních končetin na podložku může docházet k nadměrnému zatížení hlavně pasivních struktur kolenního kloubu, především LCA, a tím k jeho poranění. Při nesprávném dopadu můžou dojít i k poškození hlezenního kloubu.

Stejně jako u ALS a RLS nebyl prokázán signifikantní efekt komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen na biomechaniku dopadu. Rozdílnost oproti výsledkům tuhosti dolních končetin se však vyskytuje v meziskupinovém porovnání, jelikož mezi ES a KS byl nalezen signifikantní rozdíl v LESS skóre v případě

vstupního i výstupního měření. Hodnoty ES při vstupním měření (5,00) odpovídají hodnotám škály LESS u zdravých mladých žen (Hanzlíková et al., 2021). Naopak u KS jsou hodnoty výrazně vyšší (7,33) a i při výstupním měření (6,17) zůstaly vysoko nad touto hranicí (Hanzlíková et al., 2021). U ES sice došlo ke snížení LESS skóre pod hranici pěti chyb (4,33), avšak rozdíl nebyl signifikantní. I přes malý efekt snížení LESS skóre u ES musíme podotknout, že před intervencí bylo šest hráček ES nad zmiňovanou hranicí pěti chyb. Po intervenci pouze čtyři hráčky vykazovaly vyšší hodnoty, což znamená, že u 17 % ES došlo ke snížení tohoto indikátoru rizika poranění LCA. Naopak u KS bylo před intervencí 11 ragbistek nad hranicí pěti chyb a po absolvování programu rozvoje dovedností všech 12 ragbistek spadalo nad hranici pěti chyb.

Při rozdílnosti ES a KS před intervencí je nutné poznamenat výsledky studií, kde probandi s nejvyššími hodnotami skóre LESS, a tedy s předpokládanou nejhorší biomechanikou dopadu, mají tendenci se s tréninkem nejvíce zlepšovat (Hanzlíková et al., 2021). Konkrétně se jednalo o výzkumné soubory vysokoškolských sportovkyň kolektivních sportů s průměrným skóre LESS 7,3 a 7,1 před intervencí, které dosáhly největšího relativního zlepšení díky tréninku zaměřenému na techniku dopadů a neuromuskulárnímu tréninku. To naznačuje, že vyšší výchozí skóre LESS může být spojeno s větším potenciálem ke zlepšení prostřednictvím cílených tréninkových programů (Hanzlíková et al., 2021; O'Malley et al., 2017).

Rozdílné skóre škály LESS mezi ES a KS není jednoduché vysvětlit. Skóre škály LESS může být ovlivněno věkem, pohlavím, předchozími poraněními, nebo absolvováním preventivních programů (Hanzlíková et al., 2021). Z hlediska uvedených faktorů obě sledované skupiny tvořily hráčky s podobným věkem (ES: 20,05 ± 4,43 let, KS: 20,04 ± 4,88 let). Co se týká výskytu předchozích poranění, byly hráčky dotazovány pouze na vážná poranění stehna nebo kolenního kloubu v posledních šesti měsících, která by je vyřadila z tréninkového procesu na více jak tři týdny. V uvedeném kontextu však toto dotazování nemuselo poskytnout všechny relevantní informace.

Metaanalýza Hanzlíková et al. (2021) uvádí průměrné zlepšení skóre LESS o 1,2 u sportovkyň po absolvování neuromuskulárních intervenčních tréninkových programů, které byly uplatňovány dvakrát až třikrát týdně v celkové délce trvající minimálně šest týdnů, což se u našeho programu nepotvrdilo. Vysvětlením může být výše zmíněná celková doba trvání neuromuskulárního programu v celkové délce čtyř hodin, oproti doporučeným 10 hodinám (LaBella et al., 2011; Taylor et al., 2013). Jak již bylo zmíněno

výše, neuromuskulární program KneeRugbyWomen byl v tréninkových jednotkách uplatňován jen po dobu 10 minut, ale před jeho absolvováním hráčky ES i KS podstoupily standardní rozcvičení v délce 15 minut. Studie Faude et al. (2017) prokázala, že implementace 15-20 minut dlouhého rozcvičení do tréninkového programu může přispět k lepší neuromuskulární kontrole, a tedy i ke snížení rizika poranění. Nejúčinnější programy (O'Malley et al., 2017; Pfile et al., 2016) z hlediska snížení hodnot skóre LESS sice trvaly až 30 minut, nicméně i programy trvající 7-10 minut významně zlepšily skóre (Pryor et al., 2017; Scarneo et al., 2017). Z těchto zjištění lze usoudit, že doba trvání programu 10 min v tréninkové jednotce byla pravděpodobně dostačující.

Při srovnání efektů intervencí na biomechaniku dopadu je potřeba také zohlednit, že v naší studii byl použit modifikovaný testový protokol, který se liší od původní studie, kde byla škála validována (Padua et al., 2009). V původní studii bylo využíváno vertikálního výskoku obouoř po seskoku z 30 cm vysokého stupínku. Tento test byl využíván i v pozdějších studiích (Hanzlíková et al., 2021; O'Malley et al., 2017; Pfile et al., 2016), které ale byly uskutečněny v pohybově podobných, ale méně kontaktních sportech, jako je basketbal a fotbal. Původní protokol však není podobný specifickým pohybům v ragby (Kristianslund & Krosshaug, 2013), proto byl v našem výzkumu využit upravený protokol podle předchozí studie (Lehnert et al., 2022).

Dřívější studie zmiňují důležitost specifikace preventivních programů pro ženy v kolektivních sportech (Bram et al., 2020; Olivares-Jabalera et al., 2021). Kvalita provedení cvičení, zejména u dopadů, byla identifikována jako jeden z klíčových aspektů snižování rizika poranění u ženských sportovkyň kolektivních sportů (Myklebust et al., 2003; Padua et al., 2009). Nejúčinnější preventivní programy (O'Malley et al., 2017; Pfile et al., 2016) se zaměřovaly na kontrolu pohybu, zpětnou vazbu k technice a obsahovaly plyometrické, silové a obratnostní cviky a cviky zaměřené na hluboký stabilizační systém. Z těchto poznatků však vycházelo i sestavení našeho neuromuskulárního intervenčního programu, který se skládal z balančních, silových a plyometrických cvičení. U každého cviku docházelo ke kontrole pohybu, poskytována byla zpětná vazba k technice, jelikož její správné zvládnutí podmiňovalo posun ke složitějšímu cviku. Pro individualizaci byly vytvořeny čtyři úrovně balančních i silových cviků, což umožňovalo zvýšení obtížnosti cvičení v průběhu intervence. Velký důraz kladen na naučení správné techniky cviků obsažených v neuromuskulárním programu KneeRugbyWomen během dvoutýdenní familiarizace před začátkem intervence. Hráčky i trenéři měli po celou dobu intervence k dispozici písemné poklady i videozáznamy techniky.



Z uvedených důvodů se nedomníváme, že by příčinou toho, že realizovaná tréninková intervence vedla k pozitivní změně pouze v případě reaktivní síly ragbistek, byly nedostatky v provedení zařazených cvičení.

## 6.4 Rychlost se změnou směru pohybu

Využití 505 agility testu se ukazuje jako vhodný pro zjištění úrovně rychlosti se změnou směru pohybu, která je zásadní pro výkon v mnoha sportech, včetně ragby (Altmann et al., 2019). Zároveň je změna směru pohybu primární akcí nekontaktního poranění LCA (Benjaminse et al., 2008). Prokázána byla také spojitost výsledků testů rychlosti se změnou směru pohybu a prevencí poranění LCA (Havens & Sigward, 2015).

