

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2024

Bc. David Tesař

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Porovnání kinematických indikátorů přímého kopu
bez a s nesenou vojenskou zátěží**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

pplk. doc. PhDr. Michal Vágner, Ph.D.

Vypracoval:

por. Bc. David Tesař

Praha, 2024

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně, za pomoci uvedené literatury a zdrojů. Tato práce, ani její podstatná část, nebyla předložena k získání stejného nebo jiného akademického titulu.

V Praze dne:

Podpis:

David Tesář

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji použije mezi uvedenými prameny.

Jméno a příjmení: Fakulta/katedra: Datum vypůjčení: Podpis:

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu této diplomové práce pplk. doc. PhDr. Michalu Vágnerovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které mi byly v průběhu celé práce poskytovány. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří jakkoliv podporovali vznik této práce.

Abstrakt

Název:

Porovnání kinematických indikátorů přímého kopu bez a s nesenou vojenskou zátěží

Cíl práce:

Cílem této práce bylo zjistit rozdíly mezi přímým kopem bez nesené zátěže a s vojenskou zátěží 30 kg, a to i v souvislosti s možnými rozdíly mezi skupinou elitního a sub-elitního vojenského personálu. Porovnávány byly vzdálenosti mezi pravou a levou kyčlí, kolenem a kotníkem v jednotlivých osách souřadnicového systému, úhly v kolenním kloubu kopající a stojné dolní končetiny a maximální rychlost kyčle, kolene a kotníku kopající dolní končetiny při provedení přímého kopu v pozici nárazu chodidla do pevného cíle.

Metody:

Diplomová práce byla koncipována jako kvantitativní komparační studie. Výzkumný soubor byl tvořen 12 vedoucími instruktory AČR v boji zblízka (41 ± 8 let; 83 ± 6 kg; 178 ± 5 cm) a 21 studenty Vojenského oboru při Fakultě tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v Praze (23 ± 2 let; 81 ± 10 kg; 182 ± 7 cm). Rychlost a pozice jednotlivých segmentů byly snímány pomocí kamerového systému Qualisys a následně extrahovány pomocí Qualisys Track Manager. Pro výpočet normálního rozložení dat byl použit Shapiro-Wilk test. Pro porovnání maximálních rychlostí a vzdáleností byl použit Wilcoxonův párový test a pro porovnání středních hodnot mezi skupinami byl použit Wilcoxonův znaménkový test. Pro stanovení signifikantních rozdílů byla použita hladina $\alpha \leq 0,05$ a pro výpočet síly účinku Cohenovo delta.

Výsledky:

Elitní skupina vykazovala změnu vzdálenosti v antero-posteriorní rovině předsunutím kyčle kopající dolní končetiny a tím i lepší zvládnutí techniky přímého kopu bez zátěže i s nesenou zátěží 30 kg. Sub-elitní skupina vykazovala větší variabilitu zaznamenaných vzdáleností mezi segmenty a tím i vyšší nestabilitu mezi testovanými probandy. Vyšších maximálních rychlostí jednotlivých segmentů bylo dosaženo probandy elitní úrovně, a to především pro kolenní kloub a kyčel. Nesená zátěž 30 kg neměla vliv na změnu úhlu v kolenním kloubu v době nárazu u kopající dolní končetiny ani u stojné dolní končetiny u obou skupin probandů. Nesená zátěž 30 kg ovlivnila vzdálenosti mezi jednotlivými segmenty více u sub-elitní skupiny ve srovnání s elitní skupinou probandů.

Klíčová slova:

Armáda, biomechanika, boj zblízka, maximální rychlost, pozice segmentů

Abstract

Title:

Comparison of the kinematic indicators of the front kick without and with the military load carried

Objective:

The study aimed to determine the differences between executing a front kick without carrying the military load and with a 30 kg military load., also in connection with the possible differences between the group of elite and sub-elite military personnel. The distances between the right and left hip, knee and ankle in the individual axes of the coordinate system, the angles in the knee joint of the kicking and standing lower limb and the maximum velocity of the hip, knee and ankle of the kicking lower limb upon impact into the fixed target were compared.

Methods:

The diploma thesis was processed as a quantitative comparative study. The research group consisted of 12 chief instructors of the Czech Armed Forces in close combat (Age 41 ± 8 years; Weight: 83 ± 6 kg; Height: 178 ± 5 cm) and 21 students of the Military Physical Education at the Faculty of Physical Education and Sports of Charles University in Prague (Age 23 ± 2 years; 81 ± 10 kg Weight; 182 ± 7 cm Height). The velocity and positions of individual segments were captured using the Qualisys camera system and subsequently extracted using the Qualisys Track Manager. The Shapiro-Wilk test was used to assess the normal distribution of the data. The Wilcoxon paired test was used to compare maximum velocity and distance between segments, and the Wilcoxon signed-rank test was used to compare mean values between groups. The alpha level ≤ 0.05 was used to determine significant differences and Cohen's delta for the effect size.

Results:

The elite group exhibited a change in distance in the anteroposterior plane by advancing the hip of the kicking lower limb, resulting in better technique execution of the front kick both without load and with a carried load of 30 kg. The sub-elite group showed greater variability in recorded distances between segments, leading to higher instability among the tested subjects. Higher maximum velocities of individual segments were achieved by elite-level subjects, especially for the knee joint and hip. The carried load of 30 kg did not affect the change in angle at the knee joint at the moment of impact for the kicking lower limb or the supporting lower

limb in both groups of subjects. The carried load of 30 kg influenced the distances between individual segments more in the sub-elite group compared to the elite group of subjects.

Keywords:

Army, Biomechanics, Close Combat, Maximum Velocity, Segments position

Obsah

1	ÚVOD.....	13
2	TEORETICKÁ VÝCHODISKA.....	14
2.1	Speciální tělesná příprava.....	14
2.2	Boj zblízka.....	15
2.3	Charakteristika kopů.....	16
2.3.1	Postoj.....	17
2.4	Přímý čelní kop.....	18
2.4.1	Rychlost kopu.....	20
2.4.2	Specifika použití kopů v armádním prostředí.....	21
2.4.3	Úderové plochy.....	21
2.4.4	Různé typy cílů.....	22
2.5	Kinematika.....	23
2.6	Nesená zátěž.....	24
2.7	Vliv nesené zátěže.....	25
2.8	Motorické předpoklady.....	26
2.8.1	Motorické schopnosti.....	26
2.8.2	Kondiční schopnosti.....	27
2.8.3	Rychlostní schopnosti.....	28
2.8.4	Koordinační schopnosti.....	29
2.9	Teoretické zdůvodnění studie.....	30
3	CÍLE A ÚKOLY PRÁCE, VÝZKUMNÉ OTÁZKY.....	31
3.1	Cíl.....	31
3.2	Výzkumné otázky.....	31
4	VÝZKUMNÉ METODY.....	32
4.1	Charakteristika výzkumného souboru.....	32
4.2	Měřicí přístroj.....	32
4.3	Umístění markerů.....	33
4.4	Testovací protokol k provedení přímého kopu.....	34
4.5	Měření vzdáleností mezi pravými a levými souřadnicemi x, y, z kyčlí, kolen a kotníků v době nárazu chodidla do pevného cíle.....	34

4.5.1	Výpočet rozdílů souřadnic	35
4.5.2	Absolutní hodnoty rozdílů	35
4.5.3	Porovnání podmínek	35
4.5.4	Výpočet středních hodnot	35
4.5.5	Statistická analýza	35
4.6	Měření vzdáleností bodů v euklidovském prostoru.....	36
4.7	Měření úhlu v kolenním kloubu při nárazu do pevného cíle.....	37
4.8	Měření maximální rychlosti kyčle, kolena a kotníku	37
4.9	Statistická analýza dat	37
5	VÝSLEDKY	38
5.1	Porovnání vzdáleností mezi souřadnicemi x, y, z pravé a levé kyčle, kolena a kotníku.....	38
5.2	Porovnání vzdáleností v euklidovském prostoru.....	40
5.3	Porovnání úhlu v kolenním kloubu kopající dolní končetiny při nárazu do pevného cíle	41
5.4	Porovnání úhlu v kolenním kloubu stojné dolní končetiny při nárazu kopající dolní končetiny do pevného cíle	42
5.5	Porovnání maximální rychlosti kyčle, kolena a kotníku kopající dolní končetiny v jednotlivých souřadnicových osách x, y, z	42
6	DISKUSE.....	45
6.1	Zodpovězení otázek studie	45
6.2	Porovnání vzdáleností mezi souřadnicemi x, y, z pravé a levé kyčle, kolena a kotníku.....	46
6.3	Porovnání vzdáleností v euklidovském prostoru.....	47
6.4	Porovnání úhlu v kolenním kloubu kopající dolní končetiny při nárazu do pevného cíle	48
6.5	Porovnání úhlu v kolenním kloubu stojné dolní končetiny při nárazu do pevného cíle	49
6.6	Porovnání maximální rychlosti kyčle, kolena a kotníku kopající dolní končetiny v jednotlivých souřadnicových osách x, y, z	49
7	ZÁVĚR	52
8	SEZNAM POUŽITÍ LITERATURY.....	53
9	SEZNAM GRAFICKÉ DOKUMENTACE	58

Seznam použitých symbolů

AČR	Armáda České republiky
STP	Speciální tělesná příprava
BZ	Boj zblízka
NVMO	Normativní výnos Ministerstva obrany
m/s	metr za sekundu
E	elitní skupina
SE	sub-elitní skupina
°	úhlový stupeň
kg	kilogram
MCS	Military Combat System
ω	úhlová rychlost
φ	úhlová dráha
v	rychlost
s	dráha
t	čas
mm	milimetr

1 ÚVOD

V současné době, kdy ve světě probíhají dva ozbrojené konflikty, z nichž jeden je velmi blízko našim hranicím, je bezpečnost států Severoatlantické aliance (NATO) aktuálním tématem. Státy vyvíjí snahu o co nejrychlejší modernizaci svých armád a náboru nových vojáků. Materiální zabezpečení je však jen jedním z mnoha aspektů, které s sebou válečný konflikt přináší. Jak se ukazuje, návrat války v zákopech již není otázkou budoucnosti, ale reálně na bojišti probíhá. V mnohých případech se vojáci při zabezpečování zákopů nemohou spoléhat na nejmodernější zbraně a technologie a sami musí v těchto komplexech provádět svou činnost. Realita, v jakých podmínkách vojáci bojují, světu ukazuje, že vzhledem k okolním podmínkám moderního bojiště se nefunkčnost zbraně nebo kontakt s protivníkem v bezprostřední vzdálenosti stává naprosto běžnou záležitostí. Nejen z tohoto důvodu se v armádách po celém světě provádí výcvik v boji muže proti muži (hand-to-hand combat).

K rozvoji schopností provádět činnost pod psychickou a fyzickou námahou se v AČR věnuje speciální tělesná příprava, do které spadá také boj zblízka. Hlavním úkolem boje zblízka je překonání protivníka. K tomu se používají základní techniky, mezi které patří také kopy.

Aby se při výcviku simulovaly reálné podmínky, jsou vojáci po získání a upevnění technické dovednosti vystaveni kontrolované psychické a fyzické zátěži, které mohou být navozeny nedostatkem spánku, předchozí fyzickou aktivitou nebo přidáním nesené zátěže (balistická ochrana, batoh, zbraň). Dalším způsobem, přiblížení podmínek a který má velký přenos do praxe, je provádění technik za ztížených okolních podmínek, a to buďto v omezeném prostoru nebo nerovném terénu.

Většina studií, které se zabývají kinematickými indikátory, se zaměřují na pozici kopající nohy, nikoliv stojné. Některé studie zkoumaly vliv postoje na provedení kopu (Estevan a kol., 2012, Jandacka a kol., 2013), kde můžeme částečně pozorovat vliv stojné končetiny. Pozici stojné dolní končetiny při provedení přímého kopu se detailněji nezabývala žádná studie. Z tohoto důvodu jsme se rozhodli pro zakomponování této proměnné do naší práce.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

V teoretické části této diplomové práce se budeme nejdříve zabývat charakteristikou speciální tělesné přípravy (dále jen „STP“) Armády České republiky (dále jen „AČR“). Boj zblízka bude představen jako jedno z témat STP. V souvislosti s bojem zblízka bude přiblížena technika přímého čelního kopu, včetně jeho využití v armádním prostředí a specifické vlivy na vojáka při bojovém nasazení. Dále bude popsána kinematika přímého kopu, a to především v souvislosti s jednotlivými fázemi jeho provedení. Pro začlenění přímého kopu v rámci pohybové aktivity budou zmíněny i pohybové schopnosti, které se nejvíce podílejí na jeho jednorázovém provedení s maximální intenzitou.

2.1 Speciální tělesná příprava

„Speciální tělesná příprava se zaměřuje na cílevědomé vytváření tělesné a psychické připravenosti vojáků k plnění pohybově specializovaných úkolů ve vztahu k systematizovanému místu, na kterém jsou služebně zařazeni nebo pro které se připravují“ (Normativní výnos Ministerstva obrany 12/2011).

Se vznikem samostatné České republiky v roce 1993 došlo také ke změnám v AČR. Tato změna se týkala také nové koncepce speciální tělesné přípravy, která se stala součástí služební tělesné výchovy (Obrázek 1).

Výcvik v některých tématech STP byl spojen s vyšší mírou rizika úrazu, ohrožení na životě či hraničními fyzickými i psychickými zátěžemi, ze kterých vychází nutnost přítomnosti instruktora, který musí mít platné osvědčení pro dané téma v požadovaném rozsahu. Mezi tato témata byl zařazen i boj zblízka, kterým se zabývá tato práce. Za účelem vymezení technické úrovně v boji zblízka byla instruktorská oprávnění rozdělena na „Instruktor boje zblízka“ a „Vedoucí instruktor boje zblízka“. Z pohledu technické úrovně je tedy možné instruktora považovat za středně pokročilého (sub-elitní úroveň) a vedoucího instruktora za pokročilého (elitní úroveň).

Jednotlivá témata včetně boje zblízka byla do výcviku začleněna tak, aby simulovala co nejdříve situaci, do které se voják během nasazení může dostat. V praxi to znamená provádění výcviku s výstrojí a výzbrojí, tedy nesenou zátěží. Provádění technik v boji zblízka je spojeno s vysokou mírou specifčnosti už samotným vojenským prostředím, ve kterém se voják pohybuje a nesená zátěž je dalším faktorem, na který se musí během výcviku brát zřetel.



