

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

**Vliv únavy na neuromuskulární řízení kolenního  
kloubu a riziko zranění u basketbalistů věkové  
kategorie 13 a 15 let**

Diplomová práce  
(magisterská)

Autor: Bc. Matěj Strniště, tělesná výchova a sport  
Vedoucí práce: Mgr. Karel Hůlka, Ph.D.  
Olomouc 2018

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Matěj Strniště

**Název bakalářské práce:** Vliv únavy na neuromuskulární řízení kolenního kloubu a riziko zranění u basketbalistů věkové kategorie 13 a 15 let

**Pracoviště:** Katedra sportu

**Vedoucí diplomové práce:** Mgr. Karel Hůlka, Ph.D.

**Rok obhajoby diplomové práce:** 2018

**Abstrakt:**

Cílem práce je vyhodnocení neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu u hráčů basketbalu věkové kategorie U13 a U15 a na základě toho posoudit míry rizika poranění kolenního kloubu v důsledku kumulované únavy. Testování byli hráči z klubů BCM Olomouc a BCM Prostějov. Hráči byli rozděleni do dvou skupin na základě věku – U13 (n = 24; věk:  $13,6 \pm 0,61$  let) a U15 (n = 24; věk:  $15,8 \pm 0,62$  let). Měření proběhlo dvakrát v sezoně 2016 – 2017, přesněji na začátku a v průběhu soutěžního období. Sledovanými parametry byly index reaktivní síly a tuhost dolní končetiny (RSI a LS), které byly získány z testů 20 sub-maximálních vertikálních skoků a 5 maximálních vertikálních skoků na plošinách PS-2142 a FITRO Jumper. Výsledky potvrdily vliv věku na hodnoty neuromuskulárního řízení RSI, kdy skupina U15 dosahovala vyšších hodnot ( $p < 0,001$ ;  $F = 14,373$ ). Nebyly zaznamenány signifikantní rozdíly mezi začátkem a průběhem soutěžního období pro hodnoty neuromuskulárního řízení RSI, RLS a ALS, a to jak nezávisle na věkové kategorie, tak i vzhledem k věku hráčů. Stejně tak nebyl zjištěn ani signifikantní vliv úrovně herního výkonu mezi extraligovým a ligovým týmem. Z uvedených výsledků vyplývá, že je neuromuskulární řízení kolenního kloubu závislé na věku hráčů. Dále výsledky vypovídají, že nedocházelo ke kumulaci neuromuskulární únavy během soutěžního období.

**Klíčová slova:** tuhost dolní končetiny, index reaktivní síly, neuromuskulární kontrola, poranění ACL, dospívání, basketbal

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

**Author's name and surname:** Matej Strniste

**Title of the thesis:** Effect of fatigue on neuromuscular control of the knee and injury risk in 13 and 15 year old basketball players

**Department:** Department of Sport

**Supervisor:** Mgr. Karel Hůlka, Ph.D.

**The year of presentation:** 2018

**Abstract:**

The aim of this diploma thesis is to determine neuromuscular control in U13 and U15 basketball players and assess the associated risk of injury. Furthermore, to assess whether level of competition and maturation affects neuromuscular control. Players were divided into two groups according to their age – U13 (n = 24; age:  $13,6 \pm 0,61$ ) and U15 (n = 24; age:  $15,8 \pm 0,62$ ). The players were measured twice during the season 2016 – 2017, specifically at the beginning and during the competitive season. Maximal (5 vertical jumps) hopping protocol was performed on FITRO Jumper. Leg stiffness measures were collected from the test of 20 sub-maximal vertical jumps at a hopping frequency of 2,5 Hz performed on force platform PS-2142. Older group of U15 showed better values for RSI than U13 ( $p < 0,001$ ;  $F = 14,373$ ). The results also showed no significant decrement in RSI, ALS and RLS during the season. There were no significant results found according to the level of competition. Thus, the results confirm that neuromuscular control is age-related.

**Key words:** leg stiffness, reactive strength index, neuromuscular control, ACL injury, maturation, basketball

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

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Karla Hůlky, PhD., uvedl jsem všechny použité literární a odborné zdroje a dodržel zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. Června 2018

.....

Diplomová práce vznikla za podpory projektu grantové agentury České republiky č. GA16-13750 s názvem „Kumulativní efekt únavy na neuromuskulární řízení kolene a riziko zranění u mladých sportovců během růstu a zrání.“

Děkuji Mgr. Karlu Hůlkovi, Ph.D. za velmi užitečnou pomoc, spolupráci a rady, které mi poskytl při této diplomové práci.

## **Seznam použitých zkratek**

ACL = přední zkřížený vaz

ALS = absolute leg stiffness (absolutní tuhost dolní končetiny)

CMJ = counter-movement jump

CNS = centrální nervová soustava

LS – leg stiffness (tuhost dolní končetiny)

M – aritmetický průměr

m., mm. – musculus, muscoli

Max – maximum

Mdn – medián

Min – minimum

n – počet

RLS – relative leg stiffness (relativní tuhost dolní končetiny)

RSI – reactive strength index (index reaktivní síly)

SD – směrodatná odchylka

U13 – skupina basketbalistů s průměrným věkem 13 let

U15 – skupina basketbalistů s průměrným věkem 15 let

## Obsah

1	Úvod.....	10
2	Přehled poznatků .....	11
2.1	Zranění v basketbalu.....	11
2.2	Fyziologická charakteristika basketbalu.....	12
2.3	Anatomie kolenního kloubu .....	13
2.3.1	Statické stabilizátory .....	14
2.3.2	Dynamické stabilizátory.....	16
2.4	Poranění kolenního kloubu (ACL) - nekontaktní .....	16
2.5	Rizikové faktory při poranění kolenního kloubu.....	18
2.5.1	Přetížení kvadricepsu .....	19
2.5.2	Valgózní postavení dolní končetiny .....	19
2.5.3	Oslabený střed těla .....	19
2.5.4	Únava .....	20
2.6	Neuromuskulární řízení stability kolenního kloubu .....	23
2.6.1	Senzomotorický systém.....	24
2.6.2	Propriorecepce.....	24
2.7	Tuhost dolní končetiny .....	26
2.8	Index reaktivní síly .....	27
3	Cíle a úkoly práce.....	28
3.1	Cíl práce.....	28
3.2	Dílčí cíle .....	28
3.3	Výzkumné otázky .....	28
4	Metodika měření .....	29
4.1	Charakteristika souboru .....	29
4.2	Postup měření .....	29
4.2.1	Tuhost dolní končetiny.....	29
4.2.2	Index reaktivní síly (Reactive Strength index, RSI) .....	30
4.3	Statistické zpracování dat .....	30
5	Výsledky.....	31
6	Diskuze.....	42
7	Závěry.....	48
8	Souhrn .....	49



9	Summary .....	50
10	Referenční seznam .....	51

## 1 Úvod

Basketbal se v průběhu několika let stal druhým nejpopulárnějším týmovým sportem s celkovým počtem přes 450 milionů hráčů. V současné době se jedná o dynamicky se rozvíjející sport, kde jsou kladeny velké fyziologické nároky (FIBA, 2017). Hráči vykonávají extrémní pohybové úkony, které mohou zvyšovat riziko zranění. V současné době je basketbal nejrizikovějším sportem pro zranění předního křížového vazy (ACL) (Siegel, 2017). Včasné identifikování zvýšené rizikovosti zranění ACL u basketbalové mládeže může pozitivně ovlivnit budoucnost hráčů nejen ve sportovní kariéře ale i v každodenním životě.

Únava je vnímána jako jeden z rizikových faktorů, který může zvyšovat výskyt zranění. Během basketbalového utkání narůstá únava s přibývajícím hracím časem, tudíž je většina zranění sledována právě ke konci utkání. Při únavě dochází k ovlivnění neuromuskulárního řízení a snížení schopnosti jedince provádět pohybový úkon nadále efektivním způsobem. Úroveň ovlivnění neuromuskulárního řízení může být různá u dětí a dospělých, jelikož děti reagují na zatížení odlišným způsobem a vykazují nižší úroveň únavy. Většina současné literatury je zaměřena zejména zkoumání vlivu únavy u dospělých sportovců a určování rozdílů mezi muži a ženami. Studií zaměřených na děti a mladistvé je v současné době málo (Oliver & Smith, 2010).

Cílem diplomové práce je zjistit jakým způsobem ovlivňuje únava neuromuskulární řízení v oblasti kolenního kloubu během přípravného a soutěžního období. Mimo jiné, zda hraje v úrovni neuromuskulárního řízení vliv věk, popřípadě výkonnostní úroveň.

## 2 Přehled poznatků

### 2.1 Zranění v basketbalu

Basketbal je kontaktní sport, charakteristický krátkými a explozivními pohyby, které jsou spojené s rychlou změnou směru, výskoky a dopady. Všechny uvedené pohyby, působí velkým tlakem na pohybový aparát a může docházet k nejrůznějším typům zranění (Horsley & Herrington, 2016).

V dospělých kategoriích basketbalu se četnost zranění pohybuje na úrovni 4,9-5,7 zranění na 1000 odehraných hodin (Caparrós, T., 2016). Přičemž nejčastěji jsou zaznamenávána poranění hlezenního kloubu a poranění kolene, ať už menisků nebo předního křížového vazy (Gordon, DiStefano, Denegar, Ragle, & Norman, 2014). V nejvyšší basketbalové soutěži NBA bylo zaznamenáno 12 594 zranění během 17 let. Nejčastějšími zraněními byly právě podvrtnutí hlezenního kloubu, poranění kolenního kloubu a zranění v oblasti bederní páteře (Teramoto, et al., 2017). Za nejzávažnější zranění je považováno poranění předního zkříženého vazy (dále jen ACL). Zranění ACL se vyskytuje nejvíce právě u hráčů basketbalu, kteří jsou následováni hráči fotbalu (Siegel, 2017), proto by také snahou v tréninkovém procesu basketbalu mělo být najít ideálního vztahu mezi maximálním možným tréninkovým zatížením a dostatkem prevence před zraněním (Gabbett, 2016). Tento vztah zkoumal Caparrós (2016), kdy týmy, které absolvovaly větší počet tréninkových hodin, dosahovaly sice vyšší herní úrovně a měly úspěšnější sezony, ale na druhou stranu se zvyšujícím se počtem tréninkových hodin se zvyšoval i počet zranění v týmu. Nejčastěji dochází k poranění ACL v útočné fázi hry, kdy byli hráči v držení míče. Krosshaug et al. (2007) uvádí, že z celkového počtu 39 sledovaných poranění došlo právě v 34 případech v útočné fázi, v 5 případech došlo potom ke zranění v obranné fázi. Největší četnost zranění byla shledána při dopadu na dvě dolní končetiny zároveň a dopadem na jednu dolní končetinu.

U mládežnických kategorií basketbalu se četnost zranění pohybovala na hodnotě 1,39 na 1000 hodin tréninku, popřípadě utkání. Během pozorovaných tří sezon utrpělo nějaký druh zranění více než polovina hráčů. Někteří hráči byli zranění opakovaně. Nejvíce jsou náchylní ke zranění hráči na pozici rozehrávače (26,09 %), naopak nejméně nižší podkošovní hráči (15,05 %). Mezi nejčastější zranění u mládeže patří taktéž vyvrtnutí hlezenního kloubu a poranění kolenního kloubu. Dále se jednalo o vymknutí prstů a zranění v oblasti bederní

páteře. Největší výskyt zranění byl zaznamenán ve třetí čtvrtině utkání (30,3 %), kdy dochází ke kumulaci únavy (Sánchez-Jover, & Gómez, 2017).

V basketbalu dochází u žen ke zranění ACL až 8x častěji (Horsley & Herrington, 2016). U žen bylo nejčastěji pozorováno zranění při dopadu na jednu nohu a při prudké změně směru, kdy došlo k valgóznímu postavení kolenního kloubu spojené s interní rotací tibie. V mnoha případech byl evidentní i menší úhel flexe kolene (Koga et al., 2010).

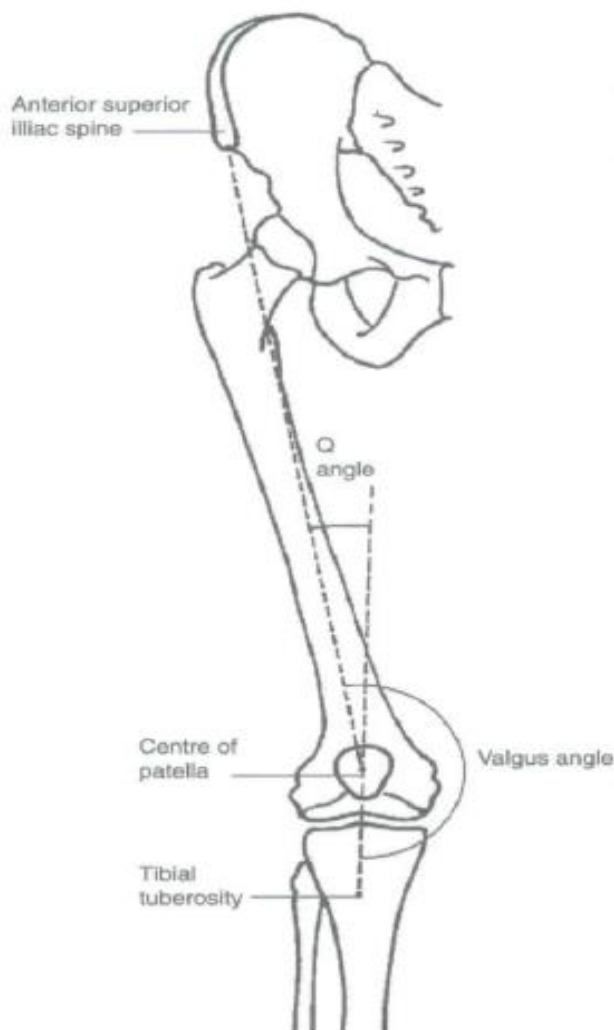
## **2.2 Fyziologická charakteristika basketbalu**

Basketbal je charakteristický svým intermitentním zatížením, kde se střídají úseky hry s vysokou intenzitou a úseky se střední a nízkou intenzitou. Zpravidla se jedná o pohyby, jako jsou rychlé změny směru, výskoky, sprinty vysoké intenzity a akcelerace. Během utkání basketbalu překonají hráči průměrně 5-6 km (Stojanovic et al., 2017). Hůlka a Bělka (2013) uvádí, že hráči průměrně vystartují nebo akcelerují 211 krát a provedou 33,31 výskoků během soutěžního utkání. Stojanovic et al., (2017) dokonce uvádí, že jsou výskoky průměrně realizovány hráči každou minutu, což je mnohem větší četnost než u dalších týmových sportů. Průměrná srdeční frekvence se pohybuje na úrovni 85% maximální srdeční frekvence. Při pohybech vysoké intenzity se jedná o lokomoce s trváním převážně 1-3 s. Basketbal tak klade nároky jak na anaerobní mechanismy, tak i na aerobní mechanismy zásobení energie (Edwards, 2018). Únava narůstá s blížícím se koncem zápasu, proto v basketbale dochází nejčastěji ke zraněním právě ke konci hracího období (Sánchez-Jover, & Gómez, 2017). V basketbalovém utkání se únava projevuje zejména zvýšením času potřebným k zastavení, snížením vertikálního výskoku a snížením rychlosti sprintů, celkově pak sníženou výkonností hráčů a nárůstem rizika zranění (Scanlan et al., 2017; Stojanovic et al., 2017).

Basketbal je jeden ze sportů s nejdelší sezonou ve světě profesionálního sportu. Když se k hlavní sezoně přidá ještě předsezonní příprava, jsou kladeny na hráče během jedné sezony velké fyziologické nároky, které mohou kumulovat únavu a tím i snižovat výkonnost hráčů respektive zvyšovat riziko poranění (Taylor, Chapman, Cronin, Newton, & Gill, 2012). Právě z těchto důvodů došlo i v profesionální soutěži NBA k úpravě modelu soutěže. A to zejména z důvodu zvýšené četnosti zranění, která byla pravděpodobně způsobena výše zmiňovanými vysokými fyziologickými nároky a kumulací únavy spojenými s vysokým počtem za sebou jdoucích zápasů (Zillgitt, 2015).

### 2.3 Anatomie kolenního kloubu

Kolenní kloub je největším kloubem v těle a také nejvíce komplexním. Zároveň je to kloub nestabilní vzhledem k jeho struktuře a k silám, které na něj působí. Jedná se o složený kloub, kde se spojují femur a tibia. Kondyly femuru nejsou souhlasné s plochou tibie, proto jsou mezi kosti jsou vloženy kloubní menisky, které jsou hlavní styčnou plochou. Při stožení míří tibia svisle vzhůru a femur je mírně odkloněn od vertikály - fyziologický abdukční úhel 170-175°. V praxi se k popisu odklonu femuru nevyužívá tento tupý úhel, ale úhel doplňující vertikální rovinu nazývaný Q úhel (Obrázek 1), který by neměl překročit 10° u mužů a 15° u žen (Čihák, 2011).

