



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## CENTRUM SPORTOVNÍCH AKTIVIT

CENTRE OF SPORTS ACTIVITIES

# KOMPARACE PŘESNOSTI MĚŘENÍ OPTICKÉHO A 3D KINEMATICKÉHO SYSTÉMU

COMPARISON OF MEASUREMENT ACCURACY OF OPTICAL AND 3D KINEMATIC SYSTEM

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Surkoš

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Václav Kundera, Ph.D.

BRNO 2022

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Sportovní technologie**

Centrum sportovních aktivit

**Student:** Ondřej Surkoš

**ID:** 222686

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## Komparace přesnosti měření optického a 3D kinematického systému

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Proveďte literární rešerši v oblasti využití přístrojů OptoJump a Fitronic Jumper (způsoby použití, přesnost měření, dříve provedená měření apod.) pro různé druhy sportů. Popište způsoby, které využívají oba přístroje k měření. U jednotlivých přístrojů uveďte jejich výhody a nevýhody při práci s nimi a vzájemné porovnání. 2) Využijte veřejně dostupné studie o testování pomocí obou přístrojů, případně jejich porovnání a určete vhodnost použití přístrojů u jednotlivých skupin nebo druhů sportů. 3) Navrhněte a implementujte vhodnou testovou baterii k porovnání obou přístrojů a vyberte skupinu osob vhodných k provedení srovnávací studie. 4) Otestujte probandy navrženou testovou baterii při zachování konstantních podmínek měření a porovnejte odchylky a přesnost měření. 5) Na základě předchozího bodu proveďte optimalizaci postupu pro dosažení co nejlepších výsledků měření. 6) Dosažené výsledky vhodně interpretujte. Popište, ve kterých případech měly přístroje větší chybovost a proč. 7) Porovnejte dosažené výsledky s údaji z literatury. Diskutujte výhody/nevýhody a možnosti vylepšení postupu/měření.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Boroujerdi, S.S (2009). Effect of plyometric training on vertical jump performance and neuromuscular adaptation in volleyball players *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(11):109, ISSN 1303-2968.

**Termín zadání:** 28.1.2022

**Termín odevzdání:** 3.6.2022

**Vedoucí práce:** Mgr. Václav Kundera, Ph.D.

**doc. PaedDr. Pavel Korvas, CSc.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá komparací přesnosti dvou přístrojů na měření vertikálního výskoku, využívající odlišný princip měření, a to "Optojump next" a "BTS Smart DX". V teoretické části jsou probrány jednotlivé přístroje, na jakém principu fungují a jsou porovnány mezi sebou. V praktické části se věnujeme metodice, zpracování naměřených dat a vyhodnocení výsledků provedených měření.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Komparace, přesnost, vertikální výskok, přístroj, Optojump next, BTS Smart DX.

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the comparison of the accuracy of two instruments for measuring the vertical jump, using a different measuring principle, namely "Optojump next" and "BTS Smart DX". In the theoretical part, the individual devices are discussed, on what principle they work and are compared with each other. In the practical part we deal with the methodology, processing of measured data and evaluation of the results of measurements.

## **KEYWORDS**

Comparison, accuracy, vertical jump, device, Optojump next, BTS Smart DX.

SURKOŠ, Ondřej. *Comparison of measurement accuracy of optical and 3D kinematic system*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Centrum sportovních aktivit, 2022, 42 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Mgr. Václav Kundera, Ph.D.



## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Ondřej Surkoš  
**VUT ID autora:** 222686  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2021/22  
**Téma závěrečné práce:** Comparison of measurement accuracy of optical and 3D kinematic system

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\* Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Mgr. Václavovi Kunderovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Zároveň bych chtěl poděkovat Ing. Lukášovi Hrbotickému a všem dobrovolníkům za asistenci u sběru dat.

# Obsah

Úvod	10
<b>1 Cíle práce, časový harmonogram, hypotézy</b>	<b>11</b>
1.1 Cíl práce . . . . .	11
1.2 Časový harmonogram výzkumu . . . . .	11
1.3 Hypotézy . . . . .	11
1.3.1 Hypotéza 1 . . . . .	11
1.3.2 Hypotéza 2 . . . . .	11
<b>2 Teoretická část</b>	<b>12</b>
2.1 Vertikální výskok . . . . .	12
2.2 Použité přístroje . . . . .	13
2.2.1 "Optojump Next" . . . . .	13
2.2.2 "BTS Smart DX" . . . . .	15
2.2.3 "Kinovea" . . . . .	17
2.3 Rešerše literatury . . . . .	19
2.3.1 Využití přístroje "Optojump next" . . . . .	19
2.3.2 Využití přístroje "BTS Smart DX" . . . . .	20
2.3.3 Porovnání přístrojů . . . . .	20
2.3.4 Využití softwaru "Kinovea" . . . . .	21
<b>3 Praktická část</b>	<b>23</b>
3.1 Metodika měření . . . . .	23
3.2 Získání dat . . . . .	26
3.2.1 Získání výšky výskoku z přístroje "Optojump next" . . . . .	26
3.2.2 Získání dat z přístroje "BTS Smart DX" . . . . .	27
3.2.3 Získání referenční hodnoty ze softwaru "Kinovea" . . . . .	29
3.3 Zpracování dat . . . . .	31
3.3.1 Statistické testy . . . . .	33
3.4 Diskuze . . . . .	36
<b>Závěr</b>	<b>39</b>
<b>Literatura</b>	<b>40</b>

# Seznam obrázků

2.1	Vertikální výskok . . . . .	12
2.2	"Optojump Next" . . . . .	13
2.3	Software k přístroji "Optojump Next" společnosti Microgate . . . . .	14
2.4	Kamera systému "BTS Smart DX"[5] . . . . .	15
2.5	Marker připevněný na kotník sportovce . . . . .	16
2.6	Překrytí dvou videozáznamů pro analýzu sportovního výkonu . . . . .	18
2.7	Měření vzdálenosti pomocí softwaru "Kinovea" . . . . .	18
3.1	Rozmístění přístroje "Optojump Next" a "BTS smart DX" . . . . .	23
3.2	Pohled z videokamery . . . . .	24
3.3	Rozmístění markerů na nohou probanda . . . . .	24
3.4	Nastavení testu "Optojump Next" . . . . .	25
3.5	Hodnoty osy Y . . . . .	28
3.6	Hodnoty výšky vertikálního výskoku získané Matlab algoritmem . . . . .	28
3.7	Výška pomocného objektu . . . . .	29
3.8	Max. dosažená výška výskoku probanda . . . . .	29
3.9	Měření vzdálenosti pomocí softwaru "Kinovea" . . . . .	30
3.10	Histogramy hodnot jednotlivých přístrojů . . . . .	33
3.11	Q-Q plot jednotlivých přístrojů . . . . .	33
3.12	Výsledky Shapiro-Wilkova testu pro jednotlivé přístroje . . . . .	34
3.13	Výsledky Wilcoxonova pořadového testu . . . . .	34
3.14	Výsledky Friedmanova testu . . . . .	35
3.15	Výsledky Dunnova Post-hoc testu . . . . .	35

## Seznam tabulek

3.1	Hodnoty z přístroje "Optojump Next" . . . . .	26
3.2	Hodnoty jednotlivých os přístroje "BTS Smart DX" . . . . .	27
3.3	Hodnoty přístroje "Optojump Next" a "BTS Smart DX" . . . . .	31
3.4	Hodnoty přístroje "Optojump Next" a referenční hodnoty . . . . .	31
3.5	Hodnoty přístroje "BTS Smart DX" a referenční hodnoty . . . . .	31
3.6	Rozdíly průměrných diferencí . . . . .	32

# Úvod

Dynamika dolních končetin je jedním z nejdůležitějších aspektů v mnoha sportovních disciplínách. Stejně jako ostatní aspekty fyzické zdatnosti, můžeme i dynamiku dolních končetin velmi dobře měřit a porovnávat, a to zejména výšku vertikálního výskoku.

Pro toto měření můžeme použít velké množství různých přístrojů. U každého přístroje můžeme předpokládat, že měří s určitou odchylkou. Tato odchylka pro většinou populaci není tak zásadní. U vrcholových sportovců ale i minimální odchylka u měření může znatelně ovlivnit výsledky a dále vyhodnocení. Tyto výsledky mohou být často rozhodující v případě výběrů hráčů a upřednostňování sportovců v rámci týmu.

V této bakalářské práci se pokusíme určit, který přístroj je přesnější při měření vertikálního výskoku v porovnání s referenční hodnotou získanou pomocí softwaru "Kinovea". K porovnání jsme si vybrali přístroje "Optojump Next" a "BTS Smart DX", každý pracující na jiném principu.

Na obou přístrojích proběhla pilotní studie a následovalo měření 8 probandů s celkovým počtem 230 skoků. Následovalo zpracování dat, ověření významnosti pomocí statistických testů a následná interpretace výsledků.

# 1 Cíle práce, časový harmonogram, hypotézy

## 1.1 Cíl práce

Cílem práce je na základě měření určit, který ze dvou přístrojů, "Optojump Next" a "BTS Smart DX", je přesnější při měření vertikálního výskoku.

## 1.2 Časový harmonogram výzkumu

Prvním úkolem je sběr informací z dostupných publikací ohledně používaných přístrojů na měření vertikálního výskoku. Výstupem této části bude přesný popis a porovnání přístrojů "Optojump next" a "BTS Smart DX", jak z technické části, tak z pohledu přesnosti měření.

Druhým úkolem je stanovit metodiku měření, provést pilotní měření, optimalizovat postup při měření pro dosažení nejlepších výsledků a provést finální měření vertikálního výskoku probandů na obou přístrojích.

