

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Centrum sportovních aktivit

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2024

Matouš Illek



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

CENTRUM SPORTOVNÍCH AKTIVIT

CENTRE OF SPORTS ACTIVITIES

VALIDACE DYNAMOMETRU MICROFET PRO MĚŘENÍ SÍLY DOLNÍCH KONČETIN

VALIDATION OF THE MICROFET DYNAMOMETER FOR MEASUREMENT OF LOWER LIMB STRENGTH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Bachelor's THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matouš Illek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Jan Šťastný, Ph.D.

BRNO 2024

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Sportovní technologie**

Centrum sportovních aktivit

Student: Matouš Illek

ID: 217251

Ročník: 3

Akademický rok:2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Validace dynamometru MicroFET pro měření síly dolních končetin

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Provedte literární rešerši použití dynamometru pro analýzu svalové síly dolních končetin
- 2) Navrhněte metodiku měření svalové síly dolních končetin dynamometrem MicroFET a způsob validace pomocí izokinetického dynamometru.
- 3) Navrhněte metodiku hodnocení naměřených dat.
- 4) Provedte pilotní testování a vyhodnocení dat.
- 5) Provedte testovací a tréninkový protokol na zvolené skupině sportovců
- 6) Provedte vyhodnocení a diskusi získaných výsledků.

Pro splnění semestrálního projektu je nutné vypracování alespoň bodů 1) až 4).

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Dirnberger J., Wiesinger H., Stöggli T., Kösters A., Müller E. Sportverletz Sportschaden, Absolute and relative strength-endurance of the knee flexor and extensor muscles: a reliability study using the IsoMed 2000-dynamometer. 2012, 26(3):142-7
- [2] Seynnes O.R., Koesters A., Gimpl M., Reifberger A., Niederseer D., Niebauer J., Pirich C., Müller E., Narici M.V. Effect of alpine skiing training on tendon mechanical properties in older men and women. 2011, Scand J Med Sci Sports, 21 Suppl 1: 39–46

Termín zadání: 2.5.2024

Termín odevzdání: 24.5.2024

Vedoucí práce: Mgr. Jan Šťastný, Ph.D.

doc. PaedDr. Pavel Korvas, CSc.

předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Tato semestrální práce se zaměřuje na hodnocení izometrické síly dolních končetin prostřednictvím ručního dynamometru MicroFet2 ve srovnání s laboratorním dynamometrem IsoMed2000. Úvodní část zdůrazňuje klíčový význam měření této síly pro sledování tréninkového procesu a identifikaci svalových dysbalancí, které mohou přispívat k zraněním. Do nedávna bylo toto měření obtížné kvůli nepraktičnosti a vysokým nákladům na dostupné přístroje.

Cílem práce je analyzovat a porovnat výsledky měření izometrické síly provedené oběma zařízeními, MicroFet2 a IsoMed2000, s důrazem na validitu a spolehlivost ručního dynamometru. Pilotní měření bylo prováděno na hlavním pohybu kolenního kloubu, konkrétně při flexi a extenzi. Validita byla posuzována porovnáním naměřených hodnot obou dynamometrů.

V dnešní době, kde měřicí zařízení hrají klíčovou roli ve sportovním světě, je klíčové zkoumat, zda přenosný a relativně cenově dostupný ruční dynamometr MicroFet2 může poskytnout přesné a spolehlivé výsledky, které by mohly konkurovat laboratornímu dynamometru IsoMed2000.

Závěr práce shrnuje, že ruční dynamometr MicroFet2 představuje cenově dostupnou a pohodlnou alternativu pro měření izometrické síly. Nicméně, je upozorněno na možné ovlivnění výsledků různými faktory a omezenou spolehlivost dynamometru. Práce navrhuje novou zkušební metodu pro zvýšení spolehlivosti měření a diskutuje o výsledcích v kontextu praktického využití v sportovních týmech. Pro další výzkumy jsou navrženy statistické analýzy, které by mohly přispět k objektivnímu porovnání obou typů dynamometrů.

Klíčová slova

Validita, dynamometrie, maximální izometrická síla, dolní končetina, kolenní kloub

Abstract

This term paper focuses on the assessment of lower limb isometric strength using the MicroFet2 handheld dynamometer in comparison to the IsoMed2000 laboratory dynamometer. The introduction highlights the key importance of measuring this strength to monitor the training process and identify muscle imbalances that may contribute to injury. Until recently, this measurement has been difficult due to the impracticality and high cost of available devices.

The aim of this study is to analyze and compare the results of isometric force measurements made by the two devices, MicroFet2 and IsoMed2000, with emphasis on the validity and reliability of the handheld dynamometer. The pilot measurements were performed on the main movement of the knee joint, namely flexion and extension. Validity was assessed by comparing the measured values of both dynamometers.

In this day and age, where measuring devices play a key role in the sporting world, it is crucial to investigate whether the portable and relatively affordable MicroFet2 handheld dynamometer can provide accurate and reliable results to compete with the IsoMed2000 laboratory dynamometer.

The paper concludes that the MicroFet2 handheld dynamometer provides an affordable and convenient alternative for isometric force measurement. However, the possible influence of various factors on the results and the limited reliability of the dynamometer are pointed out. The paper proposes a new test method to improve the reliability of the measurements and discusses the results in the context of practical use in sports teams. Statistical analyses are proposed for further research that could contribute to an objective comparison between the two types of dynamometers.

Keywords

Validity, dynamometry, maximum isometric force, lower limb, knee joint

Bibliografická citace

Citace tištěné práce:

ILLEK, Matouš. *Validace dynamometru MicroFET pro měření síly dolních končetin*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/159349>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Centrum sportovních aktivit, Centrum sportovních aktivit. Vedoucí práce Jan Šťastný.

Citace elektronického zdroje:

ILLEK, Matouš. *Validace dynamometru MicroFET pro měření síly dolních končetin* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-23]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/159349>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Centrum sportovních aktivit, Centrum sportovních aktivit. Vedoucí práce Jan Šťastný.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem správně a úplně uvedl všechny použité literární zdroje. Bakalářská práce je majetkem Centra sportovních technologií Vysokého učení technického v Brně a může být použita ke komerčním účelům pouze se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana VUT v Brně.

jméno studenta

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil upřímné poděkování svému vedoucímu bakalářské práce, panu Mgr. Janovi Šťastnému Ph.D., za jeho neocenitelnou podporu, odborné rady a trpělivost během mého výzkumu a psaní práce. Jeho cenné poznámky a směřování mi byly velkým přínosem a pomohly mi dosáhnout lepších výsledků. Velké díky za jeho čas, energii a podporu, které věnoval mému akademickému růstu. Jsem vděčný za tuto příležitost spolupracovat s ním a za všechno, co mi poskytl.

Obsah

1. Teoretická část.....	10
1.1. Svalové tkáně.....	10
1.1.1. Svalstvo příčně pruhované – kosterní	10
1.1.2. Obecné funkce kosterní svaloviny.....	10
1.2. Vznik síly ve svalu	11
1.2.1. Svalové kontrakce.....	11
1.2.1.1. Izokinetická kontrakce (dynamická).....	11
1.2.1.2. Izomerická kontrakce	12
1.3. Dynamometrie.....	12
1.3.1. Izometrická dynamometrie	13
1.3.2. Izokinetická dynamometrie	13
1.4. Ruční dynamometrie	13
1.4.1. Typy ručních dynamometrů	14
1.4.1.1. Mechanické ruční dynamometry	14
1.4.1.2. Elektronické ruční dynamometry	15
1.4.1.3. Digitální ruční dynamometry.....	15
1.4.1.4. Hydraulické ruční dynamometry	16
1.4.1.5. Pneumatické ruční dynamometry	17
1.5. Aktuální přístupy v analýze silových schopností	17
1.5.1. Laboratorní testování	18
1.5.2. Terénní testování.....	18
2. Praktická část.....	19
3. Cíl práce	19
4. Výzkumné otázky	19
5. Metodika měření.....	19
5.1. Účastníci výzkumu	20
5.2. Postup měření	20
5.3. Testovací protokoly	21
5.4. Statistické zpracování výsledků	25
6. Výsledky.....	26
6.1. Naměřená data.....	26
6.2. Výsledky ze statistické analýzy naměřených výsledků	32
7. Diskuze.....	35
8. Závěr.....	36
Použitá literatura.....	37

Seznam obrázků	39
Seznam tabulek.....	40
Seznam grafů.....	41

ÚVOD

Lze prokázat, že kořeny dynamometrie sahají do prvních desetiletí 19. století, kde byla dynamometrie metodou měření lidské síly. Jedním z prvních pokusů bylo používání jednoduchých mechanických zařízení k posouzení síly svalů. Přibližně ve stejném období byly vyvinuty první ruční dynamometry (HHD), které umožňovaly hrubou kvalifikaci svalové síly rukou [7].

S postupem do druhé poloviny 19. století byl vědecký zájem o měření svalové síly stále více patrný. Fyziologové a lékaři začali zkoumat svalovou aktivitu a hledat objektivní metody pro hodnocení svalové funkce. Jedním z průlomových okamžiků bylo vytvoření mechanických zařízení, která umožňovala měření síly v jednotlivých svalových skupinách [7][9].

Měřením izometrické síly dolních končetin můžeme získat klíčové parametry pro sledování tréninkového procesu nebo k zjištění svalových oslabení, neboť právě z důvodu svalovým dysbalancím dochází ke zraněním. Do nedávna bylo takové měření téměř nemožné, neboť nepřenositelná povaha a vysoká cena většiny přístrojů pro měření svalové kontrakce neumožňovala dostupné měření v terénních podmínkách. Tato semestrální práce hodnotí validitu a spolehlivost ručního dynamometru k posouzení maximální síly svalů dolních končetin. Pilotní měření bylo prováděno na hlavním pohybu kolenního kloubu: flexe-extenze. Validita byla zjišťována komparací naměřených hodnot z ručního dynamometru a z izokinetického dynamometru [12].