Porovnání výsledků 505 agility testu s jinými studiemi je možné pouze při odstranění segmentu 1 z celkového času a získáním hodnot mediánů vstupního měření pro otočku přes dominantní dolní končetinu (ES: 2,62 s, KS: 2,74 s) a přes nedominantní dolní končetinu (ES: 2,65 s, KS: 2,78 s). U výstupního měření byly změřeny hodnoty pro otočku přes dominantní dolní končetinu (ES: 2,62 s, KS: 2,76 s) a přes nedominantní končetinu (ES: 2,58 s, KS: 2,79 s). Tyto výsledky jsou srovnatelné s výsledky studie Dos'Santos et al. (2019), ve které byly měřeny mládežnické hráčky netballu (věk:  $15,46 \pm 1,10$  let) a byly zjištěny průměrné časy pro otočku přes dominantní dolní končetinu ( $2,53 \pm 0,09$  s) a pro otočku přes nedominantní dolní končetinu ( $2,59 \pm 0,10$  s). Hodnoty našich hráček jsou rovněž srovnatelné s hodnotami dospělých hráček netballu ( $23,90 \pm 5,40$  let), které prováděly otočku pouze přes dominantní dolní končetinu ( $2,52 \pm 0,17$  s) (Barber et al., 2016).

V našem výzkumu nebylo neprokázáno signifikantní zlepšení ES v celkovém času 505 agility testu, ani v jednotlivých segmentech. Toto zjištění může mít několik příčin popsanych u ukazatelů tuhosti dolních končetin, přičemž za zásadní považujeme celkovou délku intervence (LaBella et al., 2011; Taylor et al., 2013). Při tvorbě komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen jsme také vycházeli z předpokladu, že pro zvýšení rychlosti se změnou směru pohybu je dostačující rozvoj maximální síly (Lehnert et al., 2017) a reaktivní síly (Rebelo et al., 2022). Avšak například De Ste Croix et al. (2018) rychlost se změnou směru pohybu, oproti naší studii, do intervenčního tréninkového programu zařadili. Účinné se jeví i zařazení tréninku

sportovních dovedností jako jsou přihrávky či slalom s míčem (Nessler, Denney, & Sampley, 2017; Faude et al., 2017). Trénink dovedností jsme rovněž do našeho programu nezahrnuli.

Klíčové faktory, které ovlivňují výsledky v testech rychlosti se změnou směru pohybu jsou technika pohybu, lineární rychlost, silové schopnosti a kratší doba kontaktu při změně směru pohybu (Dos'Santos, Thomas, Jones, & Comfort, 2017). Naše výsledky naznačují, že u zmíněných faktorů nedošlo k změnám, které by se projevíly ve zlepšení sledovaných parametrů. V narativním review Horníková a Zemková (2024) autorky poukazují na spojitost mezi výsledky testu rychlosti se změnou směru pohybu a parametru síly hlubokého stabilizačního systému. V případě tréninku zaměřeného na hluboký stabilizační systém konstatují, že z dosavadních studií se ukazuje, že tento trénink představuje dostatečný podnět pro rozvoj rychlosti se změnou směru pohybu u adolescentů a amatérů, avšak tréninkový efekt u elitních sportovců se ukazuje jako malý. Vzhledem ke skladbě našeho intervenčního programu lze předpokládat, že u hráček zapojených do tréninkové intervence byla síla hlubokého stabilizačního systému stimulována. Nicméně absence zlepšení rychlosti se změnou směru naznačuje, že tato stimulace mohla být nedostatečná. Je však nutné dodat, že ve studii Horníková a Zemková (2024) byl pro hodnocení rychlosti se změnou směru pohybu využit T-test, zatímco v naší studii 505 agility test.

Rozdílné časy v 505 agility tesu pro otočky přes dominantní a nedominantní dolní končetinu mohou ukazovat na bilaterální asymetrii dolních končetin (Dos'Santos et al., 2019). V naší studii byly změřeny kontaktní časy vstupního měření pro otočku přes dominantní dolní končetinu (ES: 0,449 s, KS: 0,418 s) a přes nedominantní končetinu (ES: 0,408 s, KS: 0,515 s). Oproti tomu ve studii Dos'Santos et al. (2019) byly naměřeny průměrné kontaktní časy pro otočku přes dominantní dolní končetinu ( $0,524 \pm 0,107$  s) a pro otočku přes nedominantní dolní končetinu ( $0,586 \pm 0,115$  s). Při srovnání s ES v naší studii se pro otočku přes dominantní dolní končetinu jedná o rozdíl 15 % a přes nedominantní dolní končetinu dokonce o rozdíl 30 % (Dos'Santos et al., 2019).

Výsledky naší studie z uvedeného hlediska neukazují na přítomnost asymetrie u hráček, jelikož nebyly nalezeny signifikantní rozdíly při porovnání hodnot mezi provedením otoček přes dominantní a nedominantní dolní končetinu u celkových časů, ani u porovnání časů jednotlivých segmentů ( $p > 0,05$ ). Zatímco studie Michailidis (2023) zjistila rozdíly mezi celkovými časy 505 agilitu testu 3 % (dominantní dolní končetina: 2,39 s, nedominantní dolní končetina: 2,45 s) a ve výšce výskoku při testu vertikální skok jednož s protipohybem dokonce 13 % (dominantní dolní končetina: 22,00 cm, nedominantní dolní

končetina: 19,30 cm), v naší studii se všechny rozdíly v celkových časech v porovnání dominantní a nedominantní dolní končetiny u ES i KS ve vstupním i výstupním měření pohybovaly kolem hranice 1,5 %, z čehož lze usoudit, že velikost asymetrie se vlivem tréninkového programu nezměnila.

## 6.5 Limity

I přes nové informace, které nám tato studie poskytla, nelze opomenout její limity. Výsledky této studie by neměly být generalizovány. Hráčky našeho výzkumného souboru nebyly vybírány ze souboru amatérských hráček v České republice náhodně, což ovlivňuje přenositelnost výsledků na celý soubor amatérských hráček. Zároveň studie, které prokázaly vliv svých programů na riziko poranění dolních končetin obsahovaly minimálně 40 účastnic (Zebis et al., 2016) až po vzorek dlouhodobé studie přesahující dva tisíce účastnic (Mandelbaum et al., 2005). Proto se jeví náš výzkumný soubor jako limitující. Ukazuje se, že efektivní preventivní programy zahrnují do svého obsahu trénink rychlosti se změnou směru pohybu (De Ste Croix et al., 2018; Myklebust et al., 2003). Proto by v dalších výzkumech bylo vhodné trénink rychlosti se změnou směru pohybu do programu prevence poranění zahrnout. Je však otázkou, do jaké míry se dají všechna cvičení skloubit s omezeným časovým prostorem na trénink u amatérských sportovců. Samotný komplexní neuromuskulární program KneeRugbyWomen byl tvořen bez systematického procesu tvorby programů prevence poranění. Při jeho sestavování jsme kromě výsledků analýzy současných poznatků (De Ste Croix et al., 2018; Kiani et al., 2010), vycházeli z poznatků získaných při konzultacích s autory vybraných publikovaných odborných článků zabývajících se stejnou problematikou (De Ste Croix et al., 2018; Hughes, Ayala, Roberts, Wing, & De Ste Croix, 2024). Pro hodnocení rizikového provedení dopadu po výskoku byl využit jiný testovací protokol (Lehnert et al., 2022), než byl ověřen pro zkoumání biomechaniky pohybu. Jako vhodné se proto jeví ověřit biomechaniku dopadu i původním protokolem (Padua et al., 2009). Ukázalo se, že KS vykazovala signifikantně vyšší hodnoty LESS oproti ES. Za vhodné se považuje analyzovat LESS před procesem randomizace, neboť jedinci se špatnou biomechanikou dopadu mají tendenci vykazovat větší zlepšení po intervenci (Hanzlíková et al., 2021). Bohužel to v této studii nebylo z důvodů časové náročnosti analýzy kvality dopadu možné.