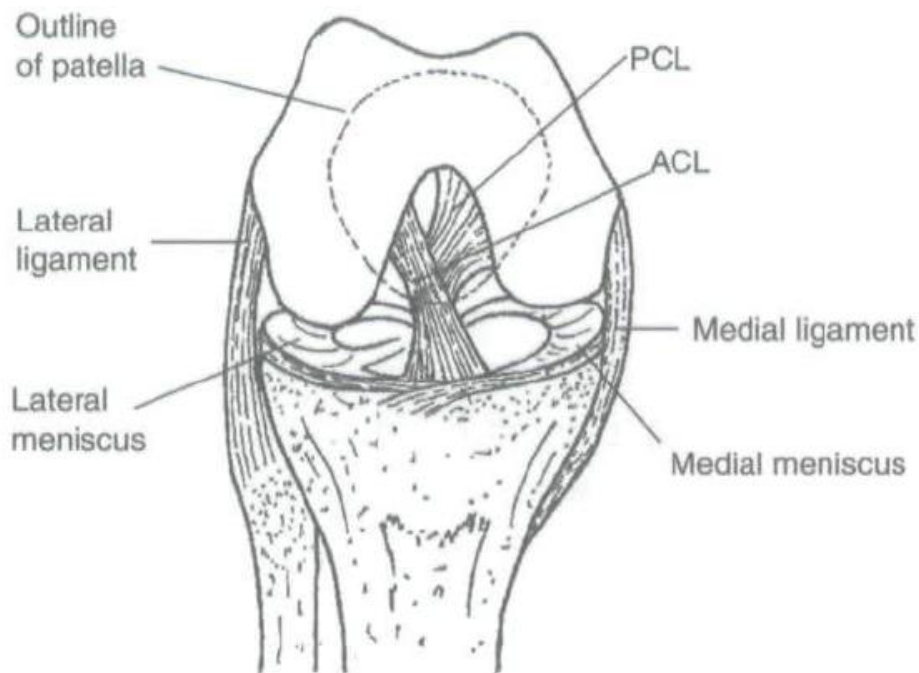


Obrázek 1. Q úhel a valgózní úhel pravé dolní končetiny (Hughes & Watkins, 2006).

Základní poloha kolenního kloubu je nazývána uzamknuté koleno, kdy je kloub v plné extenzi a femur, menisky a tibia na sebe naléhají. Základním pohybem je flexe a extenze, dále je možná vnitřní (5°-10°) i vnější (30°-50°) rotace, ale pouze za současné flexe. Flexe ani

extenze se nikdy neobjevují samostatně, vždy jsou doprovázeny dalšími souhyby (Čihák, 2011).

Udržení stability při pohybech je zajišťováno statickými a dynamickými stabilizátory. Mezi statické stabilizátory jsou řazeny menisky, kloubní pouzdro a vazy (Obrázek 2). Souhra a kontrola svalů kolem kolenního kloubu jsou popisovány jako dynamické stabilizátory (Hughes & Watkins, 2006).



Obrázek 2. Statické stabilizátory kolenního kloubu (Hughes & Watkins, 2006)

### 2.3.1 Statické stabilizátory

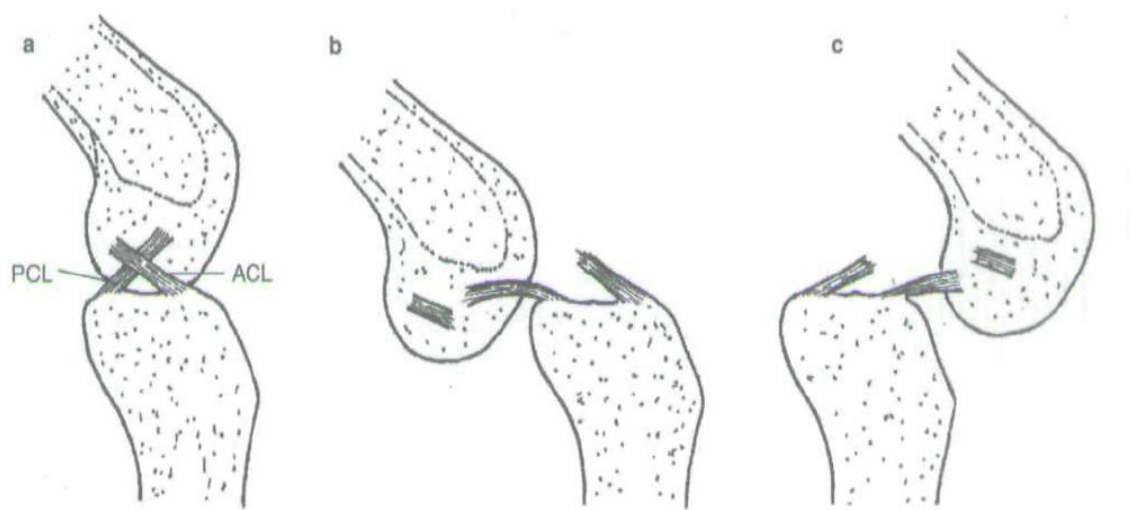
#### 2.3.1.1 Menisky

Menisky (laterální a mediální) jsou tvořeny z vazivové chrupavky. Oba menisky se od sebe liší tvarem i velikostí. Jejich cípy se upínají na tibií a obvodem se připojují ke kloubnímu pouzdru. Menisky se samostatně pohybují dozadu a zpět v závislosti na pohybu kloubu. Laterální meniskus je vyznačován větší pohyblivostí, proto k většině poranění menisku dochází u mediálního menisku, který je více ohrožen vzhledem k menší pohyblivosti. Menší pohyblivost mediálního menisku je zapříčiněna jeho spojením s kolaterálním vazem. Dále je spojen s částí musculus semimembranosus, kterým je také pohyb mediálního menisku ovlivňován (Čihák, 2011).

### 2.3.1.2 Vazivový aparát

Vazivový aparát je tvořen vazy kloubního pouzdra a nitrokloubními vazy. Mezi vazy kloubního pouzdra je řazen ligamentum patellae, který je pokračováním šlachy musculus quadriceps femoris a je v něm zanořena patella. Ligamentum patellae slouží k posílení přední strany kolenního kloubu. Dále se v kloubním pouzdru nacházejí postranní vazy – ligamentum collaterale tibiale (na mediální straně) a ligamentum collaterale fibulare (na laterální straně). Jedná se o vazy, které začínají na epikondylech femuru a upínají se na tibií, respektive fibulu. Jejich hlavním úkolem je stabilizace kolenního kloubu laterálně a mediálně. (Tortora & Derrickson, 2014). Nejvíce jsou vazy zatěžovány při extenzi, kdy se starají o stabilitu kolenního kloubu. Na zadní straně se poté nachází ligamentum popliteum obliquum a ligamentum popliteum acutum, který je považován za méně významný vaz (Čihák, 2011).

Mezi nitrokloubní vazy jsou řazeny ligamenta cruciata genus anterior (ACL) a ligamentum cruciata genus posterior (PCL), které spojují femur s tibií. Tyto zkřížené vazy odpovídají zejména za stabilitu kolenního kloubu při flexi a omezují jeho vnitřní rotaci, tím že se na sebe navíjejí (Čihák, 2011). ACL začíná na anteriorní části interkondylární vyvýšeniny tibie, probíhá posteriorně a upíná se na mediální povrch laterálního kondylu femuru. Hlavní funkcí je zabránění hyperextenze, která se v tomto kloubu normálně nevyskytuje a posunu tibie anteriorně vzhledem k femuru (Obrázek 3). Právě tento vaz je poraněn při 70% všech zranění kolenního kloubu (Tortora & Derrickson, 2014). Poranění ACL vzniká selháním dynamických stabilizátorů popřípadě statických stabilizátorů kolenního kloubu (Hughes & Watkins, 2006). PCL začíná na posteriorní části tibie a upíná se mediální kondyl femuru. Hlavní funkcí je zajištění normálního pohybu mezi tibií a femurem při flexi kolenního kloubu, což je nejvíce využíváno při chůzi ze schodů nebo strmém stoupání (Tortora & Derrickson, 2014). Dále ligamentum transversum genus, který spojuje menisky. Ligamentum mesicofemorale posterius, který je slabším vazem a fixuje zadní cíp laterálního menisku (Čihák, 2011).



Obrázek 3. a) normální postavení zkřížených vazů, b) poranění ACL při posteriorní dislokaci, c) poranění ACL při anteriorní dislokaci femuru vzhledem k tibii (Hughes & Watkins, 2006).

### 2.3.1.3 Kloubní pouzdro

Kloubní pouzdro se upíná na okraji kloubní plochy tibie, na femuru o něco dále z důvodu vynechání epikondylů pro upnutí svalů a vazů. Kloubní pouzdro je v předních partiích slabé, proto je zesíleno postranními vazy (Čihák, 2011).

### 2.3.2 Dynamické stabilizátory

Statické stabilizátory nejsou schopny absorbovat reakční síly vyvolané při extrémních pohybech, proto musí tělo spoléhat na dynamické stabilizátory kolene a hlezenního kloubu. Dynamická stabilita je definována jako schopnost zachovat normální pohybové vzorce během náročných pohybů (Wikstrom et al., 2006). Stabilita je zajišťována prostřednictvím svalů, které křížují kolenní kloub. Na přední straně je to musculus quadriceps. Na zadní straně potom za stabilizaci zodpovídají hamstringy a musculus triceps surae (Hughes & Watkins, 2006).

## 2.4 Poranění kolenního kloubu (ACL) - nekontaktní

Jedná se o zranění kolenního kloubu, kdy nedojde ke kontaktu s jiným hráčem, popřípadě cizím objektem (Dai, Herman, Liu, Garrett, & Yu, 2012). Zranění ACL je ve sportu považováno za jedno z nejčastějších a nejvážnějších zranění, kdy tvoří 3-5% všech zranění všech sportů. U žen tvoří až 4,9% všech zranění (Gordon et al., 2014). Mezinárodní



Olympijská komise (2008) udává četnost na 34-80 zranění ACL na 100 000 osob. Následné ekonomické náklady na nápravu poranění jsou ve světě považované za nemalé (Dai et al., 2012), proto je také poranění ACL řazeno mezi nejvíce zkoumané části lidského těla (Horsley a Herrington, 2016). K nekontaktnímu poranění ACL dochází při 70-84% z celkového počtu zranění ACL (Alentorn-Geli, 2009).

Horsley a Herrington (2016) uvádí, že po přetržení předního křížového vazů se méně než 50 % sportovců vrací zpět do tréninkového procesu v prvním roce od zranění. Přibližně u 25 % sportovců dochází k přetržení vazů podruhé v následujících dvou letech od prvního zranění. Pouze 20 % sportovců se vrátilo na výkonnostní úroveň, na které se pohybovali před zraněním (Siegel, 2017). Zranění ACL může mít také následky na budoucí aktivitu a kvalitu života, kdy 31 % pacientů mělo následně různé problémy při chůzi a až 44 % pacientů mělo problémy s každodenními činnostmi (Dai et al., 2012). Následkem poranění ACL může být i brzký rozvoj artrózy (Siegel, 2017).

Příčinou jsou nejčastěji pohyby jako prudké zpomalení spojené se změnou směru (velice často při interní rotaci kolenního kloubu), při dopadu s kolenem v hyperextenzi nebo valgózním a varózním postavení, při chybné aktivaci hamstringů (Siegel, 2017). Dále jsou uváděny jako rizikové pohyby navíc i pivotování s kolenním kloubem blížícím se plné extenzi, interní i externí rotaci kolene, působení dopředné síly translace tibie, která je uváděna jako nejvíce škodlivá pro ACL zejména pak ve flexi kolene při 20-30° (Alentorn-Geli et al., 2014; Dai et al., 2012).

Při uváděných pohybech, jako jsou doskoky a rychlé změny směru působí tělo na povrch určitou silou. Dle Newtonových zákonů o akci a reakci, povrch působí stejnou reakční silou zpět na tělo. Jedná se o síly několikanásobně vyšší než tělesná hmotnost sportovce, se kterými se musí tělo vyrovnat a být schopné je absorbovat co nejefektivnějším způsobem pro tělo (Wikstrom, Tillman, Chmielewski & Borsa, 2006). Selhání mechanismů k absorbování daných sil vede ke zvýšenému riziku zranění ACL. Za nejčastější mechanismy, které byly sledovány při poranění ACL, jsou považovány externí rotace tibie spojená s kolenním kloubem blížícím se plné extenzi a valgózním postavením kolene (Krosshaug et al., 2017). Uváděné rizikové pohyby sami o sobě nezpůsobují zranění ACL, ale spíše kombinace pohybů s působícími silami na ACL.

## 2.5 Rizikové faktory při poranění kolenního kloubu

Mezi rizikové faktory patří vývoj těla člověka po stránce anatomické, hormonální a genetické. V tomto případě jsou to faktory, které nejsou ovlivnitelné (Dai et al., 2012). Jedná se o faktory, jako jsou nejrůznější dysfunkce menisků, šířka interkondylární vyvýšeniny - příliš úzká vyvýšenina nedává dostatek prostoru pro ACL a naopak i příliš široká vyvýšenina vede ke zvýšení rizika zranění ACL (Simon, Everhart, Nagaraja, & Chaudhari, 2010; Alentorn-Geli et al., 2014). Nestabilitu kolenního kloubu ovlivňuje i laxita vazů, což je charakterizováno jako rozsah pohybu, který je abnormální pro daný kloub za neaktivity příslušných svalů. (Hughes & Watkins, 2006). Laxita vazů je ovlivněna délkou a tuhostí daných vazů. Delší a méně tužší vaz znamená větší vazovou laxitu, čímž se zvyšuje riziko poranění ACL (Serpell, Scarvell, Ball, & Smith, 2012). Při vysoké laxitě vazů je poranění ACL až 2,8 krát větší (Alentorn-Geli, E., 2009).

Rizikové faktory, které jsou v praxi nějakým způsobem ovlivnitelné a mohou vést ke snížení rizika zranění ACL, jsou biomechanického a neuromuskulárního původu (Sugimoto et al., 2015). Za neuromuskulární faktory jsou považovány přetížení kvadricepsu, valgózní postavení dolní končetiny, dominance jedné dolní končetiny nad druhou (asymetrie) a oslabený střed těla. (Hewett, Ford, Hoogenboom, & Myer, 2010). Svoji roli hrají i faktory jako jsou únava, propriorecepce a omezená flexe v kolenním kloubu (Alentorn-Geli, 2009). Nejčastěji je pozorováno poranění při flexi kolene v rozmezí 18° až 24° (Krosshaug, 2007). Za rizikové faktory jsou považovány i funkce dalších kloubních spojení dolní končetiny, které jsou součástí celého pohybového řetězce, zejména pak kyčle (McLean, Huang, & van den Bogert, 2005).

K výraznějšímu nárůstu rizika zranění ACL dochází mezi 15 a 19 rokem života sportovce, kdy dochází k výraznému nárůstu hmotnosti a výšky, zejména během růstového spurtu (Kaneko, S., 2016). Za rizikovou skupinu jsou považovány i ženy, kdy je výskyt zranění ACL mnohem vyšší než u mužů. Ženy provádějí rizikové pohyby, jako jsou dopady, změny směru a prudké zpomalení s odlišným pohybovým vzorem než muži - jiné úhly flexe kolene při pohybech, výraznější valgózní postavení a větší interní rotace v kyčlích. Pozorována byla i větší dominance jedné končetiny nad druhou v porovnání s muži (Pollard, Sigward, & Powers, 2007; Ford, Myer, & Hewett, 2003). Stejně tak je sledována u žen odlišná aktivace svalů, jako je nižší aktivace gluteus maximus a větší dominance kvadricepsu nad hamstringy (Zazulak, Ponce, Straub, Medvecky, Avedisian & Hewett, 2005). Z anatomického

hlediska je také uváděna širší pánevní kost, menší velikost ACL a větší vazivová laxita, která může být ovlivněna hormony v období menstruace (Siegel, 2017).

### **2.5.1 Přetížení kvadricepsu**

K přetížení kvadricepsu dochází, pokud je kolenní kloub stabilizován převážně předními stehenními svaly, kdy dochází k větší extenzi kolenního kloubu (Zebis et al., 2017). Kvadriceps se upíná na přední stranu tibie, tudíž při kontrakci a stabilizaci kolene kvadricepsem dochází k tahu tibie směrem vpřed a k femuru. Což je v rozporu s hlavním úkolem ACL, který drží tibií směrem vzad a dochází k nechtěnému působení sil na ACL (Hewett et al., 2010). Tělo místo celého řetězce svalů zadní strany dolní končetiny, které jsou velmi často inhibovány, používá ke stabilizaci pouze jeden sval a má tak omezené funkce (Hughes & Watkins, 2006). Na druhé straně, ischiokrurální svaly se upínají na více místech oproti jednomu místu u kvadricepsu, tudíž mají hamstringy větší možnost pro stabilizaci kolene. Hamstringy fungují jako flexory kolene a zvětšují tak flexi kolene, čímž poskytují mechanickou výhodu svalům pro absorbování reakčních sil (Hewett et al., 2010), proto jsou považovány za synergisty ACL a mimo jiné také táhnou tibií vzad, čímž snižují tlak na ACL (Hewett et al., 2010).