V dnešní době měřicí zařízení, ať už to jsou dynamometry, spirometry nebo GPS trackery a jejich výstupy hýbou světem sportu. Každý trenér, který trénuje svůj tým nebo individualisty, chce nějaký hmatatelný důkaz, že jeho tréninkové metody posouvají sportovce k lepším výkonům. Bohužel si každý trenér nebo klub nemůže dovolit drahé laboratorní zařízení nebo každý týden/měsíc posílat sportovce na zátěžové testy nebo sportovní prohlídky. Proto se tato semestrální práce zabývá, zda přenosný a relativně cenově dostupný dynamometr, může svou přesností konkurovat drahým laboratorním dynamometrům [13].

1. Teoretická část

1.1. Svalové tkáně

Svalové tkáně jsou nedílnou součástí každého pohybu těla. Lidské tělo je tvořeno přibližně z 600 svalů, z toho většina jsou párová. Jsou složené z podlouhlých smrštitelných elementů nazvané sarkoplasma. Rozeznáváme tři hlavní druhy svalových tkání: svalstvo hladké, svalstvo příčně pruhované a svalstvo příčně pruhované srdeční [3].

Tato práce se bude dále zabývat pouze svalstvem příčně pruhovaným.

1.1.1. Svalstvo příčně pruhované – kosterní

Kosterní svalstvo neboli příčně pruhované je základní aktivní složkou svalu [3] (dokážeme ji ovládat vlastní vůlí). Díky koordinované kontrakci a relaxaci nám umožňuje pohyb, což je také její primární funkce. Aby mohl sval vykonávat pohyb musí být připojen ke kosti prostřednictvím šlach (někdy přímo) [8]. Avšak některé svaly se upínají do kloubních pouzder (musculi articulares) nebo do kůže (musculi cutanei), nikoli ke kosti [3].

Základní stavební jednotkou struktury kosterního svalstva je svalového vlákno, uvnitř kterého jsou smrštitelné, podélně uspořádané myofibrily. Svalové vlákno představuje podlouhlou cylindrickou buňku s mnoha jádry, která má velikost mezi 10 až 100 mikrometry na šířku několik milimetrů až přes 30 centimetrů na délku. Cytoplazmu této buňky označujeme jako sarkoplasma; tato část je obklopena buněčnou membránou známou jako sarkolema. Každé svalové vlákno je dále obklopeno tenkou membránou zvanou endomyzium. Svalová vlákna jsou seskupená do svalových snopců, které jsou obaleny perimyziem. Tyto svalové snopce se spojují dohromady a celý sval je ohraničen membránovou pochvou, známou jako epimyziem. Tato svalová membrána pokrývá celou délku svalu od začátku šlachy až po její úpon. Tuto komplexní strukturu někdy nazýváme muskulotendinózní jednotka [8].

Červené zbarvení svalových tkání je způsobeno barvivem zvané myoglobin obsažené ve vláknech. Toto barvivo je podobné krevnímu barvivo (hemoglobinu), které se vyskytuje v červených krvinkách [3].

Při detailnějším popisu struktury svalové tkáně, od nejmenších částí až po celý celek, můžeme identifikovat následující strukturu: myofibrily, endomyzium, svalové snopce, perimyziem, epimyziem, hlubokou fascii a povrchovou fascii [8].

1.1.2. Obecné funkce kosterní svaloviny

- **Umožňuje pohyb** – kosterní svalstvo odpovídá za pohyb a jeho ovládní, poskytuje okamžitou odpověď.
- **Zachovává vzpřímený postoj** – kosterní svalstvo poskytuje podpěru při vzpřímeném postoji vůči gravitaci.
- **Stabilizuje klouby** – kosterní svalstvo (společně s šlachami) stabilizují klouby.
- **Generují teplo** – kosterní svalstvo s hladkou a srdeční svalovinou udržují normální tělesnou teplotu, díky generovanému teplu [8].

1.2. Vznik síly ve svalu

Vznik síly ve svalu spočívá v komplexním procesu, který se odehrává uvnitř svalových vláken. Když sval pracuje, probíhá ve svalové buňce mnoho důležitých procesů. Uvnitř buňky jsou buněčná jádra a mitochondrie, které fungují jako buněčné buňky, získávající energii ze sacharidů [1].

Hlavní roli při kontrakci svalu hrají myofibrily, extrémně dlouhá vlákna skládající se z mnoha podélně uspořádaných kontraktilních proteinových vláken – aktinových a myozinových myofilamentů. Tyto filamenty spolu kloužou, což pomůže zkrácení svalové buňky, známé jako sarkoméra. Tento proces se opakuje v mnoha svalových vláknech, což vede ke skutečné kontrakci svalu, kterou můžeme pozorovat například u bicepsu [3][8].

Aby došlo k samotné kontrakci, musí kontraktilní prvky nebo svalová vlákna obdržet signál z mozku, nazývaný akční potenciál. Tento nervový impulz přenáší přes motorické ploténky ve svalové tkáni. nervové vlákno inervuje každé vlákno svalu, ale nikdy nejsou aktivována současně všechna vlákna. Tento mechanismus chrání sval a zároveň šetří energii, což umožňuje dlouhodobější výkonnost. Během jedné kontrakce sval dokáže střídat vyčerpaná a svěží vlákna, aniž byste to pocítovali [1].

1.2.1. Svalové kontrakce

Při stimulaci svalových vláken dochází ke kontrakci svalu. Nemusí však pokaždé dojít k pohybu (ke zkrácení svalu), zvýší se pouze napětí svalu. Takovou kontrakci nazýváme izomerická. Pokud k pohybu dochází a sval tak mění svou délku, nazýváme kontrakci izotonická [8][1].

1.2.1.1. Izokinetická kontrakce (dynamická)

Izokinetická kontrakce nastává, když sval vykonává nějaký pohyb. Rozdělujeme ji ještě na dva typy (koncentrická, excentrická).

- I. Koncentrická kontrakce je taková kontrakce, při které dochází ke zkrácování svalu a následném zvětšování svalového břicha. Jedná se o pohyb, kdy se svalové úpony pohybují směrem k sobě a umožňují tak pohyb v kloubu. Příkladem může být dvojhlavý sval pažní, který při koncentrické kontrakci zvedá ruku k ramenní a dochází tak jeho flexi [3][8].
- II. Excentrická kontrakce nastává, kde se sval naopak natahuje. Svalová vlákna pracují pod kontrolou a zpomalují pohyb (brzdící, decelerační) v případě, kdy gravitace pohyb značně zrychluje. Příkladem může být u bicepsu opětovné spuštění ruky k trupu nebo jednoduché sednutí si na židli. Hlavním rozdílem mezi kontrakcí koncentrickou a excentrickou je tedy takový, že při koncentrické kontrakci se sval zkracuje a při excentrické kontrakci se sval natahuje [3][8].

1.2.1.2. Izomerická kontrakce

Izometrická kontrakce nastává, když sval generuje napětí, ale neprobíhá zde změna jeho délky. Jinými slovy, sval se stahuje, ale nedochází k pohybu v kloubu, přes který sval pracuje. To je dobře vidět při situacích, kdy držíte paži s ohnutým loktem nebo se snažíte zvednout předmět, který je příliš těžký [3][8].

Je také důležité poznamenat, že některé posturální svaly automaticky fungují, aby udržely tělesnou stabilitu. Například, když stojíte vzpřímeně, svaly lýtek kontrahují izometricky, aby zabránily sklánění těla vpřed v kotnících. Stejně tak svaly zadního krku fungují izometricky, udržují tak hlavu vzpřímenou a částečně brání jejímu naklánění vpřed, což je reakce na gravitační vliv na lebku [3][8].

1.3. Dynamometrie

Dynamometrie představuje vědní obor zabývající se měřením svalové síly, což je klíčový aspekt pro diagnostiku, trénink a sledování sportovního výkonu. Tato disciplína nabízí širokou škálu metod pro měření svalové síly, od ručních dynamometrů po sofistikované elektronické systémy a má uplatnění v různých sportovních disciplínách [12].

Jednou z hlavních možností měření svalové síly je použití ručních dynamometrů. Tyto přenosné zařízení jsou často využívány v klinickém prostředí pro měření síly konkrétních svalových skupin. Sportovci, fyzioterapeuti a výzkumníci mohou využít ruční dynamometrii k sledování pokroku v rehabilitaci po zranění nebo k identifikaci oblastí potřebujících posílení v rámci tréninku [9].

Další pokročilou metodou je izokinetická dynamometrie. Tato technika umožňuje měřit sílu svalů při konstantní rychlosti pohybu. Izokinetické dynamometry jsou často využívány v laboratorním prostředí a poskytují komplexní data o svalové výkonnosti. Tato zařízení jsou schopna monitorovat sílu svalů při různých úhlových rychlostech, což poskytuje detailní pohled na svalovou dynamiku [10].

Elektronické dynamometry jsou další variantou, která využívá moderní technologie pro přesnější měření svalové síly. Tyto zařízení mohou být vybavena senzory a softwarem pro analýzu pohybu, což umožňuje komplexní hodnocení svalové aktivity. Elektronické dynamometry jsou často integrovány do výzkumných studií, které zkoumají specifické aspekty svalové funkce nebo efektivitu tréninkových intervencí [9].

V poslední době se také rozvíjí metody měření svalové síly pomocí bezkontaktních technologií, jakou jsou senzory umístěné na těle sportovce. Tyto senzory mohou sledovat pohyby svalů a poskytovat real-time data o síle a dynamice svalové kontrakce. Tato inovativní technologie má potenciál přinést nové perspektivy do analýzy sportovního výkonu [13].