## **7. ZÁVĚRY**

Snížení výskytu poranění je jedním z klíčových aspektů sportu včetně amatérského ragby žen. Přesto, že v posledních letech je prevenci poranění v kolektivních sportech věnována zvýšená pozornost jak ve výzkumu, tak v tréninkové praxi, incidence poranění neklesá. Nedostatečný počet studií zaměřených na amatérské hráčky, včetně ragby, a odlišnosti ve výsledcích dosavadních studií řešení ukazují na potřebu rozšíření stávajících poznatků a zkušeností. Z tohoto pohledu disertační práce přispěla dílčím způsobem k rozšíření poznatků o možnostech ovlivňování modifikovatelných vnitřních rizikových faktorů nekontaktních poranění LCA v podmínkách amatérského sportu žen.

### **7.1 Závěry vzhledem k vlastnímu výzkumnému problému**

Vliv komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen realizovaného u amatérských ragbistek na modifikovatelné vnitřní rizikové faktory poranění LCA byl prokázán pouze v případě indikátoru RSI. Z formulovaných výzkumných hypotéz nebyla zamítnuta výzkumná hypotéza H<sub>3</sub>.

Z výsledků provedené studie lze usuzovat na omezený přínos dvanáctidenní intervence s využitím programu KneeRugbyWomen pro zlepšení modifikovatelných neuromuskulárních a biomechanických rizikových faktorů poranění LCA u amatérských ragbistek.

Pozitivní účinky intervence na RSI však ukazují na zlepšení neuromuskulární kontroly kolenního kloubu, které může redukovat síly působící na LCA při pohybech typických pro ragby a snižovat tak riziko jeho poranění.

### **7.2 Závěry a doporučení pro vědní obor**

Byl vytvořen a ověřen komplexní neuromuskulární program KneeRugbyWomen, jehož skladba a implementace vycházely ze současných poznatků, přičemž reflektovaly podmínky amatérského ženského ragby. Studií takového charakteru byl dosud publikován jen malý počet a v ženském ragby schází.

Realizovaná studie přinesla poznatky, které mohou být zohledněny v budoucím výzkumu zaměřeném na ověřování účinnosti preventivních tréninkových programů v ženském ragby i v dalších kolektivních sportech.

Vzhledem k zjištěním studie doporučujeme, aby v budoucím experimentálním výzkumu byla ověřena účinnost komplexního neuromuskulárního intervenčního programu KneeRugbyWomen s celkovou dobou trvání zatížení minimálně 10 hodin, došlo k vytvoření a zahrnutí rozcvičení do programu a aby byly zohledněny další moderátory jako spánek a menstruační cyklus. Účinnost neuromuskulárního intervenčního programu doporučujeme hodnotit nejen pomocí indikátorů rizika poranění, ale také stanovením jeho vlivu na incidenci poranění.

### **7.3 Doporučení pro praxi**

Výsledky studie, především rozdílnost ve změnách sledovaných indikátorů studie, mj. potvrzují, že prevence poranění LCA u amatérských ragbistek je komplexní problém, jehož řešení ve sportovní praxi vyžaduje multifaktoriální přístup a případné začlenění dalších prvků do tréninkového programu a do jeho implementace.

Nárůst reaktivní síly dolních končetin naznačuje, že program KneeRugbyWomen může mít pozitivní vliv na určité aspekty neuromuskulární kontroly. Naopak výsledky v případě ostatních indikátorů rizika poranění naznačují, že je vhodné zvýšit celkovou dobu trvání programu. Toto zjištění je využitelné zejména pro odborníky ve sportu, kteří se zaměřují na trénink a prevenci poranění u ragbistek. Program by mohl být použit jako základ pro další rozvoj a zlepšení preventivních opatření v ženském sportu. Zdůraznit lze také důležitost integrace preventivních programů do běžné tréninkové praxe, zejména u amatérských sportovců, kteří často nemají dostatečný přístup ke kvalitní regeneraci ani rehabilitaci. Vzhledem k tomu, že efektivní prevence poranění může významně přispět k prodloužení aktivní sportovní kariéry a zlepšení kvality života, je žádoucí, aby se touto problematikou dále zabývali nejen odborníci v oblasti výzkumu, ale rovněž odborníci z praxe.

## 8. SOUHRN

Cílem studie bylo ověřit vliv komplexního neuromuskulárního tréninkového programu KneeRugbyWomen na modifikovatelné vnitřní rizikové faktory neuromuskulární kontroly kolenního kloubu, biomechaniku dopadu a rychlost se změnou směru pohybu u amatérských ragbistek. Program byl sestaven na základě aktuálních poznatků a reflektoval specifické podmínky amatérského ženského ragby.

Teoretická část se zabývá poraněním předního zkříženého vazů v ragby, které je jedním z nejzávažnějších s nejdelší dobou rekonvalescence. Uvádí poznatky o incidenci a mechanismus tohoto poranění, identifikuje jeho rizikové faktory a zabývá se programy prevence poranění, které byly aplikovány v ragby i jiných kolektivních sportech. Jako klíčové se jeví zlepšení neuromuskulární kontroly a biomechaniky dopadu. Za účinné se považují komplexními neuromuskulárními tréninkovými programy, které do svých programů zahrnuly balanční, silová a plyometrická cvičení s důrazem na techniku provedení jednotlivých cviků a biomechaniku dopadu.

Do dvanáctitýdenní experimentální studie byla zahrnuta experimentální skupina ( $n = 12$ , věk:  $20,05 \pm 4,43$  let, tělesná výška:  $166,54 \pm 4,46$  cm, tělesná hmotnost:  $64,65 \pm 6,44$  kg, body mass index  $23,32 \pm 2,26$  kg/m<sup>2</sup>) a kontrolní skupina ( $n = 12$ , věk:  $20,04 \pm 4,88$  let, tělesná výška:  $166,83 \pm 7,30$  cm, tělesná hmotnost:  $69,83 \pm 12,84$  kg, body mass index  $25,05 \pm 4,17$  kg/m<sup>2</sup>). Obě skupiny podstoupily vstupní měření v týdnu před intervencí a výstupní měření ihned po ukončení 12týdenní intervence. Zjišťována byla tuhost dolních končetin (absolutní a relativní), reaktivní síla dolních končetin (reaktivní silový index), biomechanika dopadu (LESS škála, Landing Error Scoring System) a rychlost se změnou směru pohybu (505 agility test). Experimentální skupina absolvovala dvakrát týdně 10minutový neuromuskulární program KneeRugbyWomen složený z balančních cvičení, silových cvičení využívajících odporové gumy a plyometrických cvičení. Kontrolní skupina ve svém 10minutovém programu cvičila přihrávky, tedy ragbyově specifické dovednosti.

Statisticky významné účinky komplexního neuromuskulárního programu KneeRugbyWomen byly prokázány pouze u reaktivního silového indexu, zatímco ostatní sledované indikátory nezaznamenaly signifikantní zlepšení. Nárůst reaktivní síly dolních končetin naznačuje pozitivní vliv programu na neuromuskulární kontrolu kolenního kloubu,

což může snížit síly působící na přední zkřížený vaz při typických pohybech v ragby a tím snížit riziko poranění.

Zjištění studie ukazují, že prevence poranění předního zkříženého vazů u amatérských ragbistek je komplexní problém vyžadující multifaktoriální přístup. Budoucí studie by měly ověřit účinnost programu s minimální celkovou dobou trvání 10 hodin a zahrnutím dalších moderátorů jako spánek a menstruační cyklus. Důležitá je integrace preventivních programů do běžné tréninkové praxe, zejména u amatérských sportovců, kteří často nemají dostatečný přístup ke kvalitní regeneraci a rehabilitaci.

## 9. SUMMARY

This study aimed to assess the impact of the comprehensive neuromuscular training program KneeRugbyWomen on modifiable intrinsic risk factors of neuromuscular knee joint control, landing biomechanics, and change of direction speed in amateur female rugby players. The program was designed based on current knowledge and reflected the specific conditions of amateur women's rugby.