### **2.5.2 Valgózní postavení dolní končetiny**

O valgózním postavení dolní končetiny vypovídá Q úhel. Tento jev je převážně pozorován u žen. V takovém postavení jsou reakční síly absorbovány prostřednictvím vazů a dalších statických stabilizátorů místo využívání hlavních svalů dolní končetiny, které by za absorbování měly být zodpovědné - svaly gluteální, ischiokrurální a lýtkové (Hughes & Watkins, 2006). Hewett et al. (2010) tento jev popisuje jako vazovou dominanci a je úzce spojen s dominancí kvadricepsu. Dle studie Pollard et al. (2010) u sportovců s větším Q úhlem byl pozorována omezená flexe kolene a aktivita adduktorů stehna, čímž se zvyšuje riziko zranění ACL.

### **2.5.3 Oslabený střed těla**

Oslabený střed těla je popisován jako neschopnost přesně kontrolovat střed těla ve všech třech rovinách. Velice často dochází k oslabení v průběhu růstového spurtu, kdy se zvyšují nároky na neuromuskulární řízení. S rostoucí výškou se zvyšuje těžiště, čímž narůstají obtíže s rovnováhou. U žen je tento jev mnohem výraznější než u mužů. Muži se po růstovém

spurtu dostávají do fáze nazývané neuromuskulární spurt, kdy se rozvíjí tak, aby byli schopni ovládat své tělo vzhledem k nárůstu síly, hmotnosti a výšky (Hewett et al., 2010).

#### 2.5.4 Únava

Únava je charakterizována jako ochrana organismu před stavy ohrožující život člověka (dehydratace, hypoglykémie, apod.). Stav únavy je spojen s poklesem výkonnosti a neschopnosti pokračovat v dané pohybové činnosti a je nevyhnutelnou součástí pohybové aktivity (Hassanlouei, Arendt-Nielsen, Kersting, & Falla, 2012). V tomto kontextu se jedná o únavu fyziologickou, kterou je možné rozdělit z několika hledisek: fyzická vs. mentální, lokální vs. globální, akutní vs. chronická, periferní vs. centrální a subjektivní vs. objektivní (Lehnert et al., 2014). Andrei (2015) uvádí 4 fáze fyziologické únavy. První fáze je charakterizována jako specifická u většiny sportovců, se kterou je tělo schopné se vypořádat a má pozitivní vliv na organismus. Pravidelné vystavování první fázi únavy vede k pozitivní adaptaci organismu na zátěž. Poté následuje fáze únavy, kdy je zotavení neúplné. Třetí fáze je spojení fyzické únavy s mentální únavou a velice často i s nejrůznějším onemocněním. Poslední fáze graduje v úplném vyčerpání organismu, kdy jsou zasaženy jak pohybový aparát tak i CNS, endokrinní systém a metabolismus.

Periferní únava, také nazývána jako únava svalová, je zapříčiněna opakujícími se kontrakcemi svalu, které spotřebovávají energii a narušují homeostázu organismu (Andrei, 2015). Hassanleouei et al. (2012) definuje periferní únavu jako neschopnost produkovat maximální sílu. Rychlost nástupu únavy závisí na intenzitě a délce trvání pohybové aktivity. S narůstající únavou dochází ke zvýšení rizika zranění, proto právě k většině poranění dochází ke konci hrací doby (Small, McNaughton, Greig, & Lovell, 2010).

V opozici stojí únava centrální, která je chápána jako neschopnost provést koordinovaný pohyb se stejnou přesností jako ve stavu bez únavy (Andrei, 2015). Jedná se tedy o únavu na úrovni CNS (Lehnert et al., 2014), kdy dochází k omezení aferentních drah přivádějící informace ze svalu do CNS a svalových větének, čímž dochází ke zpoždění odpovědi CNS a snížení počtu svalových vláken zapojených do daného pohybu (Ali, & Homayoon, 2013). Centrální i periferní únava ústí ve zhoršené neuromuskulární řízení a mohou mít negativní vliv na propriorecepci (Hassanlouei et al., 2012; Ribeiro, Santos, Gonçalves, & Oliveira, 2008).

Není výjimkou, že při pohybové aktivitě může mít sportovec pocity subjektivní únavy, které nutí sportovce k zastavení dané pohybové aktivity, i přes nepřítomnosti svalové únavy. V takovém případě se jedná o jev, kdy centrální únava, má snahu zastavení pohybové činnosti jako ochranný mechanismus před poškozením svalů (Tortora & Derrickson, 2014).

Přesné příčiny únavy nejsou zcela jasné, ale uvádí se několik faktorů, které se pravděpodobně podílejí při nástupu únavy. Fyziologická únava je z 80 % zapříčiněna faktory pocházejícími spíše z periferií než z CNS, ať už se jedná o izometrickou kontrakci nebo zátěž vysoké intenzity. Nejčastější vzniká únava na základě problému v cyklu excitace-kontrakce uvnitř svalového vlákna. Jedním z důvodů, který může mít na svědomí pokles síly a výkonu je kumulace anorganického fosfátu (Pi), který pokud vstoupí do sarkoplazmatického retikula během únavy, může docházet ke snížení množství iontů vápníků ( $\text{Ca}^{2+}$ ) schopných vypuštění ze sarkoplazmatického retikula. Zvýšená koncentrace Pi spojená se sníženým pH je uváděna studii jako faktor fyziologické únavy, který inhibuje aktin, myozin a ATP systém. Zásoby ATP jsou také často uváděny jako hlavní příčina únavy, jelikož se jedná o hlavní zdroj energie pro procesy myofilament, akčních potenciálů a zpětné získávání iontů vápníku. Tudíž jakákoliv neschopnost v obnovení zdrojů ATP může vést ke snížení výkonu (Ratel, Williams, Oliver, & Armstrong, 2006). Dále jsou uváděny důvody, jako je nedostatečné zásobení svalů kyslíkem, zvýšená koncentrace laktátu a narušení akčních potenciálů, které nejsou schopné vypustit dostatečné množství acetylcholinu (Tortora & Derrickson, 2014). Velmi často je mylně považován za hlavní příčinu laktát. Nicméně laktát je naopak za určitých podmínek organismem využíván jako zdroj energie. Únava není způsobována pouze jedním z těchto jevů, ale vždy se jedná o kombinaci dvou a více (Kenney, 2011).

Zotavení po únavě je závislé na typu zatížení a jeho intenzitě. Zpravidla po intenzivní pohybové aktivitě krátkého trvání dochází k mnohem rychlejšímu zotavení. Na druhé straně regenerace po dlouhodobější pohybové aktivitě nízké intenzity má delšího trvání – celková regenerace může trvat až několik hodin. Zotavení je delší z důvodu narušení sarkoplazmatického retikula, které je spojeno s regulací iontů vápníku a tudíž celkovou svalovou kontrakcí (Marieb, 2013).

Únava negativně ovlivňuje neuromuskulární řízení organismu, kdy se zvyšuje riziko zranění a snižuje se schopnost jedince provádění složitých pohybů efektivním způsobem. Dochází ke zhoršení dynamické stabilizace kolenního kloubu zejména pak aktivace ischiokrurálních svalů a zvýraznění unilaterální disbalance, což je negativně spojováno se

zvýšeným rizikem poranění, hlavně ACL. Správná a včasná aktivace hamstringů je zásadní pro ideální stabilizaci kolenního kloubu při sportovních výkonech (De Ste Croix et al., 2015). Únava je jedním z faktorů ovlivňujících dynamickou stabilitu kloubních spojení v průběhu pohybu. Při únavě může docházet i ke změnám v poloze kloubních spojení a držení těla (Webster, 2010). Stejně tak může docházet k nepřirozeným pohybům mezi tibíí a femurem, kdy dochází k posunu tibie anteriorně, čímž dochází ke zvýšenému stresu na ACL (Melnik & Gollhofer, 2007). Zvýšené riziko zranění dolních končetin je spojeno i s únavou horní části těla, která může ovlivnit celkovou rovnováhu těla a tím zvýšit riziko zranění dolních končetin (Wassineger et al., 2014).

#### **2.5.4.1 Únava u dětí a dospívajících**

Děti v porovnání s dospělými sportovci vykazují nižší únavu po zatížení. Dospělí sportovci potřebují k regeneraci po výkonu několik hodin, na druhé straně dětem stačí pouze pár minut. Stejně tak i pokles výkonu při vysokém zatížení je mnohem větší u dospělých. První studií pro porovnání únavy dětí a dospívajících provedl Hebestreit, Mimura a Bar-Or, (1993). Děti ve věku 8-12 let potřebovali po maximálním zatížení pouhé 2 minuty k úplné regeneraci a k provedení maximálního zatížení opět na 100%, kdežto u dospělých bylo potřeba 10 minutový interval odpočinku. Ratel et al. (2006) porovnával únavu a pokles výkonu mezi dětmi a dospělými testováním 10s sprintů následovanými 15s intervalem odpočinku. Přičemž u dětí došlo k poklesu výkonu o 28,9% a výkon dospělých se zhoršil až o 47%.

Věkové rozdíly ve vlivu únavy jsou vysvětlovány několika faktory. Při stejném množství vykonané práce dochází u dospělých k zapojení více svalů v daném pohybovém úkonu a jsou schopni produkovat větší maximální sílu, tudíž dochází k větší únavě u dospělých. Různá strukturu svalů hraje také svoji roli, kdy před pubertou je u dětí sledována převaha oxidativních vláken nad glykolytickými vlákny oproti dospělým. Oxidativní svalová vlákna jsou vyznačována nižší unavitelností (Ratel & Blazevich, 2017). S tím je spojen i nižší podíl glykolytického metabolismu u dětí, což jim umožňuje lépe odolávat únavě. Stejně tak mohou být vysvětleny i různorodostí v resyntéze energetických zdrojů. Rychlá a krátkodobá obnova energetických zdrojů je závislá na resyntéze kreatin-fosfátu (CP), který je úzce spojen s oxidativní aktivitou svalů. Jedinci s vysokou mírou oxidativního metabolismu jsou schopni obnovit CP rychleji, tudíž odolávají lépe únavě během vysoké intenzity zatížení. Právě tato schopnost rychlejší obnovy CP je pozorována u dětí v porovnání s dospělými. Menší

množství CP znamená také menší množství přiváděných metabolitů, jako jsou ionty vodíku, tudíž dochází k nižšímu poklesu pH (Ratel et al., 2006).

## **2.6 Neuromuskulární řízení stability kolenního kloubu**

Neuromuskulární řízení je charakterizováno jako samovolná aktivace dynamických stabilizátorů obklopujících daný kloub jako odpověď na určitý stimul. Důležitá je koordinace a koaktivace všech svalů zapojených do stabilizace kloubu, stejně tak i souhra agonistů a antagonistů (Alentom-Geli, E., 2009). Aktivace svalů a vnímání stimulů, funguje na základě feed-forward a feedback mechanismů. Tudíž je pro správné fungování neuromuskulární kontroly nezbytná propriorecepce, která poskytuje informace o daném kloubním spojení a silách, které na něj v určitý moment působí.

Feed-forward informace také nazývané jako před-aktivace (dopředná regulace) se objevují i 20ms před určitou zátěží na kolenní kloub a napomáhají k rychlejší stabilizaci kolene (De Ste Croix, Priestly, Lloyd, & Oliver, 2015). Jedná se o aktivaci na základě předešlé pohybové zkušenosti (Wikstrom et al., 2006). Feedback mechanismy naopak aktivují svaly jako odpověď na podněty přicházející aferentními dráhami ze senzomotorického systému (Smékal & Mayer, n. d.). Feed-forward regulace je využívána až do fáze, kdy je možné využít feedback mechanismy. V určitých situacích, jako je posturální kontrola, tělo využívá jak feedback, tak i feed-forward mechanismy zároveň (Riemann & Lephart, 2002).

V celkovém pohybovém řetězci při stabilizaci kolenního kloubu je nutné nejprve aktivovat ischiokrurální svaly, tj. m. semimembranosus, m. semitendinosus, m. biceps femoris. Určitou roli má i samotná spolupráce mezi těmito mediálními a laterálními hamstringy. Teprve poté by mělo docházet k aktivaci mm. vasti a jako poslední m. gastrocnemius. Dobrá stabilizace je závislá i na načasování optimální aktivace (Smékal & Mayer, n. d.). Dle Hughes a Watkins (2006) je reakční doba aktivace hamstringů jedním z nejrizikovějších faktorů při poranění ACL. Delší doba reakce negativně ovlivňuje stabilizaci kolene při působení vnějších sil na kolenní kloub. Určitou roli má i samotná spolupráce mezi mediálními a laterálními hamstringy, tj. mezi mm. semimembranosus a semitendinosus a m. biceps femoris.

Přesun aktivace spíše na kvadriceps vede k destabilizaci kolene při momentech rotujících vnitřně femur oproti tibii. M. gastrocnemii jako poslední součást řetězce mají za úkol stabilizovat kolenní kloub tažením femuru dorzálně oproti tibii. S čímž je spojená koaktivace mm. vasti, pokud dojde k aktivaci mm. vasti před m. gastrocnemius dochází

k výraznému zvýšení rizika poranění ACL (Smékal & Mayer, n. d.). Důležitost správného načasování a pořadí aktivace svalů potvrzuje ve své studii i Huston & Wojtys (1996), kdy populace s větším rizikem poranění ACL aktivovali kvadriceps před svaly ischiokrurálními.

### **2.6.1 Senzomotorický systém**

Senzomotorický systém je senzoricou, motorickou a centrální integrací komponentů, které se podílejí na udržení funkční kloubní stability (kloubní homeostáza). Stabilita je definována jako udržení stavu za působení sil, při kterých by normálně došlo k jeho změně popřípadě změně podmínek. Popřípadě je chápána jako návrat do původní polohy kloubu vyrovnáním sil působících na daný kloub hlavním úkolem senzomotorického systému je udržení stability prostřednictvím statických a dynamických stabilizátorů (Riemann & Lephart, 2002).

Nezbytností je vysoká flexibilita a adaptabilita komponentů jelikož se požadavky na udržení stability neustále mění v závislosti na pohybovém úkonu a jednotlivci (Riemann & Lephart, 2002). Před samotnou svalovou činností dochází k příjmu informace, jejímu zpracování a integraci v centrální nervové soustavě, tento proces je souhrnně nazýván senzomotorika. Kloubní funkční stabilita je udržována komplexním vztahem mezi statickými a dynamickými stabilizátory. Informace jsou přijímány z mechanoreceptorů uložených ve svalech, šlachách, kloubech a v kůži (Trojan, Druga, Pfeiffer, & Votava, 2005).

### **2.6.2 Propriorecepce**

Propriorecepce je definována jako schopnost kloubů vnímat přesnou polohu v čase i prostoru, rozpoznávat pohyby a síly působící na kloubní spojení (Wikstrom et al., 2006). Organismem je využívána k regulaci posturálních svalů, udržení kloubní stability a iniciují aktivitu některých svalů. Propriorecepce, jakožto mechanismus k udržení kloubní stability, v sobě zahrnuje procesy jako je stimulace receptorů, přenos nervového vzruchu, integrace signálů na úrovni CNS, přenos eferentních vzruchů, aktivaci svalů a konečné vykonání potřebné síly (Riemann & Lephart, 2002).

Propriorecepce vzniká v receptorech umístěných v propriorecepčním poli. Jedná se o senzoricke receptory umístěné ve svalech, vazech, šlachách, kloubních pouzdrech a hluboko a v kůži, které převádějí mechanické podněty z propriorecepčního pole na nervové vzruchy proudící do CNS (Riemann & Lephart, 2002). Tortora & Derrickson (2014) identifikuje tři



základní druhy proprioreceptorů - svalová vřeténka, kinetické receptory kloubů a šlachové receptory.

Svalová vřeténka jsou elementy, které kontrolují změny v délce kosterního svalstva a účastní se napínacího reflexu. Vřeténka jsou tvořena z intrafuzálních vláken, která jsou složena z 3-10 svalových vláken obalených nervovými zakončeními. Jsou uložena paralelně vzhledem k svalovým vláknům produkující energii (extrafuzální). Intrafuzální vlákna jsou zkracována a natahována v závislosti na změně délky extrafuzálních vláken. Větší množství svalových vřetének je obsaženo ve svalech, které vykonávají přesnější pohyby s velkým důrazem na detail (prsty, oči) v porovnání se svaly jako je kvadriceps nebo hamstringy (Tortora & Derrickson, 2014).

Šlachové receptory jsou umístěny na přechodu samotného svalu ve šlachu. Prostřednictvím šlachového reflexu chrání sval před poškozením a nadměrným protažením (Tortora & Derrickson, 2014). V organismu se vyskytují čtyři základní druhy šlachových receptorů – Ruffiniho tělíska, volná nervová zakončení, Vater-Paciniho tělíska a Golgiho aparát. Mezi nejvíce studované se řadí Ruffiniho tělíska, které jsou zodpovědné za regulaci dynamických i statických stabilizátorů. Naopak úkolem Golgiho aparátu je přivádět signály o aktivním svalovém napětí během kontrakce (Riemann & Lephart, 2002). Vater-paciniho tělíska odpovídají na pohyby zrychlení a zpomalení během pohybového úkonu. Kinetické receptory kloubů se nacházejí v oblasti kloubního pouzdra, kde jsou informace získávány z kožních mechanoreceptorů, které reagují na tlak působící na daný kloub. Vazy v oblasti kloubů obsahují také šlachové receptory, tudíž fungují na stejném principu (Tortora & Derrickson, 2014).