Obrázek 1: Základní rozdělení služební tělesné výchovy (NVMO 12/2011)

2.2 Boj zblízka

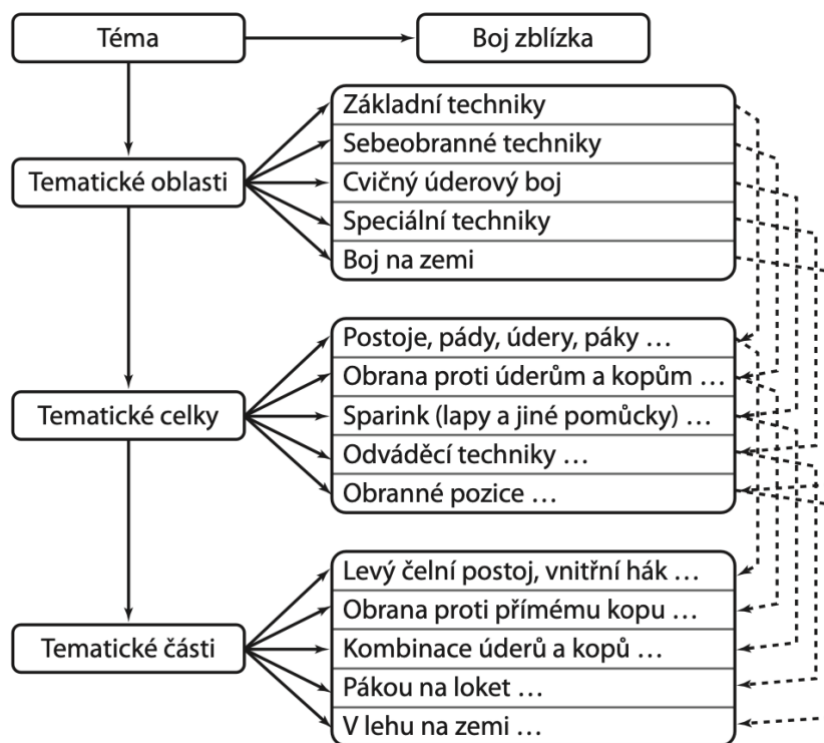
Vágner a kol. (2017) definuje boj zblízka jako pragmatické využití bojových technik v boji z bezprostřední vzdálenosti mezi dvěma či více protivníky s jednoznačným cílem překonání protivníka.

K výcviku boje zblízka v AČR, jak jej známe dnes, došlo při zavedení speciální tělesné přípravy v roce 1993. V tomto roce byla vypsána veřejná soutěž, která měla za cíl zavedení nového systému BZ do AČR. Na základě této soutěže byl vybrán bojový systém Musado Military Combat System (MCS). Za založením tohoto systému v roce 1967 stojí Herbert Grudzenski. Musado MCS je založeno na základech tradičních korejských technik, avšak přizpůsobeno potřebám evropské populace a armádním potřebám. Největší výhodou Musada MCS je jeho jednoduchost. Mezi používané jednoduché techniky patří přímý kop. Tento kop je výhodný díky svému rychlému provedení a přímé dráze pohybu, čímž zmenšuje nároky na udržení stability v porovnání s jinými kopy. Nevýhodou může být kontakt jedné nohy s podložkou v době provedení kopu na kluzkém nebo nerovném povrchu, kdy hrozí riziko pádu.

Musado MCS však celkově neklade důraz na speciální akrobatické prvky, pohyby jsou jednoduché a vycházejí z přirozených pohybů jednotlivce a v neposlední řadě učí použití jakéhokoliv předmětu jako zbraně. Cílem je co nejrychlejší a neúčinnější ukončení boje. Na rozdíl od bojových sportů není Musado MCS omezeno pravidly, proto se můžeme setkat s tzv. „špinavými triky“, které se zaměřují na místa jako je oblast genitálu, oči nebo uši. Důvodů k použití boje zblízka ve vojenském prostředí může být několik. Ať už voják nestihne použít střelnou zbraň nebo dojde-li k jejímu selhání, ke ztrátě nebo odebrání zbraně, nedostatek munice nebo neschopnost včasného dobití či přebití zbraně, ohrozil by voják svou střelbou

své kolegy, činnost, kterou musí voják provést v tichosti nebo pro řešení jiných krizových situací (Vágner, 2008).

Boj zblízka můžeme rozdělit na tři základní témata, a to tematické oblasti, tematické celky a tematické části. Tematické oblasti nám utvářejí základní rozdělení, ve kterých je BZ nacvičován a zdokonalován. Tematické celky, respektive tematické části, potom tyto tematické oblasti popisují detailněji a nalezneme zde konkrétní obsah. Přímý čelní kop, který byl vybrán pro tuto práci, spadá do základních technik.



Obrázek 2: Schéma struktury výcviku boje zblízka (NVMO 12/2011)

2.3 Charakteristika kopů

Účelem kopů v boji zblízka je destruktivní zasažení vitálního nebo zranitelného místa protivníka, které povede k jeho dočasné nebo trvalé neschopnosti pokračovat v boji. V porovnání s údery jsou kopy silnější a destruktivnější, a to z důvodu až dvakrát vyšší hmotnosti dolní končetiny, čímž jsme schopni vyprodukovat až čtyřikrát větší sílu než údery horními končetinami (Link a Chou, 2016).

Dle Fojtíka a Krále (1993) závisí účinnost kopu na několika indikátorech, jakými jsou například rychlost, pohyb pánve ve směru cíle, zapojení co největšího počtu svalů, stojná noha na celém chodidle, využití reakcí z ostatních pohybů a v závěrečné fázi také tenze útočící

i stojné nohy. Důležitou proměnnou je také výrazně delší dráha pohybu, která má vliv na jeho výslednou sílu.

Provádění kopů je technicky a energeticky náročný pohyb, který klade vyšší nároky na rovnováhu a stabilitu při jejich provádění, proto je důležitá celková připravenost jednotlivce.

Podle Wichmanna (2003) se kopy vyznačují třemi základními znaky: překonání velké vzdálenosti, získání dynamické techniky spojením tělesného nasazení, práce nohy, a díky návratu do původní pozice získáváme dobrou kontrolu nad dalšími akcemi, které během boje mohou nastat. V případě ozbrojeného protivníka nebo situaci s více protivníky mohou kopy sloužit k udržení dostatečné vzdálenosti.

Studie, které analyzovaly průběh kopů se převážně zaměřují na možné rozdíly mezi úrovní probandů, rozdílné postoje a rozdílné vzdálenosti od cíle nebo rozdílné velikosti cíle. Vencesbrito a kol. (2014) ve své studii pomocí kinematické analýzy porovnávají přímé kopy v počáteční fázi kopu a při kontaktu mezi skupinami karatistů (K) a probandů bez předchozí zkušenosti s karate (NK). Reflexní markery byly v této studii umístěny na velkém trochanteru, distální částí stehenní kosti z laterální strany a maleolu v kotníkové části na laterální straně. Konečné úhly při kontaktu zůstávají u obou skupin podobné, s výjimkou hlezenního kloubu, kde byla u skupiny karatistů pozorována vyšší plantární flexe kotníku ve srovnání se skupinou bez zkušenosti ($K = 98^\circ$, $NK = 90^\circ$).

Další studie v souvislosti s přímým kopem publikovali Vágner a kol. (2018, 2019, 2021, 2022, 2023), a to konkrétně v souvislosti s vlivem obuvi na dynamiku přímého kopu, vlivem nesené vojenské zátěže na kinematiku a dynamiku přímého kopu, vlivem izokinetické síly dolních končetin na dynamické síly přímého kopu a porovnání kinematických a dynamických indikátorů mezi středně pokročilou a pokročilou skupinou vojáků pravidelně cvičících boj zblízka.

2.3.1 Postoj

Ve všech bojových aktivitách, ve kterých jsou používány kopy se setkáváme s důležitostí postoje, který tvoří základ všech technik. Rovnováhu a stabilitu určuje šířka a výška postoje. Obecně platí pravidlo, že čím širší postoj je, tím je stabilnější, ovšem na úkor pohyblivosti.

Vágner (2008) uvádí tyto zásady zaujmutí postoje:

- dynamika
- stabilita
- přirozenost
- jednoduchost
- možnost rychlé změny pohybu.

Nejčastějším způsobem přímého čelního kopu za účelem zjištění dynamických sil a kinematiky kopu je z čelního postoje, kdy je kop proveden ze zadní nohy.



Obrázek 3: Levý čelní postoj (zdroj: Lee, 2005)

Estevan a kol. (2012) zkoumali vliv tří poloh kopající nohy (přímá 0° , diagonální 45° , kolmá 90°) na provedení obloukového kopu. Rychlost a čas provedení kopu byly kratší při výchozích pozicích kopající nohy 0° a 45° , než při kopu z pozice 90° .

2.4 Přímý čelní kop

Přímý čelní kop je v bojových aktivitách považován za jeden ze základních technik (Vágner a kol., 2022). Nejen díky své jednoduchosti je proto využíván v armádním prostředí.

Kop je směřován do oblasti genitálu, solar plexus nebo na hlavu. Výška kopu souvisí i s výškou zvednutí kolene v první fázi provedení kopu. V případě boje zblízka bude kop prováděn

spíše na střední část těla z důvodu větší šance zásahu protivníka, ale také z důvodu nesené zátěže a balistické ochrany, které omezují potřebný rozsah pohybu.

Z hlediska technického provedení kopu můžeme sledovat nohu stojnou, a nohu kopající a jednotlivé segmenty, přičemž se jedná především o pohyb boku, kolene a kotníku. V průběhu pohybu se objevuje několik fází, které jsou charakteristické pro provedení kopu.

V první fázi pohybu dochází ke zvednutí kolena kopající nohy a přenesení těžiště na nohu stojnou. V průběhu první fáze dochází i k axiálnímu přetočení kyčlí v sagitální rovině ve směru provedení kopu. Ve druhé fázi dochází k extenzi kopající dolní končetiny a následnému nárazu do cíle. Průběh pohybu je proveden v tzv. proximo-distálním pohybu, který se přirovnává k efektu biče, přičemž nejvyšší rychlosti dosahuje konečný bod (chodidlo)

Nejdůležitějšími uzlovými body je práce boků, která spočívá v posunutí směrem vpřed (Fojtík a Král, 1993), a dostatečná výška kolene na konci první fáze kopu. Před nárazem do cíle dochází k plantární flexi chodidla a jeho zpevnění z důvodu přípravy na náraz. Po zasažení cíle přichází třetí fáze kopu, kdy se noha rychle stahuje zpět do původní pozice.

Prímým kopem a jeho kineziologickou analýzou se zabývala Vašatová (2011). V jednotlivých fázích popisuje tyto pohyby v kloubech:

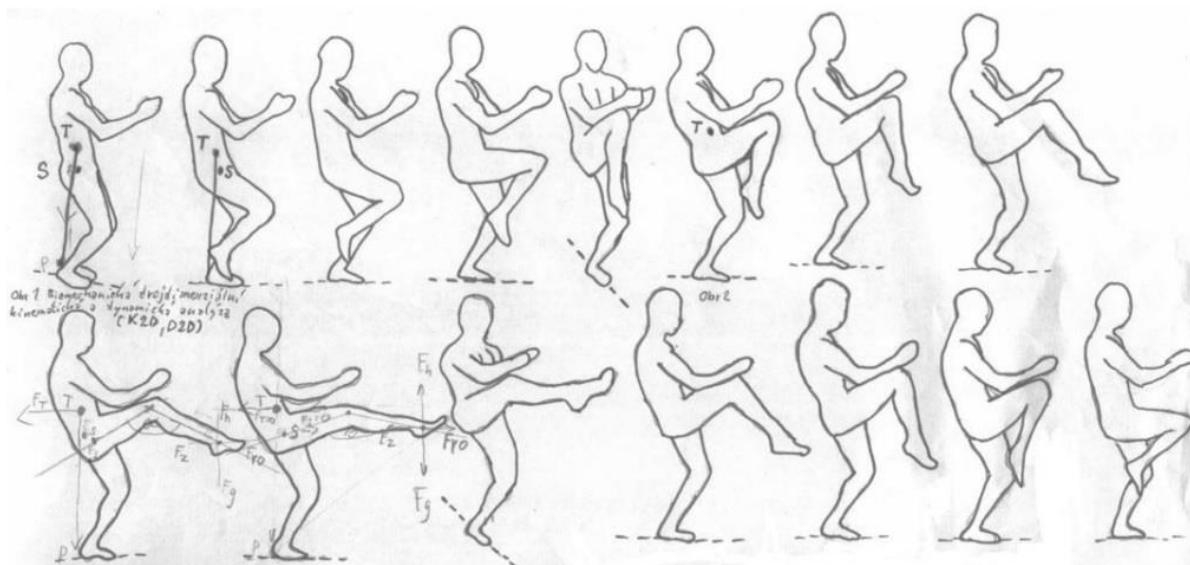
1) Fáze opěrná – stojná noha

Dochází zde k flexi v kolenním kloubu a kloubu hlezenním (Vašatová, 2011). Chodidlo stojné nohy je stále v kontaktu s podložkou.

2) Fáze švihová – kopající noha

Zde rozlišuje Vašatová (2011) tři fáze a to: nástup kyvadla se setrvačností dolní končetiny, kdy dochází k flexi v kyčelním a kolenním kloubu a dorsální flexi v kloubu hlezenním.

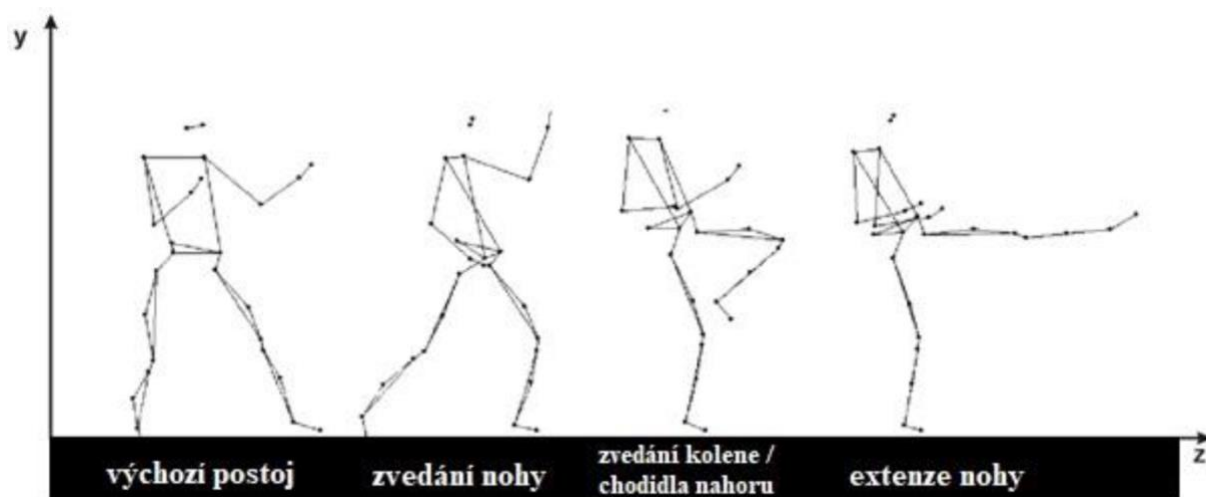
Dokončení kyvadla se setrvačností dolní končetiny, což vede k extenzi v kolenním kloubu, v kloubu hlezenním k plantární flexi a extenzi prstů. V poslední fázi popisuje návrat kyvadla se setrvačností dolní končetiny zpět přes flexi v kyčelním a kolenním kloubu a pomocí gravitace dochází k návratu kopající nohy do původní pozice.



Obrázek 4: Kinogram přímého čelního kopu (Zdroj: Vašatová, 2011)

2.4.1 Rychlost kopu

Správné technické provedení, jak je popsáno výše, je základem pro všechny dovednosti v boji zblízka. Po počáteční fázi osvojení a seznámení dochází ke zpevnění naučené dovednosti, následuje zdokonalování pohybu. V jednotlivých fázích motorického učení se pohyb zrychluje. Tato kapitola se zaměřuje na rychlost pohybu v jednotlivých fázích přímého kopu. Wasik a kol. (2014) se zabývali kinematikou přímé kopu v taekwondo. Pohyb byl rozdělen do tří fází – zvedání nohy, zvedání kolene a chodidla nahoru, extenze kolene, při kterých byla měřena maximální rychlost u šesti probandů. V první fázi dosáhla noha rychlosti $4,42 \pm 0,52$ m/s. V další fázi dochází k nárůstu rychlosti na $10,40 \pm 0,77$ m/s. V této druhé fázi dosahuje rychlost kopu svého maxima. Při pohybu bérce vpřed (fáze extenze nohy) byla naměřena průměrná maximální rychlost $8,72 \pm 1,34$ m/s. Provedený výzkum ukazuje, že k dosažení maximální rychlosti při provádění přímého čelního kopu je potřeba zvýšit rychlost pohybu kolena směrem k cíli a zkrátit dobu zvedání nohy. Čím rychleji dojde ke zvednutí kolene, tím může být dosaženo vyšší maximální rychlosti kopu. Studie Gianino (2010) potvrzuje dosažení nejvyšší rychlosti nohy před zásahem cíle.