The theoretical part addressed anterior cruciate ligament injuries in rugby, one of the most severe injuries with the longest recovery time. It presented the incidence and mechanism of this type of injury, identified its risk factors, and discussed injury prevention programs in rugby and other team sports. Key aspects included improving neuromuscular control and landing biomechanics. Effective programs included balance, strength, and plyometric exercises with proper technique and landing biomechanics.

The twelve-week experimental study included an experimental group ( $n = 12$ , age:  $20.05 \pm 4.43$  years, height:  $166.54 \pm 4.46$  cm, weight:  $64.65 \pm 6.44$  kg, body mass index  $23.32 \pm 2.26$  kg/m<sup>2</sup>) and a control group ( $n = 12$ , age:  $20.04 \pm 4.88$  years, height:  $166.83 \pm 7.30$  cm, weight:  $69.83 \pm 12.84$  kg, body mass index  $25.05 \pm 4.17$  kg/m<sup>2</sup>). Both groups were tested the week before the intervention and immediately after the 12-week intervention. The study assessed leg stiffness (absolute and relative), reactive strength index, landing biomechanics (LESS scale, Landing Error Scoring System), and change of direction speed (505 agility test). The experimental group performed a 10-minute KneeRugbyWomen neuromuscular program twice a week, consisting of balance exercises, strength exercises using resistance bands, and plyometric exercises. The control group performed a 10-minute program focusing on passing, rugby-specific skills.

Statistically significant effects of the KneeRugbyWomen program were found only in the reactive strength index, while other monitored indicators did not show significant improvement. The increase in reactive strength of the lower limbs suggests a positive impact of the program on the neuromuscular control of the knee joint, which can reduce the forces acting on the ACL during typical rugby movements and thus decrease the risk of injury.

The findings indicate that prevention of anterior cruciate ligament injuries in amateur female rugby players is a complex issue requiring a multifactorial approach. Future studies should verify the program's effectiveness with a minimum total duration of 10 hours, including



additional moderators such as sleep and menstrual cycle. It is crucial to integrate preventive programs into regular training practice, especially for amateur athletes who often lack sufficient access to quality recovery and rehabilitation.

## 10. REFERENČNÍ SEZNAM

- Adachi, N., Nawata, K., Maeta, M., & Kurozawa, Y. (2008). Relationship of the menstrual cycle phase to anterior cruciate ligament injuries in teenaged female athletes. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, *128*(5), 473–478. <https://doi.org/10.1007/s00402-007-0461-1>
- Achenbach, L., Krutsch, V., Weber, J., Nerlich, M., Luig, P., Loose, O., Angele, P., & Krutsch, W. (2018). Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *26*(7), 1901–1908. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4758-5>
- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lazaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *17*, 705–729. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0813-1>
- Altmann, S., Ringhof, S., Neumann, R., Woll, A., & Rumpf, M. C. (2019). Validity and reliability of speed tests used in soccer: A systematic review. *PLoS One*, *14*(8), e0220982. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220982>
- Al Attar, W. S. A., Alarifi, S., Alanazi, A., Alzhrani, M., Alshewaier, S., Alhosayni, S., Alharbi, S., Alraddadi, Y., & Ghulam, H. S. (2021). The current application of the OSTRC knee injury prevention program among professional basketball, handball, soccer, and volleyball players in the Gulf Cooperation Council countries. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, *9*(5), 884–892. <https://doi.org/10.13189/saj.2021.090508>
- Al Attar, W. S. A., Bakhsh, J. M., Khaledi, E. H., Ghulam, H., & Sanders, R. H. (2022). Injury prevention programs that include plyometric exercises reduce the incidence of anterior cruciate ligament injury: A systematic review of cluster randomised trials. *Journal of Physiotherapy*, *68*(4), 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2022.09.001>
- Ambler, Z. (Eds.). (2011). *Základy neurologie*. Praha: Galén.

- Anderson, J. M., Browning, M. W., Urban, 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. <https://doi.org/10.1177/2325967116634074>
- Attene, G., Iuliano, E., Di Cagno, A., 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.
- Attwood, M., Roberts, S., Trewartha, G., England, M. E., & Stokes, K. A. (2018). Efficacy of a movement control injury prevention programme in adult men's community rugby union: A cluster randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 52(6), 368–374. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098005>
- Ayala, F., De Ste Croix, M., Sainz de Baranda, P., & Santonja, F. (2012). Absolute reliability of hamstring to quadriceps strength imbalance ratios calculated using peak torque, joint angle-specific torque and joint ROM-specific torque values. *International Journal of Sports Medicine*, 33(11), 909–916. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1311586>
- Barber, O. R., Thomas, C., Jones, P. A., McMahon, J. J., & Comfort, P. (2016). Reliability of the 505 change-of-direction test in netball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(3), 337–380. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0215>
- Barden, C., Hancock, M. V., Stokes, K. A., Roberts, S., & McKay, C. (2022). Effectiveness of the Activate injury prevention exercise programme to prevent injury in schoolboy rugby union. *British Journal of Sports Medicine*, 56, 812–817. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105170>
- Barengo, N. C., Meneses-Echavez, J. F., Ramirez-Velez, R., Cohen, D. D., Tovar, G., & Bautista, J. E. (2014). The impact of the FIFA 11+ training program on injury prevention in football players: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(11), 11986–12000. <https://doi.org/10.3390/ijerph11111986>
- Beattie, K., Carson, B. P., Lyons, M., & Kenny, I. C. (2017). The relationship between maximal strength and reactive strength. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12(4), 548–553. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0216>

- Begalle, R. L., Walsh, M. C., McGrath, M. L., Boling, M. C., Blackburn, J. T., & Padua, D. A. (2015). Ankle dorsiflexion displacement during landing is associated with initial contact kinematics but not joint displacement. *Journal of Applied Biomechanics*, *31*(4), 205–210. <https://doi.org/10.1123/jab.2013-0233>
- Belcher, S., Whatman, C., Brughelli, M., & Borotkanics, R. (2021). Short and long versions of a 12-week netball specific neuromuscular warm-up improves landing technique in youth netballers. *Physical Therapy in Sport*, *49*, 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.01.016>
- Benjaminse, A., Habu, A., Sell, T. C., Abt, J. P., Fu, F. H., Myers, J. B., & Lephart, S. M. (2008). Fatigue alters lower extremity kinematics during a single-leg stop-jump task. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, *16*(4), 400–407. <https://doi.org/10.1007/s00167-007-0432-7>
- Bram, J. T., Magee, L. C., Mehta, N. N., Patel, N. M., & Ganley, T. J. (2020). Anterior cruciate ligament injury incidence in adolescent athletes: A systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, *49*(7), 1962–1972. <https://doi.org/10.1177/0363546520959619>
- Brown, J. C., Verhagen, E. A., Knol, D. L., Van Mechelen, W., & Lambert, M. I. (2016). The effectiveness of the nationwide BokSmart rugby injury prevention program on catastrophic injury rates. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *26*(2), 221–225. <https://doi.org/10.1111/sms.12414>
- Brughelli, M., & Cronin, J. (2008). A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: Methodology and implications. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *18*(4), 417–426. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00769.x>
- Caldemeyer, L. E., Brown, S. M., & Mulcahey, M. K. (2020). Neuromuscular training for the prevention of ankle sprains in female athletes: A systematic review. *The Physician and Sportsmedicine*, *48*(4), 363–369. <https://doi.org/10.1080/00913847.2020.1732246>
- 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.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b3f537>

Carrasco-Huenulef, C., Poblete-Garrido, M., Monrroy-Uarac, M., Ramirez-Campillo, R., Moran, J., & Gajardo-Burgos, R. (2019). Effects of a neuromuscular training program on anterior cruciate ligament injury risk factors in youth female basketball players: A pilot study. *Gazzetta Medica Italiana Archivio per Le Scienze Mediche*, 178(3), 137–144.  
<https://doi.org/10.23736/S0393-3660.18.03731-2>

Clarke, R., Read, P. J., De Ste Croix, M., & Hughes, J. (2020). Phases of the traditional 505 test: Between session and direction reliability. *Movement & Sport Sciences – Science & Motricité*, 110(4), 21–27. <https://doi.org/10.1051/sm/2020010>

Clarke, R., Read, P. J., De Ste Croix, M., & Hughes, J. (2022). The deceleration deficit: A novel field-based method to quantify deceleration during change of direction performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 36(9), 2434–2439.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003856>

Comuk, N., & Erden, Z. (2012). The effect of muscular strength and endurance on technical skill in professional figure skaters. *Isokinetic and Exercise Science*, 20(2), 85–90.  
<https://doi.org/10.3233/IES-2012-0445>

Crotti, M., Heering, T., Lander, N., Fox, A., Barnett, L. M., & Duncan, M. J. (2024). Extrinsic risk factors for primary noncontact anterior cruciate ligament injury in adolescents aged between 14 and 18 years: A systematic review. *Sports Medicine*, 54(4), 875–894.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-023-01975-1>

České rugby. (2023). *Rugbyunion.cz*. [cit. 2024-08-30]. <https://rugbyunion.cz/>

Čihák, R. (2011). (Eds.). *Anatomie I*. Praha: Grada.