Proces propriorecepce je možné rozdělit do dvou kategorií - propriorecepce, reagující na vnější prostředí např.: nerovný povrch při chůzi, kdy dojde k narušení homeostázy kloubu. V takovém případě bývá většinou zdrojem dané informace zrak, nicméně v určitých situacích je právě proprioreceptivní informace vedená, v tomto případě, z hlezenního kloubu a svalů s ním spojených nejpresnějším a nejrychlejším zdrojem. Druhou kategorií je propriorecepce vzhledem k vnitřnímu prostředí, která poskytuje informace pro řízení motoriky, kdy je třeba vyhodnotit, zda se jedná o pohyb ve více kloubech, v jakých úhlech se dané klouby pohybují a jak velké napětí je potřebné k udržení stability. Motorické řízení zodpovídá za vyřešení všech uvedených problémů během pohybového úkonu a k tomu jsou využívány nejlépe právě informace z vnitřní propriorecepce.

## 2.7 Tuhost dolní končetiny

Tuhost dolní končetiny (leg stiffness) vyjadřuje schopnost svalově-šlachového komplexu k ukládání a uvolnění energie v průběhu kontaktu s podložkou (Oliver & Smith, 2010). Převážně je měřena při základních pohybech - běh, vertikální skok a skok do dálky (Butler, Crowell, & Davis, 2003). Leg stiffness je chápána jako ukazatel prevence zranění při rychlých změnách směru pohybu nebo doskoku a také je popisována jako schopnost dolních končetin generovat sílu a odolávat tlakům během excentricko-koncentrických pohybů (Padua, Arnold, Carcia, & Granata, 2005). Tuhost dolní končetiny je řízena na základě feed-forward a feedback informací, které napomáhají k vyšší svalové tuhosti a tím i lepší dynamické funkční stabilitě, kdy pomáhá zabraňovat nežádoucím pohybům v tibiofemorálním kloubu (Wikstrom et al., 2006). Čím vyšší tuhost dolní končetiny, tím se snižuje tlak na statické stabilizátory kolenního kloubu včetně ACL. Z tohoto důvodu je leg stiffness důležitým faktorem při identifikaci velikosti rizika zranění ACL (Hughes & Watkins, 2006). Nicméně příliš vysoká tuhost dolní končetiny dovoluje hráčům absolvovat zvýšené zatížení, které je spojováno s větším náparem na kosti. Může tudíž docházet ke zvýšenému riziku zlomeniny, popřípadě osteoartrózy (Grimston, Engsborg, Kloiber, & Hanley, 1991).

Tuhost dolní končetiny během funkčních pohybových úkonů reprezentuje průměrnou tuhost pohybového systému a je závislý na torzní tuhosti kloubů během kontaktu se zemí (Arampatzis, Bruggemann, & Klapsing, 2001). Torzní kloubní tuhost závisí na několika biomechanických faktorech jako je aktivace svalů, reflexy, koaktivace antagonistů, kinematika dolních končetiny během kontaktu s podložkou. Tudíž může být tuhost dolní končetiny dosažena prostřednictvím různých strategií organismu, včetně odlišné svalové aktivace. Strategie vedoucí k tuhosti mohou být definovány jako multikloubní koordinace a naplánování svalové aktivace (Farley & Morgenroth, 1999).

U žen jsou pozorovány odlišné strategie aktivace svalů a pohybové strategie k docílení ideální tuhosti dolních končetin, kdy ženy jsou více závislé na funkci kvadricepsu a lýtkového svalu a pohybují se ve více napřímeném postoji charakteristickým větší extenzí v kolenním a kyčelním kloubu v porovnání s muži. Zapojení kvadricepsu a lýtkového svalu s kolenním kloubem ve skoro úplné extenzi může být vhodnou strategií pro navýšení tuhosti dolní končetiny při funkčních pohybových úkonech, nicméně takováto strategie zatěžuje více ACL a tudíž zvyšuje i riziko zranění (Padua et al., 2005). Současná literatura uvádí, že ženy vykazují nižší hodnoty leg stiffness než muži, což může být spojeno právě s vyšším

množstvím zranění ACL u žen. Nižší hodnoty leg stiffness u žen mohou být vysvětleny odlišnou relativní i absolutní silou dolní končetiny, kdy je u žen pozorována nižší síla kvadricepsu i hamstringu (Hughes & Watkins, 2006). Mimo jiné je leg stiffness ovlivněna i věkem. Postupem věku dochází k nárůstu leg stiffness, jelikož u dospělých sportovců je efektivnější regulace na základě feed-forward a feedback informací (Oliver & Smith, 2010; Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2011).

Leg stiffness může být ovlivněna vhodným tréninkovým procesem, což prokazuje i Hewett et al. (1999). V jeho studii srovnával hráčky basketbalu, volejbalu a fotbalu, které absolvovali program zaměřený na výskok. Druhá skupina byla kontrolní, skládající se z hráčů i hráček stejných sportů. U kontrolní skupiny byla sledována signifikantně vyšší četnost zranění.

## **2.8 Index reaktivní síly**

Index relativní síly (dále jen RSI) popisuje schopnost jedince rychlé změny z excentrické kontrakce na koncentrickou (stretch shortening cycle – SSC). Zároveň také vyjadřuje explozivní schopnosti jednotlivce při vertikálním výskoku, které jsou definovány jako produkce maximální síly v co nejkratším čase (Flanagan, & Comyns, 2008). RSI je měřen jako poměr výšky skoku a doby trvání kontaktu s odrazovou podložkou prostřednictvím silových platform nebo kontaktních podložek (Flanagan & Harrison, 2007; Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2012a). Jelikož se jedná o index vypovídající o SSC, který je chápán jako základní princip plyometrického tréninku, index může být použit také pro určení výšky překážek při plyometrických cvičeních (Lloyd et al., 2012b). Nízké hodnoty RSI jsou vnímány jako rizikové faktory pro zranění a jeho hodnoty narůstají s věkem sportovce (Lloyd et al., 2011). Dle Raschner et al. (2012) je nízká hodnota RSI způsobena nižší nervosvalovou aktivitou a tím i větší svalovou prodlevou. RSI byl vytvořen Australian institute of sport (Flanagan, & Comyns, 2008) jako test kvality silových schopností. Mimo jiné je používán i pro evaluaci kvality tréninků sportovních týmů a také jako diagnostika namáhání svalově-šlachového komplexu, zejména u sportovců, kteří v minulosti utrpěli poranění ACL (Flanagan & Harrison, 2007).

### **3 Cíle a úkoly práce**

#### **3.1 Cíl práce**

Cílem práce je vyhodnocení neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu u hráčů basketbalu a na základě toho posouzení míry rizika poranění kolenního kloubu v důsledku kumulované únavy.

#### **3.2 Dílčí cíle**

- porovnání neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu prostřednictvím RSI a RLS mezi basketbalisty kategorie U13 a U15.
- porovnání neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu na začátku a v průběhu soutěžního období prostřednictvím RSI a RLS.
- porovnání neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu v závislosti na úrovni herního výkonu prostřednictvím RSI a RLS.

#### **3.3 Výzkumné otázky**

1. Je rozdíl mezi neuromuskulárním řízením v oblasti kolenního kloubu u basketbalistů kategorie U13 a U15?
2. Existuje rozdíl v hodnotách neuromuskulárního řízení vzhledem k úrovni herního výkonu basketbalu?
3. Dojde ke změně hodnot neuromuskulárního řízení mezi začátkem a průběhem soutěžního období v basketbalu?

## 4 Metodika měření

### 4.1 Charakteristika souboru

Soubor byl tvořen celkem ze 48 hráčů basketbalu kategorie U13 (n=24; věk:  $13,6 \pm 0,61$  let; hmotnost:  $59,0 \pm 7,13$  kg; výška:  $172,2 \pm 8,16$  cm) a U15 (n=24; věk:  $15,8 \pm 0,62$  let; hmotnost:  $72,7 \pm 9,51$  kg; výška:  $179,3 \pm 6,63$  cm) z týmů BCM Prostějov a BCM Olomouc. Hráči týmu BCM Olomouc (n=26) se účastní soutěže na nižší výkonnostní úrovni (druhá nejvyšší soutěž) v porovnání s týmem BCM Prostějov (n=22), kteří jsou účastníci nejvyšší české soutěže. S průběhem měření byli seznámeni všichni hráči a stejně tak i jejich zákonní zástupci, kteří svým podpisem stvrdili informovaný souhlas s účastí na výzkumu.

### 4.2 Postup měření

Testování probíhalo v rámci tréninkového procesu v tělocvičnách testovaných týmů dle předem domluveného harmonogramu. Týmy Prostějova a Olomouce absolvovaly testování samostatně, kategorie U13 a U15 byly měřeny společně. První měření probíhalo v říjnu 2016 a druhé v únoru 2017. Po úvodním seznámení s průběhem testování a antropometrickém měření následovalo hromadné a popřípadě i individuální rozcvičení, tak jak jsou hráči zvyklí během tréninkového procesu. Dále probíhaly testy tuhosti dolní končetiny a indexu reaktivní síly v menších skupinách k zajištění lepší pracovní efektivity.

#### 4.2.1 Tuhost dolní končetiny

Tuhost dolní končetiny byla měřena testem 20 submaximálních vertikálních skoků prováděných na plošině Pasco PS-2142 (Pasco, Roseville, USA). Skoky byly prováděny frekvencí 2,5 Hz. Frekvence byla udávána pomocí mechanického metronomu. Probandi byli instruováni k zaujetí základní polohy na plošině – stoj s rukama v bok. Dvacet opakovaných skoků poté zahájí sami. Jejich úkolem bylo udržet skoky na požadované frekvenci s minimální flexí kolen a odrazem z přední části nohou. Hráči absolvovali 3 série po 20 skocích. Mezi jednotlivými sériemi je 3 minuty pauza. První pokus byl zkušební, další dva byly měřené. Pro statistické měření byly hodnoceny skoky 5-15. Naměřené údaje byly zpracovány prostřednictvím softwaru Jump Analyzer (Lloyd et al., 2012a). Dále byla tuhost dolní končetiny vypočítána rovnicí dle Dalleu, Belli, Viale, Lacour & Bourdin (2004).

$LS = (\text{tělesná hmotnost} \times \pi [FT + CT]) / CT^2 ((FT + CT/\pi) - (CT/4))$ , kde FT je doba letu, CT je doba kontaktu s podložkou.

#### **4.2.2 Index reaktivní síly (Reactive Strength index, RSI)**

RSI byl naměřen testem 5 maximálních vertikálních skoků na ergometru FITRO Jumper (Fitronic, Slovensko). Probandi zaujali základní polohu, tak aby byla váha rovnoměrně rozložena na obě dvě dolní končetiny. Dále byli instruováni k provedení 6 maximálních výskoků s minimální dobou kontaktu s podložkou a se švihem paží. První skok nebyl měřen. Probandi absolvovali tři pokusy, kdy první byl pouze zkušební. Mezi jednotlivými pokusy byla jedna minuta pauza. Hodnocen byl průměr všech skoků a dále byl vypočítán jako poměr výšky skoku a doby kontaktu s podložkou (Flanagan & Comyns, 2008).

#### **4.3 Statistické zpracování dat**

Data byla zpracována pomocí softwaru Statistica (verze 13, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Všechna data byla interpretována pomocí deskriptivní statistiky, konkrétně pak pomocí průměru a směrodatné odchylky. Normalita rozložení dat byla ověřena pomocí testu Kolmogorov-Smirnov. Pro posouzení homogenity dat jsme použili Levenův test. Pro posouzení změn během soutěžního období jsme použili ANOVA pro opakované měření, pro posouzení vlivu úrovně herního výkonu a věku pak jednoduchou ANOVA. Výsledky byly interpretovány na hladině významnosti  $p < 0,05$ .

## 5 Výsledky

Souhrnné statistické charakteristiky z hodnocení RSI a LS v kategorii U13 a U15 jsou uvedeny v tabulce 1.

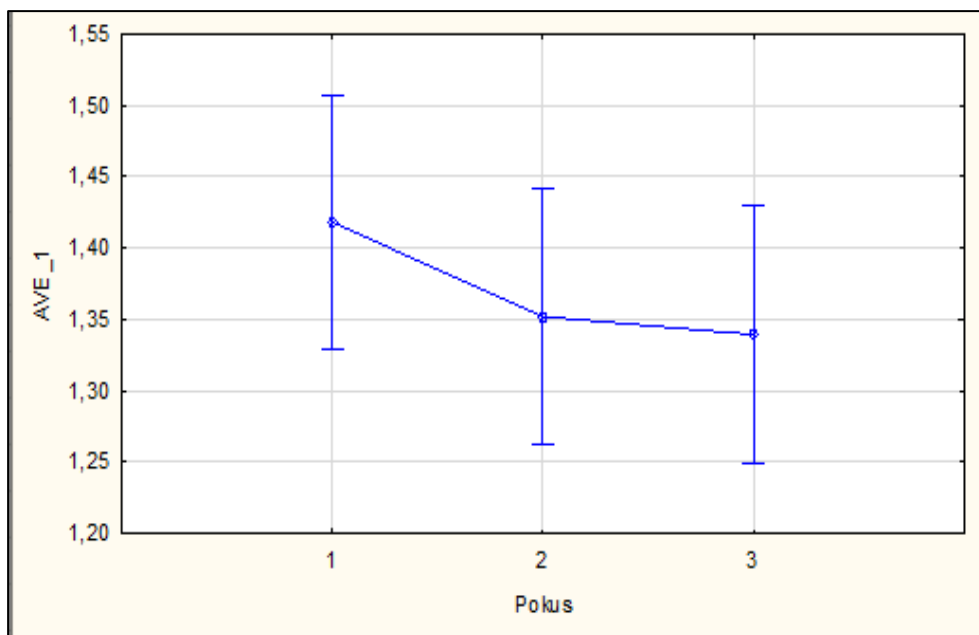
Tabulka 1. Základní charakteristika z hodnocení RSI a LS

	n	M	Mdn	Minimum	Maximum	SD
RSI 1	48	1,36	1,37	0,77	2,10	0,29
RSI 2	48	1,34	1,29	0,89	2,08	0,27
RLS 1	37	33,59	31,81	24,23	47,13	6,12
RLS 2	37	33,55	32,03	24,48	47,21	5,46

*Vysvětlivky:* n – počet probandů, RSI 1 – měření na začátku soutěžního období, RSI 2 – měření během soutěžního období, RLS 1 – měření LS na začátku soutěžního období, RLS 2 - měření LS během soutěžního období M – aritmetický průměr, Mdn – median, SD – směrodatná odchylka

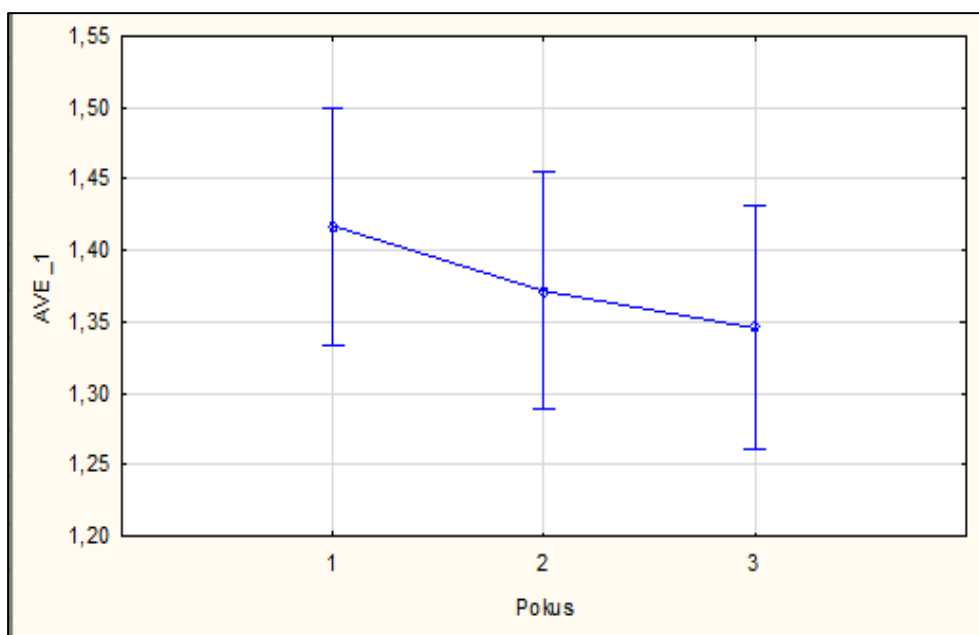
### Index reaktivní síly

Pro zjištění systematické chyby u jednotlivých měření jsme použili jedno-faktorovou ANOVA. Vzhledem k tomu, že při porovnání jednotlivých pokusů měření nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl mezi žádným z pokusů (Obrázek 4 a 5). Můžeme tvrdit, že měření nebylo zatíženo systematickou chybou způsobenou efektem učení. Třetí pokusy byly zaznamenány jako nejlepší, proto bylo dále pracováno v dalším porovnávání pouze s třetími pokusy.