Obrázek 5: Fáze přímého čelního kopu (Wasik a kol., 2015)

2.4.2 Specifika použití kopů v armádním prostředí

Voják se může dostat do situace, kdy bude nucen použít boj zblízka v podstatě kdykoliv během nasazení, proto je důležitý výcvik a automatizace základních technik, kam řadíme také kopy. Jak již bylo zmíněno, voják má na sobě neustále helmu, balistickou vestu a vojenský oděv, které budou omezovat pohyblivost.

Výhodou kopů je možnost jejich použití se zbraní, kdy může voják získat potřebný čas k nabití nebo tasení zbraně. Další výhodou je pevná obuv, která ve své podstatě představuje improvizovanou zbraň a snižuje riziko zranění. Použitím vojenské obuvi se zvyšuje síla a destruktivní účinky kopu (Vágner a kol., 2020).

2.4.3 Úderové plochy

Jedná se o části těla, kterými dochází ke kontaktu při zasažení protivníka. Přirozeně se jedná o místa, která jsou pevnější a odolnější vůči nárazům nebo místa, která můžeme díky tréninku zpevnit. Správným technickým provedením úderu nebo kopu a pravidelném tréninku ke zpevnění úderových ploch na cvičné úderové cíle, jako jsou lapy, pytle apod., jsme schopni do jisté míry eliminovat riziko zranění.

Při provádění přímého čelního kopu je úderovou plochou bříško chodidla (v případě mae geri keage) nebo chodidlo a pata (v případě mae geri kekomi). S první variantou se setkáme spíše u bojových sportů, naopak druhá varianta je vhodnější k vojenským účelům, protože zde dochází k lepšímu využití hmotnosti těla.

V armádním prostředí jsou kopy prováděny ve vojenské obuvi a v případě přímého čelního kopu je úderovou plochou celá plocha podrážky.



Obrázek 6: Chodidlo a pata ve vojenské obuvi (zdroj: Pub 71-84-02)



Obrázek 7: Bříško chodidla (zdroj: Pub 71-84-02)

2.4.4 Různé typy cílů

Rychlost kopu je ovlivněna různými typy cílů, na které je kop prováděn. Wasik a kol. (2019) ve své studii zkoumali rychlost kopu ve třech variantách provedení – do vzduchu, míček na stolní tenis a lapu. Nejvyšší rychlosti bylo dosaženo při kopu do vzduchu, tedy bez cíle, poté do lapy a míček. V další studii (Wasik a kol., 2018) byla opět naměřena maximální rychlost při provedení kopu do vzduchu, následovala lapa, míček na stolní tenis a pevná deska. V obou výše zmiňovaných studiích byla nižší rychlost naměřena

při kopech prováděných na menší cíl (míček na stolní tenis) a v druhé ze studií při kopu na tvrdý cíl. Vágner a kol. (2018) zkoumali vliv vojenské obuvi na dynamiku přímého kopu. Studie porovnávala provedení kopu bez a s vojenskou obuví na tvrdý cíl. Použitá vojenská obuv neměla vliv na impulsní síly ani maximální sílu kopu, avšak dosažení maximální síly při provedení kopu s obuví trvalo kratší dobu a bylo dosaženo dvou vrcholů křivky síla-čas.

2.5 Kinematika

Apetaur (2004) popisuje pohyb jako změnu polohy tělesa v čase a definuje ji jako „*Nauku o pohybu tuhých těles a mechanických soustav z nich složených*“.

Kinematika je společně s dynamikou součástí mechaniky a zabývá se pohybem hmotných útvarů (Šleger, 2016). Tento obor pohyb pouze popisuje, nezabývá se tím, co pohyb ovlivňuje či způsobuje.

Pro potřeby této práce je z kinematického hlediska zkoumána především rychlost (Rovnice 1) a vzdálenost segmentů dolních končetin (kyčel, koleno, kotník) mezi kopající a stojnou dolní končetinou, a úhel v koleni kopající a stojné dolní končetiny. Navíc je zde zkoumán vliv nesené zátěže a rozdíly mezi elitní a sub-elitní skupinou probandů.

Výpočet rychlosti:
$$v = \frac{s}{t}$$

Rovnice 1: Výpočet rychlosti

Kde v = rychlost, s = dráha a t = čas. Její jednotkou je m/s .

V souvislosti s kinematikou pohybu je často zkoumána úhlová rychlost v kolenním nebo kyčelním kloubu. Úhlová rychlost, jako další klíčový faktor kopu, je popisován jako změna velikosti úhlové dráhy, která nastane během časové intervalu (Janurová, 2007)

Výpočet úhlové rychlosti:
$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

Rovnice 2: Výpočet úhlové rychlosti

Kde ω = úhlová rychlost, φ = úhlová dráha a t = čas. Jednotkou úhlové rychlosti je rad/s .

2.6 Nesená zátěž

Výzkumy ukazují negativní vliv nesené balistické ochrany (helma, balistická vesta) při opakovaných vojenských úkonech (Larsen a kol., 2012; Loverro a kol., 2015). Proto může mít nesená zátěž vliv také na jednotlivé pohybové dovednosti, které jsou běžně prováděny v boji zblízka. Jedná se především o základní techniky, mezi které patří i provádění kopů.

Provedení přímého čelního kopu může být ovlivněno rozdílnými vnitřními nebo vnějšími podmínkami. Ať už se jedná o hmotnost (Thibordee a Prasarwuth, 2014; Estevan a kol., 2012; Vágner a kol., 2020), vliv úrovně zkušeností (Falco a kol., 2008; Falco a kol., 2013; Estevan a Falco, 2013; Estevan a kol., 2012; Vágner a kol., 2021), vzdálenosti cíle, ale také pohlavím. Pro potřeby této práce se budeme zabývat vlivem nesené zátěže.

V armádním prostředí je běžné, že voják vykonává několikadenní fyzickou činnost v bojovém prostředí s veškerým potřebným materiálem. Mezi nesený materiál patří bezpochyby ochrana jednotlivce v podobě helmy a balistické vesty s pláty, které mají vojáci během cvičení či mise téměř neustále na sobě. Další zátěž je v podobě zbraní. Ve většině případů se jedná o útočnou pušku, dále munice na celou dobu trvání akce, případně v souvislosti se zařazením další munice. Hmotnost nesené zátěže tak běžně přesahuje 20 kg a může dosahovat hodnot až přes 40 kg. Vágner a kol. (2020) zkoumali vliv nesené zátěže (vojenská obuv, samopal, balistická vesta a batoh o hmotnosti 30 kg) na dynamiku a kinematiku přímého kopu. Takto vysoká zátěž ovlivnila průběh kopu snížením maximální rychlosti boku a ramene, zvýšením nárazové síly kopu a prodloužením interakce chodidla se siloměrnou deskou. Nedošlo k výraznějším změnám v maximálních rychlostech kotníku a kolena, ani maximální síle přímého kopu.

Samotný pohyb s touto zátěží zvyšuje energetické nároky k vykonání pohybu, které ovšem mohou být sníženy správným umístěním zátěže například blíže ke středu těla (Knapik a kol., 2004).



Obrázek 8: Nesená vojenská zátěž (zdroj: Krajcigr, 2022)



Obrázek 9: Gumový samopal simulující dlouhou střelnou zbraň s municí (zdroj: Krajcigr, 2022)

2.7 Vliv nesené zátěže

Vlivem nesené zátěže na aktivitu svalů dolních končetin a posturálními změnami trupu při nesení batohu o různé hmotnosti se zabýval Al-Khabazz a kol. (2008). Výsledky této studie ukázaly zvýšenou aktivitu přímého břišního svalu.

Attwells a kol. (2006) a Majumdar a Pal (2010) shodně zjistili při chůzi s vojenskou zátěží naklonění trupu směrem vpřed při chůzi. Při zvyšující se zátěži docházelo k většímu náklonu trupu.

Birrell a Haslam (2009), kteří ve své studii zkoumali kinematiku dolních končetin při nesené zátěži 32 kg, zjistili signifikantní snížení rozsahu pohybu ve flexi a extenzi v kolenním kloubu, rotaci pánve, a zvýšené rotaci, abdukci a addukci v kyčelním kloubu. Žádné změny nebyly zaznamenány v kinematice kotníku.

Park a kol. (2003) rovněž potvrzují vliv zátěže nad 9 kg, při které dochází k narušení statické rovnováhy, a projevující se zvýšeným kolísáním středu chodidla a asymetrií zatížení chodidel.

Oláh (2014) se zabýval porovnáním síly přímého čelního kopu bez zátěže a s nesenou zátěží (10 kg). V laboratorních podmínkách došel k závěru, že vlivem přidané zátěže významně vzroste síla přímého čelního kopu.

Vágner (2023) uvádí snížení maximální rychlosti boku a ramene a zvýšení nárazové síly kopu a prodloužení interakce chodidla se siloměrnou deskou při použití nesené zátěže o hmotnosti 30 kg. Nedošlo však k výraznému ovlivnění maximální rychlosti kotníku a kolene a maximální síly přímého kopu.

Vlivem nesené zátěže (12kg balistická vesta a 12kg zátěžová vesta) na dynamiku přímého kopu se zabýval Vágner a kol. (2018). Zjištěny byly vyšší hodnoty maximální a nárazové síly ve srovnání s kopem bez zátěže.

Studie Vágner a kol. (2018), Vágner a kol. (2019), Vágner a kol. (2020), Vágner a kol. (2021) uvádí negativní vliv na technické provedení přímého kopu a snížení maximální a nárazové síly při použití nesené vojenské zátěže (45 kg), uvádí však nárůst impulsu síly se vzrůstající hmotností zátěže.

2.8 Motorické předpoklady

V této kapitole diplomové práce jsou popsány motorické předpoklady, které v sobě zahrnují motorické schopnosti a dovednosti, které se podílejí na provedení přímého čelního kopu. V souvislosti s touto prací jsou klíčové motorické schopnosti kondiční, kam spadá silová schopnost, koordinační schopnosti (rovnovážná a diferenciací schopnost) a v neposlední řadě bude popsána rychlostní schopnost.

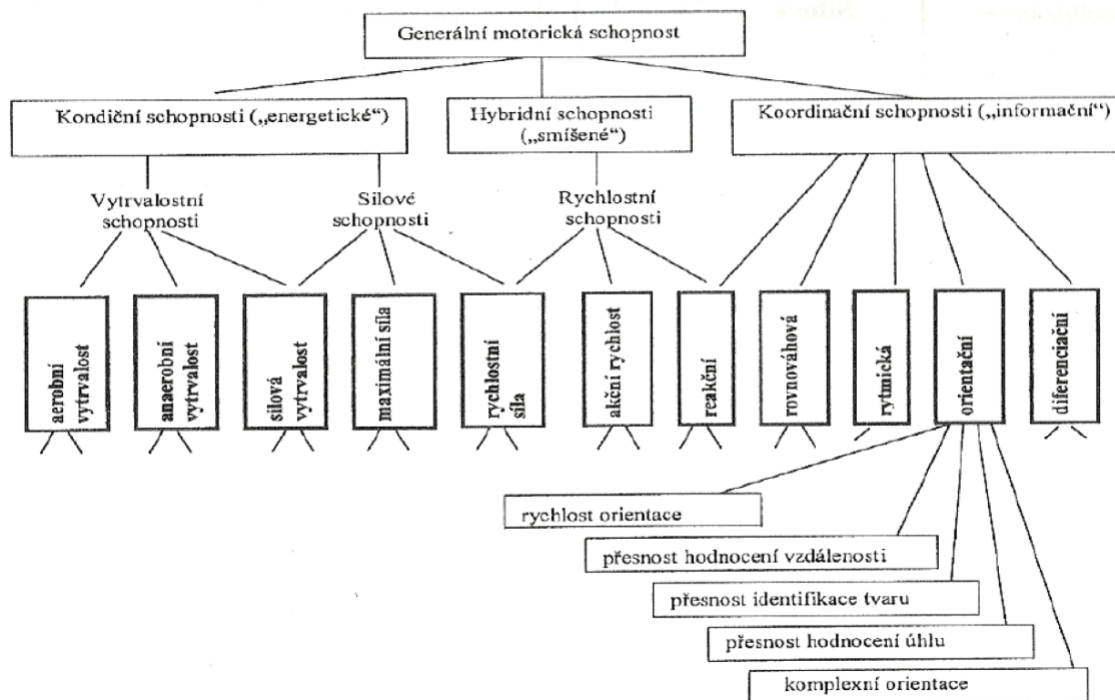
2.8.1 Motorické schopnosti

Ani v dnešní době se neseťkáme s jednotnou definicí motorických schopností. Měkota a Blahuš (1983) definují motorickou schopnost jako souhrn předpokladů organismu k pohybové činnosti. Tyto předpoklady jsou spojeny s biologickým základem nebo s fyziologickými funkcemi.

Dle Periče a Dovalila (2010) jsou pohybové schopnosti relativně samostatné soubory vnitřních předpokladů organismu k pohybové činnosti, ve které se i projevují.

V podstatě se jedná o částečně geneticky podmíněný předpoklad k vykonávání pohybové činnosti, např. vytrvalostní sport, silový sport atd. Základní dělení schopností je na kondiční a koordinační. Rozvoj a udržení motorických schopností je možný pomocí pravidelné pohybové přípravy.

Motorické schopnosti můžeme rozdělit do tří skupin: kondiční, koordinační a hybridní.



Obrázek 10: Model hierarchické struktury komplexu pohybových schopností (Měkota, 2005)

2.8.2 Kondiční schopnosti

Mezi kondiční schopnosti patří schopnosti silové a vytrvalostní. Zčásti se zde řadí také schopnosti rychlostní. Tyto schopnosti jsou spojeny s metabolickými procesy, které v těle slouží k získávání a využívání energie potřebné k pohybu.

2.8.2.1 Silové schopnosti

Perič a Dovalil (2010) definují silové schopnosti jako schopnost překonávat či udržovat vnější odpor pomocí svalové kontrakce.

Dle Měkoty a Novosada (2005) jsou silové schopnosti důležitou komponentou fyzické zdatnosti a rozvoj síly je nedílnou součástí kondičního tréninku i v případě, že v dané disciplíně může převládat jiná motorická schopnost.

Aby byl přímý kop účinný, neobejde se bez toho, aniž by byl do jisté míry dostatečně silný. Jednou z důležitých proměnných, které ovlivňují destruktivní účinky kopu, je síla, kterou jsme schopni vygenerovat.

Dělit sílu lze podle změny délky svalu a napětí svalu na sílu izometrickou (statickou) a izotonickou (dynamickou).

Izometrická síla se neprojevuje pohybem, jejím úkolem je udržet tělo nebo břemeno v určité poloze. Projev izometrické síly můžeme sledovat při provádění přímého kopu u stojné nohy, která se snaží udržet tělo, hlavně během nárazu, v určité pozici. U této síly roste svalové napětí, ale nemění se délka svalu.