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. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45252>

- De Ste Croix, M. (2012). *Protect her knees – Exploring the role of football specific fatigue on dynamic knee stability in female youth football players*. Cheltenham: University of Gloucestershire.
- 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. <https://doi.org/10.1177/0363546518795677>
- De Ste Croix, M., Hughes, J., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., & Read, P. J. (2017). Leg stiffness in female soccer players: Intersession reliability and the fatiguing effects of soccer-specific exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(11), 3052–3058. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001715>
- De Ste Croix, M., Lehnert, M., Maixnerova, E., Ayala, F., & Psotta, R. (2021). The influence of age and maturation on trajectories of stretch-shortening cycle capability in male youth team sports. *Pediatric Exercise Science*, 33(1), 16–22. <https://doi.org/10.1123/pes.2020-0063>
- Dolan, P., Kenny, I., Glynn, L., Campbell, M., Warrington, G. D., Cahalan, R., Harrison, A., Lyons, M., & Comyns, T. (2023). Risk factors for acute ankle sprains in field-based, team contact sports: A systematic review of prospective etiological studies. *The Physician and Sportsmedicine*, 51(6) 517–530. <https://doi.org/10.1080/00913847.2022.2093618>
- Donelon, T. A., Edwards, J., Brown, M., Jones, P. A., O'Driscoll, J., & Dos'Santos, T. (2024). Differences in biomechanical determinants of ACL injury risk in change of direction tasks between males and females: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine – Open*, 10(1), Article 29. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00701-z>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones., P. A. (2018). The effect of angle and velocity on change of direction biomechanics: An angle-velocity trade-off. *Sports Medicine*, 48(10), 2235–2253. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0968-3>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones., P. A., & Comfort, P. (2019). Assessing asymmetries in change of direction speed performance: Application of change of direction deficit. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(11), 2953–2961. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002438>

- Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones, P. A., & Comfort, P. (2017). Mechanical determinants of faster change of direction speed performance in male athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 696–705. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001535>
- Draper, J., & Lancaster, M. (1985). The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(1), 15–18.
- Dungl, P. (Eds.). (2014). *Ortopedie*. Praha: Grada.
- Ebben, W. P., & Petushek, E. J. (2010). Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 1983–1987. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181e72466>
- Ekenros, L., Papoutsis, Z., Fridén, C., Dahlman Wright, K., & Lindén Hirschberg, A. (2017). Expression of sex steroid hormone receptors in human skeletal muscle during the menstrual cycle. *Acta Physiologica*, 219(2), 486–493. <https://doi.org/10.1111/apha.12757>
- Ellapen, T. J., Van Heerden, J., Taylor, R., Trend A., & Van der Merwe, H. (2016). Knee injuries: A burden of schoolboy rugby players. *British Journal of Medicine and Medical Research*, 17(5), 1–7. <https://doi.org/10.9734/BJMMR/2016/21898>
- Emery, C. A., & Pasanen, K. (2019). Current trends in sport injury prevention. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 33(1), 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2019.02.009>
- Faude, O., Rössler, R., Petushek, E. J., Roth, R., Zahner, L., & Donath, L. (2017). Neuromuscular adaptations to multimodal injury prevention programs in youth sports: A systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Physiology*, 8, Article 791. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00791>
- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength & Conditioning Journal*, 30(5), 32–38. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318187e25b>
- Flaxman, T. E., Smith, A. J. J., & Benoit, D. L. (2014). Sex-related differences in neuromuscular control: Implications for injury mechanisms or healthy stabilisation strategies? *Journal of Orthopaedic Research*, 32(2), 310–317. <https://doi.org/10.1002/jor.22510>

- Fritz, B., Parkar, A. P., Cerezal, L., Storgaard, M., Boesen, M., Åström, G., & Fritz, J. (2020). Sports Imaging of Team Handball Injuries. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*, 24(3), 227–245. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1710064>
- Fritz, C. O., Morris, P. E., & Richler, J. J. (2012). Effect size estimates: Current use, calculations, and interpretation. *Journal of Experimental Psychology General*, 141(1), 2–18. <https://doi.org/10.1037/a0024338>
- 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. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096043>
- Fuller, C. W., Taylor, A. E., & 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. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097301>
- Garetxana, I. M., Hughes, J., De Ste Croix, M., Larruskain, J., Lekue, J. A., & Ayala, F. (2024). Acute pre- and post-competitive soccer match-play changes in neuromuscular factors, physical performance, and muscle response in youth male players. *Science & Medicine in Football*, 8, 1–11. <https://doi.org/10.1080/24733938.2024.2329273>
- Gianotti, S. M., Quarrie, K. L., & Hume, P. A. (2009). Evaluation of RugbySmart: A rugby union community injury prevention programme. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(3), 371–375. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.01.002>
- Gokeler, A., Eppinga, P., Dijkstra, P. U., Welling, W., Padua, D. A., Otten, E., Benjaminse, A. (2014). Effect of fatigue on landing performance assessed with the Landing Error Scoring System (LESS) in patients after ACL reconstruction. A pilot study. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(3), 302–311.
- Granata, K. P., Padua, D. A., & Wilson, S. E. (2002). Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part II. Quantification of leg stiffness during functional hopping tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 12(2), 127–135. [https://doi.org/10.1016/s1050-6411\(02\)00003-2](https://doi.org/10.1016/s1050-6411(02)00003-2)
- Guan, Y., Bredin, S. S. D., Taunton, J., Jiang, Q., Wu, N., & Warburton, D. E. R. (2022). Association between inter-limb asymmetries in lower-limb functional performance and sport injury: A systematic review of prospective cohort studies. *Journal of Clinical Medicine*, 11(2), Article 360. <https://doi.org/10.3390/jcm11020360>



- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (Eds.). (2015). *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign: Human Kinetics.
- Hansen, M., Miller, B. F., Holm, L., Doessing, S., Petersen, S. G., Skovgaard, D., Frystyk, J., Flyvbjerg, A., Koskinen, S., Pingel, J., Kjaer, M., & Langberg, H. (2009). Effect of administration of oral contraceptives in vivo on collagen synthesis in tendon and muscle connective tissue in young women. *Journal of Applied Physiology*, *106*(4), 1435–1443. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90933.2008>
- Hanzlíková, I., Athens, J., & Hébert-Losier, K. (2020). Clinical implications of Landing Error Scoring System calculation methods. *Physical Therapy in Sport*, *44*, 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.04.035>
- Hanzlíková, I., Athens, J., & Hébert-Losier, K. (2021). Factors influencing the Landing Error Scoring System: Systematic review with meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *24*(3), 269–280. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.08.013>
- Havens, K. L., & Sigward, S. M. (2015). Cutting mechanics: Relation to performance and anterior cruciate ligament injury risk. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *47*(4), 818–824. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000470>
- Hewett, T. E., Ford, K. R., Hoogenboom, B. J., & Myer, G. D. (2010). Understanding and preventing ACL injuries: Current biomechanical and epidemiologic considerations – update 2010. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, *5*(4), 234–251.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., Van Den Bogert, A. J., Paterno, M. V., & 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. *American Journal of Sports Medicine*, *33*(4), 492–501. <https://doi.org/10.1177/0363546504269591>
- Hislop, M. D., Stokes, K. A., Williams, S., McKay, C. D., England, M. E., 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. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2015-000043>
- Hislop, M. D., Stokes, K. A., Williams, S., McKay, C. D., England, M. E., Kemp, S. P. T., & Trewartha, G. (2017). Reducing musculoskeletal injury and concussion risk