Obrázek 4. Porovnání jednotlivých pokusů na začátku soutěžního období

*Vysvětlivky:* AVE\_1 – průměrné hodnoty RSI

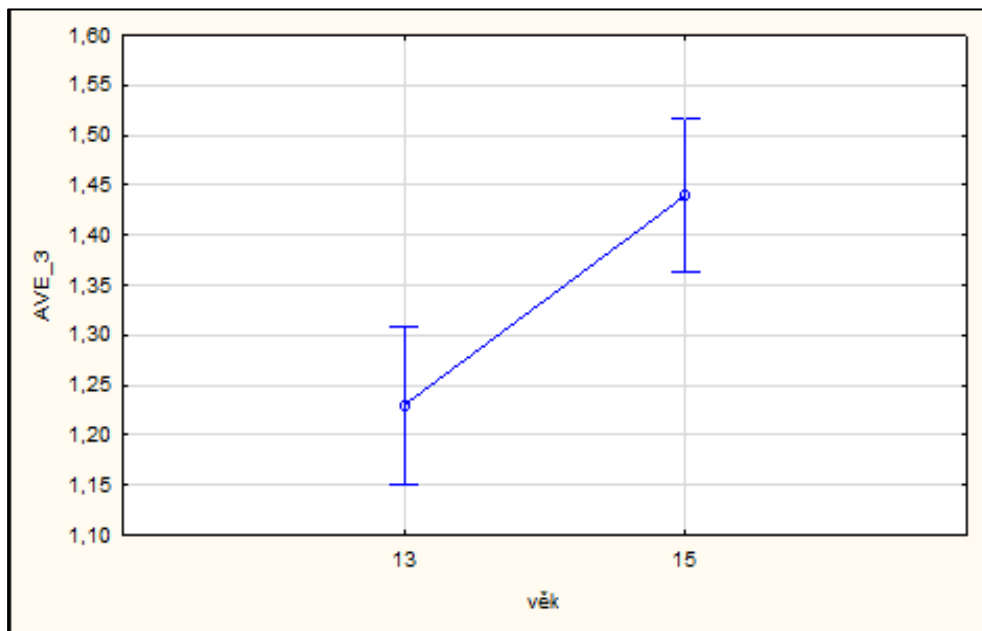


Obrázek 5. Porovnání jednotlivých pokusů v průběhu soutěžního období

*Vysvětlivky:* AVE\_1 – průměrné hodnoty RSI



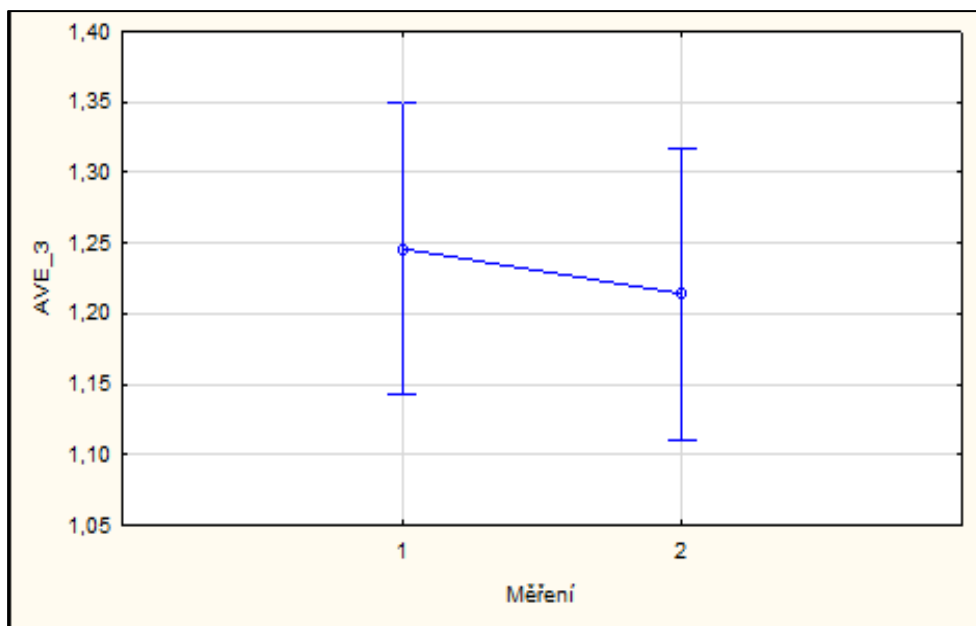
Statisticky významný rozdíl ( $p < 0,001$ ) byl určen při porovnání RSI kategorie U13 a U15, kdy starší hráči dosahují vyšších hodnot RSI (Obrázek 6). Hodnoty RSI jsou tudíž ovlivněny věkem.



Obrázek 6. Porovnání RSI basketbalistů kategorie U13 a U15.

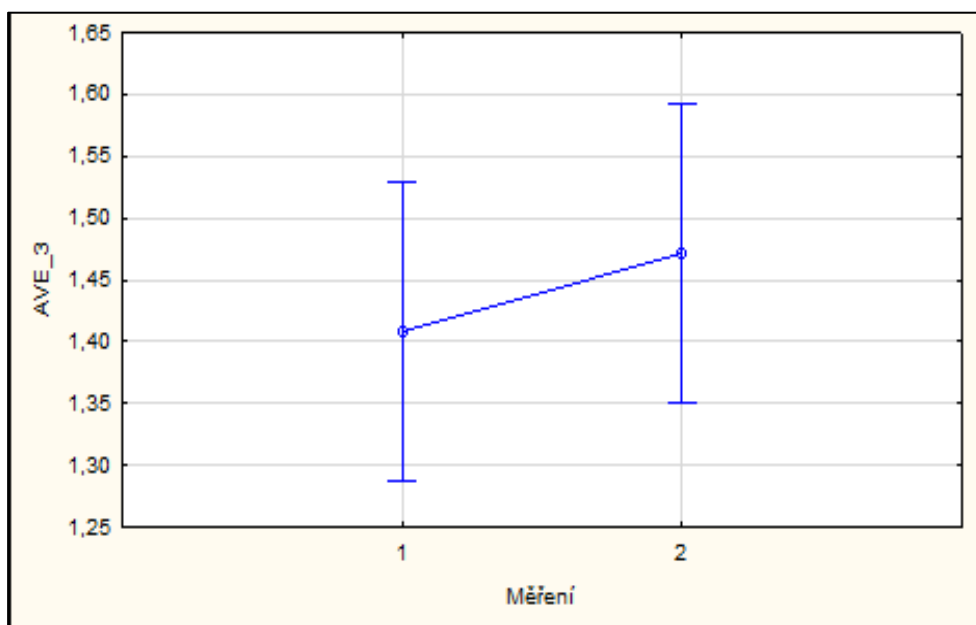
*Vysvětlivky:* AVE\_3 – průměrné hodnoty 3. pokusů

Při hodnocení přípravného a soutěžního období byly porovnány jednotlivé věkové kategorie U13 (Obrázek 7) a U15 (Obrázek 8) samostatně na začátku a v průběhu soutěžního období, kde nebyly nalezeny signifikantní rozdíly v hodnotách RSI. Zatížení hráčů se tudíž neliší v průběhu soutěžního období, a to jak pro kategorii U13, tak i U15.



Obrázek 7. Porovnání RSI na začátku a v průběhu soutěžního období pro věkovou kategorii U13

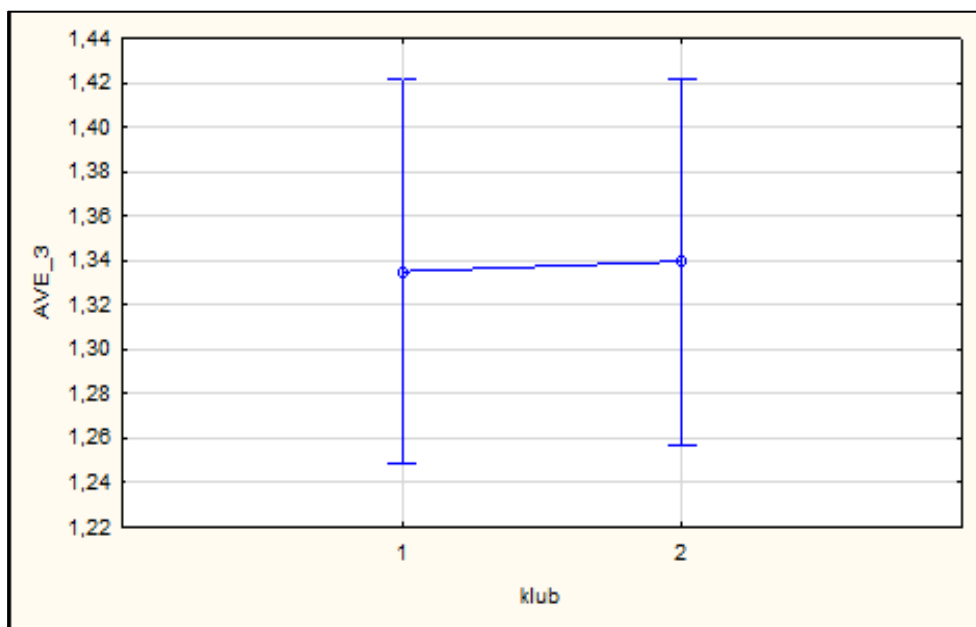
*Vysvětlivky:* 1 - měření na začátku soutěžního období, 2 – měření v průběhu soutěžního období, AVE\_3 – průměrné hodnoty 3. pokusů



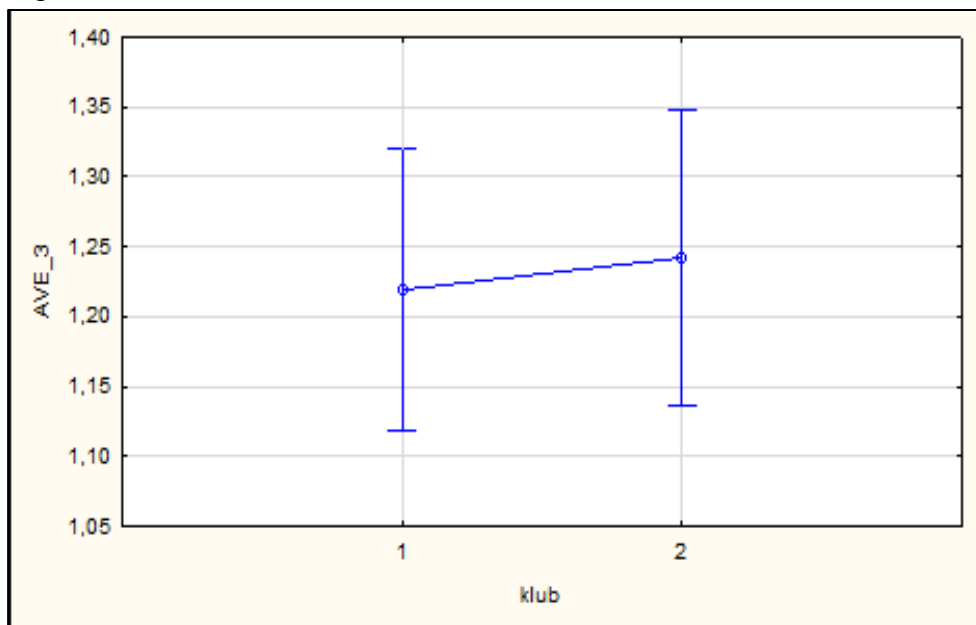
Obrázek 8. Porovnání RSI na začátku a v průběhu soutěžního období pro věkovou kategorii U15

*Vysvětlivky:* 1 - měření na začátku soutěžního období, 2 – měření v průběhu soutěžního období, AVE\_3 – průměrné hodnoty 3. pokusů

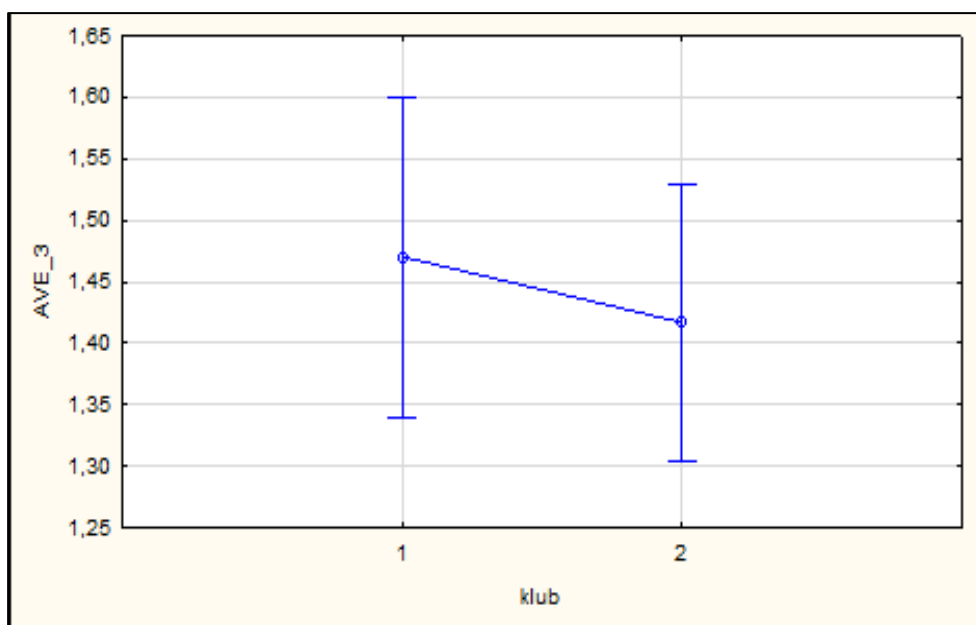
Dále bylo zjišťováno, zda má vliv výkonnostní úroveň klubů na hodnoty RSI. Vzhledem k výkonnostní úrovni hráčů mezi klubem hrajícím ligu a extraligu nebyl nalezen signifikantní rozdíl, a to jak celkově (Obrázek 9), tak i při porovnání věkových kategorií U13 (Obrázek 10) a U15 (Obrázek 11) jednotlivě.



Obrázek 9. Porovnání RSI vzhledem k výkonnostní úrovni všech věkových kategorií  
*Vysvětlivky:* 1 – nejvyšší česká soutěž, 2 – druhá nejvyšší soutěž, AVE\_3 – průměrné hodnoty 3. pokusů



Obrázek 10. Porovnání RSI vzhledem k výkonnostní úrovni kategorie U13  
*Vysvětlivky:* 1 – nejvyšší česká soutěž, 2 – druhá nejvyšší soutěž, AVE\_3 – průměrné hodnoty 3. pokusů



Obrázek 11. Porovnání RSI vzhledem k výkonnostní úrovni kategorie U15

*Vysvětlivky:* 1 – nejvyšší česká soutěž, 2 – druhá nejvyšší soutěž, AVE\_3 – průměrné hodnoty

### 3. Pokusů

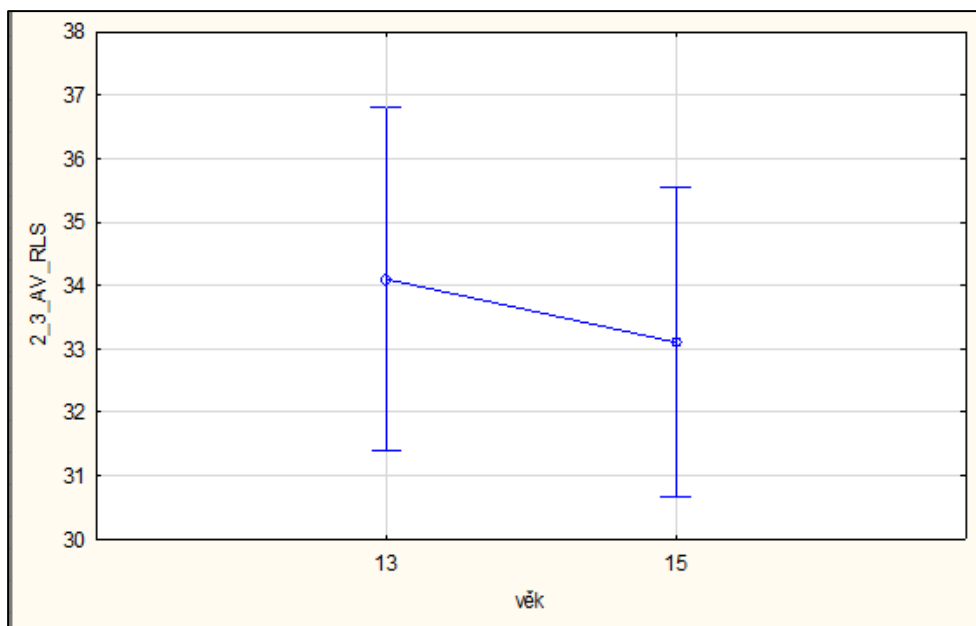
#### Tuhost dolní končetiny

Jedno faktorová ANOVA byla použita pro zjištění systémové chyby. Nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl mezi žádným z pokusů u jednotlivých měření (Tabulka 2). Měření nebylo tudíž zatížené systematickou chybou způsobenou efektem učení. Pro další výpočty byly použity 3. pokusy.