Dynamická síla se projevuje pohybem hybného systému nebo jeho částí. Tuto sílu můžeme dělit dále podle typu svalového pohybu na koncentrickou a excentrickou. Při koncentrické svalové kontrakci se sval zkracuje, naopak u excentrické svalové kontrakce se sval protahuje. Napětí u obou druhů kontrakce se nemění. Oba druhy dynamické síly jsou při provedení kopu generovány. Koncentrická síla během první a druhé fáze, a excentrická síla na konci druhé fáze kopu při kontaktu chodidla s pevným cílem.

Perič a Dovalil (2010) rozdělují dynamickou sílu na výbušnou, rychlou, vytrvalostní a maximální. Pro účinné provedené přímého kopu je nejdůležitější akcelerační (výbušná) síla.

a) Akcelerační (výbušná) síla

Jinak zvaná také explozivní síla, je dle Periče a Dovalila (2010) charakterizována maximálním zrychlením a nízkým odporem a využívána je například při kopech. Díky akcelerační síle lze dosáhnout maximálního zrychlení v závěrečné fázi kopu.

b) Rychlá síla

Rychlá síla je charakteristická nízkým odporem a nemaximálním zrychlením. Dle Měkoty a Novosada (2005) je rychlá síla „*schopnost nervosvalového systému dosáhnout co největšího silového impulzu v časovém intervalu, ve kterém se musí pohyb realizovat*“, u bojových činností nezbytná pro správné a efektivní zvládnutí techniky.

2.8.3 Rychlostní schopnosti

Pro účinné provedení kopu je potřebná rychlost. Rychle a technicky správně provedený kop zmenšuje šance protivníka včas zareagovat.

Rychlostní schopnost je vykonávána do 20 s velkou až maximální intenzitou a s nízkým nebo žádným odporem, aby mohlo dojít k co nejrychlejšímu provedení pohybu.

Pohybová činnost je vykonávána s žádným nebo s malým odporem do 20 – 25 % maxima (Měkota a Novosad, 2005; Perič a Dovalil, 2010).

Rychlostní schopnosti mají určitou strukturu, na které se shoduje několik autorů jako Perič a Dovalil (2010), Měkota a Novosad (2005) nebo Jebavý a kol. (2017). Shodují se na členění na **reakční rychlost**, což je psychofyzická schopnost reagovat v co nejkratším čase na podnět. V boji zblízka je důležitá pro správné načasování kopu v průběhu boje. Závislá je také na schopnosti anticipace, tedy předvídání dalšího pohybu protivníka. **Rychlost jednotlivého pohybu (acyklická rychlost)** je schopnost vyvinout co nejvyšší rychlost při změně polohy těla nebo jeho částí. Kop je tedy typickým příkladem acyklického pohybu. Většinou se jedná o pohyb, u kterého jsme schopni přesně vymezit jeho začátek a konec. Poslední, **rychlost lokomoce (cyklická rychlost)**, se dále dělí na rychlost akcelerace, rychlost frekvence a rychlost se změnou směru.

Při zahájení kopu dochází ke zrychlení, jehož vrcholu by mělo být dosaženo na konci dráhy pohybu – v tomto případě krátce před kontaktem se soupeřem. Celkově lze tedy shrnout, že v souvislosti s provedením přímého kopu je důležitá rychlost akcelerace a následná maximální rychlost úderové plochy v době nárazu.

2.8.4 Koordinační schopnosti

V boji zblízka mají koordinační schopnosti velký vliv nejen při provádění přímého kopu, ale v průběhu celého boje. Přímý kop klade vysoké nároky na udržení rovnováhy. Ve vojenském prostředí, na rozdíl od sportovního pojetí bojových aktivit, probíhá boj z velké části na nerovném povrchu a s nesenou zátěží. Zvládnutí koordinace celého těla je proto klíčové, aby se voják vyhnul nevýhodné situaci, do které se může například ztrátou rovnováhy dostat.

Koordinační schopnosti jsou spojeny s činností centrální nervové soustavy (CNS), která řídí a organizují činnost analyzátorů (zrakový, sluchový, proprioreceptory ve svalech, kloubech a šlachách), činnost jednotlivých funkčních systémů zabezpečujících přísun energetických zdrojů důležitých pro funkci svalů, nervosvalovou koordinaci, které odpovídají za sílu a rychlost provedení pohybu nebo psychologické procesy (Perič a Dovalil, 2010).

Perič a Dovalil (2010) rozdělují a za nejdůležitější součásti koordinace považují tyto schopnosti – spojování pohybu, orientační schopnost, diferenciacní, přizpůsobování, schopnost reakce, schopnost rovnováhy, schopnost rytmická a učení.

Ve vojenském prostředí budou podmínky k provedení přímého kopu ztíženy terénem, prostorovým omezením, vysokou únavou či nesenou zátěží. Z tohoto důvodu byly pro tuto práci vybrány následující schopnosti, které budou detailněji rozebrány.

Schopnost orientační souvisí s funkcí analyzátorů. Jedná se o sledování pohybu vlastního a protivníka v prostoru a čase.

Schopnost přizpůsobení (přestavby) je spojena s vlastním pohybem, který je přizpůsobován vnějším a vnitřním podmínkám (např. vliv počasí, činnost protivníka, omezení prostoru pro provedení kopu, vliv únavy).

Schopnost reakce je schopnost zahájení pohybu na určitý podnět v co nejkratším čase (Měkota a Novosad, 2005). Tato schopnost je často spojována s výše uvedenou schopností přizpůsobení. V reálných podmínkách by pak došlo při napadení protivníkem ke zpracování této informace a následné rychlé a přesné vyhodnocení a realizace rozhodnutí.

Schopnost rovnováhy má svou roli při udržování těla v určitých polohách i při proměnlivých podmínkách prostředí a napjatých rovnovážných situacích. Perič a Dovalil (2010) dělí rovnovážnou schopnost na statickou (na místě) a dynamickou (v pohybu). Provádění kopu v průběhu boje bude klást nároky na rovnováhu dynamickou a souvisí jak s udržením těla v klidové poloze, tak s návratem nohy zpět do stabilní polohy.

Diferenciální schopnost definují Měkota a Novosad (2005) jako „*schopnost jemně rozlišovat a nastavovat silové, prostorové a časové parametry pohybového průměru*“. Podstata této schopnosti spočívá v dokonalém vnímání vlastního pohybu a nastavení silových, prostorových a časových parametrů dané pohybové činnosti.

2.9 Teoretické zdůvodnění studie

Na základě výše uvedených studií a teoretických podkladů je tato práce zaměřena na komparaci kinematických indikátorů v souvislosti s provedením přímého kopu. Jedná se především o porovnání možných změn postavení jednotlivých segmentů kopající a stojné dolní končetiny v prostoru a úhel v kolenním kloubu ve dvou různých podmínkách (bez nesené a s nesenou zátěží 30 kg), a to v souvislosti s možnými rozdíly mezi středně pokročilou a pokročilou úrovní probandů. V práci je zaměřena pozornost na kopající dolní končetinu, ale i na stojnou dolní končetinu, která nebyla ve výše uvedených studiích detailněji zkoumána.

3 CÍLE A ÚKOLY PRÁCE, VÝZKUMNÉ OTÁZKY

3.1 Cíl

Hlavním cílem této práce je zjistit a porovnat kinematické indikátory přímého čelního kopu bez nesené zátěže a s nesenou zátěží 30 kg u skupin sub-elitního a elitního vojenského personálu.

3.2 Výzkumné otázky

- 1) Jaké budou rozdíly ve vzdálenostech mezi jednotlivými segmenty (kyčel, koleno a kotník) kopající a stojné dolní končetiny v pozici nárazu chodidla do pevného cíle při provedení přímého kopu bez a s nesenou zátěží 30 kg?
- 2) Jaké budou rozdíly v úhlu kolenního kloubu u stojné a kopající dolní končetiny v pozici nárazu chodidla do pevného cíle při provedení přímého kopu bez a s nesenou zátěží 30 kg?
- 3) Jaké budou rozdíly v maximální rychlosti jednotlivých segmentů (kyčel, koleno, kotník) kopající dolní končetiny během provedení přímého kopu bez a s nesenou zátěží 30 kg?
- 4) Jaký bude rozdíl mezi sub-elitní a elitní skupinou (viz otázka 1 až 3)?
- 5) Bude mít vyšší věk elitní skupiny vliv na maximální rychlost jednotlivých segmentů (kyčel, koleno a kotník)?

4 VÝZKUMNÉ METODY

V této části bude popsán výzkumný soubor, použité metody měření, způsob sběru dat a jejich následná statistická analýza.

4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Výzkumný soubor tvořilo 33 probandů, z toho 12 tvořilo elitní skupinu, představující vedoucí instruktory boje zblízka AČR. Tato skupina měla průměrný věk 41 ± 8 let, průměrnou hmotnost 83 ± 6 kg a průměrnou výšku 178 ± 5 cm. V sub-elitní skupině bylo 21 studentů Vojenského oboru při Fakultě tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy. Tato skupina měla průměrný věk 23 ± 2 let, průměrnou hmotnost 81 ± 10 kg a průměrnou výšku 182 ± 7 cm.

Sub-elitní skupina splňovala předpoklady k požadovanému technickému provedení přímého čelního kopu. Přímý kop je zařazen do jejich pravidelného výcviku v boji zblízka, který absolvují v rámci speciální tělesné přípravy a kurzů speciální tělesné přípravy. Žádný z probandů neměl v průběhu třech předchozích měsíců svalové nebo kosterní zranění ani jiné zdravotní potíže (operace apod.). V průběhu měření netrpěl žádný z probandů akutní bolestí ani nemocí či jinou zdravotní indispozicí, která by snižovala požadavek na provedení přímého kopu maximálním úsilím. Všichni probandi byly seznámeni s průběhem měření a poté podepsali informovaný souhlas, který byl schválen etickou komisí FTVS UK (č. 085/2022). Všechna měření probíhala v souladu s Helsinskou deklarací.

4.2 Měřicí přístroj

Trojrozměrná kinematická data byla shromážděna pomocí šestikamerového systému pro snímání pohybu Qualisys (Qualisys AB, Göteborg, Švédsko, Qualisys Track Manager 2.10), který byl nastaven na frekvenci 500 Hz. Snímané údaje se skládaly z polohy retro-reflexních markerů umístěných na těle probanda. Údaje zachycující pohyb segmentů byly synchronizovány pomocí Qualisys Track Manager. Kop byl prováděn na siloměrnou desku Kistler (Kistler 9281; Kistler Instrument Inc., Winterhur, Switzerland).



Obrázek 11: Siloměrná deska Kistler (zdroj: Hecl, 2020)

4.3 Umístění markerů

Snímané údaje se skládaly z polohy retro-reflexních markerů umístěných na velkém chocholíku (trochanter major), koleni v oblasti laterálního epikondylu holenní kosti a vnější straně kotníku (malleolus lateralis). Umístění reflexních markerů na kinematický oblek prováděla zaškolená osoba. Testovací protokol k provedení přímého kopu



Obrázek 12: Umístění reflexních markerů (zdroj: Krajcigr, 2022)



Obrázek 13: Umístění reflexních markerů a nesená zátěž (zdroj: Krajcigr, 2022)

4.4 Testovací protokol k provedení přímého kopu

Po 10minutovém zahřátí, které zahrnovalo 5 minut uvolněné stacionární jízdy na kole a následné dynamické cvičení, jako jsou výpony lýtek, dřepy, výpady a poskoky, prošli účastníci procesem seznámení s přímým kopem, který zahrnoval pět zkušebních kopů. Svě individuální vzdálenosti pak přizpůsobili dopadové ploše. Všechny kopy začínaly v čelním postoji a byly provedeny tak, že kop byl veden na střední pásmo. Účastníci byli instruováni tak, aby provedli každý kop s maximálním úsilím. Každý účastník provedl sérii pěti kopů (po každém kopu následovala 30sekundová přestávka).

4.5 Měření vzdáleností mezi pravými a levými souřadnicemi x , y , z kyčlí, kolen a kotníků v době nárazu chodidla do pevného cíle

V rámci studie byla provedena kvantitativní analýza prostorového uspořádání dolních končetin při provádění přímého kopu s nesenou zátěží (první podmínka) a bez ní (druhá podmínka), a to pro sub-elitní a elitní skupinu zvlášť. Souřadnice x , y , z pro pravé a levé kyčle, kolena a kotníky byly zaznamenány v okamžiku nárazu chodidla do desky. Pro každého z probandů byly získány tyto souřadnice pro pravou (kopající) a levou (stojnou) nohu v obou testovacích podmínkách. Cílem bylo posoudit změny v horizontální (osa x), vertikální (osa y) a hloubkové (osa z) poloze končetin v důsledku nesené zátěže a rozdílné úrovně probandů.

4.5.1 Výpočet rozdílů souřadnic

Pro každou osu byl vypočítán rozdíl mezi odpovídajícími souřadnicemi pravé a levé dolní končetiny (kyčel, koleno, kotník), což poskytlo měření relativní vzdálenosti v horizontálním, vertikálním a hloubkovém směru (Obrázek 14).

4.5.2 Absolutní hodnoty rozdílů

Z rozdílů souřadnic byly vzaty absolutní hodnoty, aby se eliminovalo záporné znaménko bez ohledu na směr posunu a získala se čistá vzdálenost mezi body bez ohledu na směr.

4.5.3 Porovnání podmínek

Získané vzdálenosti byly porovnány mezi podmínkami s nesenou zátěží a bez ní a mezi skupinami sub-elitních a elitních probandů, a to pro každou osu zvlášť.

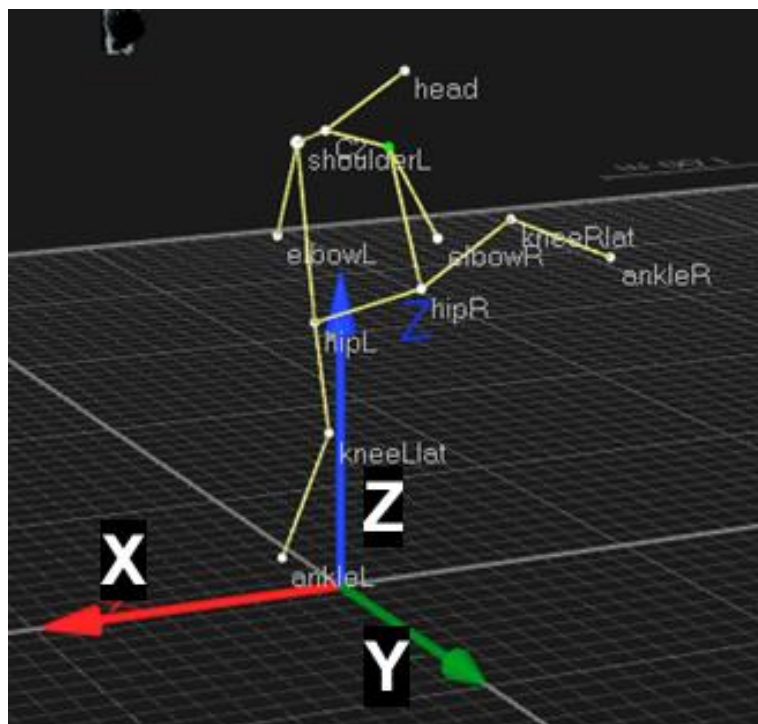
4.5.4 Výpočet středních hodnot

Pro každou osu a podmínku byl vypočítán průměr získaných vzdáleností pro všechny probandy, což poskytlo reprezentativní hodnotu pro porovnání.

4.5.5 Statistická analýza

Na základě zjištěných středních hodnot byla provedena statistická analýza, aby se zjistilo, zda jsou rozdíly statisticky významné (viz kapitola statistická analýza).