- in schoolboy rugby players with a pre-activity movement control exercise programme: A cluster randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 51(15), 1140–1146. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2015-000043>
- Hlavatý, J. (2022). *Rozdíly v neuromuskulárních indikátorech rizika zranění kolenního kloubu mezi dospělými ragbisty mužského a ženského pohlaví*. Diplomová práce. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Hobara, H., Inoue, K., Kobayashi, Y., & Ogata, T. (2014). A comparison of computation methods for leg stiffness during hopping. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(1), 154–159. <https://doi.org/10.1123/jab.2012-0285>
- Honová, K. (2013). Návuk stabilizace kolenního kloubu s využitím TRX Suspension Trainer. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 20(3), 146–149.
- Horníková, H., & Zemková, E. (2024). The importance of core strength for change of direction speed. *Frontiers in Physiology*, 15, Article 1376422. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1376422>
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sports Medicine*, 36(5), 411–428. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636050-00004>
- Hughes, J., Ayala, F., Roberts, W. M., Wing, K., & De Ste Croix, M. (2024). Coaching the coaches: Exploring the effectiveness of the ‘Move Well Be strong’ youth injury prevention programme for grassroots coaches and PE teachers. *Annals of Medicine*, 56(1). Article 2408456. <https://doi.org/10.1080/07853890.2024.2408456>
- 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. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090272>
- Janda, V. (Eds.). (2004). *Svalové funkční testy*. Praha: Grada.
- Jarvis, P., Turner, A., Read, P. & Bishop, C. (2022). Reactive strength index and its associations with measures of physical and sports performance: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine* 52(10), 301–330. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01566-y>
- Jones, P., Bampouras, T. M., & Marrin, K. (2009). An investigation into the physical determinants of change of direction speed. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(1), 97–104.

- Khowailed, I. A., Petrofsky, J., Lohman, E., Daher, N., & Mohamed, O. (2015). 17 $\beta$ -estradiol induced effects on anterior cruciate ligament laxness and neuromuscular activation patterns in female runners. *Journal of Women's Health, 24*(8), 670–680. <https://doi.org/10.1089/jwh.2014.5184>
- Kiani, A., Hellquist, E., Ahlqvist, K., Gedeberg, R., Michaëlsson, K., & Byberg, L. (2010). Prevention of soccer-related knee injuries in teenaged girls. *Archives of Internal Medicine, 170*(1), 43–49. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01151-4>
- King, D., Hume, P., Hind, K., Clark, T., & Hardaker, N. (2022). The incidence, cost, and burden of concussion in women's rugby league and rugby union: A systematic review and pooled analysis. *Sports Medicine, 52*(8), 1751–1764. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01645-8>
- Koga, H., Nakamae, A., Shima, Y., Bahr, R., & Krosshaug, T. (2018). Hip and ankle kinematics in noncontact anterior cruciate ligament injury situations: Video analysis using model-based image matching. *American Journal of Sports Medicine, 46*(2), 333–340. <https://doi.org/10.1177/0363546517732750>
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics, 33*(10), 1197–1206. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00064-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00064-6)
- Kristianslund, E., Bahr, R., & Krosshaug, T. (2011). Kinematics and kinetics of an accidental lateral ankle sprain. *Journal of Biomechanics, 44*(14), 2576–2578. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.07.014>
- Kristianslund, E., & Krosshaug, T. (2013). Comparison of drop jumps and sport-specific sidestep cutting: Implications for anterior cruciate ligament injury risk screening. *American Journal of Sports Medicine, 41*(3), 684–688. <https://doi.org/10.1177/0363546512472043>
- Krosshaug, T., Nakamae, A., Boden, B. P., Engebretsen, L., Smith, G., Slauterbeck, J. R., Hewett, T. E., & Bahr, R. (2007). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball:

- Video analysis of 39 cases. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(3), 359–367. <https://doi.org/10.1177/0363546506293899>
- 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. <https://doi.org/10.1001/archpediatrics.2011.168>
- Laffaye, G., Choukou, M. A., Benguigui, N., & Padulo, J. (2016). Age- and gender-related development of stretch shortening cycle during a sub-maximal hopping task. *Biology of Sport*, 33(1), 29–35. <https://doi.org/10.5604/20831862.1180169>
- 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(1), 119–129. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0020>
- Lehnert, M., Krejčí, J., Janura, M., & De Ste Croix, M. (2022). Age-related changes in landing mechanics in elite male youth soccer players: A longitudinal study. *Applied Sciences*, 12(11). Article 5324. <https://doi.org/10.3390/app12115324>
- Lehnert, M., Šťastný, P., Tufano, J. J., & Štolfa, P. (2017). Changes in isokinetic muscle strength in adolescent soccer players after 10 weeks of pre-season training. *The Open Sports Sciences Journal*, 10(1), 27–36. <https://doi.org/10.2174/1875399X01710010027>
- Leppänen, M., Pasanen, K., Kujala, U. M., Vasankari, T., Kannus, P., Äyrämö, S., Krosshaug, T., Bahr, R., Avela, J., Perttunen, J., & Parkkari, J. (2017). Stiff landings are associated with increased ACL injury risk in young female basketball and floorball players. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(2), 386–393. <https://doi.org/10.1177/0363546516665810>
- Leung, F. T., Franettovich Smith, M. M., Brown, M., Rahmann, A., Mendis, M. D., & Hides, J. A. (2017). Epidemiology of injuries in Australian school level rugby union. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(8), 740–744. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.03.006>
- 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

- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. (2014). Chronological age vs. biological maturation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1454–1464. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000391>
- 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. <https://doi.org/10.1080/02640410903311572>
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2011). The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 25(7), 1889–1897. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e7faa8>
- Lutz, D., van den Berg, C., Räisänen, A. M., Shill, I. J., Kim, J., Vaandering, K., Hayden, A., Pasanen, K., Schneider, K. J., Emery, C. A., & Owwoeye, O. B. A. (2024). Best practices for the dissemination and implementation of neuromuscular training injury prevention warm-ups in youth team sport: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 28(58), 615–625. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106906>
- MacQueen, A. E., & Dexter, W. W. (2010). Injury trends and prevention in rugby union football. *Current Sports Medicine Reports*, 9(3), 139–143. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e3181df124c>
- Mandelbaum, B. R., Silvers, H. J., Watanabe, D. S., Knarr, J. F., Thomas, S. D., Griffin, L. Y., Kirkendall, D. T., & Garrett, W. (2005). Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *The American Journal of Sports Medicine* 33(7), 1003–1010. <https://doi.org/10.1177/0363546504272261>
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 551–555. <https://doi.org/10.1519/00124278-200408000-00028>
- Meeuwisse, W., Tyreman, H., Hagel, B., & Emery, C. (2007). A dynamic model of etiology in sport injury: The recursive nature of risk and causation. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(3), 215–219. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3180592a48>