Tabulka 2. Statistická významnost mezi jednotlivými pokusy

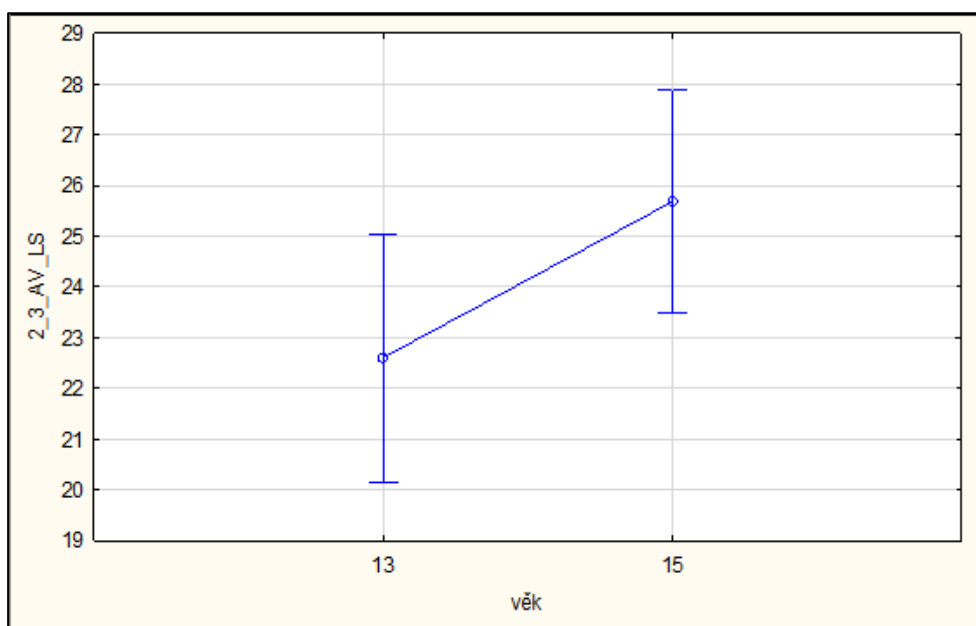
	p
RLS1	0,09
RLS2	0,99

Při porovnání relativních (RLS) a absolutních (ALS) hodnot LS u věkových kategorií dosahovali mladší hráči vyšších hodnot, nicméně rozdíl nebyl zaznamenán jako statisticky významný. Hodnoty LS nebyly tudíž závislé na dospívání (Obrázek 12 a 13).



Obrázek 12. Porovnání RLS mezi kategorií U13 a U15

*Vysvětlivky:* 2\_3\_AV\_RLS – průměrné hodnoty 3. pokusů RLS



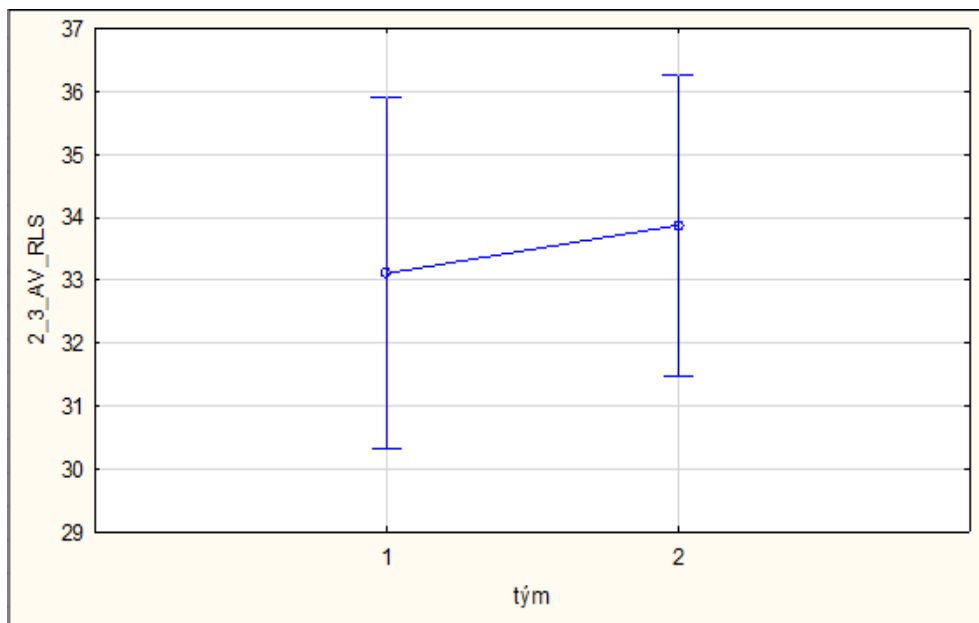
Obrázek 13. Porovnání ALS mezi kategorií U13 a U15

*Vysvětlivky:* 2\_3\_AV\_LS – průměrné hodnoty 3. pokusů ALS

Rozdíly v RLS mezi měřeními na začátku a v průběhu soutěžního období neprokázaly statistickou významnost ( $p = 0,62$   $F = 0,25$ ). Statistická významnost hodnot ALS nebyla taktéž potvrzena ( $p = 0,10$ ;  $F = 3,22$ ). Nedošlo tedy, ke kumulaci únavy během

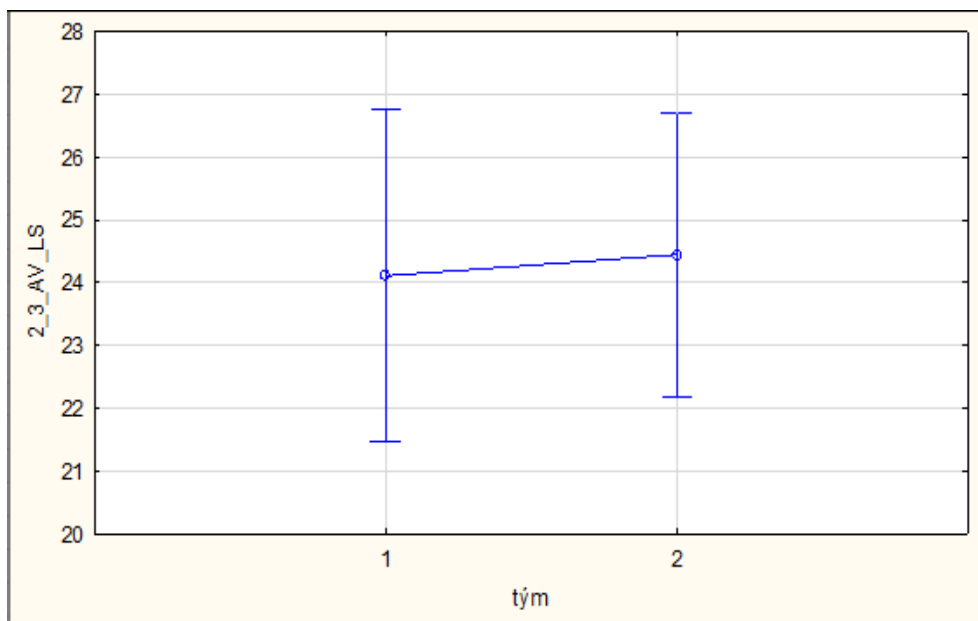
soutěžního období mezi měřeními. Dále bylo zjišťováno, zda věková kategorie může ovlivňovat pozorované rozdíly mezi jednotlivými měřeními. Statisticky nevýznamné hodnoty RLS ( $p = 0,14$ ;  $F = 2,19$ ) a ALS ( $p = 0,15$ ;  $2,15$ ) neprokázaly vliv věku na tento rozdíl.

Hodnoty RLS a ALS zaznamenané vzhledem k úrovni herního výkonu neprokázaly žádnou statistickou významnost bez ohledu na věk (Obrázek 14 a 15).



Obrázek 14. Porovnání průměrných hodnot RLS vzhledem k výkonnostní úrovni všech kategorií

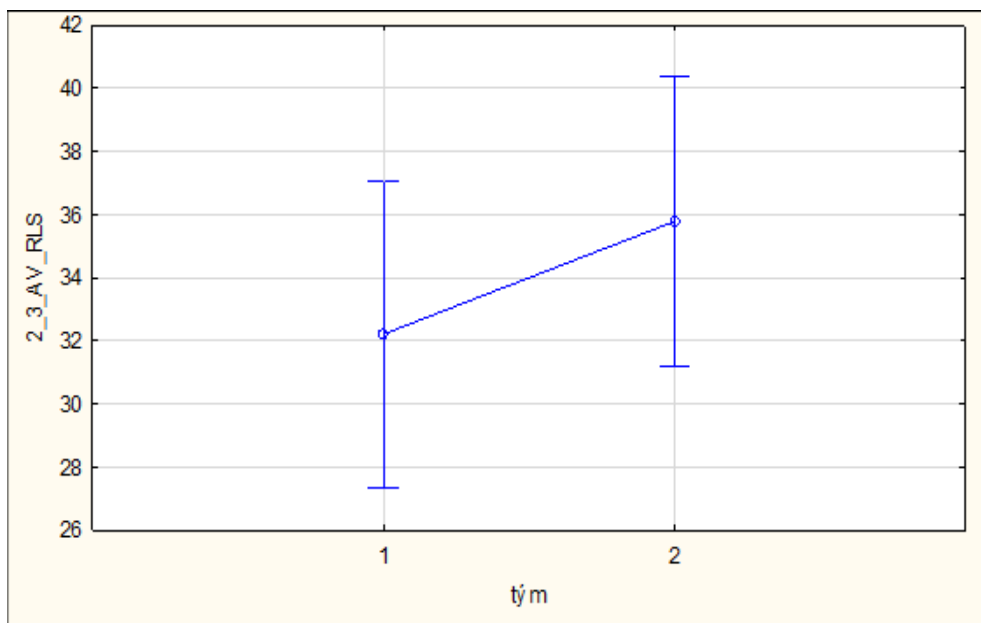
*Vysvětlivky:* 2\_3\_AV\_RLS – průměrné hodnoty 3. pokusů RLS, 1 – nejvyšší soutěž, 2 – druhá nejvyšší soutěž



Obrázek 15. Porovnání průměrných hodnot ALS vzhledem k výkonnostní úrovni všech kategorií

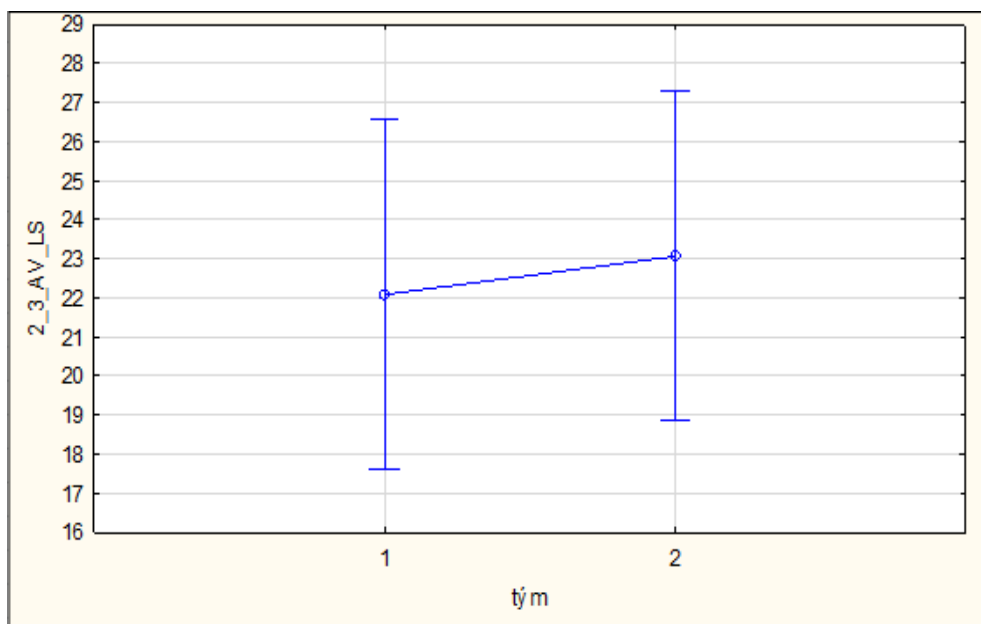
*Vysvětlivky:* 2\_3\_AV\_LS – průměrné hodnoty 3. pokusů ALS, 1 – nejvyšší soutěž, 2 – druhá nejvyšší soutěž

Dále byly jednotlivě porovnány hodnoty RLS a ALS vzhledem k úrovni herního výkonu pro kategorie U13 a U15. Rozdíly v hodnotách RLS a ALS nebyly signifikantní ani pro jednu z věkových kategorií U13 a U15 (Obrázek 16, 17, 18 a 19). Určité nesignifikantní rozdíly jsou pozorovány, nicméně vzhledem k vysoké hladině statistické významnosti nebyl potvrzen vliv úrovně herního výkonu na neuromuskulární řízení.



Obrázek 16. Porovnání průměrných hodnot RLS vzhledem k výkonnostní úrovni kategorie U13

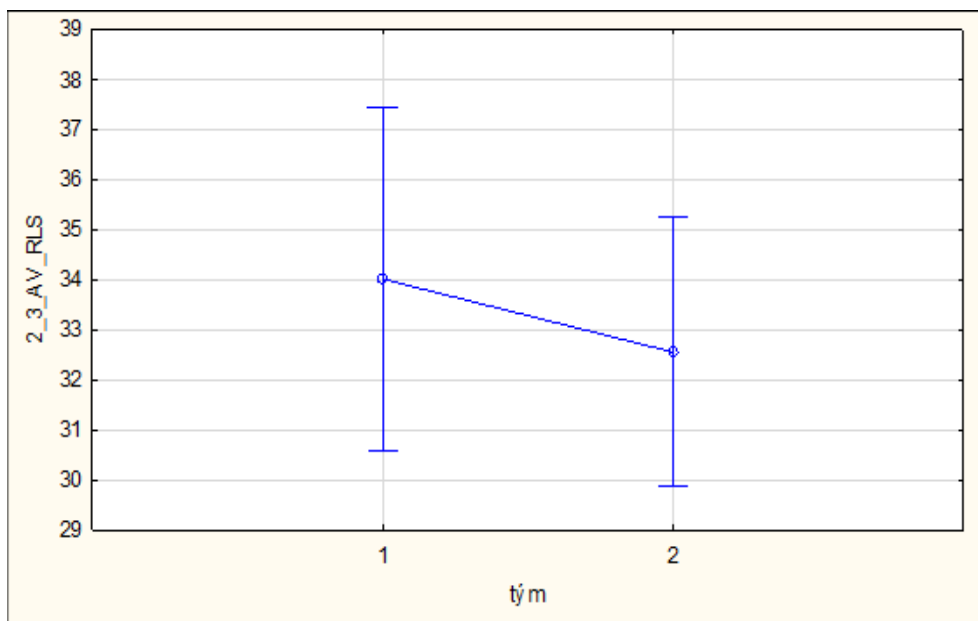
*Vysvětlivky:* 2\_3\_AV\_RLS – průměrné hodnoty 3. pokusů RLS, 1 – nejvyšší soutěž, 2 – druhá nejvyšší soutěž



Obrázek 17. Porovnání průměrných hodnot ALS vzhledem k výkonnostní úrovni kategorie U13

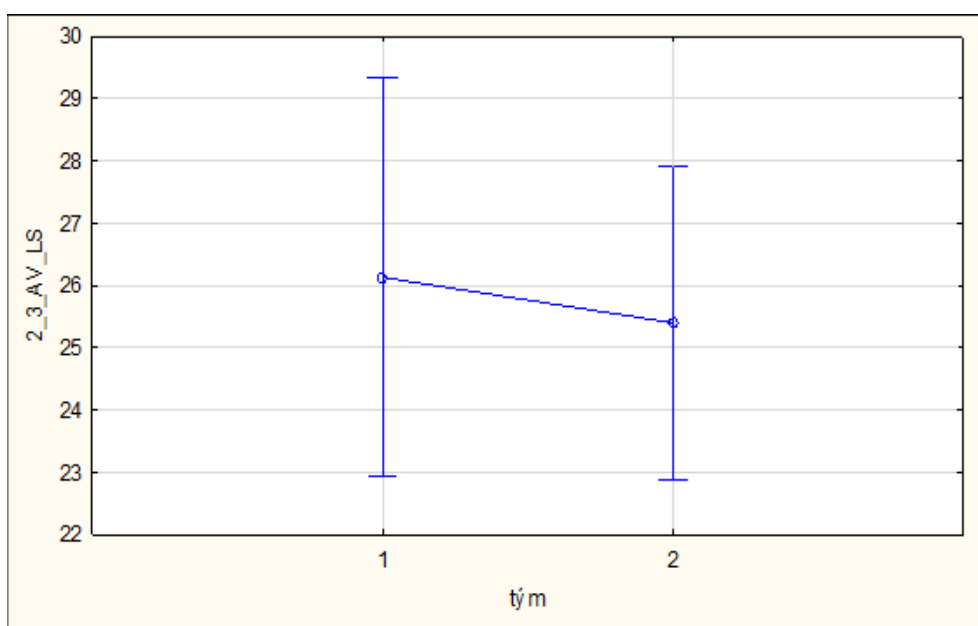
*Vysvětlivky:* 2\_3\_AV\_LS – průměrné hodnoty 3. pokusů ALS, 1 – nejvyšší soutěž, 2 – druhá nejvyšší soutěž





Obrázek 18. Porovnání průměrných hodnot RLS vzhledem k výkonnostní úrovni kategorie U15

*Vysvětlivky:* 2\_3\_AV\_RLS – průměrné hodnoty 3. pokusů RLS, 1 – nejvyšší soutěž, 2 – druhá nejvyšší soutěž



Obrázek 19. Porovnání průměrných hodnot ALS vzhledem k výkonnostní úrovni kategorie U15

*Vysvětlivky:* 2\_3\_AV\_LS – průměrné hodnoty 3. pokusů ALS, 1 – nejvyšší soutěž, 2 – druhá nejvyšší soutěž

## 6 Diskuze

Cílem práce bylo vyhodnocení neuromuskulárního řízení u hráčů basketbalu U13 a U15. Na základě těchto údajů poté posoudit míru rizika poranění kolenního kloubu v důsledku únavy. Mimo jiné také zjistit, zda úroveň herního výkonu a dospívání má vliv na neuromuskulární řízení. Ke sledování neuromuskulárního řízení byly využity hodnoty RSI a LS naměřené u hráčů z klubu BCM Olomouc a BCM Prostějov, hrající na odlišné úrovni herního výkonu.