Postup výpočtu byl proveden pro všechny tři osy v souřadnicovém systému, což umožnilo zaznamenání prostorového uspořádání segmentů dolních končetin při provádění přímého kopu.



Obrázek 14: Směry souřadnicových os x, y, z (Zdroj: autor)

4.6 Měření vzdáleností bodů v euklidovském prostoru

Pro kvantifikaci prostorových změn mezi klíčovými anatomickými body jsme využili vzdálenostní analýzu v trojrozměrném prostoru. Konkrétně byly sledovány souřadnice x , y a z pro kolenní body na stojné (levé) a kopající (pravé) noze v době nárazu chodidla do pevného cíle. Data byla získána pro dvě podmínky: s nesenou zátěží a bez nesené zátěže.

Vzdálenosti mezi body byly vypočítány pomocí Euklidovské metriky následovně (rovnice 3).

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Rovnice 3: Výpočet vzdáleností mezi body

Kde x_1 , y_1 , z_1 představují souřadnice stojné nohy a x_2 , y_2 , z_2 představují souřadnice kopající nohy. Rozdíly mezi souřadnicemi byly vypočítány samostatně pro každou osu, aby bylo možné identifikovat změny v antero-posteriorním (x), medio-laterálním (y) a superio-inferiorním (z) směru. Výsledné vzdálenosti byly analyzovány a porovnány mezi oběma podmínkami. Provedení statistického zpracování dat zahrnovalo výpočet průměrů a standardních odchylek pro každou osu a pro každou podmínku.

4.7 Měření úhlu v kolenním kloubu při nárazu do pevného cíle

Pro určení úhlu v kolenním kloubu byly použity trojrozměrné souřadnice (x, y, z) tří anatomických bodů: kyčle, kolena a kotníku. Úhel v kolenním kloubu byl definován mezi vektory vytvořenými spojením bodů kyčle-koleno a koleno-kotník.

Vektor $\vec{V}_{\text{kyčle-koleno}}$ byl definován jako rozdíl souřadnic kolenního a kyčelního bodu, zatímco vektor $\vec{V}_{\text{koleno-kotník}}$ jako rozdíl souřadnic kotníkového a kolenního bodu.

4.8 Měření maximální rychlosti kyčle, kolena a kotníku

Pro analýzu maximálních rychlostí kyčle, kolena a kotníku v průběhu pohybu jsme nejprve získali časové řady souřadnic (x, y, z) . Data byla zaznamenána s vysokou vzorkovací frekvencí pomocí systému Qualisys (500 Hz), aby se zachytila rychlá dynamika pohybu. Maximální rychlosti pro každou osu byly vypočítány pomocí numerické derivace polohových dat podle času, což nám umožnilo určit rychlost pohybu v každém časovém bodě.

4.9 Statistická analýza dat

Pro výpočet, zda jsou data normálně rozložena byl použit Shapiro-Wilk test. Pro porovnání dat byla zvolena následující metodika. Pro porovnání vzdáleností nebo maximální rychlosti (pro jednotlivé osy x, y, z a výsledného vektoru vzdálenosti nebo maximální rychlosti) mezi jednotlivými klouby (vzdálenost) nebo pro jednotlivé klouby (maximální rychlost) byl použit Wilcoxonův párový test (pro porovnání v rámci jedné skupiny). Tento test slouží k porovnání dat u dvou skupin, u kterých bylo vyhodnoceno, že nejsou data normálně rozdělena a zjistit, zda jsou rozdíly mezi skupinami statisticky významné. Wilcoxonův znaménkový test (pro porovnání mezi skupinami) byl vybrán pro porovnání mediánů testovaných skupin (elitní a sub-elitní). Tento test je založen na hodnotách rozdílů mezi odpovídajícími páry namísto původních hodnot. Pro stanovení signifikantních rozdílů nebyla použita analýza sensitivity, ale pouze stanovení hladiny alfa $\leq 0,05$ a $0,01$. Stanovení hladiny alfa je jedním z kroků v procesu statistické analýzy a představuje úroveň významnosti, která je námi stanovena před provedením testu. Slouží k určení statistické významnosti výsledků. Pro výpočet síly účinku byl použit Cohenův delta se stanovením: velký účinek $0,6 - 0,8$, střední účinek $0,4 - 0,6$ a malý účinek $0,2 - 0,4$. Síla účinku nám poskytuje informace o velikosti a směru vztahu mezi proměnnými nebo o velikosti rozdílu mezi skupinami, čímž doplňuje informaci o statistické významnosti (p-hodnoty).

5 VÝSLEDKY

V tabulkách 1 až 5 jsou uvedeny hodnoty absolutních a vektorových vzdáleností mezi klouby stojné dolní končetiny a kopající dolní končetiny. Dále byl porovnán úhel kopající a stojné dolní končetiny v době nárazu chodidla do pevného cíle, a nakonec maximální rychlost jednotlivých kloubů dosažená během provedení přímého kopu. K vypočtení rozdílů mezi provedeným kopem bez nesené zátěže a s nesenou zátěží včetně mezi skupinových rozdílů mezi sub-elitní a elitní skupinou vojáků byly nejprve použity statistické metody zjišťující normalitu dat a poté použita příslušná parametrická nebo neparametrická statistická metoda.

5.1 Porovnání vzdáleností mezi souřadnicemi x , y , z pravé a levé kyčle, kolena a kotníku

V tabulce 1 jsou uvedeny průměry a směrodatné odchylky vypočtených absolutních vzdáleností mezi pravou a levou kyčlí, kolenem a kotníkem, a to zvláště pro souřadnicovou osu x , y , z v pozici nárazu chodidla do pevného cíle, při provedení přímého kopu bez nesené zátěže a s nesenou zátěží. Při vyšetření normality dat pomocí Shapiro-Wilk testu bylo zjištěno u některých proměnných porušení normality, a proto bylo u těchto proměnných použito k porovnání průměrů neparametrické metody (Wilcoxonův test, pair test pro porovnání ve skupině a signed-rank test pro porovnání mezi skupinami).

Tabulka 1: Deskriptivní statistika vzdáleností mezi pravou a levou kyčlí, pravým a levým kolenem a pravým a levým kotníkem v jednotlivých souřadnicových osách x, y, z

	Elitní skupina						Sub-elitní skupina					
	N	Min (mm)	Max (mm)	Průměr (mm)	SD (mm)	SW	n	Min (mm)	Max (mm)	Průměr (mm)	SD (mm)	SW
Kyčel_osa x_zátěž	12	114,6	250,0	170,1††	39,7	0,87	21	13,0	155,4	98,5††	37,9	0,68
Kyčel_osa x_bez zátěže	12	24,0	447,2	168,3†	100,6	0,01	21	30,0	166,1	97,1†	33,3	0,99
Koleno_osa x_zátěž	12	416,1	563,7	480,4	44,6	0,66	21	316,8	598,9	457,2	63,7	1,00
Koleno_osa x_bez zátěže	12	187,0	675,8	453,8	115,1	0,25	21	330,0	549,4	439,3	48,9	0,61
Kotník_osa x_zátěž	12	853,1	1055,9	980,5*	63,2	0,36	21	788,8	1182,2	1037,7	78,8	0,01
Kotník_osa x_bez zátěže	12	455,2	1100,5	935,8*	166,3	0,00	21	880,2	1204,3	1018,1	73,9	0,63
Kyčel_osa y_zátěž	12	249,2	372,9	326,3	35,6	0,38	21	230,0	396,5	337,6	40,7	0,01
Kyčel_osa y_bez zátěže	12	247,3	358,7	322,9†	34,4	0,10	21	213,3	386,8	341,8†	37,2	0,01
Koleno_osa y_zátěž	12	240,4	328,3	293,2*	29,5	0,05	21	222,3	370,0	314,1*	37,2	0,46
Koleno_osa y_bez zátěže	12	233,2	351,1	316,1*	35,9	0,03	21	219,6	421,7	304,6*	41,8	0,30
Kotník_osa y_zátěž	12	194,7	290,7	245,2*†	32,3	0,46	21	239,3	361,2	297,8**†	25,7	0,97
Kotník_osa y_bez zátěže	12	212,7	356,3	274,6*	36,4	0,27	21	-203,0	293,9	227,8**	101,1	0,01
Kyčel_osa z_zátěž	12	117,4	314,4	184,6	70,8	0,03	21	-62,6	219,6	137,7**	68,1	0,01
Kyčel_osa z_bez zátěže	12	63,1	208,2	138,1	45,7	0,84	21	29,1	180,7	147,8**	32,8	0,01
Koleno_osa z_zátěž	12	567,7	818,4	647,7**	64,5	0,03	21	455,8	767,1	658,8	61,2	0,01
Koleno_osa z_bez zátěže	12	349,6	745,1	621,1**††	101,6	0,03	21	621,2	788,0	702,8††	46,3	0,48
Kotník_osa z_zátěž	12	641,7	858,3	764,0**†	58,1	0,94	21	656,1	958,5	845,1†	70,5	0,03
Kotník_osa z_bez zátěže	12	450,4	867,0	751,5**††	108,1	0,01	21	798,0	1017,8	910,9††	63,8	0,44

Vysvětlivky: x, y, z – souřadnicové osy, SD – směrodatná odchylka, SW – Shapiro-Wilk test, Tučně jsou vyznačeny proměnné nesplňující normální rozložení. ** p ≤ 0,01 uvnitř skupiny; * p ≤ 0,05 uvnitř skupiny; †† p ≤ 0,01 mezi skupinami, † p ≤ 0,05 mezi skupinami.

Při porovnání středních hodnot mezi přímým kopem provedeným bez nesené zátěže a s nesenou zátěží 30 kg byl zjištěn v sub-elitní skupině probandů signifikantní rozdíl mezi vzdáleností pravého a levého kolene a vzdáleností pravého a levého kotníku v souřadnicové ose y (p ≤ 0,05, d = 0,24; p ≤ 0,01, d = 0,94, respektive). To znamená, že se změnila vzdálenost kolene a kotníků mezi kopající a stojnou dolní končetinou, a to tak, že při kopu se zátěží byla kolena dále od sebe, a naopak kotníky blíže k sobě v medio-laterální rovině.

V elitní skupině probandů byly zjištěny rozdíly mezi vzdáleností pravého a levého kolena v ose y a z ($p \leq 0,05$, $d = 0,69$; $p \leq 0,01$, $d = 0,31$, respektive) a pravého a levého kotníku ve všech souřadnicových osách x , y a z ($p \leq 0,05$, $d = 0,35$; $p \leq 0,05$, $d = 0,85$; $p \leq 0,01$, $d = 0,14$, respektive). To znamená, že se zvýšila pozice kolena a zároveň kotníku kopající dolní končetiny a tím se prodloužila i vzdálenost v ose x mezi kotníky kopající a stojné dolní končetiny, ale zároveň i ve výšce kotníků a zároveň došlo i ke změně vzdálenosti medio-laterální, a to pravděpodobně v důsledku nesené zátěže se snížila vzdálenost mezi koleny.

Při porovnání mezi skupinových rozdílů byly nalezeny signifikantní rozdíly při provedení kopu bez nesené zátěže u vzdálenosti pravé a levé kyčle v osách x , y ($p \leq 0,01$, $d = 1$; $p = 0,05$, $d = 0,52$, respektive) a s nesenou zátěží v ose x ($p \leq 0,05$, $d = 1,84$). Tento výsledek poukazuje na předsunutí kyčle v antero-posteriorní rovině směrem vpřed a tím i zároveň ke zkrácení vzdálenosti v medio-laterální rovině. Dále byly zjištěny signifikantní rozdíly ve vzdálenosti pravého a levého kolene i kotníků s nesenou zátěží v ose z ($p \leq 0,01$, $d = 1,03$; $p \leq 0,01$, $d = 1,25$), a to u kotníků i bez nesené zátěže ($p \leq 0,05$, $d = 1,79$). Elitní skupina měla kratší vzdálenost směrem nahoru mezi koleny i kotníky při vedení kopu. Je tedy zřejmé, že provedení kopu u elitní skupiny je rozdílné ve srovnání se sub-elitní skupino, a to především v postavení kyčlí v době nárazu do pevného cíle.

5.2 Porovnání vzdáleností v euklidovském prostoru

V tabulce 2 jsou uvedeny průměry a směrodatné odchylky vypočtených vzdáleností, jako výslednice souřadnicových os, mezi pravou a levou kyčlí, kolenem a kotníkem při provedení přímého kopu v pozici nárazu chodidla do pevného cíle. Při vyšetření normálního rozložení bylo zjištěno porušení u sub-elitní skupiny téměř u všech proměnných.

Tabulka 2: Deskriptivní statistika vzdálenosti mezi pravou a levou kyčlí, kolenem a kotníkem

	Elitní skupina						Sub-elitní skupina					
	n	Min (mm)	Max (mm)	Průměr (mm)	SD (mm)	SW	n	Min (mm)	Max (mm)	Průměr (mm)	SD (mm)	SW
Kyčel_zátěž	12	365,0	508,4	418,3*†	43,5	0,12	21	255,7	434,3	384,8†	44,5	0,00
Kyčel_bez zátěže	12	317,6	554,0	401,3*	55,9	0,01	21	254,6	421,1	387,7	35,2	0,00
Koleno_zátěž	12	769,5	1012,1	859,7	63,2	0,33	21	665,6	955,0	864,0	62,2	0,02
Koleno_bez zátěže	12	524,4	959,7	837,4	119,4	0,03	21	841,2	1007,4	885,7	36,8	0,00
Kotník_zátěž	12	1147,4	1378,2	1267,9†	75,6	0,35	21	1087,7	1490,5	1372,4†	89,3	0,02
Kotník_bez zátěže	12	732,8	1417,1	1235,0†	174,6	0,00	21	1221,4	1589,8	1389,4†	83,2	0,99

Vysvětlivky: SD – směrodatná odchylka, SW – Shapiro-Wilk test, Tučně jsou vyznačeny proměnné nesplňující normální rozložení. * $p \leq 0,05$ uvnitř skupiny; † $p \leq 0,05$ mezi skupinami.

Při porovnání mezi přímým kopem provedeným bez nesené zátěže a s nesenou zátěží 30 kg nebyl zjištěn v sub-elitní skupině probandů žádný signifikantní rozdíl mezi vzdáleností pravé a levé kyčle, pravého a levého kolene a pravého a levého kotníku. Nicméně, porušení normality poukazuje na nevyrovnaný výkon mezi probandy v sub-elitní skupině.

Při porovnání mezi přímým kopem provedeným bez nesené zátěže a s nesenou zátěží 30 kg byl zjištěn v elitní skupině probandů signifikantní rozdíl mezi vzdáleností pravé a levé kyčle ($p \leq 0,05$, $d = 0,33$). Při provedení kopu s nesenou zátěží se zvýšila vzdálenost mezi pravou a levou kyčlí (reflexní markery umístěné na velkých trochanterech).

Porovnáním elitní a sub-elitní skupiny byly zjištěny signifikantní rozdíly u vzdálenosti mezi pravou a levou kyčlí při provedení kopu s nesenou zátěží ($p \leq 0,05$, $d = 0,76$) a vzdáleností mezi pravým a levým kotníkem při provedení kopu v obou podmínkách ($p \leq 0,05$, $d = 1,26$; $p = 0,05$, $d = 1,13$, respektive).