Možnosti dynamometrie ve sportu jsou široké a komplexní. Měření svalové síly není pouze klíčové pro sledování pokroku a posílení svalů, ale také pro prevenci zranění a optimalizaci tréninkových programů. Kombinace různých metod měření, včetně ručních, izokinetických a elektronických dynamometrů, umožňuje sportovcům a trenérům získat komplexní a přesné informace o svalové výkonnosti, což v konečném důsledku přispívá k dosažení maximálního potenciálu ve sportu [12].

1.3.1. Izometrická dynamometrie

Izometrická dynamometrie je metoda měření svalové síly, která se zaměřuje na sledování kontrakce svalu bez pohybu kloubů. Tato metoda poskytuje důležité informace o svalové síle a vytrvalosti a nachází široké uplatnění v různých oblastech, včetně lékařství, fyzioterapie, sportovního výzkumu a cvičení [11].

Princip izometrické dynamometrie spočívá ve vytváření odporu proti kontrakci svalu, aniž by docházelo k pohybu kloubů. To se obvykle provádí pomocí speciálních zařízení nazývaných izometrické dynamometry. Tyto zařízení umožňují měření síly, kterou sval vyvíjí při konkrétní izometrické kontrakci. Výsledky těchto měření jsou poté analyzovány a používány k hodnocení svalového stavu, sledování postupu v rehabilitaci nebo posouzení sportovní výkonnosti [9].

1.3.2. Izokinetická dynamometrie

Izokinetická dynamometrie je metoda měření svalové síly a funkce pomocí zařízení nazývaného izokinetický dynamometr. Tato technika umožňuje kontrolované pohyby v definované rychlosti a měření síly svalů při těchto pohybech. Princip izokinetické dynamometrie spočívá v udržení konstantní rychlosti pohybu kloubu, což umožňuje přesné měření maximální síly svalů v různých úhlech pohybu [17][18].

Tato metoda je široce využívána v oblastech sportovní medicíny, fyzioterapie a výzkumu pohybového aparátu. Tento typ měření umožňuje diagnostiku svalových nerovnováh, sledování rehabilitace po zranění a optimalizaci výkonnosti sportovců [17][18].

Studie provedené v oblasti sportovní medicíny ukazují, že izokinetická testování mohou předpovědět riziko sportovních zranění a pomoci v optimalizaci tréninkového programu. Další výzkumy se zaměřují na využití izokinetické dynamometrie k hodnocení účinnosti fyzioterapeutických intervencí u pacientů s různými ortopedickými a neurologickými diagnózami [17][18].

1.4. Ruční dynamometrie

Ruční dynamometrie je metoda měření svalové síly, která se zaměřuje na kvantitativní hodnocení síly vyvinuté konkrétní svalovou skupinou. Tato technika se často používá v lékařství, fyzioterapii, sportovním výzkumu a ergonomii. Hlavním prvkem ruční dynamometrie je ruční dynamometr [5].

Ruční dynamometry fungují na principu měření odporu, který pacient nebo jednotlivec vyvíjí při stisku dynamometru. Výsledné hodnoty poskytují objektivní data o svalové síle, což je užitečné pro hodnocení fyzického stavu pacientů. V kontextu sportu mají HHD významnou roli při sledování a optimalizaci výkonnosti svalů v končetinách [5].

Pro svaly dolních končetin může ruční dynamometr sloužit k objektivnímu hodnocení síly a vytrvalosti při různých pohybových aktivitách, jako jsou skoky, běh, výpady a další. Tato měření umožňují trenérům a sportovcům získat kvantitativní data o svalové funkci, identifikovat případné asymetrie nebo slabiny a optimalizovat tréninkový režim.

Výzkum s využitím ručních dynamometrů může poskytnout cenné informace o dynamice svalové síly při různých fázích pohybu, což pomáhá při navrhování specifických tréninkových programů pro sportovce. Trenéři mohou také využít tato měření k sledování pokroků sportovců v průběhu času a přizpůsobení tréninkových strategií podle individuálních potřeb [11][12].

1.4.1. Typy ručních dynamometrů

Existuje několik druhů ručních dynamometrů, které se liší svými vlastnostmi, konstrukcí, mechanismem měření a způsobem zobrazení výsledků. Mezi základní druhy ručních dynamometrů řadíme – mechanické, elektronické, digitální, hydraulické, pneumatické [16] [3].

1.4.1.1. Mechanické ruční dynamometry

Mechanické dynamometry používají mechanický systém (často pružinu), který měří aplikovanou sílu. Jsou obvykle odolné a nemají žádné elektronické části, což je činí vhodnými pro terénní použití. Jejich hlavní nevýhodou je, že mohou být citlivé na opotřebení a mohou vyžadovat pravidelnou údržbu [16].

Jamar Hydraulic Hand Dynamometer: Tento dynamometr využívá hydraulický systém k měření stiskové síly ruky. Je široce používán v lékařských a rehabilitačních prostředích [16].

Baseline Hydraulic Hand Dynamometer: Další příklad mechanického ručního dynamometru s hydraulickým systémem. Poskytuje přesné měření síly stisku ruky a je oblíbený pro klinické účely [16].



Obrázek 1: Jamar Hydraulic Hand Dynamometer



Obrázek 2: Baseline Hydraulic Hand Dynamometer

1.4.1.2. Elektronické ruční dynamometry

Elektronické dynamometry používají senzory a elektroniku k měření síly. Poskytují přesnější měření a obvykle mají možnost ukládání dat a dalších funkcí. Mohou být citlivější na nárazy a vlhkost, což může ovlivnit jejich přesnost a spolehlivost [3].

MicroFET2 Handheld Dynamometer: Tento elektronický ruční dynamometr je vybaven senzory a digitálním displejem, který zobrazuje měřené hodnoty síly. Je vhodný pro přesné měření a sledování síly rukou a paží [3].

JTech Commander PowerTrack II Dynamometer: Příklad elektronického dynamometru s pokročilými funkcemi, včetně možnosti ukládání dat a propojení s počítačem pro analýzu výsledků [3].



Obrázek 3: MicroFet2 Handheld Dynamometer



Obrázek 4: JTech Commander PowerTrack II Dynamometer

1.4.1.3. Digitální ruční dynamometry

Digitální dynamometry jsou speciálním typem elektronických dynamometrů, které mají digitální displej pro zobrazení měřených hodnot. Nabízejí snadné čtení a interpretaci výsledků. Mohou mít různé funkce, jako je ukládání dat, výpočty apod [16].

Baseline Digital Smedley Spring Dynamometer: Tento dynamometr kombinuje digitální technologii s pružinovým systémem pro měření síly stisku ruky. Poskytuje přesné digitální čtení výsledků [16].

CAMRY Digital Hand Dynamometer: Jednoduchý digitální dynamometr vhodný pro rychlé a přesné měření síly rukou. Má kompaktní design a snadné ovládání [16].



Obrázek 5: Baseline Digital Smedley Spring Dynamometer



Obrázek 6: CAMRY Digital Hand Dynamomet

1.4.1.4. Hydraulické ruční dynamometry

Hydraulické dynamometry využívají tekutinu (obvykle olej) jako prostředek k měření síly. Jsou obvykle robustní a vhodné pro náročné podmínky. Jejich hlavní nevýhodou může být složitější kalibrace a údržba [3].

Baseline Hydraulic Pinch Gauge: Tento hydraulický dynamometr je speciálně navržený pro měření síly stisku prstů. Poskytuje přesné a spolehlivé výsledky [3].

JTech Commander Echo Wireless Dynamometer: Příklad moderního hydraulického dynamometru s bezdrátovou technologií, který umožňuje pohodlné a bezproblémové měření síly rukou [3].



Obrázek 7: Baseline Hydraulic Pinch Gauge



Obrázek 8: JTech Commander Echo Wireless Dynamometer

1.4.1.5. Pneumatické ruční dynamometry

Pneumatické dynamometry využívají stlačený vzduch k měření síly. Mohou být vhodné pro specifické aplikace, jako je měření rychlosti a síly. Mohou vyžadovat stabilní dodávku stlačeného vzduchu pro správnou funkci [16].

Lode Pneumatic Hand Dynamometer: Tento pneumatický dynamometr využívá stlačený vzduch k měření síly ruky. Je navržen pro precizní měření a poskytuje stabilní výsledky [16].



Obrázek 9: Lode Pneumatic Hand Dynamometer

Každý typ ručního dynamometru má své výhody a nevýhody a je vhodný pro určité aplikace. Při výběru je důležité zvážit požadovanou přesnost, odolnost, funkce a prostředí použití [16][3].

1.5. Aktuální přístupy v analýze silových schopností

Testování silových schopností, známý také jako dynamometrie, je proces, který má za cíl primárně zjistit úroveň a projev konkrétních silových schopností jedné nebo více svalových struktur během různých druhů pohybů. Zjišťování aktuální výkonnosti jednotlivce je tedy hlavním úkolem. Sekundárně se také snažíme zjistit účinnost případných zásahů nebo změn výkonnosti během delšího časového období (longitudinální pozorování). Proto jsou výsledky dynamometrie užitečné nejen pro hodnocení úrovně, ale i pro specifické nastavení případných zásahů, pokud je doporučeno měnit tyto silové schopnosti prostřednictvím sportovního tréninku. Zvyšování silového výkonu při snižování rizika zranění je aktuálním tématem v dnešním sportovním prostředí. Testy mohou být prováděny v laboratorních nebo terénních podmínkách a mohou být zaměřeny na uzavřené nebo otevřené kinetické řetězce pro dynamické nebo statické pohyby [15].

1.5.1. Laboratorní testování

Laboratorní testování probíhá ideálně v neměnných, standardizovaných podmínkách (např. bez hluku, při optimální teplotě) a za možnosti využití moderních technologií s vysokou přesností a automatickostí měření, kde jsou minimalizovány vnější vlivy, které by mohly znepráchnit měření. Získaná data ze standardizovaných podmínek jsou významnější z hlediska analýzy než data získaná z terénního testování. Avšak i tento způsob testování má své nevýhody, a to časová a finanční náročnost, vysoká preciznost a kvalifikace personálu.