### **Porovnání neuromuskulární řízení v oblasti kolenního kloubu prostřednictvím RSI a RLS mezi basketbalisty kategorie U13 a U15.**

Výsledky této studie ukazují signifikantní rozdíl mezi hodnotami RSI v závislosti na věku. Hráči kategorie U13 dosahovali signifikantně nižších hodnot ( $p < 0,001$ ) v porovnání se starší kategorií U15. Vliv věku na hodnoty LS nebyly potvrzeny.

Vliv věku na neuromuskulární řízení zkoumal i Lloyd et al. (2012a), který testoval LS a RSI u tří skupin dětí ve věku 9, 12 a 15 let. Test LS byl shodný s provedeným měřením v této práci. RSI byl hodnocen z průměru ze čtyř maximálních vertikálních skoků. Shodných výsledků dosahuje u hodnot RSI, kdy skupina dětí ve věku 15 let dosahovala vyšších hodnot. V porovnání s naší studií dosahuje opačných výsledků v relativní leg stiffness – prokazuje závislost na věku u leg stiffness, kdy starší děti dosahovaly signifikantně vyšších.

Oliver & Smith (2010) zkoumali rozdíly mezi dětmi ve věku 11–12 let a dospělými ve věku 19–30 let. Probandi prováděli skoky při frekvenci 1.5 Hz a 3.0 Hz, třetí frekvence byla libovolná dle libosti testovaných. Při frekvenci 1.5 Hz nebyly nalezeny žádné signifikantní rozdíly. Při této frekvenci je nutné generovat větší sílu během delší doby s větším rozsahem pohybu v kloubech dolních končetin a nižším potenciálem napínacího reflexu. Děti byly schopné udržet strategie k neuromuskulární kontrole podobně jako dospělí. Naopak při zvýšené frekvenci 3.0 Hz dosahovali dospělí vyšších hodnot sníženou dobou kontaktu s podložkou a zvýšenou tuhostí dolních končetin než u dětí. Mimo jiné byla u dospělých také sledována vyšší svalová aktivita, což může naznačovat lepší úroveň feed-forward mechanismů. Při libovolné frekvenci skoků bylo zaznamenáno, že dospělí prováděli skoky s vyšší frekvencí, což je spojováno s vyššími hodnotami leg stiffness (Hobara et al., 2017). Dospělí byli schopni provádět výskoky s vyšší hodnotou leg stiffness. Výsledky této studie podporují odlišnost v neuromuskulární kontrole v závislosti na věku (Oliver & Smith, 2010).

Lloyd et al. (2012b) ve své další studii prezentuje obdobné výsledky, kdy testoval tři skupiny dětí ve věku 9, 12 a 15 let. Výsledky naznačují signifikantní rozdíl v hodnotách RSI u skupiny 12 a 15 letých v porovnání s 9 letými. Vyšší hodnoty RSI dosahovaly starší děti díky větší síle, kterou produkovaly za stejný čas jako mladší děti. Během testování leg stiffness, skupina dětí ve věku 9 let byla charakteristická delší dobou kontaktu s podložkou, nižší dobou letu a nižšími hodnotami absolutní i relativní leg stiffness v porovnání se staršími.

Závislost RSI i LS na věku prokazuje i Lloyd et al. (2011), který testoval 250 dětí v rozmezí 7-17 let. S narůstajícím věkem se zvyšovaly i hodnoty LS a RSI. Nicméně výsledky ukazují pokles hodnot mezi 10-12 rokem, který odpovídal 12-18 měsícům před hlavním růstovým spurtem. Pokles hodnot může být spojen se zhoršenou motorikou během dospívání. Po překonání růstového spurtu dochází opět k nárůstu hodnot RSI a LS.

Vliv věku na RLS a RSI vysvětluje Lloyd et al., (2012a) tím, že vzhledem k vyšším hodnotám leg stiffness u starších dětí je zřejmý vliv tělesné hmotnosti. Starší jedinci, kteří mají vyšší tělesnou hmotnost, potřebují logicky vyšší leg stiffness k udržení středu těžiště při kontaktu s podložkou (Lloyd et al., 2009). Nicméně po normalizaci výsledků ve studiích, vzhledem k tělesné hmotnosti a délce dolních končetin je evidentní vliv dalších faktorů kromě antropometrických (Lloyd et al., 2011). Jako faktory spojené s věkem jsou uváděny – rozvoj síly, tuhost svalové šlachy, rozvoj intrafuzálních vláken (Grosset et al., 2007) a velikost Golgiho aparátu (Lambertz et al., 2003). Mimo jiné s narůstajícím věkem by měli být jedinci schopni více spoléhat na feed-forward mechanismy (Lloyd et al., 2012b; Oliver & Smith, 2010).

Během složitých pohybových úkonů (vertikální skoky) bylo zjištěno, že některé aspekty neuromuskulárního řízení jsou shodné u dětí i dospělých, např.: koaktivace dalších svalů (Russell et al., 2007). Zatímco potenciál napívacího reflexu může být na nižší úrovni (nedostatečně rozvinut prozatím) u dětí před pubertou. Na základě těchto výzkumů je zjevné, že feed-forward mechanismy jsou již dostatečně rozvinuty u dětí, nicméně děti a dospělí spoléhají na feed-forward mechanismy a podíl svalové aktivity v odlišné míře (Lloyd et al., 2012b).

V současné literatuře je zmiňována důležitost zařazení intervenčních tréninkových programů již před pubertou. Měly by zohledňovat jak kalendářní, tak i biologický věk a soustředit se zejména na neuromuskulární odolnost vůči únavě, s cílem rozvoje feedback mechanismů (De Ste Croix et al., 2015). Tento fakt potvrzuje i Lloyd et al. (2012a), který

sledoval zlepšení leg stiffness a indexu reaktivní síly u 12-15 letých chlapců po absolvování čtyř týdenního plyometrického tréninkového programu. Stejných výsledků dosáhl i Meylan & Malatesta (2009). Výsledky obou studií potvrzují pozitivní vliv plyometrického tréninku na neuromuskulární řízení zvýšením hodnot RSI. Zlepšení hodnot RSI může být vysvětleno zvýšeným množstvím zapojených motorických jednotek jako adaptace na tréninkové zatížení (Lloyd et al., 2012a).

Na základě výše uvedených studií a výsledků této práce je možné určit, že dospívání hraje významnou roli na neuromuskulární řízení. Pozitivní výsledky ze studií, které zkoumaly vliv tréninku plyometrie u mládeže prokazují, že RSI není závislá na stavbě těla a je možné plyometrickým tréninkem trénovat neuromuskulární odolnost vůči únavě (Lloyd et al. 2012a). Na druhou stranu, při plánování plyometrického tréninku je nutné, aby byli trenéři schopni rozeznat růstový spurt u mládeže. Děti reagují na plyometrický trénink odlišnou adaptací v závislosti na fázi růstového spurtu. Největší míra adaptace je pozorována u mládeže ve věku před růstovým spurtem (10-13 let) a po růstovém spurtem (16-18 let). Naopak nejmenší vliv plyometrického tréninku je evidentní u dětí ve věku 13-16 let. Na základě těchto údajů by měli trenéři manipulovat s tréninkovou zátěží a metodami (Moran et al., 2017).

### **Porovnání neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu na začátku a v průběhu soutěžního období prostřednictvím RSI a RLS.**

Při porovnání hodnot RSI a LS nebyl určen žádný signifikantní rozdíl mezi začátkem a průběhem soutěžního období. Výsledky sice ukazují nižší hodnoty na začátku soutěžního období, nicméně rozdíl není významný. Nedochovalo tedy pravděpodobně ke kumulaci únavy plynoucí z přetěžování nebo přetrénování oproti začátku soutěžního období. Limitujícím může být fakt, zda testování předcházela vždy stejná pauza po tréninkovém, popřípadě zápasovém zatížení. Nelze určit, zda zatížení a regenerace byla aplikována ve stejném podílu po celé soutěžní období. K tomu by bylo nutné provést více měření během celé sezony.

Pokud by se kumulovala únava s postupem sezony, mohlo by u hráčů docházet k negativním fyziologickým, psychologickým, sociálním reakcím organismu a k nárůstu rizika poranění. Přesněji by se jednalo o snížení výkonnosti trvající týdny, v určitých případech až několik měsíců. V současné době je až jedna třetina sportovců z nejrůznějších sportů asociována s absolvováním nefunkčního přetěžování, přetrénování a syndromu

vyhoření (Matos et al., 2011). Za příčinu je uváděna nadměrná fyzická aktivita spojená s dospíváním (Kutz & Secrest, 2009). Náchylnost ke kumulování únavy a tudíž k přetrénování je pozorována zejména u sportovců, kteří provozují více než jeden sport. Stejně tak u sportovců, kteří hrají pouze jeden sport, ale jsou členy více týmů, např.: školní tým, městská akademie, reprezentace (Oliver et al., 2015). Z tohoto důvodu vydala Committee on Sports Medicine and Fitness (2000) doporučení k průběžnému sledování výkonů mládeže a provádění testů osobní pohody (well-being).

Studie zabývající se tímto tématem, které by byly zaměřeny na mládež basketbalu, nejsou v současné době v literatuře k nalezení. Většina studií se zabývá převážně rugby a fotbalem. Z tohoto důvodu byla získaná data srovnávána právě s těmito studii.

Cormack et al. (2008) dosahuje obdobných výsledků. Testoval 15 elitních hráčů australského rugby během celé sezony. Výsledky získané z testu counter-movement jump ukazují signifikantní fluktuaci hodnot během soutěžního období, přesněji v 60 % soutěžního období vykazovali hráči vyšší neuromuskulární únavu. U hráčů tedy docházelo k pravidelnému přetěžování a přetrénování vedoucí k prodloužení času k ideální regeneraci a zvýšení únavy.

Oliver et al. (2015) pozoroval neuromuskulární únavu v soutěžním období u mládeže rugby ve věku 16-17 let. U hráčů byl pozorován signifikantní nárůst neuromuskulární únavy již po sedmém týdnu tréninkového zatížení. Docházelo tedy také k přetěžování hráčů a neadekvátní regeneraci. Úroveň neuromuskulární únavy byla vyhodnocena na základě testů leg stiffness a counter-movement jump. Současně byl aplikován i test osobní pohody. Určitý pokles hodnot v tomto testu osobní pohody byl zaznamenáván po utkáních, ale hodnoty se po pár dnech regenerace vrátily na výchozí úroveň. Tudíž tento test neprokázal žádné signifikantní zhoršení hodnot během soutěžního období.

Pietraszewki et al. (2015) testoval 20 hráček fotbalu (probandů) na konci přípravného a v průběhu soutěžního období. Jako test k zjištění úrovně schopností hráček byly použity testy counter-movement jump a drop jump. Na základě výsledku je zjevné, že nedošlo k poklesu výšky výskoku ani v jednom z testů. Nicméně s blížícím se koncem soutěžního období došlo ke zhoršení rychlostních a silových schopností. Hráčky prováděly testy s delší dobou kontaktu s podložkou, což může být spojeno právě s horší efektivitou excentricko-koncentrických pohybů. Tento pokles je vysvětlován různorodostí náplně tréninkových jednotek během konce přípravného a v průběhu soutěžního období, kdy v přípravném období je trénink zaměřen

zejména na rozvoj rychlosti a síly a v soutěžním období je trénováno více specificky k danému sportu.

Na druhé straně opačné výsledky prezentuje Pruyn et al. (2013) pro 25 hráčů rugby, které testoval průběžně jednou měsíčně během celého soutěžního období. Testování probíhalo formou submaximálních výskoků při frekvenci 2,2 Hz. Hodnoty leg stiffness během sezony kolísaly i stoupaly, nicméně rozdíl nebyl signifikantní. Důvodem nevýznamnosti výsledků uvádí ideální rozložení mezi zatížením a regenerací, k tomuto závěru dochází na základě průběžně získaných dat o tréninkovém zatížení během celého soutěžního období.

Rozdíly v neuromuskulárním řízení během průběhu soutěžního období se v uvedených studiích liší. Odlišnost je způsobena různým tréninkovým zatížením týmů a různou četností soutěžních utkání. Stejně tak se výsledky liší pro hráče provozující více sportů, popřípadě hrající jeden sport za více týmů. Z tohoto důvodu jsou na místě doporučení Committee on Sports Medicine and Fitness (2000) a Mezinárodního olympijského výboru (Mountjoy et al., 2008) o pravidelném testování zatížení a regenerace u mládeže, které mohou předcházet přetrénování.

### **Porovnat neuromuskulární řízení v oblasti kolenního kloubu v závislosti na úrovni herního výkonu prostřednictvím RSI a LS**

Na základě výsledků je možné tvrdit, že úroveň herního výkonu nehraje v tomto případě roli na neuromuskulární řízení v oblasti kolenního kloubu. Jisté rozdíly byly pozorovány mezi týmy hrající ligu a extraligu, nicméně s nedostatečnou významností. Bez ohledu na věk byly sledovány nevýznamně vyšší hodnoty RSI a LS u hráčů nižší soutěže (liga). Při zohlednění vlivu věku na neuromuskulární řízení, tedy porovnání vlivu herní úrovně jednotlivě pro kategorie U13 a U15, byly hodnoty RSI a LS u mladší kategorie také nesignifikantně nižší pro extraligový tým. Naopak nevýznamně nižší hodnoty neuromuskulárního řízení byly sledovány u týmu U15 hrající ligu.

Laffaye et al. (2005) zkoumal rozdíly hodnoty leg stiffness mezi profesionálními sportovci a začátečníky, tedy taktéž mezi dvěma skupinami odlišné úrovně herního výkonu. Z jeho výsledků je patrné, že profesionální sportovci dosahovali vyšších hodnot leg stiffness. Odlišnost byla pozorována zejména ve výšce výskoku a nižší vyprodukované síle při odrazu.

Nenalezená signifikantní rozdílnost v hodnotách RSI a LS poukazuje na podobné zatížení a regeneraci během soutěžního období. Logicky větší nároky by měly být na hráče

kladeny na vyšší úrovni herního výkonu, tedy v extralize. Navíc týmy BCM Prostějov a BCM Olomouc nebyly testovány ve stejné dny, ani jejich tréninkový harmonogram, poměr regenerace a tréninkového zatížení nemusí být totožný, proto je možná určitá míra vlivu únavy z předchozího tréninkového nebo zápasového zatížení.

## 7 Závěry

Výsledky této studie potvrzují vliv dospívání na neuromuskulární řízení u basketbalistů v kategoriích U13 a U15. Neuromuskulární řízení bylo vyjádřeno hodnotami RS a LSI. Kategorie U15 vykazovala významně vyšší hodnoty RSI v porovnání s mladší kategorií U13.

Nebyly zaznamenány signifikantní rozdíly mezi začátkem a průběhem soutěžního období pro hodnoty neuromuskulárního řízení RSI, RLS a ALS, a to jak nezávisle na věkové kategorii, tak i vzhledem k věku hráčů.

U pozorovaných týmů nebyl prokázán ani vliv úrovně herního výkonu na hodnoty neuromuskulárního řízení. Významnost nebyla prokázána při porovnání všech kategorií dohromady ani při porovnání jednotlivých kategorií U13 a U15 samostatně.

Vzhledem k nízkému počtu testování v daném soutěžním období, doporučujeme provést další studii s větším počtem měření během soutěžního období. Zároveň se sledováním intenzity zatížení tréninkových jednotek, tak aby bylo možné objektivněji porovnat vliv kumulace únavy na neuromuskulární řízení během soutěžního období.



## 8 Souhrn

Cílem práce bylo vyhodnocení neuromuskulárního řízení u hráčů basketbalu kategorie U13 a U15. Na základě těchto údajů posoudit míru rizika poranění kolenního kloubu v důsledku únavy. Dílčím cílem potom bylo zjistit, zda úroveň herního výkonu a dospívání může ovlivňovat neuromuskulární řízení.