Celkově lze shrnout, že u sub-elitní skupiny se neměnily vzdálenosti mezi pravou a levou dolní končetinou při provedení kopu s nesenou zátěží 30 kg a bez nesené zátěže. Opačně tomu bylo u elitní skupiny, kde jedinci upravili vzdálenosti mezi levou a pravou kyčlí v důsledku nesené zátěže. Při porovnání mezi skupinami byla zjištěna u elitní skupiny delší vzdálenost mezi pravou a levou kyčlí. To je pravděpodobně v důsledku přetočení boku vpřed v sagitální rovině u kopající dolní končetiny, což je známkou lépe provedeného přímého kopu. Delší vzdálenost u sub-elitní skupiny mezi kotníky mohla být způsobena i vyšší průměrnou výškou probandů sub-elitní skupiny.

5.3 Porovnání úhlu v kolenním kloubu kopající dolní končetiny při nárazu do pevného cíle

V tabulce 3 jsou uvedeny průměry a směrodatné odchylky úhlů v kolenním kloubu kopající dolní končetiny při provedení přímého kopu v pozici nárazu chodidla do pevného cíle. Při vyšetření normálního rozložení bylo zjištěno porušení při provedení kopu bez nesené zátěže u elitní skupiny.

Při porovnání úhlů v kolenním kloubu nebyl zjištěn u sub-elitní ani elitní skupiny signifikantní rozdíl. Nicméně, v elitní skupině byly zaznamenány vyšší úhly u provedení kopu bez nesené zátěže i s nesenou zátěží ve srovnání se sub-elitní skupinou. Signifikantní rozdíl byl ale vypočten pouze u kopu bez nesené zátěže ($p \leq 0,05$, $d = 0,86$). Celkově lze shrnout, že elitní skupina měla více nataženou kopající dolní končetinu v době nárazu do pevného cíle.

Tabulka 3: Deskriptivní statistika úhlů v kolenním kloubu při nárazu kopající nohy do pevného cíle

	Elitní skupina						Sub-elitní skupina					
	n	Min (°)	Max (°)	Průměr (°)	SD (°)	SW	n	Min (°)	Max (°)	Průměr (°)	SD (°)	SW
Úhel v koleni – bez zátěže	12	4,8	107,0	41,3	25,9	0,12	21	26,4	57,9	40,7	8,1	0,46
Úhel v koleni – zátěž	12	32,0	61,4	47,0	8,8	0,95	21	28,8	64,1	41,3	10,4	0,17

Vysvětlivky: SD – směrodatná odchylka, SW – Shapiro-Wilk test.

5.4 Porovnání úhlu v kolenním kloubu stejné dolní končetiny při nárazu kopající dolní končetiny do pevného cíle

V tabulce 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky úhlů v kolenním kloubu stejné dolní končetiny při provedení přímého kopu v době nárazu kopající nohy do pevného cíle. Při vyšetření normálního rozložení nebylo zjištěno žádné porušení ani u jedné z vybraných skupin probandů.

Při porovnání úhlů v kolenním kloubu stejné dolní končetiny nebyl zjištěn uvnitř sub-elitní ani elitní skupiny signifikantní rozdíl mezi provedením přímého kopu bez nesené zátěže a s nesenou zátěží. Nicméně, mezi skupinami byl zjištěn signifikantní rozdíl při provedení kopu s nesenou zátěží ($p \leq 0,01$, $d = 1,29$). Celkově je podobný výsledek jako u kopající dolní končetiny, jelikož u elitní skupiny bylo zjištěno, že v době nárazu do pevného cíle je stejná dolní končetina více natažená oproti jedincům ze sub-elitní skupiny.

Tabulka 4: Deskriptivní statistika úhlů v kolenním kloubu stejné nohy při nárazu kopající nohy do pevného cíle

	Elitní skupina						Sub-elitní skupina					
	n	Min	Max	Průměr	SD	SW	n	Min	Max	Průměr	SD	SW
Úhel v koleni – bez zátěže	12	32,4	62,5	49,1	8,7	0,93	21	29,6	67,2	43,2	8,9	0,43
Úhel v koleni – zátěž	12	38,8	61,4	50,2††	7,7	0,47	21	26,9	54,8	40,9††	6,6	0,96

Vysvětlivky: SD – směrodatná odchylka, SW – Shapiro-Wilk test; †† $p \leq 0,01$ mezi skupinami.

5.5 Porovnání maximální rychlosti kyčle, kolena a kotníku kopající dolní končetiny v jednotlivých souřadnicových osách x, y, z

V tabulce 5 jsou uvedeny průměry a směrodatné odchylky maximální rychlosti v souřadnicových osách x, y, z kyčle, kolena a kotníku kopající nohy. Při vyšetření normálního rozložení bylo zjištěno porušení normálního rozložení pouze u třech proměnných u sub-elitní skupiny a jedné proměnné u elitní skupiny.

Tabulka 5: Deskriptivní statistika maximální rychlosti v souřadnicových osách x, y, z kyčle, kolena a kotníku kopající nohy

	Elitní skupina						Sub-elitní skupina					
	n	Min (m/s)	Max (m/s)	Průměr (m/s)	SD (m/s)	SW	n	Min (m/s)	Max (m/s)	Průměr (m/s)	SD (m/s)	SW
Kyčel_osa x_zátěž	12	0,82	1,34	1,18**††	0,15	0,05	19	0,75	1,35	1,02**††	0,19	0,32
Kyčel_osa x_bez zátěže	12	1,00	2,07	1,58**	0,33	0,77	19	1,04	1,84	1,41**	0,21	0,92
Koleno_osa x_zátěž	12	1,87	3,83	3,00††	0,53	0,83	19	1,76	3,33	2,49**††	0,51	0,13
Koleno_osa x_bez zátěže	12	2,05	4,18	3,08†	0,61	0,95	19	2,16	3,91	2,77**†	0,59	0,01
Kotník_osa x_zátěž	12	3,61	5,20	4,59**†	0,58	0,07	19	3,43	5,82	4,29**†	0,63	0,42
Kotník_osa x_bez zátěže	12	3,58	6,55	5,16**	0,83	0,90	19	4,07	7,14	5,26**	0,90	0,33
Kyčel_osa y_zátěž	12	0,28	0,64	0,44	0,10	0,95	19	0,12	0,69	0,37	0,15	0,31
Kyčel_osa y_bez zátěže	12	0,36	0,64	0,46††	0,08	0,15	19	0,22	0,66	0,36††	0,11	0,12
Koleno_osa y_zátěž	12	0,78	1,38	0,94††	0,18	0,02	19	0,40	1,23	0,68**††	0,22	0,08
Koleno_osa y_bez zátěže	12	0,77	1,42	1,00†	0,21	0,15	19	0,50	1,32	0,81**†	0,26	0,04
Kotník_osa y_zátěž	12	0,58	1,17	0,83††	0,15	0,54	19	0,32	1,08	0,60**††	0,19	0,20
Kotník_osa y_bez zátěže	12	0,55	1,06	0,84	0,13	0,18	19	0,56	1,62	0,97**	0,29	0,06
Kyčel_osa z_zátěž	12	0,87	1,49	1,23	0,18	0,78	19	0,59	1,78	1,10	0,38	0,15
Kyčel_osa z_bez zátěže	12	0,91	1,70	1,25	0,22	0,96	19	0,63	1,72	1,08	0,37	0,05
Koleno_osa z_zátěž	12	4,79	6,03	5,35††	0,35	0,97	19	3,58	5,41	4,34††	0,54	0,09
Koleno_osa z_bez zátěže	12	4,57	6,34	5,35††	0,56	0,76	19	2,95	5,35	4,47††	0,59	0,46
Kotník_osa z_zátěž	12	3,05	5,47	4,55	0,77	0,30	19	3,06	6,64	4,66	1,03	0,03
Kotník_osa z_bez zátěže	12	3,19	5,55	4,26	0,75	0,80	19	2,83	6,30	4,60	0,92	0,96

Vysvětlivky: SD – směrodatná odchylka, SW – Shapiro-Wilk test, Tučně jsou vyznačeny proměnné nesplňující normální rozložení. ** $p \leq 0,01$ uvnitř skupiny; †† $p \leq 0,01$ mezi skupinami, † $p \leq 0,05$ mezi skupinami.

Při porovnání maximální rychlosti byly u sub-elitní skupiny zjištěny signifikantní rozdíly mezi kopem se zátěží a bez nesené zátěže u kyčle v souřadnicové ose x ($p \leq 0,01$, $d = 1,94$), u kolena v souřadnicové ose x a y ($p \leq 0,01$, $d = 0,50$; $p = 0,02$, $d = 0,53$ respektive) a kotníku v souřadnicové ose x a y ($p \leq 0,01$, $d = 2,15$; $p \leq 0,01$, $d = 1,5$ respektive). To znamená, že všechny segmenty (kyčel, koleno a kotník) dosáhly vyšší maximální rychlosti antero-posteriorní ose pohybu dolní končetiny při kopu bez nesené zátěže, a navíc koleno a kotník dosáhly vyšší rychlosti v medio-laterální rovině při kopu bez nesené zátěže.

U elitní skupiny byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi kopem se zátěží a bez nesené zátěže u kyčle v souřadnicové ose x ($p \leq 0,01$, $d = 1,56$), u kolena nebyly zjištěny žádné signifikantní rozdíly ani v jedné souřadnicové ose a u kotníku v souřadnicové ose x ($p \leq 0,01$, $d = 0,79$). Je tedy zřejmé, že u elitní skupiny došlo ke zpomalení kyčle a kotníku v antero-posteriorní rovině v důsledku nesené zátěže.

Při porovnání rozdílů maximální rychlosti v jednotlivých souřadnicových osách mezi elitní a sub-elitní skupinou byly zjištěny následující rozdíly. Při kopu bez nesené zátěže u kyčle v souřadnicové ose y ($p \leq 0,01$, $d = 1,03$), u kolena v souřadnicových

osách $x, y, a z$ ($p \leq 0,05$, $d = 0,51$; $p \leq 0,05$, $d = 0,8$; $p \leq 0,01$, $d = 1,52$, respektive), u kotníku v žádné souřadnicové ose. Při kopu s nesenou zátěží u kyčle v souřadnicové ose x ($p = 0,01$; $d = 0,93$), u kolena v souřadnicových osách $x, y, a z$ ($p \leq 0,01$, $d = 0,98$; $p \leq 0,01$, $d = 1,29$; $p \leq 0,01$, $d = 2,21$, respektive), u kotníku v souřadnicových osách x a y ($p \leq 0,05$, $d = 0,49$; $p \leq 0,01$, $d = 1.34$, respektive). Je tedy zřejmé, že elitní skupina dosahovala vyšší maximální rychlosti především u kolena kopající dolní končetiny, a to ve všech souřadnicových osách a při kopu s nesenou zátěží ještě navíc v antero-posteriorní rovině u kyčle a kotníku. Dále při kopu bez zátěže v medio-laterální rovině u kyčle, což poukazuje na rychlejší přetočení kyčle směrem dovnitř při provedení kopu.

6 DISKUSE

Studie se zaměřila na porovnání kinematických indikátorů při provedení přímého kopu. Srovnávací analýzy byly provedeny pomocí dat získaných z reflexních markerů umístěných na kopající a stojné dolní končetině, a to při provedení přímého kopu bez a s nesenou vojenskou zátěží 30 kg. Pro hlubší zkoumání byly srovnávací analýzy provedeny i mezi sub-elitní a elitní skupinou instruktorů boje zblízka. Pro zodpovězení stanovených otázek byla provedena komparace vypočtených vzdáleností mezi jednotlivými segmenty (kyčel, koleno a kotník) kopající a stojné dolní končetiny, a to pro každou osu v souřadnicovém systému (x, y, z) zvlášť, a poté pro absolutní vzdálenost vypočtenou jako výslednici z jednotlivých os. Dále byl porovnán úhel v kolenním kloubu u stojné i kopající dolní končetiny v pozici nárazu chodidla do pevného cíle a nakonec i maximální rychlosti jednotlivých segmentů (kyčel, koleno a kotník) kopající dolní končetiny.

6.1 Zodpovězení otázek studie

- 1) První výzkumnou otázkou bylo, jaké budou vzdálenosti mezi jednotlivými segmenty (kyčel, kotník, koleno) kopající a stojné nohy v pozici nárazu chodidla do pevného cíle při provedení přímého kopu bez a s nesenou zátěží 30 kg. V sub-elitní skupině byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi vzdálenostmi kolene a kotníku v souřadnicové ose y mezi kopem bez zátěže a s nesenou zátěží, kdy došlo ke zvětšení vzdálenosti při kopu se zátěží. V elitní skupině byla zjištěna větší vzdálenost mezi kolenními klouby při kopu bez nesené zátěže a kratší vzdálenost mezi kotníky v ose z . Ve všech souřadnicových osách byly zjištěny signifikantní rozdíly ve vzdálenostech kotníku při porovnání kopu bez zátěže a s nesenou zátěží, kdy se vzdálenost v osách x a z , přičemž došlo ke zvětšení vzdálenosti v ose y .
- 2) Druhou otázkou bylo zjištění rozdílů v úhlu kolenního kloubu stojné a kopající dolní končetiny v pozici nárazu do pevného cíle při provedení přímého kopu bez a s nesenou zátěží 30 kg. Uvnitř skupin nebyly zjištěny signifikantní rozdíly mezi kopem bez a s nesenou zátěží.
- 3) Třetí výzkumná otázka se týkala rozdílů v maximálních rychlostech jednotlivých segmentů (kyčel, koleno, kotník) během provedení přímého kopu bez a s nesenou zátěží 30 kg. U sub-elitní skupiny byla zjištěna signifikantně vyšší maximální rychlost při provedení přímého kopu bez nesené zátěže v ose x u všech segmentů,

v ose y u kolene a kotníku. Elitní skupina zaznamenala signifikantní rozdíly pouze pro kyčel a kotník v ose x .

- 4) Při porovnání signifikantních rozdílů mezi skupinami sub-elitního a elitního vojenského personálu byla zjištěna při provedení přímého kopu bez nesené zátěže větší vzdálenost kyčle v ose x u elitní skupiny a větší vzdálenost v ose y u sub-elitní skupiny. Dále menší vzdálenost kolene a kotníku v ose z . Při kopu s nesenou zátěží byla zjištěna větší vzdálenost mezi kyčlemi v ose x u elitní skupiny a u sub-elitní skupiny delší vzdálenost mezi koleny v ose z a kotníky v ose y a z .

V euklidovském prostoru byla zjištěna větší vzdálenost mezi kyčlemi při provedení kopu s nesenou zátěží u elitní skupiny a větší vzdálenost mezi kotníky při kopu bez nesené zátěže a s nesenou zátěží u sub-elitní skupiny.

Při porovnání úhlů v kolenním kloubu stojné dolní končetiny při nárazu chodidla kopající dolní končetiny do pevného cíle nebyly zjištěny signifikantní rozdíly. Naopak při porovnání úhlů v kolenním kloubu kopající dolní končetiny byl zjištěn signifikantně větší úhel v kolenním kloubu při kopu se zátěží u elitní skupiny.

- 5) Poslední výzkumná otázka se týkala vlivu vyššího věku probandů elitní skupiny v porovnání se sub-elitní skupinou na maximální rychlosti jednotlivých segmentů (kyčel, koleno, kotník). Elitní skupina dosahovala vyšších maximálních rychlostí jednotlivých segmentů, s výjimkou kolene v ose x . Nicméně, i když byla zjištěna vyšší rychlost kyčle a kolene, tak nebyl zjištěn signifikantní rozdíl v maximální rychlosti kotníku. To naznačuje možné rozdílné provedení techniky v první fázi kopu, jelikož maximální rychlost kotníku nebyla mezi skupinami rozdílná.