Následuje zpracování naměřených dat, získání referenčních hodnot ze softwaru "Kinovea", interpretace výsledků, pomocí testů normality otestování rozložení dat a s pomocí statistických testů rozhodnout, zda můžeme danou hypotézu přijmout či nikoli.

## 1.3 Hypotézy

### 1.3.1 Hypotéza 1

Předpokládáme, že při měření jednoduchého pohybového vzorce, jako je vertikální výskok z místa, nebude odchylka měření obou přístrojů větší než 5%.

### 1.3.2 Hypotéza 2

Předpokládáme, že při měření vertikálního výskoku, bude na základě měření a statistických testů přístroj "BTS Smart DX" přesnější než přístroj "Optojump Next".

## 2 Teoretická část

### 2.1 Vertikální výskok

Vertikální výskok je pohybový prvek, během kterého sportovec využívá pohyb celého těla ke změně polohy svého těžiště směrem nahoru za pomoci svalů. [22]

Vertikální výskok je jednou ze základních pohybových činností a ukazatel dynamiky dolních končetin. Dynamika dolních končetin je důležitým aspektem mnoha sportů s různou pohybovou strukturou, jako například atletika, alpské lyžování, basketbal atd. Je proto žádoucí tento aspekt monitorovat a případně na základě výsledků změnit nebo optimalizovat tréninkové postupy.

Ke správnému provedení vertikálního výskoku je nutné zapojení a koordinace celého těla. Nejvíce zapojované svaly při odrazu jsou trojhlavý sval lýtkový, který zajišťuje extenzi v hlezenním kloubu. Dále čtyřhlavý sval stehenní, který je extenzorem kolenního kloubu. Svaly hýžděvé, jejichž funkcí je ovládání kyčelního kloubu. Dvouhlavý sval stehenní, který zajišťuje flexi kolenního kloubu a pomáhá extenzi kloubu kyčelního. Krom těchto svalů hrají velkou roli svaly trupu, případně při využití paží při výskoku také svaly horních končetin. [12]



Obr. 2.1: Vertikální výskok

Existuje více typů provedení vertikálního výskoku. Mezi nejznámější a nejpoužívanější patří výskok s protipohybem, anglicky "countermovement jump". U tohoto typu výskoku začínáme v pozici ve stoje, následně provedeme pohyb směrem dolů do podřepu a bezprostředně provedeme výskok.[10]



Dalším typem výskoku je výskok ze statické polohy v podřepu, anglicky "squat jump". U tohoto typu výskoku začínáme v pozici v podřepu a provedeme výskok bez protipohybu. [10]

Bobbert, Gerritsen, Litjens, Soest ve své studii, kde porovnávali výskok s protipohybem a bez zjistili, že z důvodu většího snížení při provedení protipohybu před výskokem, dochází k většímu kloubnímu rozsahu a může být vyprodukována větší svalová práce, a proto je výskok s protipohybem efektivnější než bez protipohybu. [11] [12]

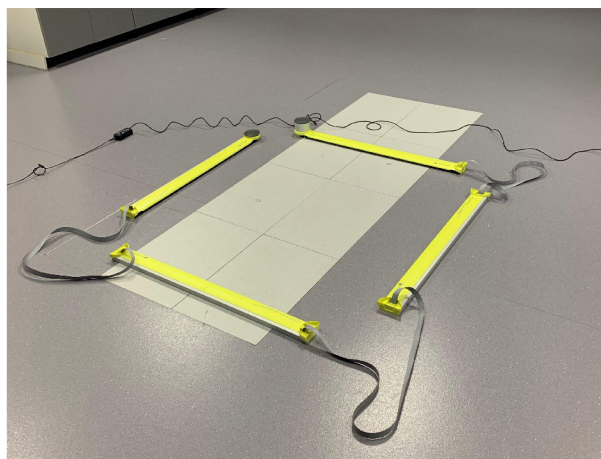
## 2.2 Použité přístroje

### 2.2.1 "Optojump Next"

"Optojump Next" je inovativní systém analýzy a měření výkonosti sportovců. "Optojump Next" umožňuje trenérům pravidelně, velmi jednoduše a rychle monitorovat výkonost svých svěřenců. [2]

Přístroj se skládá z měřících tyčí vybavených infračervenými diodami a optickými senzory. Infračervené diody nepřetržitě vysílají záření o vlnové délce 890 nanometrů. Toto záření je snímáno optickými senzory na přijímači ve výšce 3 milimetrů nad zemí. Optické senzory jsou od sebe vzdáleny přibližně 1.041 milimetru (96 senzorů na jednom metru měřící tyče) a pracují se vzorkovací frekvencí 1000 Hz. Maximální vzdálenost měřících tyčí od sebe, aby byla zachována plná funkčnost, je 6 metrů. Dále je možné připojit 2 video kamery pro pořízení videozáznamu měření pro pozdější analýzu. [2]

Přístroj je možné napájet jak ze sítě, tak i pomocí baterií. Při napájení pomocí baterií vydrží přístroj v provozu přibližně osm hodin měření. [1]



Obr. 2.2: "Optojump Next"

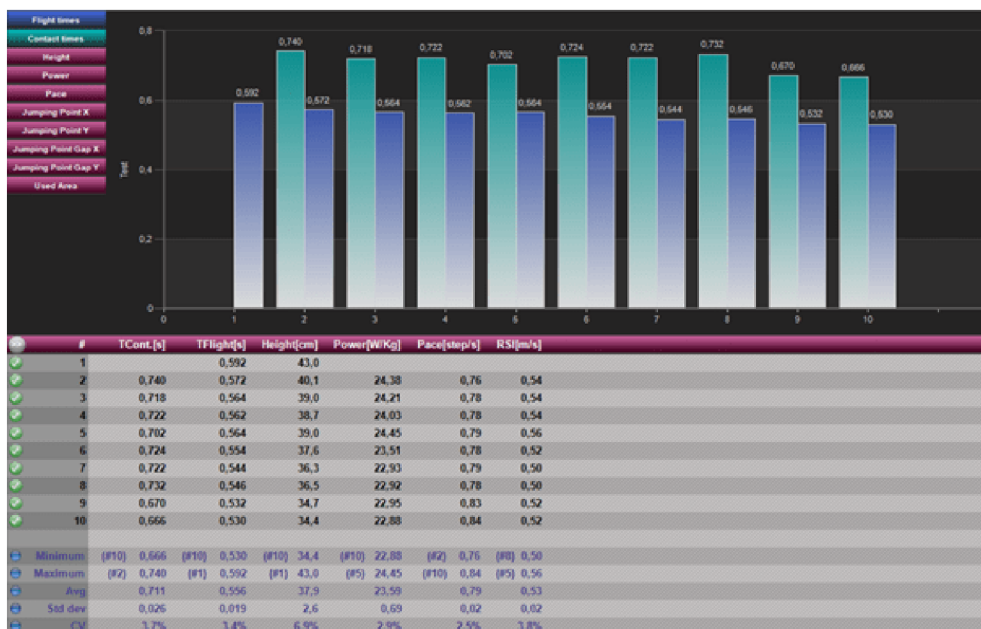
Přístroj "Optojump Next" pracuje s absolutní hodnotou rozdílu mezi oporovou a bez oporovou fází. Optické senzory detekují jakoukoli překážku mezi nimi a infračervenými diodami, což značí kontakt sportovce se zemí. Toho můžeme využít při monitorování mnoha různých parametrů. [2]

Například při měření výšky vertikálního výskoku, v momentě, kdy tato překážka zmizí a obnoví se komunikace všech optických senzorů s infračervenými diodami, systém začne měřit čas, s přesností na tisícinu sekundy, a zastaví po opětovném přerušení komunikace. Z naměřeného času poté systém v reálném čase dopočítává chtěnou veličinu. [1]

Uživatelské rozhraní zprostředkovává software od společnosti Microgate jménem "OptojumpNext". V softwaru "OptojumpNext" je možné ukládat a měnit data o měřeném sportovci, například velikost nohy, věk, pohlaví, sportovní odvětví atd. Dále jsou v systému vytvořené protokoly měření pro různé potřeby, například pro měření výšky vertikálního výskoku nebo pro měření kadence při startu běžců.

Je také možné si vytvořit vlastní protokol podle požadavků a potřeb uživatele (doba měření, počet skoků atd.). V průběhu měření uživatel vidí všechny naměřené hodnoty v reálném čase. Po měření mohou být data exportována, případně analyzována přímo v softwaru "OptojumpNext" (viz. obr. 2.3).

V sekci výsledků jsme schopni porovnávat dva a více testů bez potřeby speciálního softwaru. Sekce výsledků také poskytuje srovnání více sportovců nebo stejného sportovce v různých částech sezóny. [1]



Obr. 2.3: Software k přístroji "Optojump Next" společnosti Microgate

Na obrázku 2.3 vidíme data získaná z měření námi vytvořeného protokolu vycházejícího z již přednastaveného protokolu „CMJ“ (Countermovement jump). Získaná data obsahují:

- dobu oporové fáze
  - dobu bez oporové fáze
  - výšku vertikálního výskoku
  - délku a frekvenci kroků
  - dobu reakce na určitý podnět
  - okamžité a průměrné zrychlení pohybu
- a mnoho dalších informací. [1]

### 2.2.2 "BTS Smart DX"

"BTS Smart DX", přístroj italské společnosti BTS Bioengineering, sloužící k vysoce přesnému zachycení a analýze pohybu v klinické, sportovní a průmyslové oblasti v reálném čase. Přístroj využívá digitální fotoaparáty vybavené silnými infračervenými iluminátory a markerů pro přesné zachycení polohy. [3]



Obr. 2.4: Kamera systému "BTS Smart DX"[5]

Přístroj "BTS Smart DX" může být vybaven až 16 kamerami s infračervenými iluminátory, se kterými je snímán prostor až 6 x 6 x 3 m. Kamery vysílají infračervené záření s vlnovou délkou 850 nanometrů, které se odráží od markerů a je snímáno výkonnými senzory v kamerovém systému se snímací frekvencí 500 snímků za sekundu při maximálním rozlišení s přesností <math><0,1</math> milimetrů. [3]

Markery jsou kuličky různých velikostí potažené reflexním materiálem. Z toho důvodu se od nich dobře odráží infračervené záření a díky tomu jsou kamery přístroje "BTS Smart DX" schopny zaznamenat jejich polohu. Markery se připevňují na tělo sportovce tak, aby při pohybu nedošlo ke změně polohy markeru, čímž by byly zkresleny výsledky. Nejčastěji se používá lepicí páska.