V teoretické části jsou shromážděny současné poznatky spojené se zraněním v basketbalu, kdy nejčastější poranění je právě v oblasti kolenního kloubu a ACL. Kapitoly pojednávají o anatomii kolenního kloubu se zaměřením na ACL, o rizikových faktorech, mechanismech poranění ACL a charakteristice neuromuskulárního řízení. Obsahuje také poznatky o únavě a rozdílnosti vlivu únavy u mládeže a dospělých. Mimo jiné jsou také popsány sledované parametry RSI a LS, které jsou používány k vyhodnocení neuromuskulárního řízení v oblasti kolenního kloubu.

Výzkumná část diplomové práce obsahuje popis použité metodiky. Výzkumný soubor byl tvořen ze dvou skupin basketbalistů U13 (n=24; 13,6 ± 0,61 let) a U15 (n=24; 15,8 ± 0,62) měřených v soutěžním období 2016 – 2017. Testování proběhlo dvakrát během soutěžního období, a to na začátku a v jeho průběhu. Sledovaný parametr RSI byl určen na základě testu pěti maximálních vertikálních skoků na výskokovém ergometru FITRO Jumper (Fitronic, Slovensko). LS byla stanovena z testu 20 opakovaných sub-maximálních vertikálních skoků při frekvenci 2,5 Hz. Skoky byly prováděny na plošině PS-2142 (Pasco, Roseville, USA).

Z výsledků vyplývá, že věk hraje určitou roli v neuromuskulárním řízení v oblasti kolenního kloubu, kdy kategorie U15 dosahovala významně vyšších hodnot RSI než kategorie U13. Během soutěžního období nebyla prokázána kumulace únavy u všech věkových kategorií. Vliv úrovně herního výkonu na parametry neuromuskulárního řízení nebyl potvrzen.

## 9 Summary

The aim of this diploma thesis was to determine neuromuscular control in U13 and U15 basketball players and assess the associated risk of injury. Furthermore, to assess whether level of competition and maturation affects neuromuscular control.

The theoretical part consists of the available information about basketball injuries. The chapters are focused on knee anatomy, risk factors, mechanism of ACL injury and fundamental information about neuromuscular control. Moreover, this part also includes fatigue in general, fatigue in youth and the tool that was used to evaluate the neuromuscular control.

The research part of the thesis concerns methodology. The sample was composed of two categories – U13 (n=24; age:  $13,6 \pm 0,61$ ) and U15 (n=24; age:  $15,8 \pm 0,62$ ). The measurements were performed twice in the season of 2016 – 2017 – at the beginning and during the competitive phase of the season. Players performed maximal hopping protocol of five repeated maximal vertical jump to collect reactive strength index measure. Hopping protocol was performed on FITRO Jumper (Fitronic, Slovensko). Leg stiffness measures were collected from the test of 20 sub-maximal vertical jumps at a hopping frequency of 2,5 Hz performed on force platform PS-2142 (Pasco, Roseville, USA).

The results show that maturity affects the neuromuscular control of knee joint. U15 category achieved significantly higher values of indicators (RSI). Furthermore, there was no significant decrement of RSI, RLS and ALS during the season for both of the groups. The results did not confirm any variations in neuromuscular control in different competition level.

## 10 Referenční seznam

- Alentorn-Geli, E., Mendiguchía, J., Samuelsson, K., Musahl, V., Karlsson, J., Cugat, R., & Myer, G. D. (2014). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in sports—Part I: Systematic review of risk factors in male athletes. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 22(1), 3-15.
- Ali, Y., Farzaneh, G., & Homayoon, A. (2013). The effect of fatigue on the ankle and knee proprioception and dynamic control of posture. *International Journal of Sports Sciences & Fitness*, 3(2).
- Andrei, I. (2015). Forms of fatigue-physiological fatigue. *Bulletin of the Carol I National Defence University/Buletinul Universitatii Nationale de Aparare Carol I'*.
- Arampatzis, A., Bruggemann, G. P., & Klapsing, G. M. (2001). Leg stiffness and mechanical energetic processes during jumping on a sprung surface. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(6), 923-931.
- Butler, R. J., Crowell, H. P., & Davis, I. M. (2003). Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clinical biomechanics*, 18(6), 511-517.
- Caparrós, T., Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Capdevila, L., Samuelsson, K., Hamilton, B., & Rodas, G. (2016). The relationship of practice exposure and injury rate on game performance and season success in professional male basketball. *Journal of sports science & medicine*, 15(3), 397.
- Committee on Sports Medicine and Fitness. (2000). Intensive training and sports specialization in young athletes. *Pediatrics*, 106(1), 154-157.
- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R., & Cormie, P. (2008). Neuromuscular and endocrine responses of elite players during an Australian rules football season. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(4), 439-453.
- Čihák, R. (2011). *Anatomie I*. Praha: Grada Publishing.
- Dai, B., Herman, D., Liu, H., Garrett, W. E., & Yu, B. (2012). Prevention of ACL injury, part I: injury characteristics, risk factors, and loading mechanism. *Research in sports medicine*, 20(3-4), 180-197.

- 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.
- De Ste Croix, M. B., Priestly, A. M., Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2015). ACL injury risk in elite female youth soccer: Changes in neuromuscular control of the knee following soccer-specific fatigue. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(5), 531-538.
- Edwards, T., Spiteri, T., Piggott, B., Bonhotal, J., Haff, G. G., & Joyce, C. (2018). Monitoring and managing fatigue in basketball. *Sports*, 6(1), 19.
- Farley, C. T., & Morgenroth, D. C. (1999). Leg stiffness primarily depends on ankle stiffness during human hopping. *Journal Of Biomechanics*, 32(3), 267-273.
- FIBA (2017). International basketball migration report. Retrieved 12.5. 2018 from the World Wide Web: <http://www.fiba.basketball/documents/ibmr2017.pdf>
- 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 and Conditioning Journal*, 30(5), 32-38.
- Flanagan, E. P., & Harrison, A. J. (2007). Lower limb performance in anterior cruciate ligament reconstructed individuals. In *ISBS-Conference Proceedings 1*(1).
- Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2003). Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(10), 1745–1750.
- Gordon, A. I., DiStefano, L. J., Denegar, C. R., Ragle, R. B., & Norman, J. R. (2014). College and Professional Women's Basketball Players' Lower Extremity Injuries: A Survey of Career Incidence. *International Journal of Athletic Therapy and Training*, 19(5), 25-33.
- Grimston, S. K., Engsborg, J. R., Kloiber, R., & Hanley, D. A. (1991). Bone mass, external loads, and stress fracture in female runners. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7(3), 293-302.
- Grosset, J. F., Mora, I., Lambertz, D., & Pérot, C. (2007). Changes in stretch reflexes and muscle stiffness with age in prepubescent children. *Journal of Applied Physiology*, 102(6), 2352-2360.

- Hassanlouei, H., Arendt-Nielsen, L., Kersting, U. G., & Falla, D. (2012). Effect of exercise-induced fatigue on postural control of the knee. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 342-347.
- Hebestreit, H. E. L. G. E., Mimura, K. L., & Bar-Or, O. D. E. D. (1993). Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. *Journal of Applied Physiology*, 74(6), 2875-2880.
- 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: NAJSPT*, 5(4), 234.
- Hewett, T. E., Lindenfeld, T. N., Riccobene, J. V., & Noyes, F. R. (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. *The American journal of sports medicine*, 27(6), 699-706.
- Hobara, H., Kanosue, K., & Suzuki, S. (2007). Changes in muscle activity with increase in leg stiffness during hopping. *Neuroscience letters*, 418(1), 55-59.
- Horsley, I., & Herrington, L. (2016). Preventing and managing anterior cruciate ligament (ACL) injury. *Co-Kinetic Journal*, (68), 12-16.
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). A Risk-Factor Model for Anterior Cruciate Ligament Injury. *International Journal of Sports Medicine*, 36(5), 411-428.
- Hůlka, K., Lehnert, M., & Bělka, J. (2017). Reliability and validity of a basketball-specific fatigue protocol simulating match load. *Acta Gymnica*, 47(2), 92-98.
- Huston, L. J., & Wojtys, E. M. (1996). Neuromuscular performance characteristics in elite female athletes. *The American journal of sports medicine*, 24(4), 427-436.
- Kaneko, S., Sasaki, S., Hirose, N., Nagano, Y., Fukano, M., & Fukubayashi, T. (2017). Mechanism of anterior cruciate ligament injury in female soccer players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 8(1).
- Kenney, W. L., Wilmore, J., & Costill, D. (2011). *Physiology of sport and exercise 5th edition*. Human kinetics.

- Koga, H., Nakamae, A., Shima, Y., Iwasa, J., Myklebust, G., Engebretsen, L., ... & Krosshaug, T. (2010). Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *The American journal of sports medicine*, 38(11), 2218-2225.
- Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, Smith G, Slauterbeck JR, Hewett TE, Bahr R (2007) Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med* 35:359–367.
- Kutz, M., & Secrest, M. (2009). Contributing factors to overtraining in the adolescent multi-season/sport athlete. *Strength & Conditioning Journal*, 31(3), 37-42.
- Laffaye, G., Bardy, B. G., & Durey, A. (2005). Leg stiffness and expertise in men jumping. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(4), 536-543.
- Lambertz, D., Mora, I., Grosset, J. F., & Pérot, C. (2003). Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity. *Journal of applied physiology*, 95(1), 64-72.
- Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D., Šťastný, P., Malý, T., Háp, P., Bělka, J., Neuls, F. (2014). *Kondiční trénink* [Učební texty]. Olomouc: Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2012a). The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(10), 2812-2819.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2012b). Age-related differences in the neural regulation of stretch–shortening cycle activities in male youths during maximal and sub-maximal hopping. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(1), 37-43.
- 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.
- 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. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1889-1897.
- Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2013). *Human anatomy & physiology*. Pearson Education.
- Matos, N. F., Winsley, R. J., & Williams, C. A. (2011). Prevalence of non-functional overreaching/overtraining in young English athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(7), 1287-1294.
- McLean, S. G., Huang, X., & Van Den Bogert, A. J. (2005). Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: implications for ACL injury. *Clinical Biomechanics*, 20(8), 863-870.
- Melnyk, M., & Gollhofer, A. (2007). Submaximal fatigue of the hamstrings impairs specific reflex components and knee stability. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 15, 525-532.
- Meylan, C., & Malatesta, D. (2009). Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2605-2613.
- Moran, J. J., Sandercock, G. R., Ramírez-Campillo, R., Meylan, C. M., Collison, J. A., & Parry, D. A. (2017). Age-related variation in male youth athletes' countermovement jump after plyometric training: a meta-analysis of controlled trials. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(2), 552-565.
- Mountjoy, M., Armstrong, N., Bizzini, L., Blimkie, C., Evans, J., Gerrard, D., ... & Van Mechelen, W. (2008). IOC consensus statement: "training the elite child athlete". *British Journal of Sports Medicine*, 42(3), 163-164.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Barber Foss, K. D., Liu, C., Nick, T. G., & Hewett, T. E. (2009). The Relationship of Hamstrings and Quadriceps Strength to Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Athletes. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 19(1), 3-8.
- 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.

- Oliver, J. L., Croix, M. B. D. S., Lloyd, R. S., & Williams, C. A. (2014). Altered neuromuscular control of leg stiffness following soccer-specific exercise. *European journal of applied physiology*, *114*(11), 2241-2249.
- 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.
- Padua, D. A., Arnold, B. L., Carcia, CH. R., & 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.
- Pietraszewski, B., Siemieński, Bober, T., Struzik, A., Rutkowska-Kucharska, A., Nosal, J., & Rokita, A. (2015). Lower extremity power in female soccer athletes: a pre-season and in-season comparison. *Acta of bioengineering and biomechanics*, *17*(3).
- Pollard, C. D., Sigward, S. M., & Powers, C. M. (2007). Gender differences in hip joint kinematics and kinetics during side-step cutting maneuver. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *17*(1), 38–42.
- Pollard, C. D., Sigward, S. M., & Powers, C. M. (2010). Limited hip and knee flexion during landing is associated with increased frontal plane knee motion and moments. *Clinical Biomechanics*, *25*(2), 142–146.
- Pruyn, E. C., Watsford, M. L., Murphy, A. J., Pine, M. J., Spurrs, R. W., Cameron, M. L., & Johnston, R. J. (2013). Seasonal variation of leg stiffness in professional Australian rules footballers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27*(7), 1775-1779.
- Ratel, S., & Blazeovich, A. J. (2017). Are prepubertal children metabolically comparable to well-trained adult endurance athletes?. *Sports Medicine*, *47*(8), 1477-1485.
- Ratel, S., Williams, C. A., Oliver, J., & Armstrong, N. (2006). Effects of age and recovery duration on performance during multiple treadmill sprints. *International journal of sports medicine*, *27*(01), 1-8.
- Ribeiro, F., Santos, F., Gonçalves, P., & Oliveira, J. (2008). Effects of volleyball match-induced fatigue on knee joint position sense. *European Journal of Sport Science*, *8*(6), 397-402.



- 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.
- Russell, P. J., Croce, R. V., Swartz, E. E., & Decoster, L. C. (2007). Knee-muscle activation during landings: developmental and gender comparisons. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(1), 159-170.
- Samaan, M. A., Hoch, M. C., Ringleb, S. I., Bawab, S., & Weinhandl, J. T. (2015). Isolated hamstrings fatigue alters hip and knee joint coordination during a cutting maneuver. *Journal of applied biomechanics*, 31(2), 102-110.
- Sánchez-Jover, F., & Gómez, A. (2017). Training habits, motivation, quality of life and sport injuries in 12 to 15 years old basketball players. *Journal of Human Sport and exercise*, 12(3), 760-774.
- Scanlan, A. T., Fox, J. L., Borges, N. R., & Dalbo, V. J. (2017). The commonality between approaches to determine jump fatigue during basketball activity in junior players: in-game versus across-game decrements. *International journal of sports physiology and performance*, 12(2), 260-263.
- Serpell, B. G., Scarvell, J. M., Ball, N. B., & Smith, P. N. (2012). Mechanisms and risk factors for noncontact ACL injury in age mature athletes who engage in field or court sports: a summary of the literature since 1980. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(11), 3160-3176.
- Siegel, M., G. (2017). Anterior cruciate ligament (ACL) injury.
- Simon, R. A., Everhart, J. S., Nagaraja, H. N., & Chaudhari, A. M. (2010). A casecontrol study of anterior cruciate ligament volume, tibial plateau slopes and intercondylar notch dimensions in ACL-injured knees. *Journal of Biomechanics*, 43(9), 1702–1707.
- Small, K., McNaughton, L., Greig, M., & Lovell, R. (2010). The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 120-125.
- Smékal, D., & Mayer, M. (n. d.). Neuromuskulární kontrola a rehabilitace u lézí předního zkříženého vazů. Retrieved 15. 2018 from the World Wide Web: <http://www.ftk.upol.cz/dokumenty/kfa/rehabilitace.doc>

- Stojanović, E., Stojiljković, N., Scanlan, A. T., Dalbo, V. J., Berkelmans, D. M., & Milanović, Z. (2017). The activity demands and physiological responses encountered during basketball match-play: A systematic review. *Sports Medicine*, 1-25.
- Sugimoto, D., Alentorn-Geli, E., Mendiguchía, J., Samuelsson, K., Karlsson, J., & Myer, G. D. (2015). Biomechanical and neuromuscular characteristics of male athletes: implications for the development of anterior cruciate ligament injury prevention programs. *Sports Medicine*, 45(6), 809-822.
- Taylor, K., Chapman, D., Cronin, J., Newton, M. J., & Gill, N. (2012). Fatigue monitoring in high performance sport: a survey of current trends. *J Aust Strength Cond*, 20(1), 12-23.
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2014). *Principles of anatomy and physiology*. John Wiley & Sons.
- Trojan, S., Druga, R., Pfeiffer, J., & Votava, J. (2005). *Fyziologie a léčebná rehabilitace motoriky člověka*. Praha: Grada Publishing.
- Wassineger, C., A., McKinney, H., Roane, S., Davenport, M., J., Owens, B., Breese, U., & Sokell, G., A. (2014). The Influence of Upper Body Fatigue on Dynamic Standing Balance. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(1), 40.
- 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.
- Zazulak, B. T., Ponce, P. L., Straub, S. J., Medvecky, M. J., Avedisian, L., & Hewett, T. E. (2005). Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 35(5), 292-299.
- Zebis, M. K., Andersen, C. H., Bencke, J., Ørntoft, C., Linnebjerg, C., Hölmich, P., ... & Andersen, L. L. (2017). Neuromuscular coordination deficit persists 12 months after ACL reconstruction but can be modulated by 6 weeks of kettlebell training: a case study in women's elite soccer. *Case reports in orthopedics*, 2017.

Zillgitt J. (2015). USA TODAY Sports: NBA schedule more player friendly with fewer back-to-back games. Retrieved 12.5.2018 from the World Wide Web: <http://www.usatoday.com/story/sports/2015/08/12/nba-schedule-more-player-friendly-fewer-back-back-games/31564149/>