6.2 Porovnání vzdáleností mezi souřadnicemi x , y , z pravé a levé kyčle, kolena a kotníku

Uvnitř sub-elitní skupiny byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi vzdálenostmi kolene a kotníku na souřadnicové ose y mezi kopem bez zátěže a s nesenou zátěží 30 kg. Pro vzdálenost mezi koleny byly naměřeny hodnoty 304,6 mm, 314,1 mm, respektive a kotníky 227,8 mm, 297,8 mm, respektive. Vzdálenost kolen se tedy při kopu se zátěží zvětšila, což může být způsobeno postavením kyčelního kloubu. Vzdálenost mezi kotníky stojné a kopající dolní končetiny pak byla kratší.

Při porovnání uvnitř elitní skupiny byly zjištěny rozdíly ve vzdálenosti kolen na souřadnicových osách y a z . Při kopu bez zátěže byly v ose y získány hodnoty 316,1 mm,

se zátěží 293,2 mm. V ose z hodnoty 621,1 mm a 647,7 mm, respektive. Naměřené vzdálenosti ukazují, že při kopu se zátěží bylo koleno kopající dolní končetiny ve vyšší pozici a dále došlo k přiblížení kolen v medio-laterální rovině. Dále byly zjištěny významné rozdíly v pozici kotníku na všech souřadnicových osách. Zjištěna byla vyšší pozice kotníku v době nárazu při kopu se zátěží (764,0 mm, 751,5 mm respektive), která následně pravděpodobně vedla ke zvětšení vzdálenosti mezi kotníky v souřadnicové ose x (980,5 mm, 935,9 mm, respektive). Naopak došlo ke snížení vzdálenosti v ose y (245,2 mm, 274,6 mm, respektive), tedy přiblížení kotníku ke středu v medio-laterální rovině.

Při porovnání mezi skupinami byl zjištěn významný rozdíl v pozicích kyčle v ose x při kopu bez zátěže a s nesenou zátěží (E 168,3 mm, 170,1 mm, respektive, SE 97,1 mm, 98,5 mm, respektive), což poukazuje na výraznější předsunutí kyčle směrem vpřed, která je vnímána jako jeden z indikátorů technicky správně provedeného přímého kopu. Práci kyčlí můžeme sledovat také na hodnotách pozice kyčle v ose y , kdy byly zjištěny rozdíly při kopu bez nesené zátěže. Elitní skupina dosáhla nižších hodnot (E 322,9 mm, SE 341,8 mm), což opět poukazuje na větší přetočení kyčle v antero-posteriorní rovině.

Signifikantní mezi skupinový rozdíl byl zjištěn u kopu se zátěží pro kolena a kotníky v ose z . Naměřené hodnoty pro kolena (E 621,1 mm, SE 702,8 mm) tedy ukazují na kratší vzdálenost mezi koleny směrem nahoru, což platí také pro hodnoty naměřené pro kotníky (E 764,0 mm, SE 845,1 mm).

6.3 Porovnání vzdáleností v euklidovském prostoru

Při tomto porovnání vzdáleností jednotlivých segmentů pro kopající a stojnou dolní končetinu lze z tabulky 2 pro vzdálenost mezi kyčlemi vyčíst, že vyšších hodnot dosahovala elitní skupina při kopu bez zátěže i s nesenou zátěží. Elitní skupina dosáhla při kopu bez zátěže vzdálenosti 401,3 mm, přičemž sub-elitní skupina 387,7 mm. Při kopu se zátěží pak elitní skupina dosahovala hodnoty 418,3 mm a sub-elitní skupina 387,7 mm. Tyto údaje ukazují, že u probandů v elitní skupině můžeme sledovat větší práci boků v obou podmínkách, která je důležitá pro účinnost přímého kopu. Vágner a kol. (2020) toto zjištění ve své studii potvrzují, kdy zjistili změnu kinematických indikátorů v souvislosti s nesenou zátěží u rozdílných výkonnostních skupin, přičemž se jako hlavní rozlišovací prediktor ukázala pozice boků.

Jak bylo řečeno ve výsledkové části této práce, musíme brát v úvahu vyšší průměrnou výšku probandů sub-elitní skupiny. Tato skutečnost mohla vést k větší průměrné vzdálenosti mezi pravým a levým kotníkem při kopu se zátěží a bez zátěže (E 1235,0 mm, SE 1389,4 mm).

Při porovnání mezi skupinami došlo k porušení normality u sub-elitní skupiny téměř u všech proměnných. Tato nevyrovnanost mezi výkony u méně zkušených probandů byla pozorována také ve studii Vágner a kol. (2022). Z toho vyplývá větší nestabilita při provedení kopu u sub-elitní skupiny v porovnání s elitní skupinu.

6.4 Porovnání úhlu v kolenním kloubu kopající dolní končetiny při nárazu do pevného cíle

Při porovnání údajů z tabulky 3 nebyly zjištěny signifikantní rozdíly mezi skupinami v úhlu v kolenním kloubu kopající dolní končetiny v době nárazu. U elitní skupiny byly zjištěny větší úhly při kopu bez zátěže (E 48,7°, SE 40,7°), což ukazuje na více propnutou dolní končetinu v době nárazu.

Portela a kol. (2014) ve své studii prováděli kinematickou analýzu přímého kopu u 8 karatistů na úrovni hnědého a černého pásu. V této studii naměřili úhel v kolenním kloubu v době nárazu $125,5^\circ \pm 10,21^\circ$. Podobných výsledků bylo dosaženo ve studii Vencesbrito a kol. (2019), kteří porovnávali sportovce v karate (K) a sportovce bez předchozí zkušenosti s karate (NK), kdy nebyly zjištěny signifikantní rozdíly (K $131^\circ \pm 8^\circ$, NK $129^\circ \pm 8^\circ$). Porovnáním mladých karatistů (YK) a karatistů veteránského věku (VetK) se věnovala studie Branco a kol. (2019), kde byl rozdíl v úhlech v kolenním kloubu výraznější (YK $130,52^\circ \pm 10,88^\circ$, VetK $120,91^\circ \pm 7,11^\circ$).

V této diplomové práci byl úhel měřen z jiného pohledu. Abychom mohli porovnat námi zjištěné hodnoty s hodnotami z výše zmíněnými studii, je nutné odečíst námi zjištěné hodnoty od 180° , aby mohlo dojít ke vzájemnému porovnání. Po tomto výpočtu lze pozorovat srovnatelné úhly v kolenním kloubu v době nárazu, u námi zkoumaných skupin elitních a sub-elitních probandů se studii uvedenými výše.

6.5 Porovnání úhlu v kolenním kloubu stojné dolní končetiny při nárazu do pevného cíle

Kinematikou stojné nohy při provedení přímého kopu se detailněji nezabývala žádná studie, proto zde nemáme žádné porovnání s jinými autory. Z údajů z tabulky 4 jsme nicméně nezjistili signifikantní rozdíl ve skupinách při porovnání přímého kopu s nesenou zátěží a bez nesené zátěže, kdy elitní skupina dosáhla průměrných hodnot $50,2^\circ$, $54,6^\circ$, respektive, sub-elitní skupina pak $43,2^\circ$, $40,9^\circ$, respektive.

Signifikantní rozdíl byl zjištěn pouze při mezi skupinovém srovnání úhlu v koleni při kopu s nesenou zátěží (E $50,2^\circ$, SE $40,9^\circ$), což ukazuje, jak již bylo naznačeno ve výsledkové části, že stojná dolní končetina je více natažena u elitní skupiny. To může ukazovat na lepší zvládnutí techniky kopu u elitní skupiny, kdy nedochází v důsledku nesené zátěže k výraznějším změnám v technickém provedení kopu ani po ztížení podmínek v podobě nesené zátěže.

6.6 Porovnání maximální rychlosti kyčle, kolena a kotníku kopající dolní končetiny v jednotlivých souřadnicových osách x, y, z

Rychlost provedení kopu je jednou z proměnných, která je důležitá pro účinné provedení kopů. Dostatečně rychlým kopem se zvyšuje účinnost a snižuje šance adekvátní reakce protivníka. Rychlostí jednotlivých segmentů kopající dolní končetiny za různých podmínek se zabývaly studie v různých druzích bojových aktivit.

Grymanowski a kol. (2019) měřili přímý kop sportovce muay thai a naměřili vyšší rychlost chodidla při kopu do vzduchu ($8,3$ m/s), než při provedení kopu na cíl ($7,8$ m/s). Wasik a kol. (2018) měřili rychlost segmentů pro dominantní a nedominantní dolní končetinu při kopu na různé typy cílů (do vzduchu, na lapu, desku a malý míč). Studie se účastnilo 8 mužů, kteří dosahovali nejvyšší rychlosti při kopu do vzduchu ($10,99 \pm 1,19$ m/s), a poté se rychlost kopu snižovala při provedení na lapu ($10,11 \pm 1,33$ m/s), na desku ($8,55 \pm 1,65$ m/s) a na malý míč ($7,92 \pm 2,17$ m/s). Rychlost přímého kopu byla také nižší u nedominantní dolní končetiny. V další studii provedenou autory Wasik a Góra (2016) výše zmíněné hodnoty rychlostí při provedení do rozdílných cílů potvrzují. Jejich studie se účastnil vrcholový sportovec (taekwondo), který prováděl kopy na různé druhy cílů dominantní a nedominantní dolní končetinou. Nejvyšší rychlost byla zjištěna při kopu do vzduchu ($12,25 \pm 0,18$ m/s), a poté postupně do lapy ($11,17 \pm 0,34$ m/s) a míček na stolní tenis ($10,27 \pm 0,29$ m/s).

Rychlejší kopy byly opět prováděny dominantní dolní končetinou. Další studie, které se zabývali kinematikou přímého kopu můžeme uvést Vencesbrito a kol. (2014), kteří porovnávali skupinu karatistů (K) a skupinu bez předchozí zkušenosti s karate (NK). V této studii byly měřeny rychlosti kotníku (K $8,1 \pm 0,9$ m/s, NK $7,7 \pm 1,2$ m/s), kolene (K $5,8 \pm 0,7$ m/s, NK $5,3 \pm 0,8$ m/s) a kyčle (K $2,3 \pm 0,5$ m/s, NK $2,1 \pm 0,3$ m/s) nebo studie Wasik a kol. (2015), kteří ve své studii měřili sportovce taekwondo, a to konkrétně rychlost chodidla ($10,4 \pm 0,77$ m/s) a kolene ($5,06 \pm 1,19$ m/s).

Z výše zmíněných výsledků studií je patrné, že při přímém kopu, u kterého se sportovci nemuseli soustředit na cíl, byly rychlosti nejvyšší a čím menší byl cíl, tím více se museli soustředit na přesnost zásahu, čímž docházelo ke snížení rychlosti kopu. Naopak u velkého pevného cíle se probandi mohli soustředit pouze na provedení kopu s maximálním úsilím a tím pravděpodobně docházelo i k dosažení vyšší rychlosti.

Při porovnání rychlosti kopu v této práci s výše zmíněnými studiemi, dosahovali probandi v obou skupinách menších rychlostí při kopu bez zátěže (E $6,55$ m/s, SE $7,14$ m/s).

Při porovnání maximálních rychlostí kolene dosahovali probandi sub-elitní skupiny vyšších rychlostí bez nesené zátěže i s nesenou zátěží v ose z (E $6,03$ m/s, SE $6,34$ m/s). Pro rychlost kyčle sledujeme u elitních sportovců při kopu bez zátěže velmi podobné rychlosti při provedení kopu bez zátěže ($2,07$ m/s), přičemž sub-elitní skupina dosahovala pomalejších maximálních rychlostí ($1,84$ m/s).

Další proměnnou, která může být sledována a porovnávána i v této studii, je vliv věku na kinematiku přímého kopu. Ve své studii se touto problematikou zabýval Branco a kol. (2019). Měření se účastnila skupina karatistů veteránů (VK, $54 \pm 3,9$ let) a mladých karatistů (YK, $23 \pm 5,8$ let), kteří prováděli kop na tréninkový pytel. Pro tuto práci byla vybrána maximální lineární rychlost kyčle (VK $2,08 \pm 0,40$ m/s, YK $2,28 \pm 0,57$ m/s), kolene (VK $5,54 \pm 0,68$, YK $5,85 \pm 1,07$ m/s) a kotníku (VK $8,45 \pm 0,96$ m/s, YK $8,46 \pm 1,45$ m/s). Z výsledků vyplynulo, že ačkoliv došlo u mladých karatistů k vyšší rychlosti kyčle a kolene, tak výsledná rychlost kotníku rozdílná nebyla. To znamená, že u probandů vyššího věku měli rozdílné provedení techniky, přičemž výsledná rozhodující rychlost chodidla zůstala stejná.

Průměrný věk elitní skupiny v této práci byl 41 ± 8 let a sub-elitní skupiny 23 ± 2 let. V této práci můžeme sledovat vyšší maximální i průměrné rychlosti kolene při kopu bez zátěže u elitní skupiny, v porovnání se sub-elitní skupinou (E $6,34$ m/s, $5,35$ m/s respektive,

SE 5,35 m/s, 4,47 m/s). Srovnatelných rychlostí bylo dosaženo pouze u rychlosti kolene v ose x při kopu bez zátěže (E 4,18 m/s, SE 3,91 m/s). Výsledky, které můžeme potvrdit i v této práci se týkají pouze maximální rychlosti kotníku, kdy nebyl mezi skupinami zjištěn signifikantní rozdíl (E 6,55 m/s, SE 7,14 m/s).

Vlivem nošení balistické vesty a batohu na maximální rychlost kopu se zabýval Vágner a kol. (2020). Studie se účastnilo 25 vojáků, kteří prováděli přímý kop bez zátěže (NL) a s 30 kg zátěží (WL). V této studii byla měřena maximální rychlost chodidla s NL ($7,72 \pm 1,12$ m/s) a WL ($7,71 \pm 1,05$ m/s) a kolene s NL ($5,33 \pm 0,83$ m/s) a WL ($5,06 \pm 0,82$ m/s), přičemž byla zjištěna vysoká míra korelace mezi maximální rychlostí kolene a chodidla. V této práci byly zjištěny nižší maximální rychlosti chodidla v souřadnicové ose x pro obě srovnávané podmínky (E 6,55 m/s, respektive 5,20 m/s, SE 7,14 m/s, 5,82 m/s respektive). Potvrdit můžeme snížení maximální rychlosti kolene při kopu s nesenou zátěží v transversální rovině v obou skupinách, přičemž rozdíl v sub-elitní skupině byl při porovnání s kopem bez zátěže minimální. Zajímavé výsledky byly zjištěny pro maximální rychlost v antero-posterální rovině, kde došlo k negativnímu ovlivnění maximální rychlosti kolene u sub-elitní skupiny po přidání nesené zátěže (3,91 m/s, 3,3 m/s, respektive). Elitní skupina podávala vyrovnané výsledky při provádění kopu v obou námi měřených podmínkách. Z výsledků v tabulce 5 tak můžeme opět usuzovat na lepší zvládnutí techniky přímého kopu probandy elitní skupiny, u které nedocházelo k signifikantním rozdílům v maximálních rychlostech kotníku a kolene při provedení kopu s nesenou zátěží.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zjistit vliv nesené vojenské zátěže 30 kg na vzdálenosti mezi pravou a levou kyčlí, kolenem a kotníkem v jednotlivých osách souřadnicového systému, úhly v kolenním kloubu kopající a stojné dolní končetiny a maximální rychlost kyčle, kolena a kotníku kopající dolní končetiny při nárazu do pevného cíle.