Obr. 2.5: Marker připevněný na kotník sportovce

Pomocí přístroje "BTS Smart DX" je možné integrovat, synchronizovat a spravovat všechna přicházející z elektromyografických zařízení, sensorizovaných platforem a BTS kamer v reálném čase. [3]

Systém je vybaven softwarem "BTS SMART Suite" pro zachycení dat a vizualizace. Existují i alternativní softwary podle jednotlivých potřeb. [18]

"BTS SMART-Analyzer" je pokročilý software pro pohybovou analýzu, umožňuje používání a upravení různých protokolů. [18]

Software "BTS SMART-Performance" slouží primárně pro analýzu pohybu sportovců. Pomáhá lépe zkoumat výkony sportovců a pomocí optimalizace tréninků zlepšovat a předcházet zraněním. Software obsahuje předdefinované analytické protokoly pro různé sporty. [18]

Posledním dostupným softwarem pro přístroj "BTS Smart DX" je software "BTS SMART-Clinic". Tento software je věnován klinickému využití. Na základě protokolů ověřených mezinárodní vědeckou komunitou, je to vhodný nástroj pro analýzu pohybů a tělesných obvodů jedince. [18]

Nedílnou součástí práce s přístrojem "BTS Smart DX" je kalibrace. Kalibrace se provádí před každým měřením. Provádí se pomocí pravoúhlého trojúhelníku s připevněnými markery umístěného na podlahu a tyče s dalšími třemi markery pohybující se v prostoru. Soubor kamer snímá polohu všech markerů na scéně a vytvoří dohromady přesný 3D prostor. Proces kalibrace netrvá déle než 180 sekund.

V průběhu měření zaznamenává soubor kamer přesnou polohu markerů v prostoru vůči námi zvolené vztažné soustavě v reálném čase. Pokud není vyžadováno jinak, je vztažná soustava zvolena tak, aby osa x kopírovala podlahu místnosti a osa z byla kolmá k podlaze.

Aby přístroj zaznamenal přesnou polohu markeru, je nezbytné, aby v každém okamžiku byl marker zaznamenán minimálně 3 kamerami najednou.

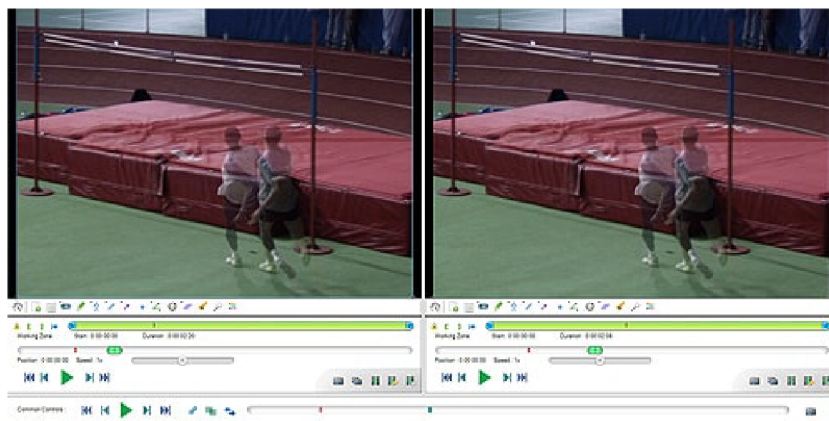
Jelikož přístroj "BTS Smart DX" zaznamenává polohu markerů v prostoru, je důležité abychom dbali na správné umístění markerů na sportovci. Ideálně umístit na místo, které bude minimálně ovlivněno nežádoucími pohyby, ale zároveň bude mít dostatečnou vypovídající hodnotu. Například při měření výšky vertikálního výskoku s umístěním markeru na špičku nohy naměříme výšku vertikálního výskoku, ale hodnota bude ovlivněna pohyby v hlezenním kloubu.

### 2.2.3 "Kinovea"

Software "Kinovea" je video anotační nástroj určený pro sportovní analýzu. Software "Kinovea" má mnoho funkcí pro úpravu, analýzu a pozorování videí a je založena na knihovnách FFMpeg, takže dokáže pracovat s téměř jakýmkoli formátem videa. [13]

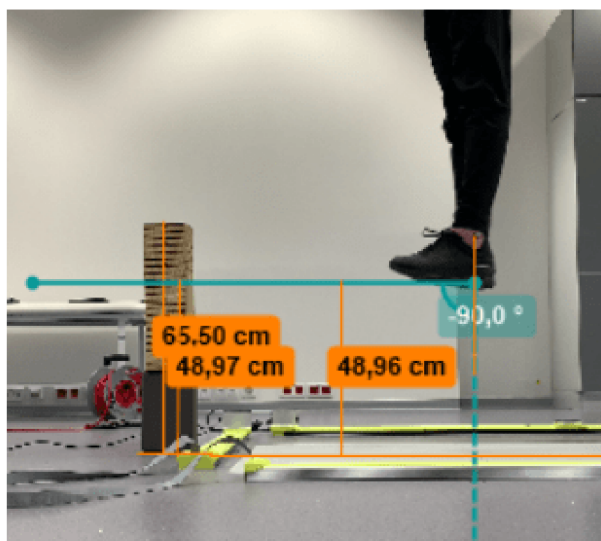
Do kategorie pozorování videí v softwaru "Kinovea" můžeme zařadit funkci zpomalení videa (na výběr máme pomocí počtu snímků nebo pomocí přesného počtu milisekund). Dále můžeme video jakkoli otáčet, zvětšit, zrcadlit nebo opravit poměr stran. Další funkcí je synchronizace a porovnávání. V softwaru "Kinovea" jsme schopni vzít dvě videa a překrýt je přes sebe, například pro porovnání dvou sportovních výkonů (viz. obr.2.6). Nebo také jsme schopni synchronizovat videa s heterogenními snímkovými frekvencemi. [13]





Obr. 2.6: Překrytí dvou videozáznamů pro analýzu sportovního výkonu

Další kategorií funkcí, které "Kinovea" nabízí je měření. Měřit můžeme čas pomocí chronometru, úhel (například úhel mezi stehnem a lýtkem cyklisty při šlapání k upravení posedu) a vzdálenost na přesnost sub pixelů (například při získávání výšky vertikálního výskoku, viz. obr. 2.7 ). Dále můžeme sledovat pohyb jednotlivých bodů, tato funkce se využívá například u vzpírání pro sledování trajektorie činky. [13]



Obr. 2.7: Měření vzdálenosti pomocí softwaru "Kinovea"

## 2.3 Rešerše literatury

### 2.3.1 Využití přístroje "Optojump next"

"Optojump Next" je přístroj hojně využívaný pro měření a monitorování profesionálních sportovců. Například Ladislav Tóth použil přístroj "Optojump Next" ve své diplomové práci na téma „Změna explozivní síly u basketbalistů po absolvování přípravného období“ a pomocí něj ověřil plyometrický tréninkový cyklus, po kterém nastaly pozitivní změny v úrovni explozivní síly dolních končetin.

Brain Hanley ve své studii využil profesionální chodce, aby ověřil spolehlivost systému "Optojump Next". Ve studii se ukázalo, že přístroj "Optojump Next" má mnoho benefitů pro laboratorní měření oproti vysokorychlostním kamerám, například jednoduchost a rychlost získání výsledků, při zachování spolehlivosti.

Ačkoli většina studií a prací s přístrojem "Optojump Next" se věnuje primárně sportovcům a jejich výkonosti, můžeme přístroj využít i jiným směrem. Můžeme s pomocí přístroje předcházet únavovým zraněním při fyzické aktivitě. Roman Švarc využil přístroj "Optojump Next" ve své diplomové práci na téma „Vliv specifické únavy na riziko zranění ACL u fotbalistů žákovské kategorie“.

V neposlední řadě můžeme přístroj "Optojump Next" využít k získání nových poznatků, jako provedli Miriam Palomo Nieto, Rudolf Psotta, Reza Abdollahipour, Adrian Agricola a Ludvík Valtr ve svém výzkumu na téma „Vliv zraku na chůzi u dětí s odlišnou úrovní motoriky“, kde výsledky odhalili, že chůze dětí s rizikem poruchy pohybové koordinace se lišila kratšími a pomalejšími kroky než u dětí s normálním vývojem motoriky.

Co se týče přesnosti přístroje "Optojump Next", je na místě zmínit studii týmu vědců pod vedením Julie F. Glatthorn s názvem "Validity and Reliability of Optojump Photoelectric Cells for Estimating Vertical Jump Height", ve které zkoumali spolehlivost přístroje "Optojump Next" při měření vertikálního výskoku v porovnání se silovou plošinou. Došli k závěru, že přístroj "Optojump Next" měří stabilně menší hodnoty, než je referenční hodnota, v tomto případě hodnota naměřená silovou plošinou.

Podobných výsledků dosáhl polský tým vědců ve své studii s názvem "Evaluation of reliability and concurrent validity of two optoelectric systems used for recording maximum vertical jumping performance versus the gold standard", ve které zkoumali spolehlivost přístroje "Optojump Next" opět vůči silové plošině. Ačkoli dospěli k závěru, že přístroj "Optojump Next" je spolehlivý, tak také zjistili, že má tendenci měřit menší hodnoty než silová plošina.