Přesné laboratorní testy se více uplatňují ve výzkumu než v praxi [14].

Pro vypracování této práce jsem využil laboratorní testování pomocí izokinetického dynamometru IsoMed2000, kde byly testovány dva druhy pohybu v kolenním kloubu (flexe, extenze) v izometrické kontrakci.

1.5.2. Terénní testování

Standardizovaně se hodnotí provedení vybraných tělesných cvičení prostřednictvím terénního testování. Pro terénní testování lze využít běžně dostupné prostředí (např. atletický stadion, hřiště, tělocvična). Převážně se jedná o testy hodnotící zdatnost sportovce, které jsou součástí testové baterie. Mezi výhody terénního testování jednoznačně patří finanční dostupnost a možnost realizace testu ve větších skupinách sportovců. Také může test provádět kdokoliv, kdo je proškolen, tudíž není potřeba kvalifikovaného personálu. Mezi nevýhody patří jednoznačně obtížně ovlivnitelné prostředí, ve kterém bude test provede. Také pokud bude test prováděn pomocí přenosného zařízení, musíme počítat s lidským faktorem, který může výsledky testu znatelně zkreslit [6].

Pro vypracování této práce jsem využil terénní testování pomocí ručního dynamometru MicroFet2, kde byly testovány dva druhy pohybu v kolenním kloubu (flexe, extenze) v izometrické kontrakci ve dvou různých polohách (vsedě, v leže) [14].

Ve studii Doenes z roku 1994, ve které se zkoumal vztah mezi hodnotami maximální izometrické kontrakce ručního dynamometru a hodnotami maximální izometrické kontrakce izokinetického dynamometru při hodnocení výkonu čtyřhlavého svalu kolenního. Vzájemný vztah byl zkoumán pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Měření probíhalo ve dvou úhlech v kolenu. Při úhlu 0 stupňů nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl mezi rozptyly výběrů. Při druhém měření, kdy bylo koleno v úhlu 60 stupňů, byl odhalen významný rozdíl mezi výběry. Vzájemný korelační koeficient ($r = 0,57$ až $0,80$) naznačuje silnou korelaci mezi zařízeními. Tato studie došla k závěru, že jsou zjištěné korelace zavádějící, protože testované svaly kvadricepsu kolenního vytvářely větší sílu, než mohl průměrně silný hodnotitel odolat [4].

2. Praktická část

3. Cíl práce

Cílem práce "Validace dynamometru MicroFet2 pro měření síly dolních končetin" je provést komplexní a systematickou analýzu spolehlivosti, přesnosti a srovnatelnosti dynamometru MicroFet2 s jinými etablovanými metodami měření síly dolních končetin (Izokinetický dynamometr). Hlavním úkolem bude ověřit schopnost dynamometru MicroFet2 poskytovat konzistentní a spolehlivé výsledky při měření síly svalů dolních končetin.

4. Výzkumné otázky

Otázka „A“: Přibližují se hodnoty maximální síly naměřené ručním dynamometrem v poloze v **sedě** hodnotám maximální síly naměřené izokinetickým dynamometrem v izometrické kontrakci při **extenzi** kolene?

Otázka „B“: Přibližují se hodnoty maximální síly naměřené ručním dynamometrem v poloze v **sedě** hodnotám maximální síly naměřené izokinetickým dynamometrem v izometrické kontrakci při **flexi** kolene?

Otázka „C“: Přibližují se hodnoty maximální síly naměřené ručním dynamometrem v poloze **vleže** hodnotám síly naměřené izokinetickým dynamometrem v izometrické kontrakci při **extenzi** kolene?

Otázka „D“: Přibližují se hodnoty maximální síly naměřené ručním dynamometrem v poloze **vleže** hodnotám síly naměřené izokinetickým dynamometrem v izometrické kontrakci při **flexi** kolene?

5. Metodika měření

Měření bylo realizováno v Laboratoři sportovní motoriky na ústavu Centra sportovních technologií v Brně. Testy byly prováděny na mužských subjektech. Měřený subjekt byl pokaždé před zahájením testování obeznámen s testovacími protokoly a bylo mu doporučeno, aby si před započítím testů řádně zahřál a protáhl dolní končetiny, abychom tak předcházely zranění. Poté mu byl předložen informovaný souhlas, kde byly veškeré informace o testech, které bude dobrovolně podstupovat a ten byl poté testovaným subjektem podepsán.

Před započítím testování byly u každého účastníka zjištěny základní antropometrické parametry, konkrétně byla změřena tělesná výška (Tanita WB-380 H, Japonsko), tělesná hmotnost (InBody770, Jižní Korea) a délku páky, kterou se rozumí vzdálenost mezi osou kolenního kloubu (*Articulatio genus*) a osou kloubu hlezenního (*Articulatio talocruralis*). Tato vzdálenost byla měřena krejčovským metrem, kdy měl účastník koleno v plné extenzi.

Aby bylo možné porovnat všechny naměřené maximální síly, získané pomocí ručního dynamometru [N] s maximálním točivým momentem [Nm], který byl měřen izokinetickým dynamometrem, bylo nutné změřit délku mezi hlezenním a kolenním kloubem. Následně se získané hodnoty v jednotkách točivého momentu [Nm] podělili s naměřenou délkou páky, tak aby došlo k převodu jednotek na hodnoty síly [N].

Do statistického zpracování byly vybrány maximální hodnoty naměřené na obou končetinách při flexi a extenzi kolenního kloubu.

5.1. Účastníci výzkumu

Pro validaci ručního dynamometru bylo vybráno 13 účastníků mužského pohlaví, kteří jsou pohybově aktivní napříč různými sporty na amatérské úrovni.

Tabulka 1: Základní a antropometrické údaje účastníků výzkumu.

číslo účastníka	věk	váha[kg]	výška[cm]	délka páky[cm]
1	23	86	179	33
2	23	84	178	33.5
3	22	83	183	35.5
4	24	65	183	36
5	22	83	172	36.5
6	23	83	179	35
7	24	75	172	34
8	22	66	178	38
9	22	76	187	44.5
10	21	80	191	43.5
11	23	96	189	40.5
12	22	115	191	43
13	21	78	173	39.5
PRŮMĚR	22.46	82.31	181.15	37.88
SD	0.93	12.27	6.56	3.81

5.2. Postup měření

Měření provedená pomocí ručního dynamometru MikroFet2 byla realizována ve dvou různých polohách: první poloha byla v sedě a druhá poloha byla vleže na břiše. Provedená měření využívala běžně dostupné pomůcky, což umožnilo jejich provádění v terénním měření.

Každý účastník podstoupil celkem tři různá měření. První měření bylo provedeno v sedě pomocí ručního dynamometru, druhé měření bylo vleže také za pomoci ručního dynamometru a třetí měření bylo prováděno v sedě pomocí izokinetického dynamometru IsoMed2000.

Terénní výsledky byly následně porovnány s výsledky získanými pomocí izokinetického dynamometru.

Měření bylo prováděno minimálně třikrát na každé noze v pohybu flexe nebo extenze v kolenním kloubu, aby bylo dosaženo naměření maximální síly, která byla následně vybrána do statistického zpracování.

Jak je známo ze studie Doenes z roku 1994 [4] se spolehlivost ručního dynamometru zvyšuje, když je hodnotitel silnější než testovaný subjekt. S podobným problémem se potýkalo měření na testovaných účastnících v této práci, kdy bylo obtížné udržet kolenní kloub svírající 90 stupňů. Proto se zvolilo řešení, takové, že byla použita dřevěná tyč, kterou si hodnotitel přiložil na oblast bérce, na kterou byl následně přiložen ruční dynamometr (viz. obr.1). Hodnotitel musel být i opřený zády ke zdi, či jinému pevnému bodu, aby nedocházelo odsunutí či jinak znehodnocení měření. Tímto způsobem bylo zajištěno, že testovaný účastník mohl vyvinout maximální sílu dolních končetin a nedošlo ke změně úhlu v kolenním kloubu.

5.3. Testovací protokoly

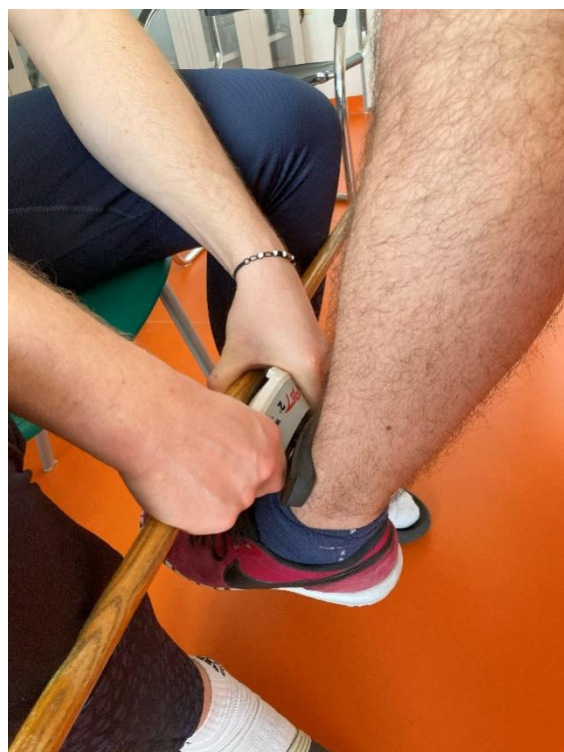
Pro validaci ručního dynamometru MicroFet2 byly použity dva testovací protokoly, které se lišily polohou měřeného účastníka. V prvním testovacím protokolu účastník seděl na lavici a v druhém testovacím protokolu ležel účastník na břiše čelem k zemi. V třetím testovacím protokolu byl využit izokinetický dynamometr IsoMed2000 pro získání referenčních hodnot k porovnání.