- Mehl, J., Diermeier, T., Herbst, E., Imhoff, A. B., Stoffels, T., Zantop, T., Petersen, W., & Achtnich, A. (2018). Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, *138*(1), 51–61. <https://doi.org/10.1007/s00402-017-2809-5>
- Michailidis, Y. (2023). Relation of jump and change of direction inter-limb asymmetries with fitness in youth male soccer players. *Medicina*, *59*(10), Article 1749. <https://doi.org/10.3390/medicina59101749>
- Monajati, A., Larumbe-Zabala, E., Goss-Sampson, M., & Naclerio, F. (2016). The effectiveness of injury prevention programs to modify risk factors for non-contact anterior cruciate ligament and hamstring injuries in uninjured team sports athletes: A systematic review. *PLoS ONE*, *11*(5), e0155272. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155272>
- Montalvo, A. M., Schneider, D. K., Webster, K. E., Yut, L., Galloway, M. T., Heidt, R. S., Kaeding, C. C., Kremcheck, T. E., Magnussen, R. A., Parikh, S. N., Stanfield, D. T., Wall, E. J., & 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. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-407-16>
- Moster, R., & Mosterová, Z. (2007). *Sportovní traumatologie*. Brno: Masarykova univerzita.
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Ford, K. R., Best, T. M., Bergeron, M. F., & Hewett, T. E. (2011). When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries and enhance health in youth? *Current Sports Medicine Reports*, *10*(3), 155–166. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31821b1442>
- Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2004). Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes. *Journal of Athletic Training*, *39*(4), 352–364.
- Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2005). The effects of gender on quadriceps muscle activation strategies during a maneuver that mimics a high ACL injury risk position. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *15*(2), 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2004.08.006>
- Myklebust, G., Engebretse, L., Braekken, H. I., Skjølberg, 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. <https://doi.org/10.1097/00042752-200303000-00002>
- Nessler, T., Denney, L., & Sampley, J. (2017). ACL injury prevention: What does research tell us? *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 10(3), 281–288. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9416-5>
- Nimphius, S. (2014). Increasing agility. In Joyce, D., & Lewindon, D. (Eds.). *High-Performance Training for Sports* (pp. 185–198). Champaign: Human Kinetics.
- Nimphius, S., Callaghan, S., Bezodis, N., & Lockie, R. (2018). Change of direction and agility tests: Challenging our current measures of performance. *Strength and Conditioning Journal*, 40(1), 26–38. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000309>
- Oatis, C. A. (2009). *Kinesiology: The mechanics and pathomechanics of human movement*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Olivares-Jabalera, J., Filter-Ruger, A., Dos'Santos, T., Afonso, J., Della Villa, F., Morente-Sánchez, J., Soto-Hermoso, V. M., & Requena, B. (2021). Exercise-based training strategies to reduce the incidence or mitigate the risk factors of anterior cruciate ligament injury in adult football (soccer) players: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 1–35. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413351>
- 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. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1063700>
- Oliver, J. L., & Smith, P. M. (2010). Neural control of leg stiffness during hopping in boys and men. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(5), 973–979. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.03.011>
- Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: A systematic video analysis. *American Journal of Sports Medicine*, 32(4), 1002–1012. <https://doi.org/10.1177/0363546503261724>
- O'Malley, E., Murphy, J. C., Persson, U. M., Gissane, C., & Blake, C. (2017). The effects of the gaelic athletic association 15 training program on neuromuscular outcomes in gaelic football and hurling players: A randomized cluster trial. *The Journal of Strength*

*and Conditioning Research*, 31(8), 2119–2130.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001564>

- Padua, D. A., Arnold, B. L., Perrin, D. H., Gansneder, B. M., Garcia, C. R., & Granata, K. P. (2006). Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females. *Journal of Athletic Training* 41(3), 294–304.
- Padua, D. A., Garcia, C. R., Arnold, B. L., & Granata, K. P. (2005). Gender differences in leg stiffness and stiffness recruitment strategy during two-legged hopping. *Journal of Motor Behavior*, 37(2), 111–125. <https://doi.org/10.3200/JMBR.37.2.111-126>.
- Padua, D. A., DiStefano, L. J., Beutler, A. I., De La Motte, S. J., DiStefano, M. J., & Marshall, S. W. (2015) The Landing Error Scoring System as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *Journal of Athletic Training*, 50(6), 589–595. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.1.10>
- Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, C. A., Garrett, W. E., & Beutler, A. I. (2009). The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(10), 1996–2002. <https://doi.org/10.1177/0363546509343200>
- Pallant, J. (Eds.). (2011). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using the SPSS program*. Berkshire: Allen & Unwin.
- Palmer-Green, D. S., Stokes, K. A., Fuller, C. W., England, M., Kemp, S. P. T., & Trewartha, G. (2013). Match injuries in english youth academy and schools rugby union: An epidemiological study. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(4), 749–755. <https://doi.org/10.1177/0363546512473818>
- Peterson, L., & Renström P. (Eds.). (2017). *Sports injuries: Prevention, treatment and rehabilitation*. London: Taylor & Francis.
- Pfile, K. R., Gribble, P. A., Buskirk, G. E., Meserth, S. M., & Pietrosimone, B. G. (2016). Sustained improvements in dynamic balance and landing mechanics after a 6-week neuromuscular training program in college women’s basketball players. *Journal of Sport Rehabilitation* 25(3), 233–240. <https://doi.org/10.1123/jsr.2014-0323>
- Pienaar, C., & Coetzee, B. (2013). Changes in selected physical, motor performance and anthropometric components of university-level rugby players after one microcycle



- of a combined rugby conditioning and plyometric training program. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 398–415. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825770ea>
- Powers, C. M. (2003). The influence of altered lower-extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: A theoretical perspective. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 33(11), 639–646. <https://doi.org/10.2519/jospt.2003.33.11.639>
- Prodromos, C. (Eds). (2017). *The anterior cruciate ligament: Reconstruction and basic science*. Philadelphia: Elsevier.
- Pryor, J. L., Root, H. J., Vandermark, L. W., Pryor, R. R., Martinez, J. C., Trojian, T. H., Denegar, C. R., & DiStefano, L. J. (2017). Coach-led preventive training program in youth soccer players improves movement technique. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(9), 861–866. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.01.235>
- Quarrie, K. L., Gianotti, S. M., Hopkins, W. G., & Hume, P. A. (2007). Effect of nationwide injury prevention programme on serious spinal injuries in New Zealand rugby union: Ecological study. *British Medical Journal*, 334(7604), 1150–1153. <https://doi.org/10.1136/bmj.39185.605914.AE>
- Ramirez-Campillo, R., Thapa, R. K., Afonso, J., Perez-Castilla, A., Bishop, C., Byrne, P. J., & Granacher, U. (2023). Effects of plyometric jump training on the Reactive Strength Index in healthy individuals across the lifespan: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 53(5), 1029–1053. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01825-0>
- Raschner, C., Platzer, H.-P., Patterson, C., Werner, I., Huber, R., & Hildebrandt, C. (2012). The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: A 10-year longitudinal study. *British Journal of Sports Medicine*, 46(15), 1065–1071. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091050>
- Read, P. J., Oliver, J. L., De Ste Croix, M. B. A., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2016). Neuromuscular risk factors for knee and ankle ligament injuries in male youth soccer players. *Sports Medicine*, 46(8), 1059–1066. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0479-z>
- Read, P., Oliver, J., Dobbs, I. J., & Wong, M. (2021). The effects of a four-week neuromuscular training program on landing kinematics in pre- and post-peak height velocity male