### 2.3.2 Využití přístroje "BTS Smart DX"

Stejně jako přístroj "Optojump Next" tak přístroj "BTS Smart DX" má mnoho využití ve sportovním odvětví. Příkladem takového využití je výzkum od autorů Magdalena Fronczek-Wojciechowska, Karolina Kopacz, Piotr Kosielski, Gianluca Padula na téma „Optoelektronická analýza pozice cyklisty před a po „bike-fitu“. Zjistilo se, že individuálním a objektivním "bike fitinkem" jsme schopni u profesionálních cyklistů snížit riziko případných zranění.

Magdalena Fronczek-Wojciechowska se svým týmem také provedla studii s názvem "Static balance and dynamic balance related to rotational movement in ballet dance students", kde zkoumali, za pomoci přístroje "BTS Smart DX", mimo jiné vlivy zraku na statickou a dynamickou rovnováhu tanečníků baletu. Zjistili, že došlo ke zhoršení statické rovnováhy se zavřenýma očima. U dynamické rovnováhy nebyly zjištěny žádné rozdíly.

Přístroj "BTS Smart DX" je častěji využíván také v lékařství, kde tým z „Robert Jones Agnes Hunt Hospital“ provedl studii s názvem „Předoperační a pooperační trojrozměrná analýza chůze u chirurgicky léčených pacientů se spondylolistézou vysokého stupně“. Objektivně dokázali, že u všech 4 pacientů dojde k objektivnímu zlepšení parametrů chůze po operaci.

Studii na podobné téma provedli Susan M.Sigward, Ming-Sheng, M.Chan, Paige E.Lin. Zkoumali asymetrie zatížení kolena u jedinců po rekonstrukci předního zkrříženého vazů pomocí inerciálních senzorů. Byly zjištěny rozdíly v úhlové rychlosti bérce mezi zdravou a operovanou nohou. Autor uvádí, že pomocí inerciálních senzorů jsme schopni zlepšit schopnost detekovat a řešit nedostatky mechanického zatížení.

### 2.3.3 Porovnání přístrojů

Oba zmíněné přístroje mají široké rozpětí využití od sportu až po lékařství, ale každý přístroj využívá v monitorování určitých veličin jiné principy. V této bakalářské práci jsme se zaměřili na jejich využití při měření výšky vertikálního výskoku.

Podle provedené rešerše je na měření výšky vertikálního výskoku častěji používán přístroj "Optojump Next". Domníváme se, že to je kvůli pořizovací ceně a jednoduššímu používání. Ačkoli je možné oba přístroje přenášet, u přístroje "BTS Smart DX" je to značně složitější. Dalším důvodem může být fakt, že přístroj "BTS Smart DX" má problém s měřením na přímém slunci a tím se značně komplikuje měření ve venkovních prostorách, bez ohledu na to, že kamery přístroje "BTS Smart DX" musí být připevněny na nepohyblivé tělesa.

Nepodařilo se nám dohledat mnoho studií, které by zkoumaly rozdíl mezi přístroji "Optojump Next" a "BTS Smart DX" z pohledu přesnosti. Navzdory tomu se nám podařilo dohledat studii s názvem „Evaluation of reliability and concurrent



validity of two optoelectric systems used for recording maximum vertical jumping performance versus the gold standard“, ve které porovnávali přístroje "Optojump Next" a "BTS Smart-E" (pracující na stejném principu jako námi zvolený přístroj "BTS Smart DX") vůči silové plošině "Kistler". Dospěli k závěru, že přístroje "Optojump Next" a "BTS Smart-E" jsou velmi přesnými alternativami k silovým plošinám. Ukázalo se, že oba přístroje mají tendenci naměřit menší hodnotu, než je hodnota reálná při měření výšky vertikálního výskoku. Domnívají se, že tomu můžeme předejít mírným pokrčením nohou před dopadem.

### 2.3.4 Využití softwaru "Kinovea"

Software "Kinovea" má také velmi široké spektrum využití, včetně oblasti sportu k analýze techniky. Například Lukáš Slavíček využil software "Kinovea" ve své bakalářské práci na téma "Analýza techniky přeběhu překážky u studentů UK FTVS", kde zjišťoval nejčastější chyby u přechodu přes překážku. Nejčastěji zaznamenanou chybou ve studii byl „odraz blízko u překážky, odraz vedený příliš nahoru“, zaznamenaná celkem u devíti probandů z celkových deseti.

Dalším příkladem využití softwaru "Kinovea" je bakalářská práce Terezy Boudové na téma "Rozbor lukostřelecké techniky z pohledu fyzioterapie", kde bylo zjištěno, že velká část testovaných probandů nedokázala udržet vzpřímené držení páteře v plném nátahu luku, což poukazuje na možné zdravotní rizika tohoto jednostranného sportu.

A. Blanco-Ortega a jeho tým využili softwaru "Kinovea" k rehabilitačním účelům. Pomocí softwaru "Kinovea" hodnotili pokrok pacientů po rehabilitačních procedurách. Do budoucna mají v plánu vytvoření protokolu pro monitorování efektivity rehabilitačních procedur u pacientů.

Ve studii s názvem "Biomechanical analysis using Kinovea for sports application" využil tým vědců softwaru Kinovea pro analýzu pohybu skoků. V této studii zjistili, že v porovnání s přístrojem "Cortex" je odchylka softwaru "Kinovea" malá a tím ověřili spolehlivost softwaru. Uvedli také, že "Kinovea" má potenciál být používána jako nástroj pro analýzu pohybu.

Existuje mnoho dalších studií zaměřené na spolehlivost a přesnost softwaru "Kinovea". Krom jiných se také studie s názvem "Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives" shoduje, že software "Kinovea" je dostatečně přesný a spolehlivý na biomechanická měření. Dalším příkladem studie přesnosti softwaru "Kinovea" je studie s názvem "Validity and Reliability of the Kinovea Program in 3 Obtaining Angular and Distance Dimensions", ve které zkoumali přesnost softwaru "Kinovea" z různých úhlů pohledu a to 45° a 90°. Došli k závěru, že software "Kinovea" je přesný a spolehlivý.

Jelikož většina studií uvádí software "Kinovea" jako velmi přesný a spolehlivý nástroj pro měření vzdáleností, úhlů atd. je pro nás vhodným ukazatelem referenční hodnoty při měření výšky vertikálního výskoku.

## 3 Praktická část

### 3.1 Metodika měření

Měření bylo realizováno na fakultě elektrotechniky VUT v Brně. Výzkumný soubor měření tvořilo 8 aktivních sportovců ve věku 18 až 26 let. Měření probíhalo pomocí diagnostických systémů "Optojump next" a "BTS Smart DX". Přístroje byly rozmístěny tak, abychom byli schopni měřit na obou přístrojích paralelně. Přístroj "BTS Smart DX" je na pevně instalován v laboratoři, a proto jsme následně umístili přístroj "Optojump Next" přibližně doprostřed místnosti (viz. 3.1), aby jeho celá plocha byla snímána přístrojem "BTS Smart DX".



Obr. 3.1: Rozmístění přístroje "Optojump Next" a "BTS smart DX"

Před samotným měřením jsme vedle přístroje "Optojump Next" umístili objekt s narysovanými hodnotami výšky pro usnadnění získání referenční výšky výskoku pomocí softwarové aplikace „Kinovea“. Objekt má výšku 65,5 centimetrů. Společně s objektem jsme použili videokameru se stativem pro pořízení video záznamu výskoku. Stativ s videokamerou byl umístěn tak, aby zabíral celou plochu přístroje "Optojump Next" a byl ve výšce 25 centimetrů nad zemí (viz. 3.2).



Obr. 3.2: Pohled z videokamery

Z důvodu detekce přístrojem "BTS Smart DX" byl, pomocí oboustranné lepicí pásky, na nohu probanda připevněn marker. Abychom eliminovali zkreslení výsledků nežádoucími pohyby, připevnili jsme marker na probandův kotník (viz. 3.3), protože ten na rozdíl od špičky nohy nemění při odrazu polohu vůči noze.



Obr. 3.3: Rozmístění markerů na nohou probanda

Měření jsme prováděli pomocí námi vytvořeného testu v softwaru "Optojump Next" (viz. 3.4). Test vychází z přednastaveného standardizovaného testu "Counter movement jump", ale byl změněn celkový počet skoků z jednoho na deset. Test začíná základním postavením s rukami v bok, po spuštění testu proband jde do mírného podřepu, ze kterého se odráží do sub maximálního výskoku s nataženými nohama. Tento proces provede proband desetkrát. Po doskočení posledního výskoku se měření na přístroji "Optojump Next" automaticky ukončí.

<b>Name</b>	CMJ - 10
<b>Test type</b>	Jump test
<b>Start type</b>	Status change
<b>Start</b>	Inside the area
<b>Stop type</b>	Status change
<b>Finish</b>	Inside the area
<b>Number of jumps</b>	10
<b>Notes</b>	10 SKOKŮ

Obr. 3.4: Nastavení testu "Optojump Next"

Při samotném měření nebyla stěžejní samotná výška výskoku, ale předpokládáme, že u vyššího výskoku by mohla být odchylka měření větší. Probandi byli při měření vystaveni sub maximální zátěži, které předcházelo samostatné rozvíření, zaměřené primárně na dolní končetiny, abychom minimalizovali riziko zranění probandů.

## 3.2 Získání dat

### 3.2.1 Získání výšky výskoku z přístroje "Optojump next"

Data získaná z přístroje "Optojump Next" můžeme analyzovat přímo v softwaru "OptojumpNext" (viz. obr. 2.3), nebo můžeme data exportovat v různých formátech například .xlsx nebo pdf, které navíc obsahuje všechny přehledné grafy. V našem případě jsme si data vyexportovali ve formátu .xlsx.

Vyexportovaný soubor obsahuje jak informace o měřeném jedinci, tak také pro nás důležitá data o provedených skocích. Jak je vidět na příkladu testované osoby č. 5 v tabulce 3.1, soubor obsahuje délku letové fáze, výšku vertikálního výskoku, výkon, počet kroků za sekundu atd. U všech uvedených veličin nám software "OptojumpNext" vypočítá maximum, minimum, průměr, odchylku a variační koeficient.

Pro nás nejdůležitější veličinou je výška vertikálního výskoku. Jelikož přístroj "Optojump Next" z naměřené doby letu rovnou dopočítává výšku výskoku, tak není potřeba data prozatím nijak zpracovávat. Zkopírovali jsme pouze hodnoty výšky výskoku a vložili jsme je do společného souboru formátu .xlsx, kde bude probíhat další zpracování dat. Tento proces jsme provedli s hodnotami všech 230 skoků.

Tab. 3.1: Hodnoty z přístroje "Optojump Next"

#	TCons.[s]	TFlight[s]	Height[cm]	Power[W/Kg]	Pace[step/s]	RSI[m/s]
1		0.494	29.9			
2	0.788	0.502	30.9	19.76	0.78	0.39
3	0.832	0.482	28.5	18.3	0.76	0.34
4	0.792	0.484	28.7	18.75	0.78	0.36
5	0.814	0.468	26.8	17.72	0.78	0.33
6	0.82	0.47	27.1	17.78	0.78	0.33
7	0.778	0.462	26.2	17.7	0.81	0.34
8	0.794	0.446	24.4	16.75	0.81	0.31
9	0.838	0.456	25.5	16.93	0.77	0.3
10	0.836	0.456	25.5	16.94	0.77	0.3
Min	0.778	0.446	24.4	16.75	0.76	0.3
Max	0.838	0.502	30.9	19.76	0.81	0.39
Avg	0.81	0.472	27.3	17.85	0.78	0.33
Stddev	0.023	0.018	2.1	0.97	0.02	0.03
CV	2.8	3.8	7.7	5.4	2.6	9.1

### 3.2.2 Získání dat z přístroje "BTS Smart DX"

Z přístroje "BTS Smart DX" jsme si vyexportovali surová data ve formátu .emt, která obsahují informace o počtu sledovaných markerů, vzorkovací frekvenci přístroje při daném měření, celkovém počtu snímků, čase a hlavně soubor obsahuje přesnou hodnotu na každé ze tří souřadnic (viz. 3.2). V každém měření přístroj "BTS Smart DX" nasnímal přibližně 6200 snímků (hodnot na jednotlivých osách).

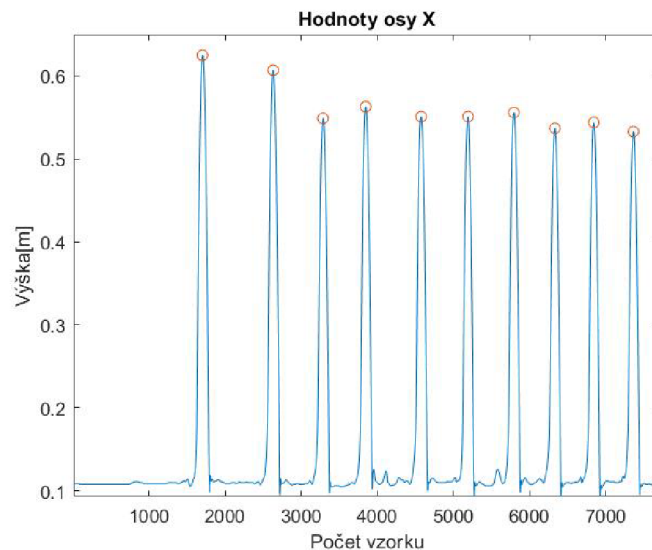
Tab. 3.2: Hodnoty jednotlivých os přístroje "BTS Smart DX"

Frame	Time	kotník.X	kotník.Y	kotník.Z
0	0	0.353	0.105	0.697
1	0.004	0.353	0.105	0.697
2	0.008	0.353	0.105	0.697
3	0.012	0.353	0.105	0.697
4	0.016	0.353	0.105	0.697
5	0.02	0.353	0.105	0.697
6	0.024	0.353	0.105	0.697
7	0.028	0.353	0.105	0.697
8	0.032	0.353	0.105	0.697
9	0.036	0.353	0.105	0.697
10	0.04	0.353	0.105	0.697
11	0.044	0.353	0.105	0.697
...	...	...	...	...

Jelikož sledujeme a pracujeme s výškou vertikálního výskoku, tak osu X a osu Z můžeme ignorovat. Zajímá nás pouze osa Y (vertikální osa kolmá k podlaze), ze které získáme hodnotu výšky vertikálního výskoku.

Pro získání hodnoty výšky vertikálního výskoku z těchto surových dat jsme vytvořili algoritmus v programovacím jazyku Matlab. Algoritmus načte hodnoty osy Y a pomocí funkce "findpeaks" nám vyhledá lokální maxima (viz. 3.5).

Od všech lokálních maxim nám algoritmus zároveň odečte "nulovou hodnotu". "Nulová hodnota" je hodnota výšky markeru nad podlahou v momentě, kdy proband stojí v klidu na zemi. Tento krok je důležitý, protože přístroj "Optojump Next" snímá kontakt se zemí a my jsme měli marker připevněný na kotník probanda, což je ve výšce cca 8-10 centimetrů nad zemí v závislosti na probandovi. Odečtením "nulové hodnoty" se bude počáteční výška markeru také na úrovni podlahy. "Nulovou hodnotu" jsme zadávali do algoritmu ručně.



Obr. 3.5: Hodnoty osy Y

Po odečtení nulové hodnoty nám algoritmus vyhodnotí výšky vertikálních výskoků (viz. 3.6). Tyto hodnoty jsme vzali a vložili do společného souboru formátu .xlsx, kde bude probíhat další zpracování dat.

Variables - x	
x	
10x1 double	
	1
1	51.6000
2	49.8000
3	44.0000
4	45.4000
5	44.2000
6	44.2000
7	44.7000
8	42.8000
9	43.5000
10	42.4000
11	

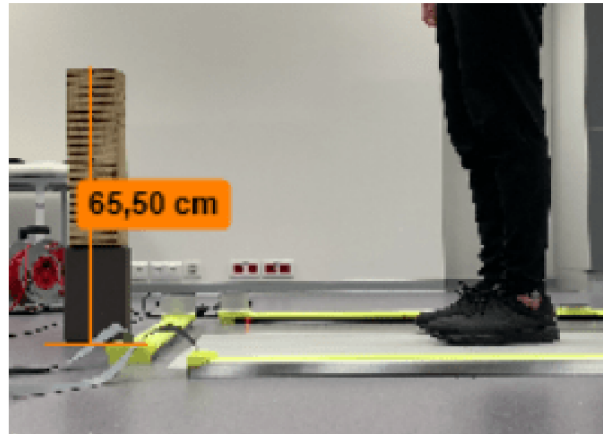
Obr. 3.6: Hodnoty výšky vertikálního výskoku získané Matlab algoritmem



### 3.2.3 Získání referenční hodnoty ze softwaru "Kinovea"

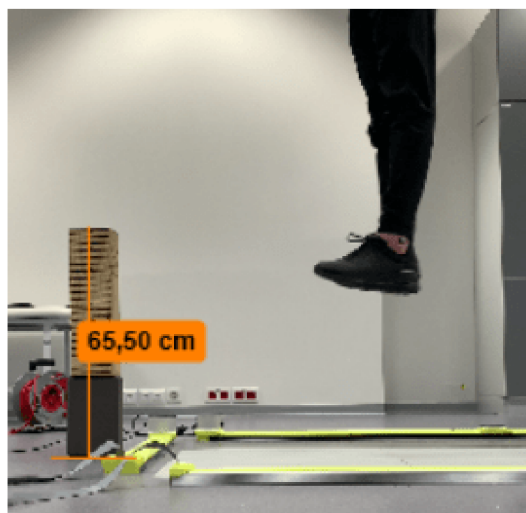
Referenční hodnotu vertikálního výskoku jsme získali pomocí videozáznamu pořízeného při měření, pomocného objektu s přesně známou výškou a následné práce v softwaru "Kinovea".

V softwaru "Kinovea" jsme na začátku měření zadali pomocí funkce měření vzdálenosti přesnou výšku objektu vedle přístroje "Optojump Next" a to 65,5 centimetrů (viz. 3.7).



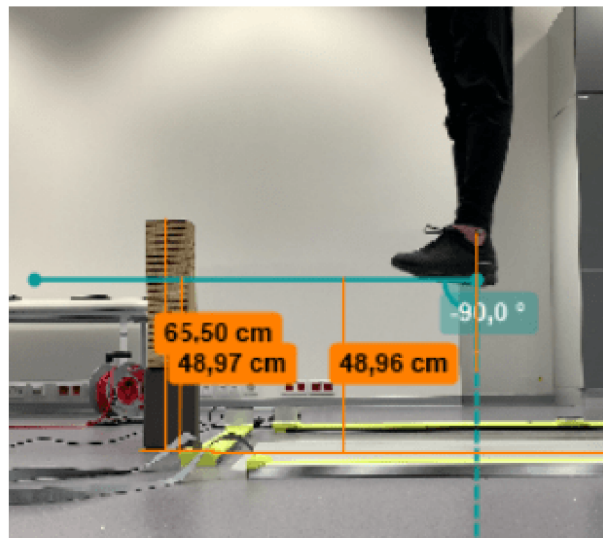
Obr. 3.7: Výška pomocného objektu

Dále jsme pustili videozáznam a zastavili ho v momentě, kdy byl proband ve výskoku. V tento moment jsme využili funkci zpomalení a posouvali jsme video záznam snímek po snímku, dokud jsme nenarazili na nejvyšší bod, ve kterém se proband nacházel (viz. 3.8).



Obr. 3.8: Max. dosažená výška výskoku probanda

V tomto bodě jsme využili funkce měření vzdálenosti a úhlu. Vedli jsme úsečku z markeru na kotníku probanda dolů k zemi abychom zjistili, z jakého bodu na podrážce probanda povedeme další úsečku k pomocnému objektu. Abychom zajistili, že naše úsečka vedoucí od podrážky probanda k pomocnému objektu je vodorovná a nebude nám nepřesností zkreslovat výsledky. Využili jsme funkce měření úhlu a naměřili přesně  $90^\circ$  od svislé čáry. Nakonec jsme pomocí funkce měření vzdálenosti změřili vzdálenost probandovy podrážky od podlahy. Tento poslední krok jsme udělali na více místech, pro případ, že některý z předchozích kroků nebyl přesný (viz. 3.9).



Obr. 3.9: Měření vzdálenosti pomocí softwaru "Kinovea"

Tímto způsobem jsme získali hodnoty výšky vertikálního výskoku u všech 230 skoků. Hodnoty výskoku jsme zaznamenali do společného souboru formátu .xlsx, kde bude probíhat další zpracování dat.

### 3.3 Zpracování dat

Poté, co jsme získali potřebná data o všech 230 skocích, tak můžeme přistoupit ke zpracování a následnému vyhodnocení dat.

Pro každý skok jednotlivě jsme dopočítali diferenci mezi přístroji a diferenci každého přístroje vůči referenční hodnotě získanou pomocí softwaru „Kinovea“. Tím jsme získali první náhled toho, jak si jednotlivé přístroje stojí v otázce přesnosti měření výšky vertikálního výskoku.

Tab. 3.3: Hodnoty přístroje "Optojump Next" a "BTS Smart DX"

Skok	Optojump	BTS marker	Diference	%
S2 - 1 - 1	31.9	42.3	10.4	24.59
S2 - 1 - 2	33.1	44.6	11.5	25.78
S2 - 1 - 3	32.9	43.2	10.3	23.84
S2 - 1 - 4	33.4	43.7	10.3	23.57
S2 - 1 - 5	32.4	43.9	11.5	26.20
...	...	...	...	...

Tab. 3.4: Hodnoty přístroje "Optojump Next" a referenční hodnoty

Skok	Optojump	Kinovea	Diference	%
S2 - 1 - 1	31.9	42.3	10.4	24.59
S2 - 1 - 2	33.1	43.7	10.6	24.26
S2 - 1 - 3	32.9	43.4	10.5	24.19
S2 - 1 - 4	33.4	43.7	10.3	23.57
S2 - 1 - 5	32.4	43.7	11.3	25.86
...	...	...	...	...

Tab. 3.5: Hodnoty přístroje "BTS Smart DX" a referenční hodnoty

Skok	BTS marker	Kinovea	Diference	%
S2 - 1 - 1	42.3	42.3	0	0.00
S2 - 1 - 2	44.6	43.7	0.9	2.06
S2 - 1 - 3	43.2	43.4	0.2	0.46
S2 - 1 - 4	43.7	43.7	0	0.00
S2 - 1 - 5	43.9	43.7	0.2	0.46
...	...	...	...	...

Pro lepší přehled a snadnější interpretaci jsme z těchto jednotlivých diferencí udělali přehlednou tabulku rozdílů průměrných diferencí v centimetrech, vyjádřené také v procentech.

Tab. 3.6: Rozdíly průměrných diferencí

Diference průměrných diferencí [cm]				
	Optojump Next	BTS Smart DX	Kinovea	
Optojump	0	-7.90	-8.41	
BTS	7.90	0	-0.71	
Kinovea	8.41	0.71	0	
%				
	Optojump Next	BTS Smart DX	Kinovea	
Optojump	0.0	19.3	20.3	
BTS	19.3	0.0	1.7	
Kinovea	20.3	1.7	0.0	

Jak můžeme vidět velký rozdíl v průměru diferencí je mezi přístrojem "Optojump Next" a přístrojem "BTS Smart DX" a to 7.9 centimetrů, což odpovídá 19,3% rozdílu hodnoty. Tento značný rozdíl mezi jednotlivými přístroji značí, že je velká pravděpodobnost, že jeden z přístrojů měří se znatelně větší odchylkou než ten druhý. Význam těchto rozdílů ověříme pomocí statistických testů v další kapitole. Rozdíl mezi jednotlivými přístroji pro nás není nejlepším ukazatelem, pouze poukazuje na fakt, že přístroje měří rozdílně až o 20%, ale neříká nám, jaký z přístrojů je přesnější při měření vertikálního výskoku. Proto je pro nás důležitý rozdíl přístrojů vůči referenční hodnotě získanou pomocí softwaru „Kinovea“.

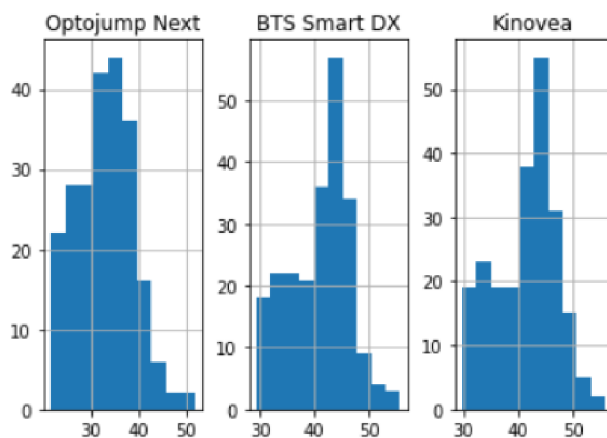
Co se týče porovnání rozdílů jednotlivých přístrojů s referenční hodnotou, tak rozdíl mezi přístrojem "Optojump Next" a přístrojem "BTS Smart DX" trvá. Zatímco rozdíl v průměru diferencí přístroje "Optojump Next" vůči referenční hodnotě je 8,41 centimetrů, což odpovídá 20,3% hodnoty, tak rozdíl v průměru diferencí přístroje "BTS Smart DX" vůči referenční hodnotě je 0,71 centimetrů, což odpovídá 1,7% hodnoty.

Tyto průběžné výsledky nám ukazují, že přístroj "BTS Smart DX" je znatelně přesnější při měření výšky vertikálního výskoku. Předtím, než se pustíme do vyhodnocení a stanovení závěrů ověříme význam těchto rozdílů pomocí statistických testů v další kapitole, kvůli zajištění objektivity.

### 3.3.1 Statistické testy

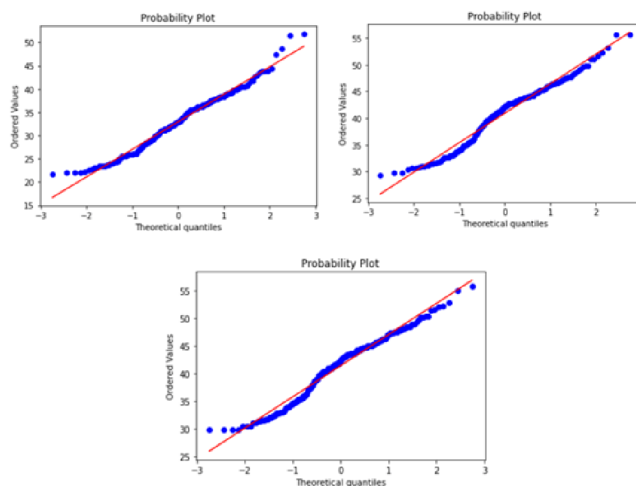
#### Testy normality

Předtím než jsme se dostali k samotným statistickým testům, provedli jsme vizuální analýzu dat. Prvním krokem bylo vykreslení histogramů hodnot jednotlivých přístrojů. Jak lze vidět na obrázku 3.10, data všech přístrojů jsou mírně posunuta k nižším hodnotám, což nám může napovědět o nenormálním rozdělení dat.



Obr. 3.10: Histogramy hodnot jednotlivých přístrojů

Dalším krokem bylo vykreslení Q-Q plotu pro další vizuální analýzu dat. Naopak při pohledu na Q-Q ploty na obrázku 3.11, můžeme vidět, že na rozdíl od histogramu se může zdát, že se data velmi podobají teoretickému normálnímu rozložení.



Obr. 3.11: Q-Q plot jednotlivých přístrojů

Abychom se nespolehali pouze na subjektivní vizuální analýzu dat a zajistili objektivitu, využili jsme Shapiro-Wilkova testu normality. Výsledky (viz. obr. 3.12) ukazují p-hodnoty menší než 0,05 u všech tří přístrojů, což znamená, že data všech přístrojů pravděpodobně nemají Gausovo rozložení dat.

```
stat = 0.980709, p = 0.004
Optojump Next: Pravdepodobne jine nez Gaussovske rozlozeni.
stat = 0.970506, p = 0.000
BTS Smart DX: Pravdepodobne jine nez Gaussovske rozlozeni.
stat = 0.972998, p = 0.000
Kinovea: Pravdepodobne jine nez Gaussovske rozlozeni.
```

Obr. 3.12: Výsledky Shapiro-Wilkova testu pro jednotlivé přístroje

Na základě výsledků testů normality před i po využití funkce BoX-Cox na transformaci dat, jsme rozhodli, že budeme nadále využívat neparametrických testů.

### Wilcoxonův pořadový test

Wilcoxonův pořadový test je jedním z neparametrických statistických testů pro testování párových dat, jako jsou například hodnoty vertikálního výskoku měřené na více přístrojích najednou.

V našem případě využíváme Wilcoxonova pořadového testu pro ověření významu rozdílů mezi přístroji "Optojump Next" a "BTS Smart DX"

Nulovou hypotézou v tomto případě je, že neexistuje rozdíl mezi těmito přístroji v otázce měření výšky vertikálního výskoku. Naopak alternativní hypotéza říká, že existuje statisticky významný rozdíl mezi těmito přístroji v otázce měření výšky vertikálního výskoku.

```
p-hodnota = 7.844063395944588e-39
Zamítáme nulovou hypotézu na hladině významnosti 5%
```

Obr. 3.13: Výsledky Wilcoxonova pořadového testu

Jak můžeme vidět na obrázku 3.13, p-hodnota je značně menší než 0.05 a z toho důvodu můžeme zamítnout nulovou hypotézu a přijmout hypotézu alternativní. To znamená, že mezi přístroji "Optojump Next" a "BTS Smart DX" je statisticky významný rozdíl v otázce měření výšky vertikálního výskoku.

Tento fakt nám sice neříká, který z přístrojů je přesnější, ale napovídá nám, že pokud je mezi přístroji statisticky významný rozdíl, tak pravděpodobně bude jeden z přístrojů přesnější při porovnání s referenční hodnotou. To ověříme Friedmanovým testem pro závislá data.

### Friedmanův test

Friedmanův statistický test je jedním z neparametrických testů pro více než dva závislé výběry. My využijeme Friedmanova testu na porovnání obou přístrojů a referenční hodnoty navzájem mezi sebou.

Nejprve stanovme nulovou a alternativní hypotézu. Nulová hypotéza v tomto případě je, že všechny tři porovnávané přístroje měří bez rozdílu. Alternativní hypotéza zní, že alespoň jedna dvojice je od sebe významně odlišná.

```
p-hodnota = 5.742316634351643e-81
Zamítáme nulovou hypotézu na hladině významnosti 5%
```

Obr. 3.14: Výsledky Friedmanova testu

Jak můžeme vidět na obrázku 3.14, p-hodnota je opět zřetelně nižší než kritická hodnota 0,05 a tím pádem můžeme zamítnout nulovou hypotézu a přijmout hypotézu alternativní. To znamená, že alespoň mezi jednou dvojicí existuje statisticky významný rozdíl týkající se přesnosti měření výšky vertikálního výskoku.

Jak již můžeme vidět z alternativní hypotézy, Friedmanův test nám pouze řekne, zda mezi jednotlivými přístroji je statisticky významný rozdíl či nikoli, ale nedozvíme se, mezi kterou dvojicí případný rozdíl existuje. Z toho důvodu využijeme Post-hoc testu k určení právě rozdílných dvojic.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	1.000000e+00	4.185607e-33	6.962051e-38
<b>2</b>	4.185607e-33	1.000000e+00	3.789058e-01
<b>3</b>	6.962051e-38	3.789058e-01	1.000000e+00

Obr. 3.15: Výsledky Dunnova Post-hoc testu

Z výsledků Dunnova Post-hoc testu (viz. obr. 3.15, 1 = "Optojump Next", 2 = "BTS Smart DX", 3 = "Kinovea") vyplývá, že v našem případě existuje statisticky významný rozdíl mezi dvěma dvojicemi, a to mezi přístroji "Optojump Next" a

"BTS Smart DX", což jsme zjistili již v předchozí kapitole, a mezi přístrojem "Optojump Next" a referenční hodnotou získanou pomocí softwaru "Kinovea". Rozdíl mezi přístrojem "BTS Smart DX" a referenční hodnotou není statisticky významný.

Tyto výsledky statistických testů potvrzují výsledky z předchozí kapitoly "Zpracování dat". Ukazuje se, že přístroj "Optojump Next" měří se značně větší odchylkou od referenční hodnoty než přístroj "BTS Smart DX".

### 3.4 Diskuze

Na začátku diskuze musíme zmínit, že v průběhu práce na tomto projektu došlo k výměně přístrojů. Původním plánem a myšlenkou bylo porovnat přístroje pracující na stejném nebo alespoň podobném principu a to "Optojump Next" a "Fitronic Jumper". Z důvodu technických problémů a nespolehlivosti přístroje "Fitronic Jumper" jsme se rozhodli od tohoto přístroje upustit a nahradit ho přístrojem "BTS Smart DX".

Z předchozího zpracování dat a následných statistických testů vyplývá, že rozdíl mezi přístrojem "BTS Smart DX" a referenční hodnotou je v řádech nízkých jednotek procent, průměrný rozdíl je menší než 1 centimetr. Byl proveden také statistický test, který ukázal, že rozdíl mezi přístrojem "BTS Smart DX" a referenční hodnotou není statisticky významný. Na základě těchto výsledků můžeme prohlásit, že rozdíl mezi přístrojem "BTS Smart DX" a referenční hodnotou je například pro monitoring sportovců v přípravném období zanedbatelný a přístroj "BTS Smart DX" je dostatečně přesný.

Naopak přístroj "Optojump Next" v porovnání s referenční hodnotou má odchylku lehce přes 20%, přesně 20,3%, což odpovídá průměrné odchylce 8,41 centimetrů. Také statistický test prokázal statisticky významný rozdíl mezi přístrojem "Optojump Next" a referenční hodnotou, což poukazuje na nepřesnost přístroje "Optojump Next". Odchylka přístroje přes 20% je při měření výšky vertikálního výskoku nepřijatelnou.

Po vyhodnocení výsledků námi provedeného měření můžeme prohlásit přístroj "BTS Smart DX" za přesnější v porovnání s přístrojem "Optojump Next".

Na začátku této práce v kapitole "Hypotézy" jsme si stanovili dvě hypotézy. První hypotézou bylo, že při měření výšky vertikálního výskoku nebude odchylka obou přístrojů od referenční hodnoty větší než 5%. Tuto hypotézu můžeme po vyhodnocení výsledků zamítnout. Přístroj "BTS Smart DX" měl sice průměrnou odchylku od referenční hodnoty 1,7%, ale přístroj "Optojump Next" přes 20%.

Druhou hypotézou bylo, že přístroj "BTS Smart DX" je při měření vertikálního výskoku přesnější než přístroj "Optojump Next". Tuto hypotézu přijímáme na základě výsledků za platnou.



V budoucnu je možné na tuto práci navázat rozšířením praktických poznatků, spoluprací s více sportovci, nebo také měřeními na nově vyvinutých přístrojích.

Co se týče jiných studií na podobné téma, můžeme prohlásit, že výsledky naší práce a ostatních studií mají společné prvky, ale zároveň v některých faktorech se výrazně liší.

Menší naměřené hodnoty přístrojem "Optojump Next" jsou společným znakem naší práce a dříve zmíněných studií na podobné téma. Rozdílem je však velikost rozdílu hodnot naměřených přístrojem "Optojump Next" od hodnot referenčních. Zatímco co v naší studii jsme naměřili průměrný rozdíl hodnot přístroje "Optojump Next" vůči referenční hodnotě 8,41 centimetru, v dříve zmíněných studiích byl průměrný rozdíl 1,06 centimetru.

Domníváme se, že důvodem může být samotné provedení vertikálního výskoku. V naší práci jsme měřili výšku vertikálního výskoku na 8 aktivních sportovcích. Z toho důvodu nebyli kladeny žádné požadavky na provedení vertikálního výskoku, až na to, že bylo požadováno propnutí dolních končetin po celou dobu letové neboli bez oporové fáze. A jelikož nedošlo k pokrčení dolních končetin před dopadem, společně s pohybem v hlezenním kloubu, který zapříčinil, že špička se při odrazu odlepila od země jako poslední a při dopadu dopadla jako první, mohlo to mít za následek kratší bez oporovou fázi a tím následně menší hodnotu vertikálního výskoku dopočítanou přístrojem "Optojump Next".

V budoucích měřeních se můžeme zaměřit na techniku vertikálního výskoku, abychom minimalizovali tento faktor generující případné chyby měření. Musíme však mít na paměti, že dopad sportovce z výšky na paty bez tlumení dopadu kotníkem, může být pro sportovce nebezpečný a zdraví ohrožující. Proto se nabízí otázka, zda není lepší variantou pokusit se o implementaci řešení do výpočetního algoritmu přístroje "Optojump Next" nebo alespoň popsat v manuálu přístroje "Optojump Next" ideální techniku vertikálního výskoku k dosažení co nejlepších, v tomto případě co nejpřesnějších výsledků.

Co se týče přístroje "BTS Smart DX", nepodařilo se nám dohledat studii, která by se zabývala přesností přístroje "BTS Smart DX". Mnoho studií využívá přístroj "BTS Smart DX" jakožto referenční hodnotu, zlatý standard nebo jako přístroj, pomocí kterého ověřují opakovatelnost postupů, metodiky atd. Zdá se tedy, že alespoň z nám dostupných studií, jsme právě provedli první studii, která zkoumá přesnost přístroje "BTS Smart DX" vůči předem zvolené referenční hodnotě.

Zjistili jsme, že přístroj "BTS Smart DX" měří výšku vertikálního výskoku s průměrnou odchylkou 0,71 centimetru od referenční hodnoty získanou pomocí softwaru "Kinovea". Po provedení statistických testů jsme dospěli k závěru, že rozdíl mezi hodnotami naměřenými přístrojem "BTS Smart DX" a referenční hodnotou je statisticky nevýznamný a na základě těchto výsledků můžeme prohlásit přístroj

"BTS Smart DX" za přesný při měření výšky vertikálního výskoku a v závislosti na cíli naší práce můžeme prohlásit přístroj "BTS Smart DX" za přesnější než přístroj "Optojump Next" při měření výšky vertikálního výskoku.

# Závěr

Cílem práce bylo určení, který z přístrojů "Optojump Next" a "BTS Smart DX" je přesnější při měření vertikálního výskoku.

Samotnému měření předcházela teoretická část, ve které proběhla literární rešerše a byly popsány jednotlivé přístroje, včetně softwaru, za pomoci, kterého jsme získali referenční hodnoty výšek vertikálních výskoků. V této části práce je rozebráno, co je to vertikální výskok, na jakém principu jednotlivé přístroje fungují, jejich praktické využití a v neposlední řadě jejich porovnání.

V praktické části byla velká pozornost věnována pilotnímu a následně provedenému měření na obou přístrojích paralelně. Prvotně byla stanovena metodika měření, podle které bylo následně provedeno měření probandů. Naměřili jsme hodnoty výšky 230ti vertikálních výskoků. Následovalo zpracování naměřených hodnot včetně získání referenční hodnoty za pomoci softwarového programu "Kinovea". Po získání výsledků z měření jsme za účelem zachování objektivity využili statistických testů pro ověření předem stanovených hypotéz.

Došli jsme k závěru, že z přístrojů "Optojump Next" a "BTS Smart DX" je právě druhý zmíněný přesnějším přístrojem co se týče měření vertikálního výskoku. Z pohledu statistiky byly hodnoty jednotlivých přístrojů od sebe statisticky významně rozdílné, což byla první indicie, že jeden z přístrojů bude značně přesnější než druhý. Dalšími statistickými testy jsme zjistili, že hodnoty naměřené přístrojem "BTS Smart DX" nebyly statisticky významně odlišné od hodnot referenčních. Zatímco hodnoty naměřené přístrojem "Optojump Next" byly statisticky významně odlišné od hodnot referenčních.

Na začátku práce jsme stanovili dvě hypotézy, ze kterých jsme jednu zamítnuli a druhou hypotézu jsme přijali. Detailněji se těmito hypotézám věnujeme v diskuzi.

V práci byly splněny všechny předem stanovené cíle práce. Po výměně přístrojů jsme v průběhu měření nenarazili na žádné výrazné komplikace.

# Literatura

- [1] Změny explozivní síly u basketbalistů po absolvování přípravného období, Olomouc, 2010. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce Doc. PaedDr. Michal Lehnert, Ph.D.
- [2] Optojump Next, Optojump Next [online]. Italy: Microgate Srl, 2009 [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <http://www.optojump.com/default.aspx>
- [3] *Btsbioengineering* Btsbioengineering [online]. Italy: BTS Bioengineering 2019, 2019 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.btsbioengineering.com/>
- [4] ŠVARC, Roman. Vliv specifické únavy na riziko zranění ACL u fotbalistů žákovské kategorie [online]. Olomouc, 2014 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/umozfc/DiplomovprcevarcRoman.pdf>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci.
- [5] BTS SMART-DX. In: Arrayamed [online]. Buenos Aires: EMPRESA HABILITADA POR ANMAT, 2013 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.arrayamed.com/productos/62-smart-dx.html>
- [6] FRONCZEK-WOJCIECHOWSKA, MAGDALENA, KAROLINA KOPACZ, PIOTR KOSIELSKI a GIANLUCA PADULA. Optoelectronic analysis of cyclists' position before and after a bike fit: A case study of a professional women's cycling team 1(23): 21-24. Poland: TRENDS IN SPORT SCIENCES, 2016. ISSN 2299-9590. Případová studie. Medical University of Lodz, Academic Laboratory of Movement and Human Physical Performance "DynamoLab", Łódź, Poland.
- [7] TRIVEDI, Jayesh, Shreya SRINIVAS, Rishi TRIVEDI, Neil DAVIDSON, Sudarshan MUNIGANGAIAH, Colin BRUCE, Alf BASS a David WRIGHT. Preoperative and Postoperative, Three-dimensional Gait Analysis in Surgically Treated Patients With High-grade Spondylolisthesis. *Journal of Pediatric Orthopaedics* [online]. 2021, 41(2), 111-118 [cit. 2022-05-31]. ISSN 0271-6798. Dostupné z: doi:10.1097/BPO.0000000000001721
- [8] HANLEY, Brian a Catherine B. TUCKER. Reliability of the OptoJump Next System for Measuring Temporal Values in Elite Racewalking. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. 2019, 33(12), 3438-3443 [cit. 2022-05-31]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi:10.1519/JSC.0000000000003008
- [9] NIETO, Miriam Palomo, Rudolf PSOTTA, Reza ABDOLLAHIPOUR, Adrian AGRICOLA a Ludvík VALTR. The effect of vision on walking in children with

- different levels of motor competency. *Tělesná kultura* [online]. 2016, 39(1), 40-47 [cit. 2022-05-31]. ISSN 12116521. Dostupné z: doi:10.5507/tk.2015.017
- [10] GASIOR, Jiří. Vztah výkonu ve dřepu, vertikálním výskoku, mrtvém tahu a olympijském vzpírání u elitních vzpěračů. Brno, 2019. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Mgr. Tereza Králová.
- [11] BOBBERT, MAARTEN F., KARIN G. M. GERRITSEN, MARIA C. A. LITJENS a ARTHUR J. VAN SOEST. Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. *Med Sci Sports Exerc.* [online]. 1996, 28(11), 1402-1412 [cit. 2022-05-31]. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1097/00005768-199611000-00009
- [12] KLASOVÁ, Kateřina. Porovnání vertikálního výskoku u hráček volejbalu. Praha, 2013. Diplomová práce. UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE.
- [13] Kinovea [online]. Francie: Charmant, c2021 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.kinovea.org/>
- [14] SLAVÍČEK, Lukáš. Analýza techniky přeběhu překážky u studentů UK FTVS. Praha, 2020. Bakalářská práce. UNIVERZITA KARLOVA.
- [15] Guzmán-Valdivia, Cesar Blanco-Ortega, A. Oliver-salazar, Marco Escobedo, José. (2013). Therapeutic Motion Analysis of Lower Limbs Using Kinovea. *International Journal of Soft Computing and Engineering.* 3. 359-365.
- [16] NOR ADNAN, Nor Muaza, Mohd Nor Azmi AB PATAR, Hokyoo LEE, Shin-Ichiroh YAMAMOTO, Lee JONG-YOUNG a Jamaluddin MAHMUD. Biomechanical analysis using Kinovea for sports application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2018, 342, 10 [cit. 2022-05-31]. ISSN 1757-8981. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/342/1/012097
- [17] BOUDOVÁ, Tereza. Rozbor lukostřelecké techniky z pohledu fyzioterapie. Plzeň, 2020. Bakalářská práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI.
- [18] BTS SMART DX [online]. Italy: BTS Bioengineering [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://cdn2.hubspot.net/hub/167460/file-18511751-pdf/docs/bts-smartdx.pdf>
- [19] PUIG-DIVÍ, Albert, Carles ESCALONA-MARFIL, Josep Maria PADULLÉS-RIU, Albert BUSQUETS, Xavier PADULLÉS-CHANDO, Daniel MARCOS-RUIZ a Carlos BALSALOBRE-FERNÁNDEZ. Validity and reliability of the

- Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. PLOS ONE [online]. 2019, 14(6), 14 [cit. 2022-05-31]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0216448
- [20] FRONCZEK–WOJCIECHOWSKA, Magdalena, Gianluca PADULA, Joanna KOWALSKA, Manuela GALLI, Salvatore LIVATINO a Karolina KOPACZ. Static balance and dynamic balance related to rotational movement in ballet dance students. International Journal of Performance Analysis in Sport [online]. 2017, 16(3), 801-816 [cit. 2022-05-31]. ISSN 2474-8668. Dostupné z: doi:10.1080/24748668.2016.11868929
- [21] SIGWARD, Susan M., Ming-Sheng M. CHAN a Paige E. LIN. Characterizing knee loading asymmetry in individuals following anterior cruciate ligament reconstruction using inertial sensors [online]. 2016, 49, 114-119 [cit. 2022-05-31]. ISSN 09666362. Dostupné z: doi:10.1016/j.gaitpost.2016.06.021
- [22] HÝBL, Matěj. VLIV TRÉNINKU METODOU AIR ALERT IV NA VERTIKÁLNÍ VÝSKOK HRÁČŮ VOLEJBALU. Liberec, 2014. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [23] Kajetan, Słomka Sobota, Grzegorz Skowronek, Tomasz Rzepko, Marian Czarny, Wojciech Juras, Grzegorz. (2017). Evaluation of reliability and concurrent validity of two optoelectric systems used for recording maximum vertical jumping performance versus the gold standard. Acta of bioengineering and biomechanics / Wrocław University of Technology. 19. 141-147. 10.5277/ABB-00572-2016-05.
- [24] Puig-Diví, A.; Padullés-Riu, J.M.; Busquets-Faciaben, A.; Padullés-Chando, X.; Escalona-Marfil, C.; Marcos-Ruiz, D. Validity and Reliability of the Kinovea Program in Obtaining Angular and Distance Dimensions. Preprints 2017, 2017100042 (doi: 10.20944/preprints201710.0042.v1).
- [25] HANLEY, Brian a Catherine B. TUCKER. Reliability of the OptoJump Next System for Measuring Temporal Values in Elite Racewalking. Journal of Strength and Conditioning Research [online]. 2019, 33(12), 3438-3443 [cit. 2022-05-27]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi:10.1519/JSC.0000000000003008
- [26] GLATTHORN, Julia F, Sylvain GOUGE, Silvio NUSSBAUMER, Simone STAUFFACHER, Franco M IMPELLIZZERI a Nicola A MAFFIULETTI. Validity and Reliability of Optojump Photoelectric Cells for Estimating Vertical Jump Height. Journal of Strength and Conditioning Research [online]. 2011, 25(2), 556-560 [cit. 2022-05-27]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi:10.1519/JSC.0b013e3181ccb18d