Testovací protokol 1 (MicroFet2 – izometrický test v sedě)

- 1) Zahřátí a protažení měřených svalových skupin účastníka, aby nedošlo ke zranění či křeči.
- 2) Usazení účastníka na lavici či stůl, tak aby dolní končetiny vysely kolmo dolů, nedotýkaly se podlahy a svíraly v kolenním kloubu úhel 90 stupňů.
- 3) První měření provedené pro získání izometrické síly předních stehen (*musculus quadriceps femoris*). Přitisknutí dynamometru na oblast bérce, přibližně 5 centimetrů nad kotník, a účastník na znamení vynakládá maximální úsilí tlačení do přístroje neboli prováděním extenze v kolenním kloubu (viz. obr.10,11).
- 4) Zaznamenání hodnoty izometrické síly na dynamometru po dobu 5 sekund. Opakování téhož měření třikrát s krátkými odpočinky (cca 1 min.) mezi opakováními.
- 5) Druhé měření provedené pro svalové skupiny zadních stehen (hamstrings), tak že dynamometr přitiskneme na oblast Achillovi šlachy a účastník maximálním úsilím tlačí do přístroje neboli prováděním flexe v kolenním kloubu (viz. obr. 12).
- 6) Zaznamenejme hodnoty izometrické síly na dynamometru po dobu 5 sekund. Opakování téhož měření třikrát s krátkými odpočinky (cca 1 min.) mezi opakováními.
- 7) Aplikace stejného měření i pro druhou dolní končetinu a zapsání výsledků do tabulky Excel.



Obrázek 10: měření MicroFet2-extenze kolene-v sedě



Obrázek 11: měření MicroFet2-extenze kolene-v sedě



Obrázek 12: měření Microfet2-flexe kolene-v sedě

Testovací protokol 2 (MicroFet2 – izometrický test v leže)

- 1) Zahřátí a protažení měřených svalových skupin účastníka, aby nedošlo ke zranění či křeči.
- 2) Položení účastníka na podlahu, čelem k zemi. Následně pokrčení jednoho kolene, tak aby kolenní kloub svíral 90 stupňů. Posazení hodnotitele za účastníka a nachystání ručního dynamometru (viz. obr.13,14).
- 3) První měření prováděné pro získání izometrické síly předních stehů (*musculus quadriceps femoris*). Přitisknutí dynamometru na oblast bérce, přibližně 5 centimetrů nad kotník, a účastník na pokyn vynakládá maximální úsilí tlačení do přístroje neboli provádění extenze v kolenním kloubu.
- 4) Zaznamenání hodnot izometrické síly na dynamometru po dobu 5 sekund. Opakování téhož měření třikrát s krátkými odpočinky (cca 1 min.) mezi opakováními.
- 5) Druhé měření opakované pro svalové skupiny zadních stehů (hamstrings). Posazení hodnotitele z druhé strany hlezenního kloubu a přitisknutí dynamometru na oblast Achillovi šlachy. Tlačení končetiny účastníka s maximálním úsilím do přístroje neboli provádění flexe v kolenním kloubu (viz. obr.15,16).
- 6) Zaznamenání hodnot izometrické síly na dynamometru po dobu 5 sekund. Opakování téhož měření třikrát s krátkými odpočinky (cca 1 min.) mezi opakováními.
- 7) Aplikace stejného měření i pro druhou dolní končetinu a zapsání výsledků do tabulky Excel.



Obrázek 13: měření Microfet2-extenze kolene-vleže



Obrázek 14: měření Microfet2-extenze kolene-vleže



Obrázek 15: měření Microfet2-flexe kolene-vleže



Obrázek 16: měření Microfet2-flexe kolene-vleže

Testovací protokol 3 (IsoMed2000 – izometrický test)

- 1) Zahřátí a protažení měřených svalových skupin účastníka, aby nedošlo ke zranění či křeči.
- 2) Posazení účastníka na křeslo dynamometru a nastavení ramene dynamometru k antropometrickým hodnotám účastníka, tak aby osa otáčení ramene dynamometru byla v jedné ose s osou kolenního kloubu. Nastavení držáku, tak aby svíral celé lýtko a holeň přibližně 5 centimetrů nad kotníkem (viz obr.17).
- 3) Připoutání účastníku ke křeslu (automobilový pás, ramenní opěrky, stehenní pás).
- 4) Nastavení v programu IsoMed2000 potřebného testu pro měření izometrické svalové kontrakce.
- 5) Měření přední strany stehna pomocí předkopu po dobu 5 sekund. Po uplynulé době nechání účastníkovi odpočinek cca 1 minutu. Celkem je měření prováděné 3krát pro přední stranu stehna a poté 3krát zadní stranu stehna.
- 6) Aplikace stejného měření i pro druhou dolní končetinu.
- 7) Export výsledků ze softwaru IsoMed2000 dynamometru a zapsání maximálních hodnot do tabulky Excel.



Obrázek 17: měření IsoMed2000

5.4. Statistické zpracování výsledků

Pro analýzu výsledků byla použita základní sumarizace dat – aritmetický průměr, směrodatná odchylka, rozsah (maximální a minimální hodnota) a procentuální změny. K vyhodnocení statistické významnosti rozdílů mezi průměry byl aplikován párový Wilcoxonův test. Hladina statistické významnosti byla stanovena na 0,05. Pro hodnocení síly lineárního vztahu mezi proměnnými byla použita Spearmanova korelace (r), a výsledky byly interpretovány jako následující: 0,00–0,19 jako velmi slabá, 0,20–0,39 jako slabá, 0,40–0,59 jako střední, 0,60–0,79 jako silná a 0,8–1,00 jako velmi silná. Tyto párové neparametrické testy byly vybrány na základě zjištění díky Shapirovi-Wilkovi testu, že data nepochází z normálního rozložení a také, že se jednalo o jednu skupinu účastníků měřených třemi testovacími protokoly. Hladina statistické významnosti u Shapirova-Wilkova testu byla stanovena na 0,05 [18].

6. Výsledky

6.1. Naměřená data

Naměřená data byla zaznamenána do elektronické tabulky v softwaru Excel (Microsoft, USA) (viz.tab.2).

Tabulka 2: Tabulka naměřených hodnot před sjednocením jednotek (Microfet2[N], IsoMed2000[N/m])

číslo účastníka	MICROFET v sedě [N]				MICROFET v leže [N]				IsoMed2000[N/m]			
	p.flexe	l.flexe	p.extenze	l.extenze	p.flexe	l.flexe	p.extenze	l.extenze	p.flexe	l.flexe	p.extenze	l.extenze
1	224	222	471	452	179	192	401	403	99	110	206	218
2	216	191	437	462	175	145	399	404	89	71	213	207
3	186	217	369	448	243	178	434	409	104	102	284	305
4	283	318	375	397	215	184	325	292	105	119	219	227
5	204	228	503	369	215	208	372	370	99	92	236	209
6	292	251	694	614	275	262	486	421	134	140	261	281
7	231	225	757	730	242	239	452	443	102	102	264	261
8	220	219	550	551	156	166	395	385	97	80	230	203
9	202	121	582	432	266	225	441	411	108	113	237	255
10	178	150	597	533	198	208	378	405	116	119	257	242
11	413	342	828	693	335	295	644	665	174	174	359	339
12	311	273	779	738	261	308	648	613	186	203	357	344
13	304	271	608	601	200	205	450	469	80	87	239	257

Pro převedení hodnot z izokinetického dynamometru [Nm], tak aby se mohly porovnávat s hodnotami z ručního dynamometru, byly hodnoty vyděleny “délkou páky” neboli vzdáleností os otáčení mezi kolenním a hlezenním kloubem (viz. rovnice).

$$X = Y/m$$

Kde: X = převedená hodnota [N]

Y = původní hodnota [Nm]

m = “délka páky” [m]

Po převedení hodnot měla tabulka takovou podobu:

Tabulka 3: Tabulka naměřených hodnot po sjednocení jednotek [N].

číslo účastníka	MICROFET v sedě [N]				MICROFET v leže [N]				IsoMed2000 [N]			
	p.flexe	l.flexe	p.extenze	l.extenze	p.flexe	l.flexe	p.extenze	l.extenze	p.flexe	l.flexe	p.extenze	l.extenze
1	224	222	471	452	179	192	401	403	300	333	624	661
2	216	191	437	462	175	145	399	404	266	212	636	618
3	186	217	369	448	243	178	434	409	293	283	800	859
4	283	318	375	397	215	184	325	292	292	331	608	631
5	204	228	503	369	215	208	372	370	271	252	647	573
6	292	251	694	614	275	262	486	421	383	400	746	803
7	231	225	757	730	242	239	452	443	300	300	776	768
8	220	219	550	551	156	166	395	385	255	211	605	534
9	202	121	582	432	266	225	441	411	243	254	533	573
10	178	150	597	533	198	208	378	405	267	274	591	556
11	413	342	828	693	335	295	644	665	430	430	886	837
12	311	273	779	738	261	308	648	613	433	472	830	800
13	304	271	608	601	200	205	450	469	203	220	605	651

Jelikož v této práci neporovnáváme pravou a levou dolní končetinu, ale výsledky flexe a extenze z třech testovacích protokolů. Byly vytvořeny tabulky, kde jsou seskupeny výsledky z pravé a levé končetiny v jednom pohybu dohromady. Tudíž se nám databáze výsledků rozšířila na 26 vzorků, které nám dopomůžou k validnějším výsledkům statistických testů (viz. tabulky 4 a 5).

Tabulka 4: Tabulka seskupených hodnot z pravé a levé končetiny při pohybu extenze v kolenním kloubu [N].

	MICROFET v sedě	MICROFET v leže	IsoMed2000
počet vzorků	extenze	extenze	extenze
1	471	401	624
2	437	399	636
3	369	434	800
4	375	325	608
5	503	372	647
6	694	486	746
7	757	452	776
8	550	395	605
9	582	441	533
10	597	378	591
11	828	644	886
12	779	648	830
13	608	450	605
14	452	403	661
15	462	404	618
16	448	409	859
17	397	292	631
18	369	370	573
19	614	421	803
20	730	443	768
21	551	385	534
22	432	411	573
23	533	405	556
24	693	665	837
25	738	613	800
26	601	469	651
PRŮMĚR	560	443	683

Tabulka 5: Tabulka seskupených hodnot z pravé a levé končetiny při pohybu flexe v kolenním kloubu [N].

	MICROFET v sedě	MICROFET v leže	IsoMed2000
počet vzorků	flexe	flexe	flexe
1	224	179	300
2	216	175	266
3	186	243	293
4	283	215	292
5	204	215	271
6	292	275	383
7	231	242	300
8	220	156	255
9	202	266	243
10	178	198	267
11	413	335	430
12	311	261	433
13	304	200	203
14	222	192	333
15	191	145	212
16	217	178	283
17	318	184	331
18	228	208	252
19	251	262	400
20	225	239	300
21	219	166	211
22	121	225	254
23	150	208	274
24	342	295	430
25	273	308	472
26	271	205	220
PRŮMĚR	242	222	304

Pro jednoduchou vizualizaci rozdílů naměřených hodnot mezi vzorky byl zvolen procentuální rozdíl. Tabulka 6 reprezentuje procentuální rozdíly jednotlivých vzorků naměřených při **extenzi** v kolenním kloubu. Buňky s větším procentem než 5 % (>5 %) jsou zbarveny **červeně**.

Tabulka 6: Procentuální rozdíly při extenzi v kolenním kloubu

		Procentuální rozdíly při extenzi v kolenním kloubu [%]	
počet vzorků		MicroFet2-sed a IsoMed2000	MicroFet2-leh a IsoMed2000
1		28.0	43.5
2		37.1	45.8
3		73.7	59.3
4		47.5	60.7
5		25.0	53.9
6		7.2	42.2
7		2.5	52.8
8		9.6	42.0
9		8.9	18.8
10		1.0	43.9
11		6.8	31.7
12		6.4	24.7
13		0.5	29.4
14		37.5	48.4
15		28.9	41.9
16		62.9	71.0
17		45.5	73.4
18		43.2	43.0
19		26.7	62.4
20		5.0	53.6
21		3.1	32.5
22		28.1	32.9
23		4.3	31.5
24		18.8	22.9
25		8.1	26.5
26		7.9	32.4
PRŮMĚR		22	43

Pro jednoduchou vizualizaci rozdílů naměřených hodnot mezi vzorky byl zvolen procentuální rozdíl. Tabulka 7 reprezentuje procentuální rozdíly jednotlivých vzorků naměřených při **flexi** v kolenním kloubu. Buňky s větším procentem než 5 % (>5 %) jsou zbarveny **červeně**.

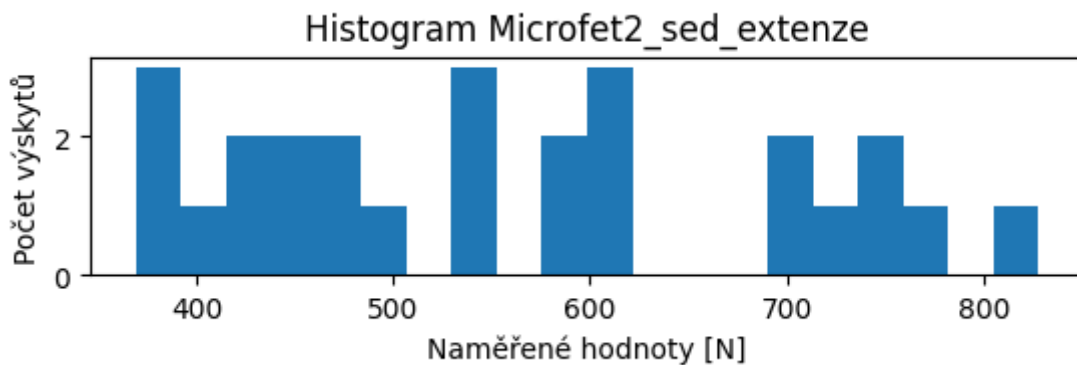
Tabulka 7: Procentuální rozdíly při flexi v kolenním kloubu

počet vzorků	Procentuální rozdíly při flexi v kolenním kloubu [%]	
	MicroFet2-sed a IsoMed2000	MicroFet2-leh a IsoMed2000
1	29.0	50.5
2	20.6	41.2
3	44.7	18.6
4	3.0	30.3
5	28.3	23.1
6	26.9	32.8
7	26.0	21.4
8	14.8	48.3
9	18.3	9.2
10	39.9	29.6
11	3.9	24.8
12	32.7	49.5
13	40.1	1.3
14	40.1	53.8
15	10.4	37.5
16	26.5	45.7
17	3.9	57.0
18	10.0	19.2
19	45.8	41.7
20	28.6	22.6
21	3.9	23.7
22	70.9	12.1
23	58.3	27.2
24	22.7	37.2
25	53.4	42.1
26	20.7	7.2
PRŮMĚR	27.8	31.0

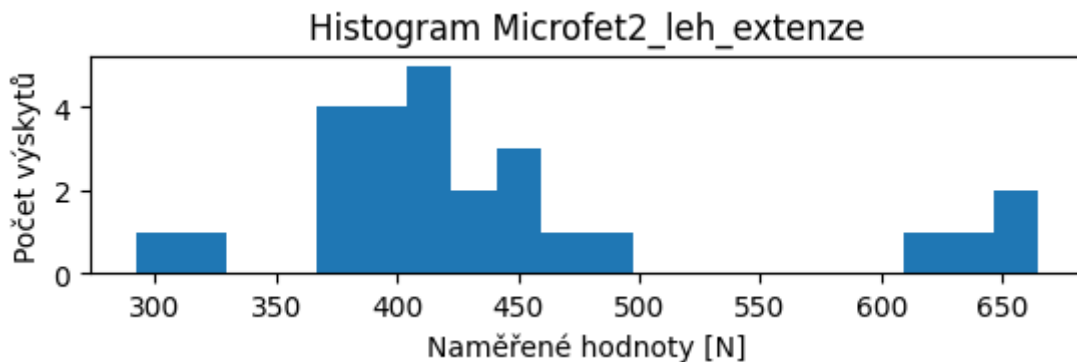
6.2. Výsledky ze statistické analýzy naměřených výsledků

Pro vizualizaci výsledků, byly využity histogramy, které nám mohou napovědět, jaké rozložení mají naměřené hodnoty a jaká je jejich četnost.

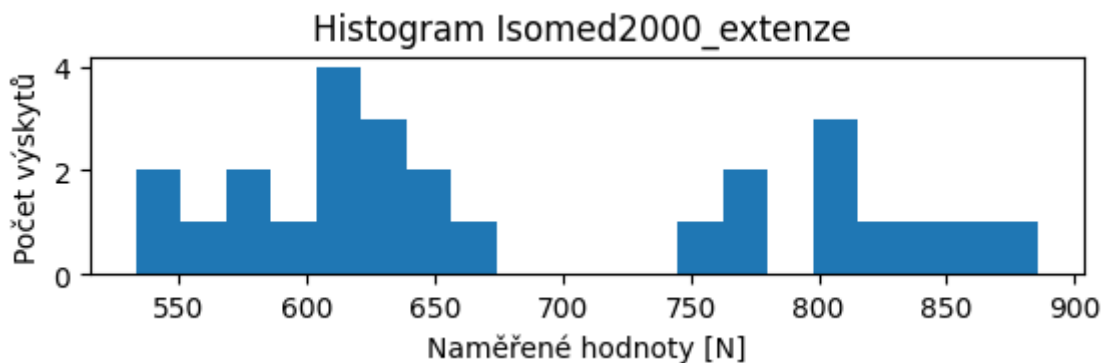
Následující histogramy znázorňují rozložení dat při extenzi v kolenním kloubu.



Graf 1: Histogram MicroFet2_sed_extenze

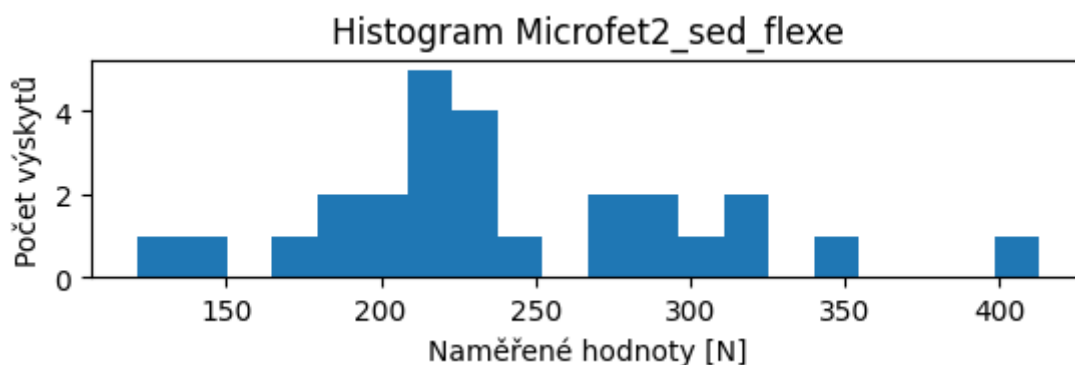


Graf 2: Histogram Microfet_leh_extenze

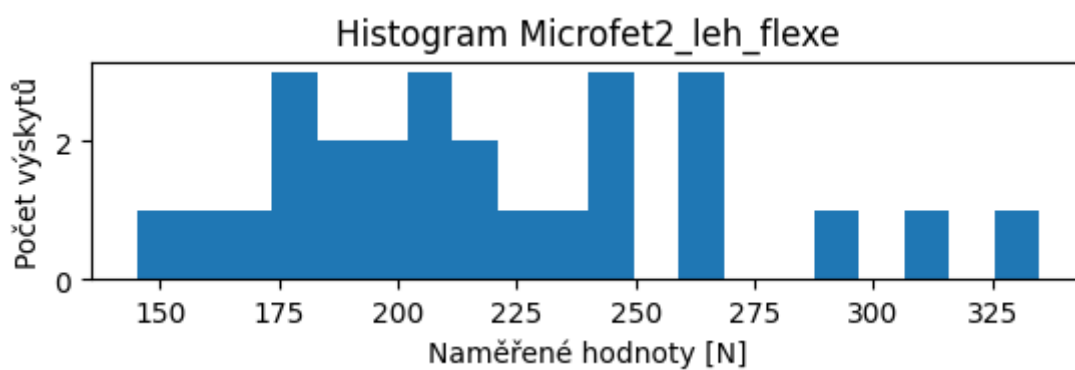


Graf 3: Histogram IsoMed2000_extenze

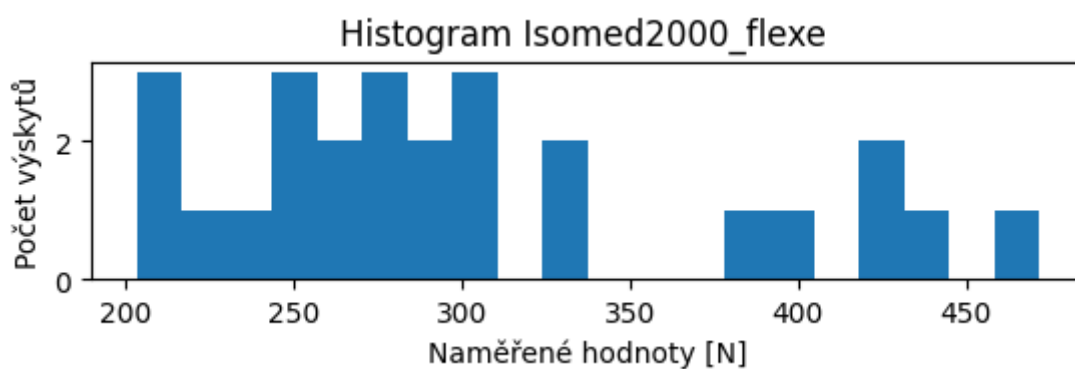
Následující histogramy znázorňují rozložení dat při flexi v kolenním kloubu.



Graf 4: Histogram Microfet2_sed_flexe



Graf 5: Histogram MicroFet2_leh_flexe



Graf 6: Histogram Isomed2000_flexe

Výsledky na výzkumnou otázku „A“: Po vyhodnocení statistické významnosti rozdílů mezi průměry naměřených hodnot z izokinetického dynamometru a ručního dynamometru, kdy byl účastník v poloze v **sedě** a vykonával **extenzi** v kolenním kloubu, pomocí Wilcoxonova testu s hladinou významnosti 0,05, bylo dosaženo výsledku, tedy mezi dvěma zkoumanými výběry existuje statisticky významný rozdíl. Hodnota p-hodnoty, která činí [**2.62260437e-06**], je mimo běžný rozsah hladiny významnosti 0,05, což nám umožňuje zamítnout nulovou hypotézu a přijmout alternativní hypotézu o existenci rozdílu mezi skupinami.

Výsledky na výzkumnou otázku „B“: Po vyhodnocení statistické významnosti rozdílů mezi průměry naměřených hodnot z izokinetického dynamometru a ručního dynamometru, kdy byl účastník v poloze v **sedě** a vykonával **flexi** v kolenním kloubu, pomocí Wilcoxonova testu s hladinou významnosti 0,05, bylo dosaženo výsledku, tedy mezi dvěma zkoumanými výběry existuje statisticky významný rozdíl. Hodnota p-hodnoty, která činí [**6.03199005e-05**], je mimo běžný rozsah hladiny významnosti 0,05, což nám umožňuje zamítnout nulovou hypotézu a přijmout alternativní hypotézu o existenci rozdílu mezi skupinami.

Výsledky na výzkumnou otázku „C“: Po vyhodnocení statistické významnosti rozdílů mezi průměry naměřených hodnot z izokinetického dynamometru a ručního dynamometru, kdy byl účastník v poloze v **vleže** a vykonával **extenzi** v kolenním kloubu, pomocí Wilcoxonova testu s hladinou významnosti 0,05, bylo dosaženo výsledku, tedy mezi dvěma zkoumanými výběry existuje statisticky významný rozdíl. Hodnota p-hodnoty, která činí [**2.98023224e-08**], je mimo běžný rozsah hladiny významnosti 0,05, což nám umožňuje zamítnout nulovou hypotézu a přijmout alternativní hypotézu o existenci rozdílu mezi skupinami.

Výsledky na výzkumnou otázku „D“: Po vyhodnocení statistické významnosti rozdílů mezi průměry naměřených hodnot z izokinetického dynamometru a ručního dynamometru, kdy byl účastník v poloze v **vleže** a vykonával **flexi** v kolenním kloubu, pomocí Wilcoxonova testu s hladinou významnosti 0,05, bylo dosaženo výsledku, tedy mezi dvěma zkoumanými výběry existuje statisticky významný rozdíl. Hodnota p-hodnoty, která činí [**1.49011612e-07**], je mimo běžný rozsah hladiny významnosti 0,05, což nám umožňuje zamítnout nulovou hypotézu a přijmout alternativní hypotézu o existenci rozdílu mezi skupinami.

Dále se zjišťovala síla lineární závislosti mezi naměřenými výsledky z izokinetického dynamometru, ručního dynamometru, kdy byl účastník v poloze v sedě a ručního dynamometru v poloze vleže pro extenzi i flexi v kolenním kloubu.

Korelační koeficienty jednotlivých metod měření pro extenzi v kolenním kloubu:

IsoMed2000 – MicroFet2 v sedě = 0.42661651487369145 (středně síla korelace)

IsoMed2000 – MicroFet2 vleže = 0.5866256971920807 (středně síla korelace)

MicroFet2 v sedě – MicroFet2 vleže = 0.7495298451142645 (silná síla korelace)

Korelační koeficienty jednotlivých metod měření pro flexi v kolenním kloubu:

IsoMed2000 – MicroFet2 v sedě = 0.5303680298091804 (středně síla korelace)

IsoMed2000 – MicroFet2 vleže = 0.599007438187061 (silná síla korelace)

MicroFet2 v sedě – MicroFet2 vleže = 0.3902189010693913 (slabá síla korelace)

7. Diskuze

Jelikož ruční dynamometr Microfet2 poskytuje na výstupu pouze maximální hodnoty, které byly zaznamenány během měření, bylo vhodné vybrat podobný test na izokinetickém dynamometru IsoMed2000, kde byli vybrány také pouze maximální naměřené hodnoty.

Nejprve byly hodnoty z dynamometru IsoMed2000 převedeny na stejné jednotky [N/m \rightarrow N], taky aby bylo možné je porovnávat s výsledky z dynamometru MicroFet2. Následně byly výsledky podrobeny testu na zjištění normálního rozložení dat (Shapiro-Wilkův test). Z výsledků jsme došli, že data nepochází z normálního rozložení, proto byly následně vybrány neparametrické testy pro bližší analýzu. Důvodem mohou být odlehle hodnoty (tzn. ve výběru se mohli vyskytovat silnější účastníci, kteří svými výsledky vyčnívali, viz histogramy). Dále se na variabilitě dat mohly podílet nepřesnosti měření. Na doporučení ze studie Doenes z roku 1994 [3], byla v této práci upravena metodika měření, i tak ale mohlo dojít ke zkreslení výsledků u příliš silných účastníků. Výsledky statistických testů rozdílů průměrů mezi výběry, došlo u každého testu k zamítnutí nulové hypotézy H_0 (tj. neexistují statistické rozdíly mezi průměry), ale přijetí hypotézy alternativní H_1 (tj. existují statistické rozdíly mezi průměry) na hladině významnosti $\alpha=0.05$.

Pro následnou korelační analýzu, ve které se hledá vzájemná závislost mezi výběry, byl vybrán Spearmanův korelační koeficient, který je robustní vůči odlehlym hodnotám a nevyžaduje normální rozložení dat. Výsledky korelačních koeficientů jsou už zajímavější. Ačkoliv by se zdálo, že měření dynamometrem Microfet2 v sedě, je nejbližší podobné k měření na dynamometru IsoMed2000. Nejsilnější korelaci mají výsledky z dynamometru MicroFet2 vleže a dynamometru IsoMed2000 ($r \approx 0.586$ při extenzi, $r \approx 0.599$ při flexi). Tyto výsledky mohou být způsobené vybranou polohou při měření. Totiž při poloze v sedě, měli účastníci tendenci nadzvedávat koleno při měření, tento jev je při měření na dynamometru IsoMed2000 eliminován pásem. V poloze vleže, kdy je koleno účastníka položené na zem, může mít podobný účinek, a i když jsou naměřené hodnoty znatelně nižší, vykazují konzistentnější výsledky.

Pro potvrzení validity ručního dynamometru MicroFet2, by bylo zapotřebí podrobnější statistické zpracování, větší výběr dat a modifikovat metody měření. Takové metody, ve kterých jsou eliminovány lidské faktory, které by mohli ovlivnit měření. Modifikace mohou probíhat formou změny pomůcek při měření (pás) nebo hledat vhodnější pozice pro účastníky.

8. Závěr

V závěru této práce jsme se zaměřili na vyhodnocení rozdílů mezi naměřenými hodnotami z izokinetického dynamometru a ručního dynamometru při různých polohách a pohybech kolenního kloubu. Naše hypotézy byly pečlivě formulovány a testovány pomocí Wilcoxonova testu s hladinou významnosti 0,05.

Všechny výsledky stanovené testovacími otázkami (tj, testovací otázka A-D) vyšli se stejným výsledkem. Vybranou metodou se nepodařilo zajistit, aby se naměřené hodnoty testovacích protokolů 1 a 2 (tj. MicroFet2-sed, MicroFet2-leh) přibližovali hodnotám naměřených testovacím protokolem 3 (tj. IsoMed2000) při flexi a extenzi v kolenním kloubu.

Korelační analýza poskytla pozitivnější výsledky než test rozdílu mezi průměry. Nejsilnější lineární vztah byl zjištěn mezi výsledky testovacích protokolů 2 a 3 (tj, MicroFet2-leh a IsoMed2000). Proto by se následující testování validity ručního dynamometru MicroFet2 mohl ubírat podobným směrem, kdy je testovaný účastník položený na břicho čelem k zemi.

Z tabulek reprezentující procentuální rozdíly mezi výsledky testovacích protokolů, je zřejmé, že testovací protokol 1, je svými výsledky bližší k výsledkům testovacího protokolu 3, než jsou výsledky z testovacího protokolu 2. Tuto informaci nám poskytli průměry jednotlivých procentuálních rozdílů: $\mu_1(\text{MicroFet2-sed-extenze}) = 22$, $\mu_2(\text{MicroFet2-leh-extenze}) = 43$, ($22 < 43$). $\mu_3(\text{MicroFet2-sed-flexe}) = 27.8$, $\mu_4(\text{MicroFet2-leh-flexe}) = 31$, ($27.8 < 31$). U polohy vleže není rozdíl mezi průměry μ_3 a μ_4 tak velký jako u průměrů μ_1 a μ_2 . Sice v této poloze nebyli naměřeny vyšší hodnoty, než u testovacího protokolu 1 nebo 3, ale bylo snazší účastníka udržet při měření.

Na závěr bych chtěl okomentovat práci s přenosným ručním dynamometrem Microfet2. Zařízení je to velmi uživatelsky přístupné a jednoduché na ovládání, ale bohužel nelze říct, zda je to důstojná náhrada izokinetického dynamometru IsoMed2000. Pokud bychom chtěli s tímto zařízením testovat dospělé sportovce, je zapotřebí vymyslet podobnou metodiku měření, jaká je v této práci, kdy si dopomůžeme lehce dostupnými pomůckami (tyč, pás), tak aby se zachovala integrita terénního testování.

Použitá literatura

- [1] BERTRAM, Oliver. *Posilování bez nářadí pro muže*. Přeložil Milada BURIANOVÁ. Esence. Praha: Euromedia, 2018. ISBN 978-80-7549-571-6 [cit.18.4.2024].
- [2] BOHANNON RW. Hand-held compared with isokinetic dynamometry for measurement of static knee extension torque (parallel reliability of dynamometers). *Clin Phys Physiol Meas*. 1990 Aug;11(3):217-22. doi: 10.1088/0143-0815/11/3/004. PMID: 2245586 [cit.18.4.2024].
- [3] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-3817-8 [cit.18.4.2024].
- [4] DEONES, Vicky L., Steven C. WILEY a Teddy WORRELL. Assessment of Quadriceps Muscle Performance by a Hand-Held Dynamometer and an Isokinetic Dynamometer. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* [online]. 1994, **20**(6), 296-301. ISSN 0190-6011. Dostupné z: doi:10.2519/jospt.1994.20.6.296 [cit. 2024-01-05].
- [5] DE VASCONCELOS, Rodrigo Antunes; BEVILAQUA-GROSSI, Débora; SHIMANO, Antonio Carlos; PACCOLA, Cleber Jansen; SALVINI, Tânia Fátima et al. Reliability and validity of a modified isometric dynamometer in the assessment of muscular performance in individual with anterior cruciate ligament reconstruction. Online. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)*. 2009, roč. 44, č. 3, s. 214-224. ISSN 22554971. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S2255-4971\(15\)30071-9](https://doi.org/10.1016/S2255-4971(15)30071-9). [cit. 2023-12-29].
- [6] EVANS, James D. *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Thomson Brooks/Cole Publishing Co, 1996 [cit. 2024-01-05].
- [7] HIRSCHMÜLLER, Albrecht. Dynamometrie. Zur Messung der Körperkraft des Menschen im 19. Jahrhundert. Online. *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin*. 1997, roč. 5, č. 1. ISSN 0036-6978. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF02913651>. [cit. 2023-12-28].
- [8] JARMEY, Chris a SHARKEY, John. *Atlas svalů – anatomie*. 3. vydání. Přeložil Kateřina BRADÁČOVÁ. Brno: CPress, 2019. ISBN 978-80-264-2503-8 [cit. 2024-01-05].
- [9] *Journal of Ortopedic & Sports Physical Therapy* Publikováno online: 1. prosince 1988, svazek 10, číslo 6, strany 213-217 <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.1988.10.6.213> [cit. 2023-12-29].

- [10] JUHO Jung, Jhosedyn Carolaym Salazar FAJARDO, Seongkuk KIM , Byeongsu KIM , Sejun OH & BumChul YOON (2023) Vliv tDCS v kombinaci s tělesným tréninkem na fyzickou výkonnost u zdravé populace, čtvrtletní výzkum pro cvičení a sport, DOI:10.271680 2166894 [cit. 2023-12-29].
- [11] KIM, Won Kuel; KIM, Don-Kyu; SEO, Kyung Mook a KANG, Si Hyun. Reliability and Validity of Isometric Knee Extensor Strength Test With Hand-Held Dynamometer Depending on Its Fixation: A Pilot Study. Online. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2014, roč. 38, č. 1. ISSN 2234-0645. Dostupné z: <https://doi.org/10.5535/arm.2014.38.1.84> [cit. 2023-12-29].
- [12] LEPHART SM, KOCHER MS, HARNER CD, Fu FH. Síla a funkční kapacita kvadricepsu po rekonstrukci předního zkříženého vazů: Autograft patelární šlachy versus aloštep. Americký žurnál sportovní medicíny. 1993;21(5):738-743. doi: 10.1177/036354659302100519 [cit. 2023-12-29].
- [13] LÖSCHER, W.; GALLASCH, E. a HAIDMAYER, R. Hand Dynamometrie – Untersuchung von myoelektrischen Muskelermüdungszeichen und des isometrischen Handtremors. Online. *Biomedizinische Technik/Biomedical Engineering*. S. 128-130. ISSN 0013-5585. Dostupné z: <https://doi.org/10.1515/bmte.1992.37.s1.128> [cit. 2023-12-29].
- [14] MĚKOTA, Karel. *Motorické schopnosti*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2005. ISBN 802440981X [cit. 2024-01-05].
- [15] MARKOVIC G, ŠARABON N, PAUSIC J, HADŽIC V. Adductor Muscles Strength and Strength Asymmetry as Risk Factors for Groin Injuries among Professional Soccer Players: A Prospective Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jul 9;17(14):4946. doi: 10.3390/ijerph17144946. PMID: 32659937; PMCID: PMC7400295 [cit. 2024-01-05].
- [16] MATHIOWETZ V, VOLLAND G, KASHMAN N, Weber K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *Am J Occup Ther*. 1985 Jun;39(6):386-91. doi: 10.5014/ajot.39.6.386. PMID: 3160243 [cit.18.4.2024].
- [17] OSTERING LR. Isokinetic dynamometry: implications for muscle testing and rehabilitation. *Exerc Sport Sci Rev*. 1986; 14:45-80. PMID: 3525192 [cit.18.4.2024].
- [18] PERINN, D. H. (1993). *Isokinetic Exercise and Assessment*. Human Kinetics. ISBN: 978-0873224190 [cit.18.4.2024].

Seznam obrázků

Obrázek 1: Jamar Hydraulic Hand Dynamometer.....	14
Obrázek 2: Baseline Hydraulic Hand Dynamometer	14
Obrázek 3: MicroFet2 Handheld Dynamometer	15
Obrázek 4: J Tech Commander PowerTrack II Dynamometer.....	15
Obrázek 5: Baseline Digital Smedley Spring Dynamometer	16
Obrázek 6: CAMRY Digital Hand Dynamome	16
Obrázek 7: Baseline Hydraulic Pinch Gauge	16
Obrázek 8: JTech Commander Echo Wireless Dynamometer	16
Obrázek 9: Lode Pneumatic Hand Dynamometer	17
Obrázek 10: měření MicroFet2-extenze kolene-v sedě.....	22
Obrázek 11: měření MicroFet2-extenze kolene-v sedě.....	22
Obrázek 12: měření Microfet2-flexe kolene-v sedě.....	22
Obrázek 13: měření Microfet2-extenze kolene-vleže	23
Obrázek 14: měření Microfet2-extenze kolene-vleže	23
Obrázek 15: měření Microfet2-flexe kolene-vleže.....	24
Obrázek 16: měření Microfet2-flexe kolene-vleže.....	24
Obrázek 17: měření IsoMed2000	25

Seznam tabulek

Tabulka 1: Základní a antropometrické údaje	Chyba! Záložka není definována.
Tabulka 2: Tabulka naměřených hodnot před sjednocením jednotek (Microfet2[N], IsoMed2000) ...	26
Tabulka 3: Tabulka naměřených hodnot po sjednocení jednotek	27
Tabulka 4: Tabulka seskupených hodnot z pravé a levé končetiny při pohybu extenze v kolenním kloubu	28
Tabulka 5: Tabulka seskupených hodnot z pravé a levé končetiny při pohybu flexe v kolenním kloubu	29
Tabulka 6: Procentuální rozdíly při extenzi v kolenním kloubu.....	30
Tabulka 7: Procentuální rozdíly při flexi v kolenním kloubu	31

Seznam grafů

Graf 1: Histogram MicroFet2_sed_extenze	32
Graf 2: Histogram Microfet_leh_extenze	32
Graf 3: Histogram IsoMed2000_extenze.....	32
Graf 4: Histogram Microfet2_sed_flexe	33
Graf 5: Histogram MicroFet2_leh_flexe	33
Graf 6: Histogram Isomed2000_flexe.....	33