Na základě získaných údajů o pozici segmentů, které byly naměřeny u elitní a sub-elitní skupiny je možné uvést, že elitní skupina byla schopna reagovat na ztížené podmínky v podobě nesené vojenské zátěže zvýšením pozice a zkrácením vzdálenosti mezi pravým a levým kolenem a zároveň výraznějším pohybem kyčlí předsunutím vpřed v antero-posteriorní rovině. Toto zjištění ukazuje na pozici kopající dolní končetiny blíže ke středu těla a tím ke stabilnější pozici v době nárazu chodidla do pevného cíle.

Nesená zátěž měla u sub-elitní skupiny negativní vliv na rychlost kopu, kdy došlo k výraznému zpomalení kyčle, kolene a kotníku v ose x , zároveň kolene a kotníku v ose y . Dále nesená zátěž ovlivnila vzdálenost kolen, což bylo nejspíše způsobeno jiným postavením kyčelního kloubu v porovnání s kopem bez zátěže. Tato skupina vykazovala větší nestabilitu při provedení kopu v porovnání s elitními protějšky.

Vyšších maximálních a průměrných rychlostí jednotlivých segmentů dosahovala v obou podmínkách elitní skupina, přičemž u kotníku byl zjištěn nejmenší rozdíl maximální rychlosti mezi skupinami.

8 SEZNAM POUŽITÍ LITERATURY

1. AL-KHABBAZ, Y. SSM., SHIMADA, T., HASEGAWA, M. *The effect of backpack heaviness on trunk-lower extremity muscle activities and trunk posture*. Gait & posture, 2008, 28.2: 297-302.
2. APETAUR, Milan a Tomáš HRALA. *Mechanika tuhých těles: Dynamika*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2004. ISBN isbn80-7044-598-x.
3. ATTWELLS, R. L., et al. *Influence of carrying heavy loads on soldiers' posture, movements and gait*. Ergonomics, 2006, 49.14, s. 1527-1537.
4. BŁASZCZYSZYN, M., et al. *Kinematic analysis of mae-geri kicks in beginner and advanced kyokushin karate athletes*. International journal of environmental research and public health, 2019, 16.17: 3155. The influence of gender, dominant lower limb and type of target on the velocity of taekwon-do front kick - JACEK WAŚIK
5. BRANCO, Marco A.C., António M.V. VENCESBRITO, Mário A. RODRIGUES-FERREIRA, Gonçalo A.C. BRANCO, Ewa POLAK, Wojciech J. CYNARSKI a Wasik JACEK, 2019. Effect of Aging on the Lower Limb Kinematics in Karate Practitioners: Comparing Athletes and Their Senseis. *Journal of Healthcare Engineering* [online]. 2019. ISSN 20402309. Dostupné z: doi:10.1155/2019/2672185
6. BIRRELL, S. A and HASLAM, R. A. *The effect of military load carriage on 3-D lower limb kinematics and spatiotemporal parameters*. Ergonomics, 2009, 52.10: 1298-1304.
7. DIEDRICHSEN, J., SHADMEHR, R., IVRY, R. B. *The coordination of movement: optimal feedback control and beyond*. Trends in cognitive sciences, 2010, 14(1), 31.
8. ESTEVAN, Isaac; JANDACKA, Daniel; FARANA, Roman; FALCO, Coral, 2012. Kinematic analysis of a roundhouse kick according to the stance position. (85), 189–192.
9. ESTEVAN, Isaac, Coral FALCO a Octavio ALVAREZ, 2012. Effect of Olympic Weight Category on Performance in the Roundhouse Kick to the Head in Taekwondo Effect of Olympic Weight Category on Performance in the Roundhouse Kick to the Head in Taekwondo [online]. (January 2014). Dostupné z: doi:10.2478/v10078-012-0004-x
10. FOJTÍK, Ivan a KRÁL, Pavel. *Karatedó*. Praha: Olympia, 1993. ISBN 80-7033-246-8.

11. FALCO, Coral, Octavio ALVAREZ, Isabel CASTILLO, Isaac ESTEVAN, Julio MARTOS, Fernando MUGARRA a Antonio IRADI, 2009. Influence of the distance in a roundhouse kick's execution time and impact force in Taekwondo. *Journal of Biomechanics* [online]. 42(3), 242–248. ISSN 00219290. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbiomech.2008.10.041
12. FALCO, Coral, Javier MOLINA-GARCÍA, Octavio ÁLVAREZ a Isaac ESTEVAN, 2013. *Effects of target distance on select biomechanical parameters in taekwondo roundhouse kick* [online]. 2013. B.m.: Taylor & Francis. ISSN 17526116. Dostupné z: doi:10.1080/14763141.2013.776626
13. GRYMANOWSKI, Jaromir, Justyna GLINSKA-WLAZ, Pavel RUZBARSKY, Mariusz DRUZBICKI a Krzysztof PRZEDNOWEK, 2019. Analysis of time-space parameters of the front kick using the example of an athlete training in Muay Thai. *Ido Movement for Culture* [online]. 19(1), 107–110. ISSN 20827571. Dostupné z: doi:10.14589/ido.19.1S.17
14. GIANINO, C. (2010). Physics of Karate. Kinematics analysis of karate techniques by a digital movie camera. *Lat.Am. J. Phys. Educ.*, 4(1), 32–34.
15. HECL, J. *Vliv krátkých běžeckých intervalů používaných při taktickém manévru "loupání" na dynamické síly přímého kopu*. Praha, 2020. Bakalářská práce na UK FTVS.
16. JEBAVÝ, R., HOJKA, V., KAPLAN, A. *Kondiční trénink ve sportovních hrách: na příkladu fotbalu, ledního hokeje a basketbalu*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-247-4072-0.
17. KNAPIK, J. J., HARMAN, E. A., STEELMAN, R. A., & Graham, B. S. (2012). A Systematic Review of the Effects of Physical Training on Load Carriage Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 585–597. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182429853>
18. KRAJCIGR, J. *Vliv izokinetické síly a posturálních svalů na dynamické síly, rychlost a úhlovou rychlost přímého kopu bez zátěže a s nesenou zátěží*. Praha, 2021. Diplomová práce na UK FTVS.
19. LARSEN, B., NETTO, K., SKOVLI, D., VINCS, K., VU, S., & AISBETT, B. (2012). Body armor, performance, and physiology during repeated high-intensity work tasks. *Military medicine*, 177(11), 1308–1315. <https://doi.org/10.7205/milmed-d-11-00435>
20. LOVERRO, K. L., BROWN, T. N., COYNE, M. E., & SCHIFFMAN, J. M. (2015). Use of body armor protection with fighting load impacts soldier performance

- and kinematics. *Applied ergonomics*, 46 Pt A, 168–175.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.07.015>
21. LINK, Norman a CHOU, Lily. *Bojová umění - anatomie: ilustrovaný průvodce zapojením svalů v základních kopech, úderech a strzích*. Přeložil Pavla POKORNÁ. Brno: CPress, 2016. ISBN 978-80-264-1147-5.
 22. MĚKOTA, K and NOVOSAD, J. *Motorické schopnosti*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2005. ISBN 80-244-0981-X.
 23. MAJUMDAR, Deepti; PAL, Madhu Sudan a MAJUMDAR, Dhurjati. Effects of military load carriage on kinematics of gait. Online. *Ergonomics*. 2010, roč. 53, č. 6, s. 782-791. ISSN 0014-0139. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00140131003672015>. [cit. 2024-05-24].
 24. MĚKOTA, Karel a BLAHUŠ, Petr. *Motorické testy v tělesné výchově: příručka pro posl. stud. oboru tělesná výchova a sport*. Ilustroval Hana POSPÍŠKOVÁ. *Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství)*. Praha: SPN, 1983.
 25. NORMATIVNÍ VÝNOS MINISTERSTVA OBRANY Č. 12/2011: *Služební tělesná výchova v rezortu Ministerstva obrany*.
 26. OLÁH, V. *Vliv výstroje a výzbroje na aktivaci kosterního svalstva při přímém čelním kopu*. Praha, 2016. Diplomová práce na UK FTVS.
 27. PAPÍK, Richard. *Strategie vyhledávání informací a elektronické informační zdroje*. Brno: Tribun EU, 2011. ISBN isbn 978-80-7399-338-2.
 28. PARK, H., et al. *Effect of armor and carrying load on body balance and leg muscle function*. *Gait & posture*, 2014, 39.1: 430-435.
 29. PERIČ, T and DOVALIL, J. *Sportovní trénink*. Praha: Grada, 2010. Fitness, síla, kondice. ISBN 978-80-247-2118-7.
 30. PORTELA, B. S., BARBOSA, M. R., CAVAZZOTTO, T. G., & TARTARUGA, M. P. (2014). *Kinematics analysis of the front kick with and without impact on traditional karate*. *ARCHIVES OF BUDO*, 10, 47–51.
 31. ŠLEGER, Vladimír a NEUBERGER, Pavel. *Kinematika s příklady od A do Z*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2669-9.
 32. THIBORDEE, Sutima a Orawan PRASARTWUTH, 2014. Effectiveness of roundhouse kick in elite Taekwondo athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology* [online]. 24(3), 353–358. ISSN 18735711. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jelekin.2014.02.002](https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.02.002)

33. VÁGNER, M. *K teorii boje zblízka*. Praha: Karolinum, 2008. ISBN 978-80-246-1476-2.
34. VÁGNER, M. *Speciální tělesná příprava – boj zblízka* 1. vyd. Praha: Karolinum, 2017, 149 s. ISBN 978-80-246-1476-2.
35. VÁGNER, M, et al. *Wearing ballistic and weighted vests increases front kick forces*. ARCHIVES OF BUDO, 2018, 14.
36. VÁGNER, M, et al. *Isokinetic Strength of Rotators, Flexors and Hip Extensors is Strongly Related to Front Kick Dynamics in Military Professionals*. Journal of human kinetics, 2019, 68: 145.
37. VÁGNER, M, et al. *A carried military load increases the impact force and time of a front kick but reduces the peak velocity of the hip and shoulder of the kicking leg*. ARCHIVES OF BUDO, 2020, 16: 69-76.
38. VÁGNER, Michal; CLEATHER, Daniel; KUBOVY, Petr; HOJKA, Vladimír a STASTNY, Petr. Kinematic Determinants of Front Kick Dynamics Across Different Loading Conditions. Online. *Military Medicine*. 2022, roč. 187, č. 1-2, s. e147-e153. ISSN 0026-4075. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/milmed/usaa542>. [cit. 2024-05-27].
39. VÁGNER, Michal; CLEATHER, Daniel J.; KUBOVÝ, Petr; HOJKA, Vladimír a STASTNY, Petr. Principal Component Analysis can Be Used to Discriminate Between Elite and Sub-Elite Kicking Performance. Online. *Motor Control*. 2023, roč. 27, č. 2, s. 354-372. ISSN 1087-1640. Dostupné z: <https://doi.org/10.1123/mc.2022-0073>. [cit. 2024-05-27].
40. VÁGNER, Michal; CLEATHER, Daniel John; OLAH, Vladan; VACEK, Jan a STASTNY, Petr. A Systematic Review of Dynamic Forces and Kinematic Indicators of Front and Roundhouse Kicks across Varied Conditions and Participant Experience. Online. *Sports*. 2023, roč. 11, č. 8. ISSN 2075-4663. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/sports11080141>. [cit. 2024-05-27].
41. VAŠATOVÁ, M. *Svalová zkrácení u mae geri v Karatedó a návrhy kompenzace*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta sportovních studií.
42. VENCESBRITO, Antonio, Marco BRANCO a Renato FERNANDES, 2014. Characterization of kinesiological patterns of the frontal kick Mae-geri in karate experts and non-karate practitioners [online]. (March). Dostupné z: [doi:10.18002/rama.v9i1.1163](https://doi.org/10.18002/rama.v9i1.1163)

43. WĄSIK, J., CZARNY, W., MAŁOLEPSZY, E., ET AL. *Kinematics of Taekwon-do front kick*. Arch Budo Sci Martial Art Extreme Sport. 2015. 11:23-29
44. WĄSIK, Jacek a Tomasz GÓRA, 2016. Impact of target selection on front kick kinematics in taekwondo – pilot study. *Physical Activity Review* [online]. 4, 57–61. ISSN 2300-5076. Dostupné z: doi:10.16926/par.2016.04.07
45. WĄSIK, Jacek, Dorota ORTENBURGER, Tomasz GÓRA, Gongbing SHAN, Dariusz MOSLER, Piotr WODARSKI a Robert A. MICHNIK, 2018. The influence of gender, dominant lower limb and type of target on the velocity of taekwon-do front kick. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* [online]. 20(2), 133–138. ISSN 1509409X. Dostupné z: doi:10.5277/ABB-01085-2018-02.
46. WĄSIK, Jacek, Dorota ORTENBURGER a Tomasz GÓRA, 2019. Studies of kicking of three targets – does sex differentiate the velocity of the taekwondo front kick? [online]. 11(1), 76–82. Dostupné z: doi:10.29359/BJHPA.11.1.08
47. WICHMANN, Wolf-Dieter. *Karate*. České vyd. *Průvodce sportem*. České Budějovice: Kopp, 2003. ISBN 80-7232-197-8.

9 SEZNAM GRAFICKÉ DOKUMENTACE

Obrázek 1: Základní rozdělení služební tělesné výchovy (NVMO 12/2011)	15
Obrázek 2: Schéma struktury výcviku boje zblízka (NVMO 12/2011)	16
Obrázek 3: Levý čelní postoj (zdroj: Lee, 2005)	18
Obrázek 4: Kinogram přímého čelního kopu (Zdroj: Vašatová, 2011)	20
Obrázek 5: Fáze přímého čelního kopu (Wasik a kol., 2015)	21
Obrázek 6: Chodidlo a pata ve vojenské obuvi (zdroj: Pub 71-84-02)	22
Obrázek 7: Bříško chodidla (zdroj: Pub 71-84-02)	22
Obrázek 8: Nesená vojenská zátěž (zdroj: Krajcigr, 2022)	25
Obrázek 9: Gumový samopal simulující dlouhou střelnou zbraň s municí (zdroj: Krajcigr, 2022)	25
Obrázek 10: Model hierarchické struktury komplexu pohybových schopností (Měkota, 2005)	27
Obrázek 11: Siloměrná deska Kistler (zdroj: Hecl, 2020)	33
Obrázek 12: Umístění reflexních markerů (zdroj: Krajcigr, 2022)	33
Obrázek 13: Umístění reflexních markerů a nesená zátěž (zdroj: Krajcigr, 2022)	34
Obrázek 14: Směry souřadnicových os x, y, z (Zdroj: autor)	36
Rovnice 1: Výpočet rychlosti	23
Rovnice 2: Výpočet úhlové rychlosti	23
Rovnice 3: Výpočet vzdáleností mezi body	36
Tabulka 1: Deskriptivní statistika vzdáleností mezi pravou a levou kyčlí, pravým a levým kolenem a pravým a levým kotníkem v jednotlivých souřadnicových osách x, y, z	39
Tabulka 2: Deskriptivní statistika vzdáleností mezi pravou a levou kyčlí, kolenem a kotníkem	40

Tabulka 3: Deskriptivní statistika úhlů v kolenním kloubu při nárazu kopající nohy do pevného cíle.....	42
Tabulka 4: Deskriptivní statistika úhlů v kolenním kloubu stojné nohy při nárazu kopající nohy do pevného cíle.....	42
Tabulka 5: Deskriptivní statistika maximální rychlosti v souřadnicových osách x, y, z kyčle, kolena a kotníku kopající nohy	43