- athletes. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 3(7), 37–46. <https://doi.org/10.1007/s42978-020-00097-8>
- Rebelo, A., Pereira, J. R., Martinho, D. V., Duarte, J. P., Coelho-E-Silva, M. J., & Valente-Dos-Santos, J. (2022). How to improve the reactive strength index among male athletes? A systematic review with meta-analysis. *Healthcare*, 10(4), Article 593. <https://doi.org/10.3390/healthcare10040593>
- Renstrom, P., Ljungqvist, A., Arendt, E., Beynon, B., Fuku-bayashi, T., Garrett, W., Georgoulis, T., Hewett, T. E., Johnson, R., Krosshaug, T., Mandelbaum, B. R., Micheli, L., Myklebust, G., Roos, E., Roos, H., Schamasch, P., Shultz, S., Werner, S., Wojtys, E., & Engebretsen, L. (2008). Non-contact ACL injuries in female athletes: An International Olympic Committee current concepts statement. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 394–412. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.048934>
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part I: The physiologic basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 71–79.
- Richardson, J. T. E. (2011). Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educational Research Review*, 6(2), 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2010.12.001>
- Rubio-Peiretén, A., García-Pinillos, F., Jaén-Carrillo, D., Cartón-Llorente, A., & Roche-Seruendo, L. E. (2021). Is there a relationship between the morphology of connective tissue and reactivity during a drop jump? Influence of sex and athletic performance level. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), Article 1969. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041969>
- Ruggiero, L., Dewhurst, S., & Bampouras, T. M. (2016). Validity and reliability of two field-based leg stiffness devices: Implications for practical use. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(4), 415–419. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0297>
- Scantlebury, S., Jones, B., Owen, C., Brown, J., Collins, N., Fairbank, L., Till, K., Phillips, G., Stokes, K., & Whitehead, S. (2024). Time to level the playing field between men and women – given similar injury incidence: A two-season analysis of match injuries in elite men and women's (Super League) rugby league. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 27, 1440–2440. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2024.07.001>

- Scarneo, S. E., Root, H. J., Martinez, J. C., Denegar, C., Casa, D. J., Mazerolle, S. M., Dann, C. L., Aerni, G. A., & DiStefano, L. J. (2017). Landing technique improvements after an aquatic-based neuromuscular training program in physically active women. *Journal of Sport Rehabilitation*, 26(1), 8–14. <https://doi.org/10.1123/jsr.2015-0052>
- 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. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.710755>
- Shultz, S. J., Schmitz, R. J., Benjaminse, A., Caudhari, A. M., Collins, M., & Padua, D. A. (2012). ACL research retreat VI: An update on ACL injury risk and prevention. *Journal of Athletic Training*, 47(5), 591–603. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.5.13>
- Schneider, J., & DeBeliso, M. (2021). Is the Landing Error Scoring System-real time a reliable tool for assessing jump-landing biomechanics? *International Journal of Sports Science*, 11(1), 18–24. <https://doi.org/10.5923/j.sports.20211101.03>
- Smékal, D., & Mayer, M. (2004). Neuromuskulární kontrola a rehabilitace u lézí předního zkříženého vazů. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 3, 111–117.
- Stanley, L. E., Kerr, Z. Y., Dompier, T. P., & Padua, D. A. (2016). Sex differences in the incidence of anterior cruciate ligament, medial collateral ligament, and meniscal injuries in collegiate and high school sports. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(6), 1565–1572. <https://doi.org/10.1177/0363546516630927>
- Steib, S., Rahlf, A., Pfeifer, K., & Zech, A. (2017). Dose-response relationship of neuromuscular training for injury prevention in youth athletes: A meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 8, 1–17. <https://doi.org/10.1136/10.3389/fphys.2017.00920>
- Stephens, T. M., Lawson, B. R., DeVoe, D. E., & Reiser, R. F. (2007). Gender and bilateral differences in single-leg countermovement jump performance with comparison to a double-leg jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(3), 190–202. <https://doi.org/10.1123/jab.23.3.190>
- Stijak, L., Kadija, M., Djulejić, V., Aksić, M., Petronijević, N., Marković, B., Radonjić, V., Bumbaširević, M., & Filipović, B. (2015). The influence of sex hormones on anterior cruciate ligament rupture: Female study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(9), 2742–2749. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3077-3>

- 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*, *11*, Article 9914278, 1–25. <https://doi.org/10.1155/2021/9914278>
- Suarez-Arrones, L., Nuñez, F. J., Portillo, 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318238ea3e>
- Suchomel, T. J., Sole, C. J., Bailey, C. A., Grazer, J. L., & Beckham, G. K. (2015). A comparison of reactive strength index-modified between six U.S. Collegiate athletic teams. *Journal of Strength and Conditional Research*, *29* (5), 1310–1316. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000761>.
- Takazawa, Y., Nagayama, M., Ikeda, H., Kawasaki, T., Ishijima, M., Saita, Y., Kaneko, H., Kobayashi, Y., Hada, S., & Kane-ko, K. (2015). Anterior cruciate ligament injuries in elite and high school rugby players: A 11-year review. *The Physician and Sportsmedicine*, *44*(1), 53–58. <https://doi.org/10.1080/00913847.2016.1116362>
- 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. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092358>.
- Toumi, H., Poumarat, G., Best, T. M., Martin, A., Fairclough, J., & Benjamin, M. (2006). Fatigue and muscletendon stiffness after stretch-shortening cycle and isometric exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *31*(5), 565–572. <https://doi.org/10.1139/H06-034>
- Turner, A., & Jeffreys, I. (2010). The stretch-shortening cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength & Conditioning Journal*, *32*(4), 87–99. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181e928f9>
- Tůma, T., & Haitman M. (2017). *Česká verze Pravidel ragby 2017*. [cit. 2024-08-30]. [http://www.rozhodciragby.cz/pdf/pravidla\\_ragby\\_2017\\_cz.pdf](http://www.rozhodciragby.cz/pdf/pravidla_ragby_2017_cz.pdf)

- Vila, H., Barreiro, A., Ayán, C., Antúnez, A., & Ferragut, C. (2022). The most common handball injuries: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(17), Article 10688. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710688>
- Waldén, M., Atroshi, I., Magnusson, H., Wagner, P., & Hägglund, 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. <https://doi.org/10.1136/bmj.e3042>
- Ward, R. E., Yan, A. F., Orishimo, K. F., Kremenic, I. J., Hagins, M., Liederbach, M., Hiller, C. E., & Pappas, E. (2019). Comparison of lower limb stiffness between male and female dancers and athletes during drop jump landings. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *29*(85), 71–81. <https://doi.org/10.1111/sms.13309>
- Wikstrom, E. A., Tillman, M. D., Chmielewski, T. L., & Borsa, P. A. (2006). Measurement and evaluation of dynamic joint stability of the knee and ankle after injury. *International Journal of Sports Medicine*, *36*(5), 393–410. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636050-00003>
- Williams, S., Robertson, C., Starling, L., & McKay, C. (2022). Injuries in elite men's rugby union: An updated (2012–2020) meta-analysis of 11,620 match and training injuries. *Sports Medicine*, *52*(3), 1127–1140. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01603-w>
- Wilson, P. L., Wyatt, C. W., Romero, J., Sabatino, M. J., & Ellis, H. B. (2018). Incidence, presentation, and treatment of pediatric and adolescent meniscal root injuries. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, *6*(11), Article: 2325967118803888. <https://doi.org/10.1177/2325967118803888>
- Windt, J., & Gabbett, T. J. (2016). How do training and competition workloads relate to injury? The workload-injury aetiology model. *British Journal of Sports Medicine*, *51*(5), 428–435. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096040>
- Young, W. (1995). Laboratory strength assessment of athletes. *New Studies in Athletics*, *10*(1), 88–96.
- Zebis, M. K., Bencke, J., Andersen, L. L., Døssing, S., Alkjaer, T., Magnusson, S. P., Kjaer, M., & Aagaard, P. (2008). The effects of neuromuscular training on knee joint motor control during sidcutting in female elite soccer and handball players. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *18*(4), 329–337. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31817f3e35>

Zhang, S. N., Bates, B. T., & Dufek, J. S. (2000). Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(4), 812–819. <https://doi.org/10.1097/00005768-200004000-00014>

## **11. SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha 1:** Vyjádření Etické komise FTK UP

**Příloha 2:** Informovaný souhlas pro nezletilé účastníky

**Příloha 3:** Informovaný souhlas pro zletilé účastníky

## Příloha 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 směrnicemi 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: +420 585 636 009  
www.ftk.upol.cz

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



**Příloha 2:** Informovaný souhlas pro nezletilé účastníky

**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:

**Příloha 3:** Informovaný souhlas pro zletilé účastníky

**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: